MATERIAL DE DIVULGAÇÃO.
VERSÃO SUBMETIDA À AVALIAÇÃO.
PNLD 2026 - ENSINO MÉDIO
Código da coleção:
0016 P26 01 01 203 815

NICOLAU GILBERTO FERRARO
CARLOS [illegible]NO A. TORRES
PAULO [illegible]TEADO

MODERNA PLUS

Nicolau, Torres & Pecê

MANUAL DO PROFESSOR

VOLUME ÚNICO

ENSINO MÉDIO

Área de conhecimento:
Ciências da Natureza e suas Tecnologias

Componente curricular:
Física

MODERNA

NICOLAU GILBERTO FERRARO
Licenciado em Física pelo Instituto de Física da Universidade de São Paulo.
Engenheiro Metalurgista pela Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.
Diretor pedagógico.

CARLOS MAGNO A. TORRES
Bacharel em Física pelo Instituto de Física da Universidade de São Paulo.
Especialista em Metodologia do Ensino de Matemática
e Física pela Uninter (PR). Professor.

PAULO CESAR MARTINS PENTEADO
Licenciado em Física pela Universidade Federal de Santa Catarina.
Especialista em Metodologia do Ensino de Matemática
e Física pela Uninter (PR). Professor.

MODERNA PLUS

FÍSICA
Nicolau, Torres & Pecê

VOLUME ÚNICO
ENSINO MÉDIO

Área de conhecimento: Ciências da Natureza e suas Tecnologias
Componente curricular: Física

MANUAL DO PROFESSOR

1ª edição
São Paulo, 2024

MODERNA

Edição executiva: Fabio Martins de Leonardo, Glaucia Teixeira
Edição de texto: Lívia Aceto Ferraz dos Santos, Luiz Alberto de Paula, Tathyana Tumolo Haider
Assessoria didático-pedagógica: Celso Luiz Mattos, Marcelo Pulido, Maria Ângela de Camargo, Rafael Figueira
Assistência editorial: Edna Gonçalves dos Santos
Leitura crítica: Vitor Prestes Luzio
Gerência de planejamento editorial e revisão: Maria de Lourdes Rodrigues
Coordenação de revisão: Elaine C. del Nero, Mônica Rodrigues de Lima
Revisão: Ana Cortazzo, Sirlene Prignolato, Tatiana Malheiro, Aiko Mine, Patrícia Scaravelli Sbrissa
Gerência de *design,* produção gráfica e digital: Patricia Costa
Coordenação de *design* e projetos visuais: Marta Cerqueira Leite
Projeto gráfico: Mariza de Souza Porto, Bruno Tonel, Vinicius Rossignol
Capa: Everson de Paula, Paula Miranda Santos
Colagem digital: Everson de Paula
Fotos: 3DMI/Shutterstock; Pixel-Shot/Shutterstock; SCIEPRO/SCIENCE PHOTO LIBRARY/Getty Images; Anton Ignatenco/500px/Getty Images; Surasak Suwanmake/Moment/Getty Images
Coordenação de produção gráfica: Aderson Oliveira
Coordenação de arte: Alexandre Lugó, Wilson Gazzoni Agostinho
Edição de arte: Simone Zupardo Dias
Editoração eletrônica: SETUP Bureau
Coordenação de pesquisa iconográfica: Sônia Oddi
Pesquisa iconográfica: Cristina Akisino, Roberto Silva
Coordenação de *bureau*: Rubens M. Rodrigues
Tratamento de imagens: Ademir Baptista, Ana Isabela Pithan Maraschin, Denise Feitosa, Vânia Maia
Pré-impressão: Alexandre Petreca, Marcio H. Kamoto
Coordenação de produção industrial: Wendell Monteiro
Impressão e acabamento:

Organização dos objetos digitais: Pâmela Castro
Elaboração dos objetos digitais: Fabio Martins de Leonardo, Glaucia Teixeira

---

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
(Câmara Brasileira do Livro, SP, Brasil)

Ferraro, Nicolau Gilberto
Moderna plus física Nicolau, Torres & Pecê / Nicolau Gilberto Ferraro, Carlos Magno A. Torres, Paulo Cesar Martins Penteado. -- 1. ed. -- São Paulo : Moderna, 2024.

Obra em volume único do 1º, 2º e 3º anos do ensino médio.
Componente curricular: Física.
Área de conhecimento: Ciências da natureza e suas tecnologias.
ISBN 978-85-16-14039-7 (aluno)
ISBN 978-85-16-14040-3 (professor)

1. Física (Ensino médio) I. Torres, Carlos Magno A. II. Penteado, Paulo Cesar Martins. III. Título.

24-228487 CDD-530.7

Índices para catálogo sistemático:

1. Física : Ensino médio 530.7

Cibele Maria Dias - Bibliotecária - CRB-8/9427

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.
Todos os direitos reservados.

EDITORA MODERNA LTDA.
Rua Padre Adelino, 758 - Belenzinho
São Paulo - SP - Brasil - CEP 03303-904
Canal de atendimento: 0303 663 3762
www.moderna.com.br
2024
Impresso no Brasil
1 3 5 7 9 10 8 6 4 2

APRESENTAÇÃO

Prezado estudante,

Nesta obra, cada componente curricular da área de Ciências da Natureza e suas Tecnologias buscou trabalhar conceitos relevantes, priorizar informações científicas, conhecimentos e habilidades que contribuam para uma formação cidadã.

A abordagem de Biologia, Física e Química promove a participação na pesquisa, na reflexão, na interação e no modo de compreender e se apropriar dos conteúdos e de sua aplicação na vida cotidiana.

Atendendo às diretrizes da Base Nacional Comum Curricular, que considera as particularidades de diferentes culturas, as propostas foram construídas com a intenção de mobilizar conhecimentos para resolver problemas e desenvolver a autonomia intelectual e o pensamento crítico.

Ao perceber os esforços necessários para superar os desafios das rápidas transformações da atualidade, esperamos que você valorize a abordagem científica dos fenômenos naturais, compreenda as Ciências da Natureza e o papel do conhecimento científico e da investigação científica na vida contemporânea.

Desejamos contribuir para a conscientização de que apenas com a cooperação e a integração de todas as áreas do conhecimento será possível encontrar soluções globais para diversos problemas enfrentados atualmente. Também é nossa meta favorecer a percepção de que é somente por meio do conhecimento que a sociedade pode avançar de maneira sustentável em direção a um futuro melhor.

Os autores

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

CONHEÇA SEU LIVRO

CAPÍTULO 24

Geração de energia, poluição ambiental e reciclagem

Máquina pulverizadora de defensivos agrícolas (Santa Mariana, PR, 2020).

A demanda cada vez maior por alimentos fez com que a produção agrícola recorresse ao uso de defensivos agrícolas e fertilizantes para evitar a propagação de pragas e doenças na lavoura e suprir a carência de nutrientes do solo. Sem esses recursos, a produção em larga escala de muitos produtos agrícolas seria inviável.

Apesar dos benefícios para a agricultura, os defensivos podem ser nocivos para os seres vivos e os ambientes naturais, contaminando e poluindo o solo, a água e até mesmo o ar. Por isso, eles são classificados de acordo com sua toxidade e devem ser usados com controles rigorosos e por pessoas habilitadas.

Esse potencial poluente dos defensivos agrícolas é tema de debates e preocupação na sociedade; assim, a comunidade acadêmica trabalha para encontrar maneiras mais ecológicas de proteger as lavouras. Outras soluções seriam a modificação genética de sementes agrícolas e o uso de controles biológicos, situações nas quais determinados seres vivos são inseridos em um ambiente para combater espécies que causam danos às plantações.

O uso de combustíveis fósseis, como o petróleo, o gás natural e o carvão mineral, a aplicação de adubos e defensivos na agricultura e as atividades industriais lançam no ambiente compostos químicos poluentes que contaminam o ar, a água e o solo e modificam, em alguns casos, a proporção dos elementos que constituem o meio ambiente, afetando a saúde dos seres vivos e de seus ciclos biológicos naturais.

Este capítulo apresenta um panorama do consumo de energia no Brasil, reflexões sobre fontes alternativas de energia, as principais formas de poluição do ambiente e a reciclagem de alguns materiais.

O assunto deste capítulo também é trabalhado no capítulo 24 do volume de Biologia desta coleção.

387

Abertura

Apresenta temas relacionados às Ciências da Natureza e os assuntos que serão abordados no capítulo.

Dialogando com o texto

Informações e atividades que promovem exploração ou aprofundamento de assuntos trabalhados no capítulo.

Ao substituirmos a igualdade (II) na (I), podemos escrever: $\Delta \vec{Q} = \vec{I}$

Ou seja:

A variação da quantidade de movimento de um corpo, em determinado intervalo de tempo, é igual ao impulso da força resultante nesse mesmo intervalo de tempo.

Essa conclusão constitui **o teorema do impulso**, que tem validade geral, ou seja, é válido para qualquer tipo de interação. Note que, no SI, o kg · m/s é equivalente a N · s, ou seja: 1 kg · m/s = 1 N · s

Dialogando com o texto

A ginástica artística foi incluída como mais uma modalidade nos Jogos Olímpicos em 1896, para os homens, e em 1928, para as mulheres. No Brasil, a primeira participação de uma ginasta brasileira em Olimpíadas ocorreu em 1980. Desde então, o esporte tem ganhado mais adeptas no Brasil. A primeira medalha de ouro para o Brasil na ginástica artística veio nos Jogos Olímpicos de Tóquio 2020, ocorrido em 2021. Nas Olimpíadas de Paris 2024, o Brasil teve um desempenho notável, conquistando quatro medalhas na ginástica artística feminina.

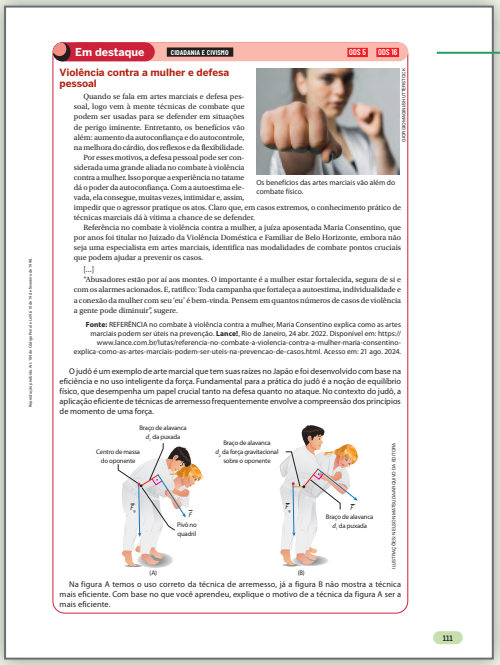
Na modalidade de salto sobre a mesa, as ginastas precisam combinar velocidade, técnica e controle corporal para executar movimentos complexos no ar, que ocorrem em poucos segundos. O salto é dividido em quatro fases principais: a aproximação, em que a ginasta corre em alta velocidade em direção à mesa; a interação com a mesa, momento em que ela se impulsiona no aparelho; o voo, em que são realizadas as piruetas e os giros; e a aterrissagem, um momento crítico de finalizar o movimento mantendo o equilíbrio.

Na aterrissagem, a ginasta dobra ligeiramente os joelhos no momento do contato com o solo para absorver o impacto da força da queda. Essa manobra ajuda também a manter o equilíbrio, garantindo que a performance seja concluída de forma segura.

Segundo o teorema do impulso, explique por que as ginastas flexionam as pernas durante a aterrissagem.

67

Em destaque


Em destaque CIDADANIA E CIVISMO ODS 5 ODS 16

Violência contra a mulher e defesa pessoal

Quando se fala em artes marciais e defesa pessoal, logo vem à mente técnicas de combate que podem ser usadas para se defender em situações de perigo iminente. Entretanto, os benefícios vão além: aumento da autoconfiança e do autocontrole, na melhora do cárdio, dos reflexos e da flexibilidade.

Por esses motivos, a defesa pessoal pode ser considerada uma grande aliada no combate à violência contra a mulher. Isso porque a experiência no tatame dá o poder da autoconfiança. Com a autoestima elevada, ela consegue, muitas vezes, intimidar e, assim, impedir que o agressor pratique os atos. Claro que, em casos extremos, o conhecimento prático de técnicas marciais dá à vítima a chance de se defender.

Referência no combate à violência contra a mulher, a juíza aposentada Maria Consentino, que por anos foi titular no Juizado da Violência Doméstica e Familiar de Belo Horizonte, embora não seja uma especialista em artes marciais, identifica nas modalidades de combate pontos cruciais que podem ajudar a prevenir os casos.

[...]

"Abusadores estão por aí aos montes. O importante é a mulher estar fortalecida, segura de si e com os alarmes acionados. É, ratifico: Toda campanha que fortaleça a autoestima, individualidade e a conexão da mulher com seu 'eu' é bem-vinda. Pensem em quantos números de casos de violência a gente pode diminuir", sugere.

Fonte: REFERÊNCIA no combate à violência contra a mulher, Maria Consentino explica como as artes marciais podem ser úteis na prevenção. **Lancel**, Rio de Janeiro, 24 abr. 2022. Disponível em: https://www.lance.com.br/futas/referencia-no-combate-a-violencia-contra-a-mulher-maria-consentino-explica-como-as-artes-marciais-podem-ser-uteis-na-prevencao-de-casos.html. Acesso em: 21 ago. 2024.

Os benefícios das artes marciais vão além do combate físico.

O judô é um exemplo de arte marcial que tem suas raízes no Japão e foi desenvolvido com base na eficiência e no uso inteligente da força. Fundamental para a prática do judô é a noção de equilíbrio físico, que desempenha um papel crucial tanto na defesa quanto no ataque. No contexto do judô, a aplicação eficiente de técnicas de arremesso frequentemente envolve a compreensão dos princípios de momento de uma força.

Braço de alavanca d_1 da puxada
Centro de massa do oponente
Pivô no quadril
Braço de alavanca d_1 da força gravitacional sobre o oponente
Braço de alavanca d_1 da puxada
(A)
(B)

Na figura A temos o uso correto da técnica de arremesso, já a figura B não mostra a técnica mais eficiente. Com base no que você aprendeu, explique o motivo de a técnica da figura A ser a mais eficiente.

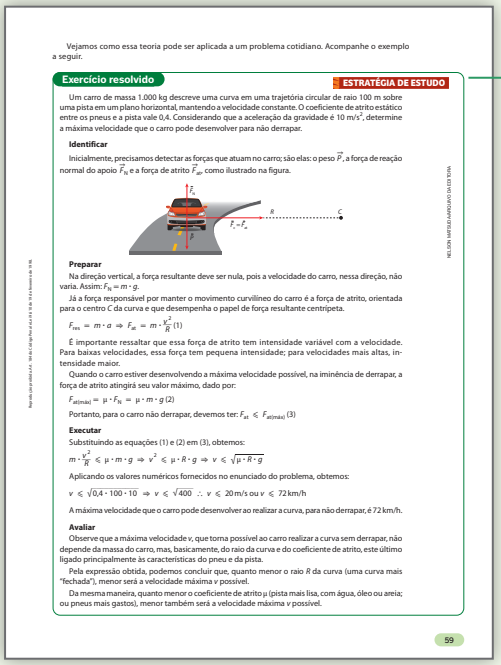
111

Em destaque

Textos com informações complementares aos assuntos tratados no capítulo.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Cuide bem deste livro para que outros colegas possam estudar com ele. Lembre-se de fazer anotações e escrever as respostas no caderno.



Vejamos como essa teoria pode ser aplicada a um problema cotidiano. Acompanhe o exemplo a seguir.

Exercício resolvido — **ESTRATÉGIA DE ESTUDO**

Um carro de massa 1.000 kg descreve uma curva em uma trajetória circular de raio 100 m sobre uma pista em um plano horizontal, mantendo a velocidade constante. O coeficiente de atrito estático entre os pneus e a pista vale 0,4. Considerando que a aceleração da gravidade é 10 m/s², determine a máxima velocidade que o carro pode desenvolver para não derrapar.

Identificar

Inicialmente, precisamos detectar as forças que atuam no carro; são elas: o peso $\vec{P}$, a força de reação normal do apoio $\vec{F}_N$ e a força de atrito $\vec{F}_{at}$, como ilustrado na figura.

NELSON MATSUDA/ARQUIVO DA EDITORA

Preparar

Na direção vertical, a força resultante deve ser nula, pois a velocidade do carro, nessa direção, não varia. Assim: $F_N = m \cdot g$.

Já a força responsável por manter o movimento curvilíneo do carro é a força de atrito, orientada para o centro C da curva e que desempenha o papel de força resultante centrípeta.

$$F_{res} = m \cdot a \Rightarrow F_{at} = m \cdot \frac{v^2}{R} \quad (1)$$

É importante ressaltar que essa força de atrito tem intensidade variável com a velocidade. Para baixas velocidades, essa força tem pequena intensidade; para velocidades mais altas, intensidade maior.

Quando o carro estiver desenvolvendo a máxima velocidade possível, na iminência de derrapar, a força de atrito atingirá seu valor máximo, dado por:

$$F_{at(máx)} = \mu \cdot F_N = \mu \cdot m \cdot g \quad (2)$$

Portanto, para o carro não derrapar, devemos ter: $F_{at} \leqslant F_{at(máx)}$ (3)

Executar

Substituindo as equações (1) e (2) em (3), obtemos:

$$m \cdot \frac{v^2}{R} \leqslant \mu \cdot m \cdot g \Rightarrow v^2 \leqslant \mu \cdot R \cdot g \Rightarrow v \leqslant \sqrt{\mu \cdot R \cdot g}$$

Aplicando os valores numéricos fornecidos no enunciado do problema, obtemos:

$$v \leqslant \sqrt{0{,}4 \cdot 100 \cdot 10} \Rightarrow v \leqslant \sqrt{400} \therefore v \leqslant 20 \text{ m/s ou } v \leqslant 72 \text{ km/h}$$

A máxima velocidade que o carro pode desenvolver ao realizar a curva, para não derrapar, é 72 km/h.

Avaliar

Observe que a máxima velocidade *v*, que torna possível ao carro realizar a curva sem derrapar, não depende da massa do carro, mas, basicamente, do raio da curva e do coeficiente de atrito, este último ligado principalmente às características do pneu e da pista.

Pela expressão obtida, podemos concluir que, quanto menor o raio *R* da curva (uma curva mais "fechada"), menor será a velocidade máxima *v* possível.

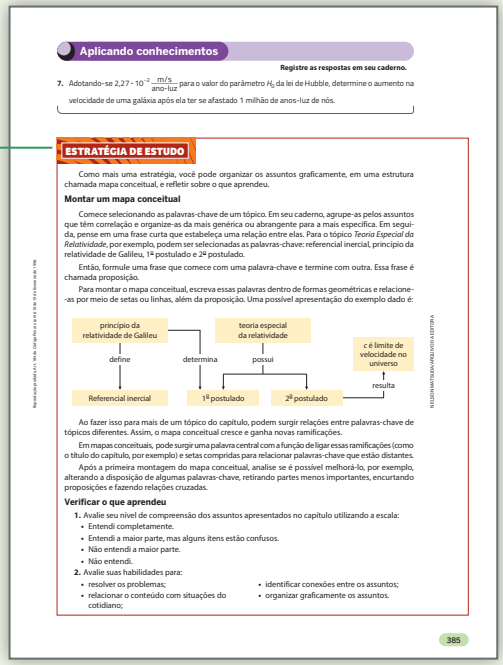
Da mesma maneira, quanto menor o coeficiente de atrito μ (pista mais lisa, com água, óleo ou areia; ou pneus mais gastos), menor também será a velocidade máxima *v* possível.

59

Exercício resolvido

Exemplos de aplicação da teoria apresentados ao longo do capítulo.

Alguns exercícios são destacados como uma estratégia de estudo.



Aplicando conhecimentos

Registre as respostas em seu caderno.

7. Adotando-se $2{,}27 \cdot 10^{-2} \frac{\text{m/s}}{\text{ano-luz}}$ para o valor do parâmetro H_0 da lei de Hubble, determine o aumento na velocidade de uma galáxia após ela ter se afastado 1 milhão de anos-luz de nós.

ESTRATÉGIA DE ESTUDO

Como mais uma estratégia, você pode organizar os assuntos graficamente, em uma estrutura chamada mapa conceitual, e refletir sobre o que aprendeu.

Montar um mapa conceitual

Comece selecionando as palavras-chave de um tópico. Em seu caderno, agrupe-as pelos assuntos que têm correlação e organize-as da mais genérica ou abrangente para a mais específica. Em seguida, pense em uma frase curta que estabeleça uma relação entre elas. Para o tópico *Teoria Especial da Relatividade*, por exemplo, podem ser selecionadas as palavras-chave: referencial inercial, princípio da relatividade de Galileu, 1º postulado e 2º postulado.

Então, formule uma frase que comece com uma palavra-chave e termine com outra. Essa frase é chamada proposição.

Para montar o mapa conceitual, escreva essas palavras dentro de formas geométricas e relacione-as por meio de setas ou linhas, além da proposição. Uma possível apresentação do exemplo dado é:

NELSON MATSUDA/ARQUIVO DA EDITORA

Ao fazer isso para mais de um tópico do capítulo, podem surgir relações entre palavras-chave de tópicos diferentes. Assim, o mapa conceitual cresce e ganha novas ramificações.

Em mapas conceituais, pode surgir uma palavra central com a função de ligar essas ramificações (como o título do capítulo, por exemplo) e setas compridas para relacionar palavras-chave que estão distantes.

Após a primeira montagem do mapa conceitual, analise se é possível melhorá-lo, por exemplo, alterando a disposição de algumas palavras-chave, retirando partes menos importantes, encurtando proposições e fazendo relações cruzadas.

Verificar o que aprendeu

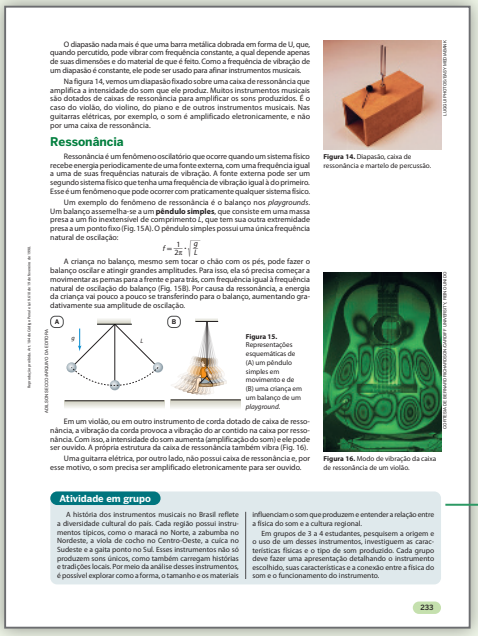
1. Avalie seu nível de compreensão dos assuntos apresentados no capítulo utilizando a escala:
- Entendi completamente.
- Entendi a maior parte, mas alguns itens estão confusos.
- Não entendi a maior parte.
- Não entendi.

2. Avalie suas habilidades para:
- resolver os problemas;
- relacionar o conteúdo com situações do cotidiano;
- identificar conexões entre os assuntos;
- organizar graficamente os assuntos.

385

Estratégia de estudo

Propostas para organizar os conhecimentos e otimizar os estudos, favorecendo sua autonomia.



O diapasão nada mais é que uma barra metálica dobrada em forma de U, que, quando percutido, pode vibrar com frequência constante, a qual depende apenas de suas dimensões e do material de que é feito. Como a frequência de vibração de um diapasão é constante, ele pode ser usado para afinar instrumentos musicais.

Na figura 14, vemos um diapasão fixado sobre uma caixa de ressonância que amplifica a intensidade do som que ele produz. Muitos instrumentos musicais são dotados de caixas de ressonância para amplificar os sons produzidos. É o caso do violão, do violino, do piano e de outros instrumentos musicais. Nas guitarras elétricas, por exemplo, o som é amplificado eletronicamente, e não por uma caixa de ressonância.

LUIGI LEPORI/ACERVO DO ARTISTA

Figura 14. Diapasão, caixa de ressonância e martelo de percussão.

Ressonância

Ressonância é um fenômeno oscilatório que ocorre quando um sistema físico recebe energia periodicamente de uma fonte externa, com uma frequência igual a uma de suas frequências naturais de vibração. A fonte externa pode ser um segundo sistema físico que tenha uma frequência de vibração igual à do primeiro. Esse é um fenômeno que pode ocorrer com praticamente qualquer sistema físico.

Um exemplo do fenômeno de ressonância é o balanço nos *playgrounds*. Um balanço assemelha-se a um **pêndulo simples**, que consiste em uma massa presa a um fio inextensível de comprimento *L*, que tem sua outra extremidade presa a um ponto fixo (Fig. 15A). O pêndulo simples possui uma única frequência natural de oscilação:

$$f = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{g}{L}}$$

A criança no balanço, mesmo sem tocar o chão com os pés, pode fazer o balanço oscilar e atingir grandes amplitudes. Para isso, ela só precisa começar a movimentar as pernas para a frente e para trás, com frequência igual à frequência natural de oscilação do balanço (Fig. 15B). Por causa da ressonância, a energia da criança vai pouco a pouco se transferindo para o balanço, aumentando gradativamente sua amplitude de oscilação.

ADILSON SECCO/ARQUIVO DA EDITORA

Figura 15. Representações esquemáticas de (A) um pêndulo simples em movimento e de (B) uma criança em um balanço de um *playground*.

Em um violão, ou em outro instrumento de corda dotado de caixa de ressonância, a vibração da corda provoca a vibração do ar contido na caixa por ressonância. Com isso, a intensidade do som aumenta (amplificação do som) e ele pode ser ouvido. A própria estrutura da caixa de ressonância também vibra (Fig. 16).

Uma guitarra elétrica, por outro lado, não possui caixa de ressonância e, por esse motivo, o som precisa ser amplificado eletronicamente para ser ouvido.

DIOMEDES SILVEIRA/ARQUIVO DA EDITORA

Figura 16. Modo de vibração da caixa de ressonância de um violão.

Atividade em grupo

A história dos instrumentos musicais no Brasil reflete a diversidade cultural do país. Cada região possui instrumentos típicos, como o maracá no Norte, a zabumba no Nordeste, a viola de cocho no Centro-Oeste, a cuíca no Sudeste e a gaita ponto no Sul. Esses instrumentos não só produzem sons únicos, como também carregam histórias e tradições locais. Por meio da análise desses instrumentos, é possível explorar como a forma, o tamanho e os materiais influenciam o som que produzem e entender a relação entre a física do som e a cultura regional.

Em grupos de 3 a 4 estudantes, pesquisem a origem e o uso de um desses instrumentos, investiguem as características físicas e o tipo de som produzido. Cada grupo deve fazer uma apresentação detalhando o instrumento escolhido, suas características e a conexão entre a física do som e o funcionamento do instrumento.

233

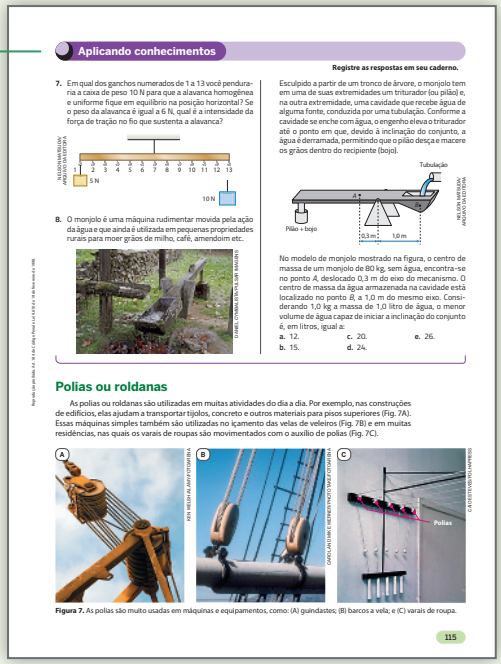
Atividade em grupo

Atividades que estimulam o trabalho em grupo e favorecem o desenvolvimento de habilidades de pesquisa, argumentação, comunicação etc.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Aplicando conhecimentos

Atividades ao longo do capítulo para verificação e assimilação de conceitos trabalhados.



Aplicando conhecimentos

Registre as respostas em seu caderno.

7. Em qual dos ganchos numerados de 1 a 13 você pendura-ria a caixa de peso 10 N para que a alavanca homogênea e uniforme fique em equilíbrio na posição horizontal? Se o peso da alavanca é igual a 6 N, qual é a intensidade da força de tração no fio que sustenta a alavanca?

8. O monjolo é uma máquina rudimentar movida pela ação da água e que ainda é utilizada em pequenas propriedades rurais para moer grãos de milho, café, amendoim etc.

Esculpido a partir de um tronco de árvore, o monjolo tem em uma de suas extremidades um triturador (ou pilão) e, na outra extremidade, uma cavidade que recebe água de alguma fonte, conduzida por uma tubulação. Conforme a cavidade se enche com água, o engenho eleva o triturador até o ponto em que, devido à inclinação do conjunto, a água é derramada, permitindo que o pilão desça e macere os grãos dentro do recipiente (bojo).

No modelo de monjolo mostrado na figura, o centro de massa de um monjolo de 80 kg, sem água, encontra-se no ponto *A*, deslocado 0,3 m do eixo do mecanismo. O centro de massa da água armazenada na cavidade está localizado no ponto *B*, a 1,0 m do mesmo eixo. Consi-derando 1,0 kg a massa de 1,0 litro de água, o menor volume de água capaz de iniciar a inclinação do conjunto é, em litros, igual a:

a. 12. c. 20. e. 26.
b. 15. d. 24.

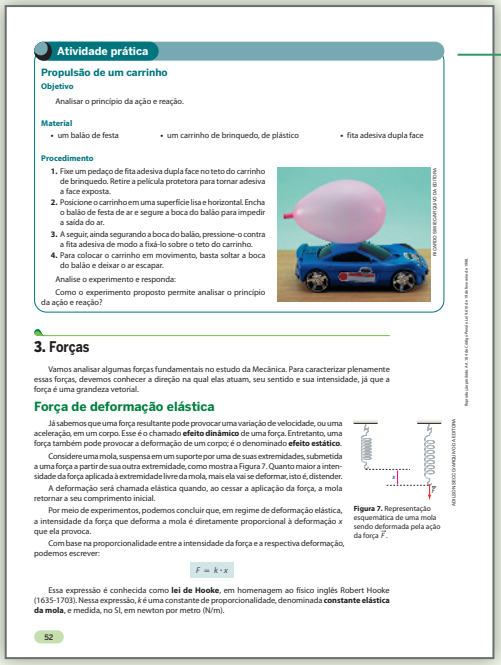
Polias ou roldanas

As polias ou roldanas são utilizadas em muitas atividades do dia a dia. Por exemplo, nas construções de edifícios, elas ajudam a transportar tijolos, concreto e outros materiais para pisos superiores (Fig. 7A). Essas máquinas simples também são utilizadas no içamento das velas de veleiros (Fig. 7B) e em muitas residências, nas quais os varais de roupas são movimentados com o auxílio de polias (Fig. 7C).

Figura 7. As polias são muito usadas em máquinas e equipamentos, como: (A) guindastes; (B) barcos a vela; e (C) varais de roupa.

115

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.



Atividade prática

Propulsão de um carrinho

Objetivo

Analisar o princípio da ação e reação.

Material

- um balão de festa
- um carrinho de brinquedo, de plástico
- fita adesiva dupla face

Procedimento

1. Fixe um pedaço de fita adesiva dupla face no teto do carrinho de brinquedo. Retire a película protetora para tornar adesiva a face exposta.
2. Posicione o carrinho em uma superfície lisa e horizontal. Encha o balão de festa de ar e segure a boca do balão para impedir a saída do ar.
3. A seguir, ainda segurando a boca do balão, pressione-o contra a fita adesiva de modo a fixá-lo sobre o teto do carrinho.
4. Para colocar o carrinho em movimento, basta soltar a boca do balão e deixar o ar escapar.

Analise o experimento e responda:

Como o experimento proposto permite analisar o princípio da ação e reação?

3. Forças

Vamos analisar algumas forças fundamentais no estudo da Mecânica. Para caracterizar plenamente essas forças, devemos conhecer a direção na qual elas atuam, seu sentido e sua intensidade, já que a força é uma grandeza vetorial.

Força de deformação elástica

Já sabemos que uma força resultante pode provocar uma variação de velocidade, ou uma aceleração, em um corpo. Esse é o chamado **efeito dinâmico** de uma força. Entretanto, uma força também pode provocar a deformação de um corpo; é o denominado **efeito estático**.

Considere uma mola, suspensa em um suporte por uma de suas extremidades, submetida a uma força a partir de sua outra extremidade, como mostra a Figura 7. Quanto maior a inten-sidade da força aplicada à extremidade livre da mola, mais ela vai se deformar, isto é, distender.

A deformação será chamada elástica quando, ao cessar a aplicação da força, a mola retornar a seu comprimento inicial.

Por meio de experimentos, podemos concluir que, em regime de deformação elástica, a intensidade da força que deforma a mola é diretamente proporcional à deformação x que ela provoca.

Com base na proporcionalidade entre a intensidade da força e a respectiva deformação, podemos escrever:

$$F = k \cdot x$$

Essa expressão é conhecida como **lei de Hooke**, em homenagem ao físico inglês Robert Hooke (1635-1703). Nessa expressão, k é uma constante de proporcionalidade, denominada **constante elástica da mola**, e medida, no SI, em newton por metro (N/m).

Figura 7. Representação esquemática de uma mola sendo deformada pela ação da força $\vec{F}$.

52

Atividade prática

Atividades práticas que buscam abordar aspectos das Ciências da Natureza como observação, investigação e formulação de hipóteses.

MUNDO DO TRABALHO

Trabalho, emprego, carreira

Quando estudamos, esperamos que o conhecimento adquirido durante os anos escolares se traduza em competências e capacidade para desenvolver uma atividade profissional. Como o trabalho exige um bom tempo de dedicação, é importante escolher uma atividade com a qual se identifique, seja pela natureza dos conceitos que ela mobiliza ou pela importância social, re-presentando mais do que uma fonte de renda. É possível desenvolver um trabalho que atenda a preferências, como trabalhar em conjunto ou isoladamente, em ambientes fechados ou abertos, com ou sem horários fixos.

Pessoas envolvidas em atividades agropecuárias podem trabalhar grande parte da jornada diária em áreas abertas. (Barcelona, Espanha, 2020.)

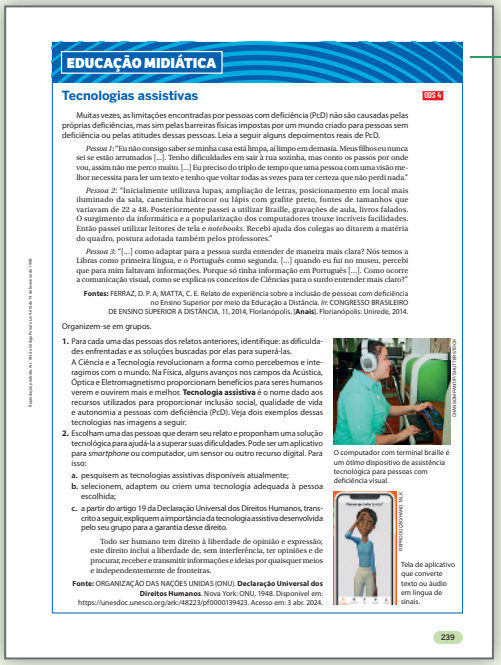
Quando uma atividade profissional atende nossas preferências, nos possibilita realizar objetivos e exige características que acreditamos ter, somos capazes de desenvolvê-la bem e executá-la com prazer. Essas decisões podem levar um tempo e podem até mudar durante a vida. Lembre-se: as escolhas não são definitivas e podem ser modificadas ao longo do percurso! Indivíduos com carreiras sólidas podem passar por muitos empregos, de naturezas diferentes, e isso enriquece suas experiências.

1. Algumas atividades são típicas de determinada área de conhecimento estudada na escola, en-quanto há outras atividades que englobam mais de uma área. Você já identificou se tem mais afinidade com a área de Linguagens, Matemática, Ciências Humanas ou Ciências da Natureza? Você acha que tem afinidade com mais de uma área? Compartilhe suas impressões.
2. Pensar em suas potencialidades, preferências, limitações, tudo isso faz parte do autoconhecimento. Com essas informações preciosas sobre si mesmo, reflita: como você gostaria de desenvolver uma atividade profissional?
3. Na sua opinião, qual é a distinção entre os conceitos de emprego, trabalho e carreira?
4. Você já considerou conversar sobre carreira com algum parente próximo, com seus professores ou com alguém cuja trajetória você admira? Se já fez isso, como essa conversa ajudou você a pensar sobre seu projeto de vida? Se não fez, o que você perguntaria quanto à rotina dos profissionais da área, sobre as condições de trabalho e a remuneração?

149

Mundo do trabalho

Propostas de leitura, reflexão e discussão acerca de contextos envolvendo perspectivas e possibilidades profissionais.



EDUCAÇÃO MIDIÁTICA

Tecnologias assistivas

ODS 4

Muitas vezes, as limitações encontradas por pessoas com deficiência (PcD) não são causadas pelas próprias deficiências, mas sim pelas barreiras físicas impostas por um mundo criado para pessoas sem deficiência ou pelas atitudes dessas pessoas. Leia a seguir alguns depoimentos reais de PcD.

Pessoa 1: "Eu não consigo saber se minha casa está limpa, al limpo em demasia. Meus filhos eu nunca sei se estão arrumados [...]. Tenho dificuldades em sair à rua sozinha, mas conto os passos por onde vou, assim não me perco muito. [...] Eu preciso do triplo de tempo que uma pessoa com uma visão melhor necessita para ler um texto e tenho que voltar todas as vezes para ter certeza que não perdi nada."

Pessoa 2: "Inicialmente utilizava lupas, ampliação de letras, posicionamento em local mais iluminado da sala, canetinha hidrocor ou lápis com grafite preto, fontes de tamanhos que variavam de 22 a 48. Posteriormente passei a utilizar Braille, gravações de aula, livros falados. O surgimento da informática e a popularização dos computadores trouxe incríveis facilidades. Então passei utilizar leitores de tela e *notebooks*. Recebi ajuda dos colegas ao ditarem a matéria do quadro, postura adotada também pelos professores."

Pessoa 3: "[...] como adaptar para a pessoa surda entender de maneira mais clara? Nós temos a Libras como primeira língua, e o Português como segunda. [...] quando eu fui no museu, percebi que para mim faltavam informações. Porque só tinha informação em Português [...]. Como ocorre a comunicação visual, como se explica os conceitos de Ciências para o surdo entender mais claro?"

Fontes: FERRAZ, D. P. A; MATTA, C. E. Relato de experiência sobre a inclusão de pessoas com deficiência no Ensino Superior por meio da Educação a Distância. *In*: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENSINO SUPERIOR A DISTÂNCIA, 11, 2014, Florianópolis. [**Anais**]. Florianópolis: Unirede, 2014.

Organizem-se em grupos.

1. Para cada uma das pessoas dos relatos anteriores, identifique: as dificuldades enfrentadas e as soluções buscadas por elas para superá-las.
   A Ciência e a Tecnologia revolucionam a forma como percebemos e interagimos com o mundo. Na Física, alguns avanços nos campos da Acústica, Óptica e Eletromagnetismo proporcionam benefícios para seres humanos verem e ouvirem mais e melhor. **Tecnologia assistiva** é o nome dado aos recursos utilizados para proporcionar inclusão social, qualidade de vida e autonomia a pessoas com deficiência (PcD). Veja dois exemplos dessas tecnologias nas imagens a seguir.
2. Escolham uma das pessoas que deram seu relato e proponham uma solução tecnológica para ajudá-la a superar suas dificuldades. Pode ser um aplicativo para *smartphone* ou computador, um sensor ou outro recurso digital. Para isso:
   a. pesquisem as tecnologias assistivas disponíveis atualmente;
   b. selecionem, adaptem ou criem uma tecnologia adequada à pessoa escolhida;
   c. a partir do artigo 19 da Declaração Universal dos Direitos Humanos, transcrito a seguir, expliquem a importância da tecnologia assistiva desenvolvida pelo seu grupo para a garantia desse direito.

> Todo ser humano tem direito à liberdade de opinião e expressão; este direito inclui a liberdade de, sem interferência, ter opiniões e de procurar, receber e transmitir informações e ideias por quaisquer meios e independentemente de fronteiras.

Fonte: ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS (ONU). **Declaração Universal dos Direitos Humanos**. Nova York: ONU, 1948. Disponível em: https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000139423. Acesso em: 3 abr. 2024.

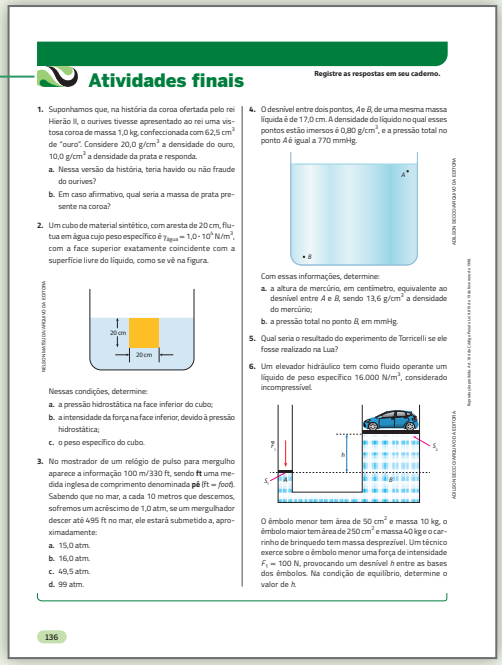
O computador com terminal braille é um ótimo dispositivo de assistência tecnológica para pessoas com deficiência visual.

Tela de aplicativo que converte texto ou áudio em língua de sinais.

239

Educação midiática

Propostas de estudo e reflexão sobre a veiculação de informações em diferentes mídias.



Atividades finais

Registre as respostas em seu caderno.

1. Suponhamos que, na história da coroa ofertada pelo rei Hierão II, o ourives tivesse apresentado ao rei uma vistosa coroa de massa 1,0 kg, confeccionada com 62,5 cm^3 de "ouro". Considere 20,0 g/cm^3 a densidade do ouro, 10,0 g/cm^3 a densidade da prata e responda.
   a. Nessa versão da história, teria havido ou não fraude do ourives?
   b. Em caso afirmativo, qual seria a massa de prata presente na coroa?
2. Um cubo de material sintético, com aresta de 20 cm, flutua em água cujo peso específico é $\gamma_{água} = 1{,}0 \cdot 10^4$ N/m^3, com a face superior exatamente coincidente com a superfície livre do líquido, como se vê na figura.

Nessas condições, determine:
   a. a pressão hidrostática na face inferior do cubo;
   b. a intensidade da força na face inferior, devido à pressão hidrostática;
   c. o peso específico do cubo.
3. No mostrador de um relógio de pulso para mergulho aparece a informação 100 m/330 ft, sendo **ft** uma medida inglesa de comprimento denominada **pé** (ft ~ *foot*). Sabendo que no mar, a cada 10 metros que descemos, sofremos um acréscimo de 1,0 atm, se um mergulhador descer até 495 ft no mar, ele estará submetido a, aproximadamente:
   a. 15,0 atm.
   b. 16,0 atm.
   c. 49,5 atm.
   d. 99 atm.
4. O desnível entre dois pontos, *A* e *B*, de uma mesma massa líquida é de 17,0 cm. A densidade do líquido no qual esses pontos estão imersos é 0,80 g/cm^3, e a pressão total no ponto *A* é igual a 770 mmHg.

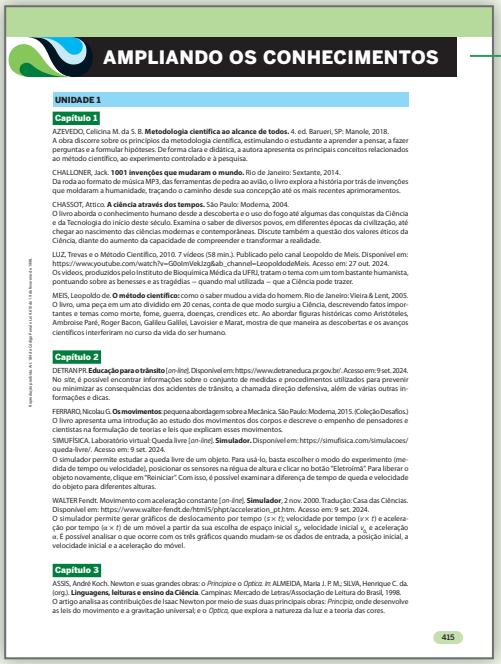
Com essas informações, determine:
   a. a altura de mercúrio, em centímetro, equivalente ao desnível entre *A* e *B*, sendo 13,6 g/cm^3 a densidade do mercúrio;
   b. a pressão total no ponto *B*, em mmHg.
5. Qual seria o resultado do experimento de Torricelli se ele fosse realizado na Lua?
6. Um elevador hidráulico tem como fluido operante um líquido de peso específico 16.000 N/m^3, considerado incompressível.

O êmbolo menor tem área de 50 cm^2 e massa 10 kg, o êmbolo maior tem área de 250 cm^2 e massa 40 kg e o carrinho de brinquedo tem massa desprezível. Um técnico exerce sobre o êmbolo menor uma força de intensidade $F_1 = 100$ N, provocando um desnível *h* entre as bases dos êmbolos. Na condição de equilíbrio, determine o valor de *h*.

136

Atividades finais

Atividades autorais, dos principais vestibulares e do Enem que exploram assuntos abordados no capítulo.



AMPLIANDO OS CONHECIMENTOS

UNIDADE 1

Capítulo 1

AZEVEDO, Celicina M. da S. B. **Metodologia científica ao alcance de todos.** 4. ed. Barueri, SP: Manole, 2018.
A obra discorre sobre os princípios da metodologia científica, estimulando o estudante a aprender a pensar, a fazer perguntas e a formular hipóteses. De forma clara e didática, a autora apresenta os principais conceitos relacionados ao método científico, ao experimento controlado e à pesquisa.

CHALLONER, Jack. **1001 invenções que mudaram o mundo.** Rio de Janeiro: Sextante, 2014.
Da roda ao formato de música MP3, das ferramentas de pedra ao avião, o livro explora a história por trás de invenções que moldaram a humanidade, traçando o caminho desde sua concepção até os mais recentes aprimoramentos.

CHASSOT, Attico. **A ciência através dos tempos.** São Paulo: Moderna, 2004.
O livro aborda o conhecimento humano desde a descoberta e o uso do fogo até algumas das conquistas da Ciência e da Tecnologia do início deste século. Examina o saber de diversos povos, em diferentes épocas da civilização, até chegar ao nascimento das ciências modernas e contemporâneas. Discute também a questão dos valores éticos da Ciência, diante do aumento da capacidade de compreender e transformar a realidade.

LUZ, Trevas e o Método Científico, 2010. 7 vídeos (58 min.). Publicado pelo canal Leopoldo de Meis. Disponível em: https://www.youtube.com/watch?v=G0olmVekJzg&ab_channel=LeopoldodeMeis. Acesso em: 27 out. 2024.
Os vídeos, produzidos pelo Instituto de Bioquímica Médica da UFRJ, tratam o tema com um tom bastante humanista, pontuando sobre as benesses e as tragédias – quando mal utilizada – que a Ciência pode trazer.

MEIS, Leopoldo de. **O método científico:** como o saber mudou a vida do homem. Rio de Janeiro: Vieira & Lent, 2005.
O livro, uma peça em um ato dividido em 20 cenas, conta de que modo surgiu a Ciência, descrevendo fatos importantes e temas como morte, fome, guerra, doenças, crendices etc. Ao abordar figuras históricas como Aristóteles, Ambroise Paré, Roger Bacon, Galileu Galilei, Lavoisier e Marat, mostra de que maneira as descobertas e os avanços científicos interferiram no curso da vida do ser humano.

Capítulo 2

DETRAN PR. **Educação para o trânsito** [*on-line*]. Disponível em: https://www.detraneduca.pr.gov.br/. Acesso em: 9 set. 2024.
No site, é possível encontrar informações sobre o conjunto de medidas e procedimentos utilizados para prevenir ou minimizar as consequências dos acidentes de trânsito, a chamada direção defensiva, além de várias outras informações e dicas.

FERRARO, Nicolau G. **Os movimentos**: pequena abordagem sobre a Mecânica. São Paulo: Moderna, 2015. (Coleção Desafios.)
O livro apresenta uma introdução ao estudo dos movimentos dos corpos e descreve o empenho de pensadores e cientistas na formulação de teorias e leis que explicam esses movimentos.

SIMUFÍSICA. Laboratório virtual: Queda livre [*on-line*]. **Simulador.** Disponível em: https://simufisica.com/simulacoes/queda-livre/. Acesso em: 9 set. 2024.
O simulador permite estudar a queda livre de um objeto. Para usá-lo, basta escolher o modo do experimento (medida de tempo ou velocidade), posicionar os sensores na régua de altura e clicar no botão "Eletrolmã". Para liberar o objeto novamente, clique em "Reiniciar". Com isso, é possível examinar a diferença de tempo de queda e velocidade do objeto para diferentes alturas.

WALTER Fendt: Movimento com aceleração constante [*on-line*]. **Simulador**, 2 nov. 2000. Tradução: Casa das Ciências. Disponível em: https://www.walter-fendt.de/html5/phpt/acceleration_pt.htm. Acesso em: 9 set. 2024.
O simulador permite gerar gráficos de deslocamento por tempo ($s \times t$); velocidade por tempo ($v \times t$) e aceleração por tempo ($a \times t$) de um móvel a partir da sua escolha de espaço inicial s_0, velocidade inicial v_0 e aceleração *a*. É possível analisar o que ocorre com os três gráficos quando mudam-se os dados de entrada, a posição inicial, a velocidade inicial e a aceleração do móvel.

Capítulo 3

ASSIS, André Koch. Newton e suas grandes obras: o *Principia* e o *Óptica*. *In*: ALMEIDA, Maria J. P. M.; SILVA, Henrique C. da. (org.). **Linguagens, leituras e ensino da Ciência**. Campinas: Mercado de Letras/Associação de Leitura do Brasil, 1998.
O artigo analisa as contribuições de Isaac Newton por meio de suas duas principais obras: *Principia*, onde desenvolve as leis do movimento e a gravitação universal; e o *Óptica*, que explora a natureza da luz e a teoria das cores.

415

Ampliando os conhecimentos

Sugestões diversificadas de pesquisas, visitas, uso da tecnologia e leituras.

ODS — Indica conteúdos e atividades que se relacionam com os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável.

TCT — Indica conteúdos e atividades relacionados aos Temas Contemporâneos Transversais.

OBJETO DIGITAL — Indica recursos disponíveis no livro digital.

Indica atenção e cuidados em algumas situações de atividades práticas.

0,18 µm — A barra de escala indica a proporção entre o tamanho real da estrutura mostrada e o tamanho na imagem do livro.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

OBJETIVOS DE DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL

Você já ouviu falar da **Agenda 2030**? Em 2015, a Organização das Nações Unidas (ONU) lançou os **Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS)**, com metas desafiadoras para acabar com a pobreza até 2030 e buscar um futuro sustentável para todos. Esses objetivos formam a base da chamada Agenda 2030.

Os 193 países que assinaram o documento, incluindo o Brasil, comprometeram-se a implementar esse plano de ação global, que envolve governos, empresas, instituições e sociedade civil. O monitoramento e a avaliação da agenda são fundamentais nos níveis global, nacional e regional, exigindo cooperação e engajamento de todos os setores da sociedade.

A seguir, apresentamos os 17 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável.

ODS 1

ERRADICAÇÃO DA POBREZA

Acabar com a pobreza em todas as formas e em todos os lugares.

ODS 2

FOME ZERO E AGRICULTURA SUSTENTÁVEL

Erradicar a fome, alcançar a segurança alimentar, melhorar a nutrição e promover a agricultura sustentável.

ODS 3

SAÚDE E BEM-ESTAR

Garantir o acesso à saúde de qualidade e promover o bem-estar para todos, em todas as idades.

ODS 4

EDUCAÇÃO DE QUALIDADE

Garantir educação inclusiva, de qualidade e equitativa, promovendo aprendizado contínuo para todos.

ODS 5

IGUALDADE DE GÊNERO

Alcançar a igualdade de gênero e empoderar todas as mulheres e meninas.

ODS 6

ÁGUA POTÁVEL E SANEAMENTO

Garantir a disponibilidade e a gestão sustentável da água potável e do saneamento para todos.

ODS 7

ENERGIA LIMPA E ACESSÍVEL

Garantir o acesso a fontes de energia confiáveis, sustentáveis e modernas para todos.

ODS 8

TRABALHO DECENTE E CRESCIMENTO ECONÔMICO

Promover crescimento econômico inclusivo e sustentável, com emprego pleno e trabalho digno para todos.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

RELEITURA DOS ÍCONES DA ONU POR VINICIUS ROSSIGNOL FELIPE

ODS 9

INDÚSTRIA, INOVAÇÃO E INFRAESTRUTURA

Construir infraestruturas resilientes, promover a industrialização inclusiva e sustentável e fomentar a inovação.

ODS 10

REDUÇÃO DAS DESIGUALDADES

Reduzir as desigualdades no interior dos países e entre países.

ODS 11

CIDADES E COMUNIDADES SUSTENTÁVEIS

Tornar as cidades e comunidades mais inclusivas, seguras, resilientes e sustentáveis.

ODS 12

CONSUMO E PRODUÇÃO RESPONSÁVEIS

Garantir padrões de consumo e de produção sustentáveis.

ODS 13

AÇÃO CONTRA A MUDANÇA GLOBAL DO CLIMA

Adotar medidas urgentes para combater as alterações climáticas e os seus impactos.

ODS 14

VIDA NA ÁGUA

Conservar e usar de forma responsável os oceanos, os mares e os recursos marinhos para o desenvolvimento sustentável.

ODS 15

VIDA TERRESTRE

Proteger, restaurar e promover o uso sustentável dos ecossistemas terrestres, gerindo florestas, combatendo a desertificação, revertendo a degradação dos solos e preservando a biodiversidade.

ODS 16

PAZ, JUSTIÇA E INSTITUIÇÕES EFICAZES

Promover sociedades pacíficas e inclusivas para o desenvolvimento sustentável, garantindo o acesso à justiça e construindo instituições eficazes e responsáveis em todos os níveis.

ODS 17

PARCERIAS E MEIOS DE IMPLEMENTAÇÃO

Reforçar os meios de implementação e revitalizar a parceria global para o desenvolvimento sustentável.

Fonte: ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS. **Sobre o nosso trabalho para alcançar os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável no Brasil**. Disponível em: https://brasil.un.org/pt-br/sdgs. Acesso em: 22 set. 2024.

Neste livro, você encontrará indicações dos ODS quando houver propostas, temas ou conceitos com os quais eles podem estar relacionados.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

RELEITURA DOS ÍCONES DA ONU POR VINICIUS ROSSIGNOL FELIPE

SUMÁRIO

UNIDADE 1 MECÂNICA 13

CAPÍTULO 1 O conhecimento científico, as Ciências da Natureza e a Física 13
1. Fundamentos do pensamento científico 14
- Em destaque Ciência no cotidiano 14
2. O método científico 15
3. A Física 17
- MUNDO DO TRABALHO O passado e o futuro do trabalho 17
4. Sistema Internacional de Unidades (SI) 18
5. Prefixos do SI 20
6. Representações gráficas 22
- Em destaque Dados sobre as mulheres no Brasil 23
- ESTRATÉGIA DE ESTUDO 25
- Atividades finais 25

CAPÍTULO 2 Cinemática 26
1. Espaço, referencial, velocidade e aceleração 27
- Em destaque Velocidade máxima de deslocamento 30
2. Cinemática dos movimentos uniforme e uniformemente variado 32
3. Grandezas escalares e grandezas vetoriais 37
4. Movimentos bidimensionais sob a ação da gravidade 41
- Em destaque Esportes indígenas 42
- Atividades finais 43

CAPÍTULO 3 Força e movimento 45
1. Conceito de força 46
2. As leis de Newton 47
- Em destaque Inércia e as leis de trânsito 49
- Atividade prática Propulsão de um carrinho 52
3. Forças 52
- EDUCAÇÃO MIDIÁTICA Ciência e pseudociência: fatos ou falsas alegações? 53
4. Força resultante centrípeta 56
- Atividades finais 60

CAPÍTULO 4 Quantidade de movimento e impulso 61
1. Um pouco de história 62
2. Quantidade de movimento 62
3. Princípio da conservação da quantidade de movimento 63
4. Impulso de uma força constante e variação da quantidade de movimento 66
5. Choques mecânicos 69
- ESTRATÉGIA DE ESTUDO 73
- Atividades finais 73

CAPÍTULO 5 Trabalho e energia 74
1. As várias formas de energia 75
- Atividade prática Transformando energias 76
2. Trabalho de uma força 77
3. Trabalho e energia 79
4. A conservação da energia 82
5. Energia mecânica 83
6. Potência 85
- Em destaque 100 metros em menos de 10 segundos 86
- EDUCAÇÃO MIDIÁTICA Vale tudo pela visualização? 88
- Atividades finais 89

CAPÍTULO 6 Gravitação universal 91
1. Uma breve história dos modelos cosmológicos 92
- Em destaque Mitos e cosmologias indígenas 94
2. Leis de Kepler dos movimentos planetários 94
- Atividade prática Construindo uma órbita 95
- Em destaque Plutão em foco 99
3. Lei da gravitação universal (ou lei da atração das massas) 100
- MUNDO DO TRABALHO Astronauta (ainda) é uma profissão do futuro? 104
- ESTRATÉGIA DE ESTUDO 104
- Atividades finais 105

CAPÍTULO 7 Estática e máquinas simples 106
1. Ponto material (ou partícula) e corpo extenso 107
2. Equilíbrio de um ponto material 107
- Em destaque Equilibrando a lata na cabeça 108
3. Momento polar ou torque de uma força 109
- Em destaque Violência contra a mulher e defesa pessoal 111
4. Equilíbrio de um corpo extenso 112
5. Máquinas simples 113
6. Transmissão de movimentos circulares 118
- Atividades finais 121

CAPÍTULO 8 Hidrostática 123
1. Conceito de fluido 124
2. O que diz a história 124
3. Conceito de densidade volumétrica 126
4. Princípio de Arquimedes 127
- Atividade prática Investigando o empuxo 128
5. Conceito de pressão 129
6. Princípio de Stevin 130
7. Pressão atmosférica 132
8. Princípio de Pascal 133
- Atividades finais 136

UNIDADE 2 TERMOLOGIA – ONDAS – ÓPTICA GEOMÉTRICA 137

CAPÍTULO 9 Termometria e dilatometria 137
1. Temperatura e suas escalas 138
- Em destaque Febre 139
2. Escala absoluta Kelvin 140
3. Dilatação térmica dos sólidos 141

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

- **Atividade prática** Lâmina bimetálica ... 145
4. Comportamento térmico dos líquidos ... 146
5. Comportamento anômalo da água ... 147
- **MUNDO DO TRABALHO** Trabalho, emprego, carreira ... 149
- **Atividades finais** ... 150

CAPÍTULO 10 Energia térmica ... 151
1. Calor: energia térmica em trânsito ... 152
2. Energia para a vida e energia dos alimentos ... 153
3. Curvas de aquecimento e de resfriamento ... 154
4. Ciclo da água ... 155
5. Trocas de calor ... 156
6. Princípio geral das trocas de calor ... 161
- **Atividades finais** ... 162

CAPÍTULO 11 Transmissão de calor ... 163
1. Fluxo de calor ... 164
2. Condução térmica ... 164
3. Convecção térmica ... 166
4. Irradiação térmica ... 168
- **Em destaque** Uso do fogo pelos povos indígenas do Cerrado ... 168
- **EDUCAÇÃO MIDIÁTICA** Visualização de dados: criação e leitura de gráficos ... 171
- **ESTRATÉGIA DE ESTUDO** ... 173
- **Atividades finais** ... 173

CAPÍTULO 12 Estudo dos gases ideais ... 175
1. Comportamento térmico dos gases ideais ... 176
2. Mol, número de mols e massa molar ... 176
3. Variáveis de estado de um gás ideal ... 177
4. Equação de estado de um gás perfeito ... 177
5. Lei geral dos gases perfeitos ... 178
- **Em destaque** Respirar para relaxar ... 178
- **Em destaque** Descompressão na ficção científica ... 180
6. Transformações gasosas ... 181
- **Atividade prática** Amassar sem apertar ... 182
- **Atividades finais** ... 186

CAPÍTULO 13 Termodinâmica ... 187
1. Origem da Termodinâmica ... 188
2. Troca de trabalho entre um gás e o meio ... 191
3. Calor trocado entre um gás e o meio ... 193
4. Energia interna de um gás ideal ... 193
5. Primeira lei da Termodinâmica ... 194
6. Trocas de energia nas transformações gasosas particulares ... 195
7. Máquinas térmicas ... 196
8. Segunda lei da Termodinâmica ... 197
9. Rendimento de uma máquina térmica ... 198
10. Máquina frigorífica ou refrigerador ... 198
11. Máquina de Carnot ... 200
12. Irreversibilidade dos processos naturais ... 201
- **ESTRATÉGIA DE ESTUDO** ... 202
- **Atividades finais** ... 202

CAPÍTULO 14 Ondas e energia ... 204
1. Conceito de onda ... 205
2. Ondas e energia ... 205
3. Classificação das ondas quanto à sua natureza ... 207
4. Classificação das ondas quanto aos modos de vibração ... 208
5. Características físicas de uma onda ... 209
6. Fenômenos ondulatórios ... 212
- **MUNDO DO TRABALHO** Classificação Brasileira de Ocupações ... 220
- **Atividades finais** ... 221

CAPÍTULO 15 Acústica ... 222
1. Som, infrassom e ultrassom ... 223
2. Características da propagação sonora ... 224
- **Atividade prática** Transmitindo sons ... 225
3. Qualidades fisiológicas do som ... 226
4. Efeito Doppler-Fizeau ... 230
5. Sons musicais ... 232
- **EDUCAÇÃO MIDIÁTICA** Tecnologias assistivas ... 239
- **Em destaque** Sonar para vigilância urbana ... 240
- **Atividades finais** ... 241

CAPÍTULO 16 Óptica Geométrica ... 243
1. Introdução ... 244
2. Propagação retilínea da luz ... 244
- **Atividade prática** Medir sombras para conhecer a altura ... 245
3. As cores de um corpo ... 247
4. Imagens em um espelho plano ... 247
5. Espelhos esféricos ... 249
- **Em destaque** Espelhos esféricos e parabólicos ... 251
6. Refração da luz ... 252
7. Reflexão total ... 254
8. Dispersão da luz ... 255
9. Lentes esféricas ... 256
10. Instrumentos ópticos ... 259
11. Óptica da visão ... 260
- **ESTRATÉGIA DE ESTUDO** ... 261
- **Atividades finais** ... 261

UNIDADE 3 ELETROMAGNETISMO – FÍSICA CONTEMPORÂNEA ... 263

CAPÍTULO 17 Eletricidade estática ... 263
1. Eletricidade estática ... 264
2. Lei de Coulomb ... 271
3. Campo elétrico ... 272
- **Atividades finais** ... 276

CAPÍTULO 18 Corrente elétrica e circuitos elétricos ... 277
1. Corrente elétrica ... 278
2. Resistência elétrica ... 279
3. Tensão elétrica ... 280
- **Em destaque** Nova espécie de peixe-elétrico ... 280
4. Lâmpada elétrica por incandescência ... 281
5. Potência elétrica ... 282
6. Resistores ... 283
7. Primeira lei de Ohm ... 283
8. Segunda lei de Ohm ... 284
9. Potência elétrica dissipada por um resistor ... 285
10. Circuitos elétricos ... 286
11. Associações de resistores ... 288

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

12. "Relógio de luz" ... 291
13. Circuito elétrico nas residências ... 292
14. Geradores e receptores elétricos ... 293
■ ESTRATÉGIA DE ESTUDO ... 295
■ Atividades finais ... 296

CAPÍTULO 19 Eletromagnetismo ... 297
1. Ímãs ... 297
2. Campo magnético de um ímã ... 300
■ MUNDO DO TRABALHO Benefícios do trabalho em grupo ... 301
3. Campo magnético gerado por corrente elétrica ... 303
■ Atividade prática Experimento de Oersted ... 305
4. Força magnética ... 308
■ Atividades finais ... 313

CAPÍTULO 20 Indução eletromagnética ... 315
1. Indução eletromagnética ... 316
2. O experimento de Faraday ... 316
3. Fluxo magnético ... 317
4. Lei de Lenz – sentido da corrente elétrica induzida ... 319
5. Lei de Faraday ... 321
■ Em destaque Michael Faraday ... 322
■ Atividade prática Gerando corrente elétrica induzida ... 323
6. Aplicações da indução eletromagnética ... 324
■ EDUCAÇÃO MIDIÁTICA Cibersegurança: navegando seguro pelas ondas da rede ... 329
■ ESTRATÉGIA DE ESTUDO ... 331
■ Atividades finais ... 331

CAPÍTULO 21 Ondas eletromagnéticas ... 333
1. Introdução ... 334
2. Características das ondas eletromagnéticas ... 334
3. Espectro eletromagnético ... 336
■ EDUCAÇÃO MIDIÁTICA Diversidade e estereótipos na mídia e na inteligência artificial ... 338
■ Em destaque Sirius, o acelerador de elétrons brasileiro ... 344
■ Em destaque Marie Curie e o Primeiro Nobel Feminino ... 346
4. Potência e intensidade das ondas eletromagnéticas ... 347
■ Atividades finais ... 348

CAPÍTULO 22 Física Quântica, Física Nuclear e Nanotecnologia ... 349
1. A Física antes de 1900 ... 350
2. O surgimento da Física Quântica: emissão térmica de radiação e teoria quântica de Planck ... 350
3. Efeito fotoelétrico ... 352
4. Modelo atômico de Bohr ... 354
5. Dualidade onda-partícula ... 358
6. Princípio da incerteza ... 359
7. Noções de Física Nuclear ... 361
8. Lei do decaimento radioativo ... 362
9. Fissão e fusão nucleares ... 364
10. Nanotecnologia ... 366
■ Atividades finais ... 367

CAPÍTULO 23 Teoria da Relatividade, Astrofísica e Cosmologia ... 368
1. Introdução ... 369
2. Teoria especial da relatividade ... 369
3. Noções de relatividade geral ... 375
4. Interações fundamentais, partículas elementares e o modelo padrão ... 378
■ Em destaque César Lattes e a descoberta do méson pi ... 380
5. Princípios de Astrofísica ... 381
6. Princípios de Cosmologia ... 383
■ ESTRATÉGIA DE ESTUDO ... 385
■ Atividades finais ... 386

CAPÍTULO 24 Geração de energia, poluição ambiental e reciclagem ... 387
1. Introdução à questão energética ... 388
2. Energia no Brasil ... 389
3. Fontes alternativas de energia ... 390
■ Em destaque Comunidade Yanomami recebe *kits* de placas fotovoltaicas ... 391
■ MUNDO DO TRABALHO Revoluções industriais, produtos e ocupações ... 395
4. Poluição ambiental ... 396
5. Reciclagem ... 402
■ ESTRATÉGIA DE ESTUDO ... 406
■ Atividades finais ... 407

RESPOSTAS DE ATIVIDADES ... 409

AMPLIANDO OS CONHECIMENTOS ... 415

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS COMENTADAS ... 423

SUMÁRIO DOS OBJETOS DIGITAIS

Podcast: Preciso estudar Física? ... 17
Vídeo: Código de trânsito brasileiro ... 49
Mapa clicável: Sítios arqueológicos brasileiros ... 92
Carrossel de imagens: Máquinas simples no cotidiano ... 113
Infográfico clicável: Sistema de transmissão das bicicletas ... 120
Carrossel de imagens: O princípio de Pascal aplicado no cotidiano ... 133
Vídeo: Dilatação térmica ... 141
Vídeo: Mudanças climáticas ... 169
Carrossel de imagens: Gases em situações de emergência ... 176
Infográfico clicável: Pregas vocais e som ... 226
Podcast: Efeito Doppler nos radares meteorológicos ... 230
Podcast: Gauss: a lenda do menino prodígio ... 257
Infográfico clicável: Circuitos elétricos: em série e em paralelo ... 286
Infográfico clicável: Eletromagnetismo no cotidiano ... 297
Podcast: Hiroshima: da devastação ao símbolo da paz ... 364
Mapa clicável: Usinas elétricas no Brasil ... 389
Vídeo: *Smartphones*: produção e consumo ... 396

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

CAPÍTULO 1

O conhecimento científico, as Ciências da Natureza e a Física

VESNAART/SHUTTERSTOCK

Aparelho de ressonância magnética, importante ferramenta médica no diagnóstico precoce de doenças, tais como o acidente vascular cerebral (AVC) e esclerose múltipla, por exemplo. (Lviv, Ucrânia, 2003.)

As Ciências Naturais buscam explicar as interações dos componentes do mundo natural com base na observação sistemática e controlada dos fenômenos, tendo como fundamento o raciocínio lógico. O conhecimento científico do mundo tem possibilitado à humanidade compreender melhor as relações entre os seres vivos e o ambiente, ajudando a conectar o ser humano ao mundo que o cerca. Esse conhecimento tem aplicações que impactam a qualidade de vida do ser humano, como sofisticadas ferramentas de imagem na Medicina.

Para entender a importância das Ciências Naturais em nossa vida, é necessário conhecer a estruturação do pensamento científico e os métodos que os cientistas utilizam em seu trabalho. Além disso, também é preciso conhecer um pouco da história da ciência e ter informações sobre atualidades científicas relevantes para a humanidade.

Este capítulo apresenta os fundamentos do pensamento científico e um dos procedimentos mais utilizados pelos cientistas, conhecido como método hipotético-dedutivo, bem como exemplos de aplicação da metodologia científica e aspectos da comunicação entre cientistas. São apresentadas, ainda, as principais áreas do conhecimento científico da Física, o Sistema Internacional de Unidades (SI) e suas unidades de medida e as representações gráficas, uma ferramenta muito utilizada na Ciência.

O assunto deste capítulo também é trabalhado no capítulo 1 do volume de Biologia e no capítulo 1 do volume de Química desta coleção.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

1. Fundamentos do pensamento científico

Em linhas gerais, as Ciências Naturais têm por objetivo fornecer explicações para os fenômenos da natureza, empregando para isso procedimentos rigorosos de investigação. Essas explicações dos fenômenos da natureza têm por base a observação sistemática e controlada dos fenômenos, tendo como fundamento o raciocínio lógico. Além disso, o procedimento científico parte do princípio de que toda explicação sobre determinado fenômeno natural sempre deve ser submetida a testes e críticas de outros estudiosos.

Primeiro, os cientistas observam cuidadosamente os fatos. **Fato** pode ser um evento ou um processo do mundo natural, percebido objetivamente a partir de nossos sentidos ou com o auxílio de instrumentos que os expandem, como microscópios e telescópios. Com base na observação controlada e criteriosa de determinados fatos, os cientistas procuram entender se há relação entre eles e como e por que determinados fatos ocorrem.

O método utilizado pelos cientistas em sua atividade consiste em procedimentos lógicos, muitos dos quais são utilizados em nossa vida cotidiana para descobrir como as coisas funcionam e/ou por que elas acontecem. Quando observamos determinado acontecimento e temos um "palpite" sobre o motivo pelo qual ele está ocorrendo, em Ciência chamamos isso de **hipótese**.

Na linguagem cotidiana, o termo, hipótese, é muitas vezes utilizado como sinônimo de "teoria". Entretanto, há uma grande diferença entre esses dois conceitos. Hipótese é uma tentativa de explicar determinado fenômeno, enquanto **teoria** é uma ideia ampla, que já teve as hipóteses submetidas a testes e nela incluídas. Teoria é uma espécie de **modelo científico**, capaz de explicar coerentemente um conjunto de fenômenos da natureza. São as teorias que dão sentido lógico às nossas observações, e, com base nelas, elaboramos novas hipóteses sobre fatos observados. A teoria celular, por exemplo, tem por pressuposto que o fenômeno da vida ocorre exclusivamente no interior de células vivas. A teoria da gravitação universal de Newton explica os movimentos dos corpos celestes tendo por base a força de atração gravitacional.

Neste livro, você encontrará indicações dos Temas Contemporâneos Transversais (TCTs) quando forem trabalhados assuntos relacionados a eles.

Veja comentários sobre essa atividade no Suplemento para o professor.

Em destaque

CIÊNCIA E TECNOLOGIA

Ciência no cotidiano

"Estamos vivendo em uma época em que ciências com aplicações imediatas ou voltadas a resultados imediatos dão a tônica. Mas essa visão mais imediatista esquece de que a Ciência Básica é o alicerce do conhecimento em todas as áreas. Sem os relógios atômicos, não teríamos o GPS [da sigla em inglês Sistema de Posicionamento Global], [...]. Sem a invenção da *World Wide Web* (www), inventada no CERN [da sigla em francês para Organização Europeia para Pesquisa Nuclear] a partir da necessidade de colaboração global em experimentos físicos fundamentais, não teríamos a Internet. A descoberta básica de transistores e circuitos integrados levou ao desenvolvimento de nossos computadores, telefones celulares e muito do que nos cerca. A geração e armazenamento de energia renovável depende de avanços fundamentais na física, química e ciência dos materiais. E a ciência é indispensável na saúde: desde a descoberta do DNA [da sigla em inglês para ácido desoxirribonucleico], que revolucionou a medicina, até o combate à pandemia de covid-19, com o sequenciamento genético do vírus SARS-CoV-2 e consequente desenvolvimento de vacinas baseadas na molécula de RNA mensageiro (mRNA) [da sigla em inglês para ácido ribonucleico], temos descobertas que salvaram milhões de vidas. As ciências básicas são também muito relevantes nos estudos de comportamento humano, na dinâmica de cada indivíduo em nossa sociedade e nas economias local e global. As ciências humanas são fundamentais na construção de uma nova sociedade sustentável."

Fonte: FOGUEL, Débora; ARTAXO, Paulo. Ciência movida pela curiosidade: porque somos humanos! As ciências abriram caminho para descobertas fundamentais e revoluções tecnológicas que continuamente remodelam o mundo em que vivemos. **Ciência e Cultura** [*on-line*], v. 75, n. 2, São Paulo, abr./jul. 2023. Disponível em: http://dx.doi.org/10.5935/2317-6660.20230017. Acesso em: 29 jul. 2024.

Com base no texto, responda:

1. Quais foram os exemplos citados de resultados da Ciência que influenciam a sociedade?
2. Você já pensou sobre a importância da Ciência em sua vida? Forme um grupo para analisar e debater a influência do que foi citado no texto no estilo de vida do ser humano e seu impacto social e ambiental.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

2. O método científico

Cientistas são pessoas interessadas em fazer determinadas perguntas e obter respostas para elas de maneira organizada.

O trabalho científico pode ser dividido em duas áreas: **ciência pura** e **ciência aplicada**.

A ciência pura envolve o questionamento e a busca de respostas para a obtenção de novas teorias e previsões. Um cientista que se dedique às ciências puras busca respostas científicas para perguntas como: "Quais partículas constituem a matéria?" ou "Do que é feito o Universo?".

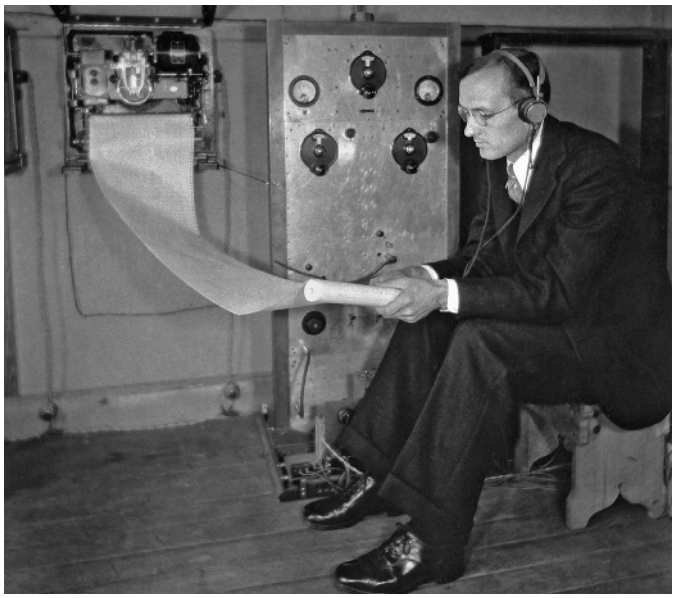
As ciências aplicadas usam conhecimentos provenientes das ciências puras para resolver problemas práticos. Um cientista que se dedique às ciências aplicadas pode trabalhar em busca de um novo medicamento ou de um novo material resistente ao calor, por exemplo. No entanto, em muitas ocasiões é difícil separar a ciência pura da ciência aplicada.

Como um grupo de cientistas resolve problemas por meio da Ciência? Para isso é necessário o chamado **método científico**. Esse método permite resolver problemas de maneira ordenada, com base em certos processos. Mas nem todos os cientistas seguem os mesmos procedimentos e na mesma ordem.

Tomemos como exemplo o caso do engenheiro de telecomunicações Karl Jansky (1905-1950), de Nova Jersey, Estados Unidos (Fig. 1).

Nos anos 1930, as chamadas radiotelefônicas da América para a Europa apresentavam muitos ruídos e Jansky foi incumbido de descobrir a fonte desses problemas.

Ele construiu um sistema de antenas e montou-o sobre o chassi de um automóvel antigo, de modo que a antena pudesse se deslocar em uma trajetória circular. Descobriu, então, que a maior parte desses ruídos era causada por tempestades próximas e por outros distúrbios elétricos atmosféricos mais afastados. Entretanto, mesmo depois de essas fontes terem sido encontradas e saneadas, um ruído de fundo persistia durante as transmissões.



BETTMANN ARCHIVE/GETTY IMAGES

Figura 1. Karl Jansky ao lado de um instrumento usado para detectar ondas de rádio da Via Láctea (Holden, Nova Jersey, EUA, 1933).

Após gravar o ruído por um longo período, Jansky percebeu que ele apresentava certa regularidade: era mais acentuado à mesma hora todos os dias. Além disso, observou que a fonte desse ruído de fundo movimentava-se atravessando o céu de leste a oeste, o que o levou a acreditar que ela se situava fora da Terra. Em outras palavras, a Terra estava recebendo ondas de rádio transmitidas do espaço. Qual seria sua origem?

Jansky tinha por objetivo fornecer explicações para aquele fenômeno da natureza, empregando para isso procedimentos rigorosos de investigação. O primeiro passo da investigação de Jansky foi identificar o problema e estabelecer claramente uma pergunta: "Qual é a fonte do ruído que ocorre nas chamadas telefônicas para a Europa?".

Em seguida, fez observações. Uma **observação** é qualquer informação que chega até nós por meio de nossos sentidos. Tudo o que podemos ver, ouvir, sentir, tocar ou cheirar é uma observação. Os cientistas fazem observações cuidadosas, pois querem conhecer o máximo possível sobre o problema em que estão trabalhando. Como os sinais de rádio não são perceptíveis diretamente por nossos sentidos, Karl Jansky construiu um sistema de antenas para captar os ruídos e descobrir a fonte deles.

Os instrumentos científicos permitem fazer observações mais precisas do que as obtidas por nossos sentidos. Podem incluir desde computadores, telescópios, microscópios, *lasers*, termômetros e balanças até uma simples régua.

O terceiro passo de Jansky foi formular uma **hipótese**, ou seja, uma explicação possível e razoável para aquilo que foi observado. Inicialmente, ele acreditava que o ruído era decorrente de tempestades próximas e de outros distúrbios elétricos mais afastados.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Como os cientistas determinam se suas hipóteses estão corretas? Eles realizam **experimentos** para testá-las. Os registros de Jansky mostravam que a quantidade de ruído aumentava significativamente durante as tempestades. Com base nessa constatação, ele percebeu que sua hipótese aparentemente estava correta.

Entretanto, depois de outro experimento com tempo bom, ele continuou a ouvir ruído, o que não podia ser explicado por sua primeira hipótese. Isso acontece muitas vezes em experimentos científicos: as informações obtidas podem contradizer a hipótese testada inicialmente. Torna-se, então, necessário descartá-la ou modificá-la para poder explicar as novas informações obtidas.

Jansky precisou olhar mais longe para descobrir a fonte desse ruído. Seus registros mostravam um padrão no ruído residual, que, no começo, sugeria que ele tinha origem solar: o ruído movimentava-se de leste a oeste todos os dias. Após fazer mais observações, ele finalmente concluiu que a fonte daquele ruído eram estrelas no centro de nossa galáxia, a Via Láctea.

Karl Jansky foi o primeiro cientista a observar ondas de rádio originadas de corpos celestes. Seus experimentos foram divulgados em publicações científicas e outros pesquisadores puderam aprender mais sobre essa descoberta. Com base nela, desenvolveu-se um campo de pesquisa inteiramente novo — a Radioastronomia.

Assim como o método científico, o pensamento computacional segue uma abordagem sistemática de raciocínio lógico e passos determinados para resolver problemas complexos. Nesse sentido, método científico e pensamento computacional compartilham a ênfase na ideia de repetição, que acontece sucessivamente conforme necessário para aprimorar a compreensão de um problema e otimizar a solução, o que se denomina iteração. A análise crítica empregada em ambos os procedimentos é ponto-chave no ajuste e no refinamento de estratégias em busca de soluções.

O diagrama a seguir (Fig. 2) representa uma forma de organizar o raciocínio lógico por trás do método científico. Diagramas desse tipo são chamados de fluxograma.

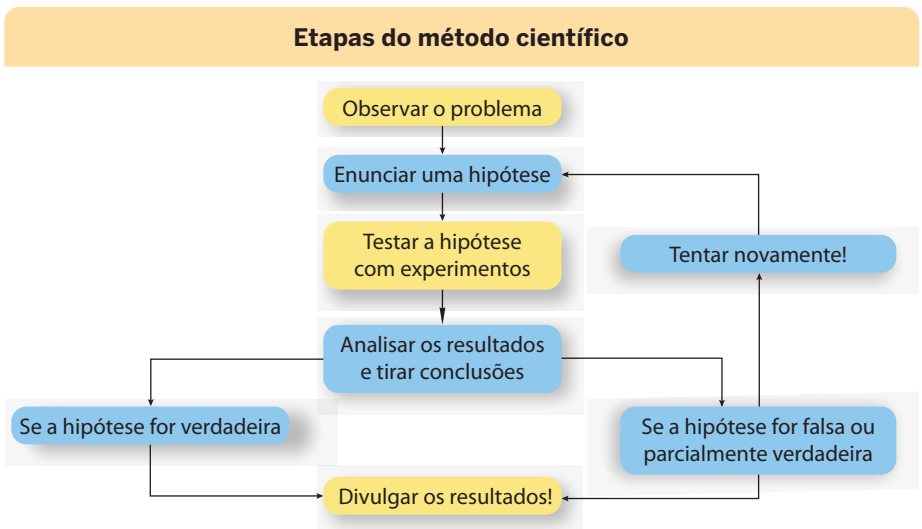


ILUSTRAÇÃO: ERICSON GUILHERME LUCIANO/ARQUIVO DA EDITORA

Figura 2. Fluxograma que resume a aplicação do método científico.

O método científico, entretanto, não é a única forma pela qual a Ciência se desenvolve. O conhecimento científico pode avançar por tentativas, com erros e acertos, podendo até mesmo se desenvolver a partir de uma descoberta acidental.

Os raios X, por exemplo, foram descobertos acidentalmente quando, em 1895, o físico alemão Wilhelm Conrad Roentgen (1845-1923) fazia experimentos com eletricidade.

Veja respostas e comentários no Suplemento para o professor.

Aplicando conhecimentos

Registre as respostas em seu caderno.

1. Procure em um dicionário os vários significados da palavra "hipótese" e estabeleça qual deles melhor se aplica ao significado dessa palavra em textos científicos.

2. O que um cientista deve fazer se um experimento indicar que sua hipótese é verdadeira? E se o experimento indicar que sua hipótese é falsa ou parcialmente verdadeira?

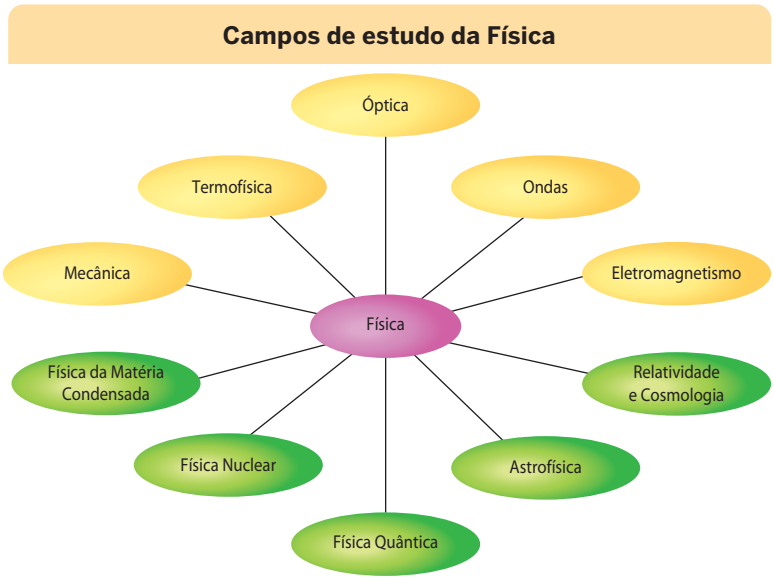
Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

3. A Física

OBJETO DIGITAL *Podcast*: Preciso estudar Física?

A **Física** (do grego *physis*, natureza) pode ser considerada fundamental para as outras ciências e para muitas tecnologias, uma vez que se dedica a estudar os componentes básicos dos diferentes fenômenos e leis que governam interações físicas entre eles.

O campo de estudo da **Física Clássica** é geralmente dividido em cinco grandes áreas: Mecânica, Termofísica (calor e termodinâmica), Óptica (luz e visão), Ondas (que inclui o estudo do som e da audição) e Eletromagnetismo (eletricidade e magnetismo). A **Física Contemporânea** ou **Moderna**, que teve início com as teorias elaboradas a partir do início do século XX, abrange a Relatividade e a Cosmologia, a Astrofísica, a Física Quântica, a Física Nuclear e a Física da Matéria Condensada (Fig. 3).



ERICSON GUILHERME LUCIANO/ARQUIVO DA EDITORA

Figura 3. Os campos de estudo da Física Clássica (em amarelo) e da Física Contemporânea (em verde).

Neste livro, você encontrará indicações dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) quando forem trabalhados temas relacionados a eles. Oriente os estudantes a consultarem as páginas sobre ODS no início do livro.

Veja comentários sobre essa atividade no Suplemento para o professor.

MUNDO DO TRABALHO

O passado e o futuro do trabalho

ODS 4 ODS 8

ECONOMIA

É comum que a formação de algumas profissões aconteça a partir da observação que o aprendiz faz da prática de um mestre, processo realizado principalmente por meio da oralidade e inserido em uma tradição familiar ou de uma comunidade. Hoje, com as instituições de ensino técnico e superior, existe um processo formal de formação profissional.

As primeiras universidades brasileiras foram criadas no início do século XX, e o acesso a elas era restrito a uma pequena parcela da população. Seus cursos profissionalizantes eram voltados , sobretudo, às áreas de Medicina, Engenharia e Direito.

Com o desenvolvimento econômico do país, as atividades comerciais, políticas e militares foram crescendo e se diversificando, o que gerou novas demandas de profissionais qualificados.

Hoje em dia, universidades, faculdades e institutos de ensino oferecem cursos profissionalizantes, com o objetivo de atender às demandas do dinâmico mercado de trabalho.

Acompanhando o movimento de novas e obsoletas tecnologias, enquanto novas profissões surgem, outras desaparecem. Já ouviu falar sobre as fiandeiras ou os acendedores de lampião de rua?

As fiandeiras eram responsáveis por transformar tufos de algodão em fios para tecelagem, em um processo que envolve torcer e esticar a fibra do algodão. Já os acendedores de lampião trabalhavam diariamente no entardecer e no amanhecer, acendendo, apagando, abastecendo e limpando manualmente os lampiões de rua que funcionavam com a queima de óleo.

WORLD HISTORY ARCHIVE/ ALAMY/FOTOARENA

Representação de fiandeiras no século XIV trabalhando em rodas de fiar.

1. Essas atividades não existem mais por algum motivo. Formem grupos e pensem no momento histórico em que essas atividades eram necessárias e o que pode ter ocasionado a extinção de cada uma.
2. Refletindo sobre o desenvolvimento tecnológico de nossa sociedade, quais profissões podem estar em vias de desaparecer? Por quê?
3. Reflita: as profissões servem à sociedade, mas cada indivíduo tem uma relação específica com a própria atividade profissional, envolvendo muitos aspectos. Cite ao menos três aspectos que você observaria no momento de escolher uma profissão. Se não souber por onde começar, pense nas profissões que não exerceria e levante os motivos para essa decisão.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

4. Sistema Internacional de Unidades (SI)

Em nossa exploração do mundo físico, vamos trabalhar com um grande número de grandezas que poderão assumir uma enorme variedade de valores.

Na Física, algumas grandezas desempenham um papel fundamental quando falamos em medidas. Praticamente todos os fenômenos naturais que percebemos são apresentados no tempo e no espaço a partir da matéria. Torna-se natural, então, que entre as grandezas consideradas fundamentais estejam: o **tempo**, o **comprimento** e a **massa**.

A medida de qualquer quantidade é sempre feita em comparação com uma medida-padrão: a **unidade de medida**.

Um comprimento, por exemplo, pode ser medido em várias unidades de medida: polegada, pé, milha, quilômetro, metro, centímetro, milímetro etc. Dizer que "um comprimento vale 5,3" não significa nada, pois 5,3 km é muito diferente de 5,3 cm. Por esse motivo, uma quantidade deve sempre vir acompanhada pela sua unidade de medida, pois, sem ela, a quantidade não tem significado.

Há cerca de 200 anos, as unidades de medida não eram padronizadas e isso dificultava enormemente a comunicação científica. Povos diferentes usavam unidades de medidas particulares e a confusão que isso provocava era inevitável.

Veja comentários sobre essa atividade no Suplemento para o professor.

Atividade em grupo

Em grupos, respondam às perguntas a seguir.

a. Qual é a medida do comprimento da lousa da sala de aula em que vocês estão? Deem a resposta da melhor forma possível com base em objetos (livro, caderno, caneta etc.) cuja medida vocês julgam conhecer aproximadamente. Respondam à pergunta sem utilizar unidades que contenham a palavra "metro", como centímetro, milímetro etc.

b. Todos os grupos forneceram respostas iguais?

c. Se as respostas forem diferentes umas das outras, é possível afirmar que apenas uma está correta e as outras estão erradas?

Uma primeira tentativa de padronização, com a criação de um sistema de unidades, ocorreu na França, em 1790, na época da Revolução Francesa. O sistema então criado pela Academia de Ciências de Paris, denominado **Sistema Métrico Decimal** e que gradativamente passou a ser aceito em quase todo o mundo, adotava como unidades de medida o metro (m), o quilograma (kg) e o segundo (s).

Os Estados Unidos e o Reino Unido são as únicas potências econômicas mundiais que ainda não adotaram integralmente o sistema métrico, utilizando o sistema inglês de unidades; trata-se de um sistema um pouco mais confuso por não ter uma base numérica sistemática aparente e suas unidades serem relacionadas umas às outras de forma arbitrária (12 polegadas = 1 pé, 1 milha = 5.280 pés etc.).

O sistema de unidades utilizado hoje em dia no Brasil e na maioria dos países é o denominado **Sistema Internacional de Unidades**, abreviadamente **SI**, derivado do antigo Sistema Métrico Decimal.

O SI é composto de sete unidades de base (ou fundamentais), de duas unidades suplementares, de unidades derivadas e de múltiplos e submúltiplos de todas elas. Qualquer grandeza física pode ser definida como uma relação entre as sete fundamentais, e tais grandezas são chamadas de grandezas derivadas.

O diagrama a seguir mostra as unidades de base e as suplementares, com suas respectivas grandezas associadas (em negrito), unidades de medidas e os símbolos correspondentes (Fig. 4).

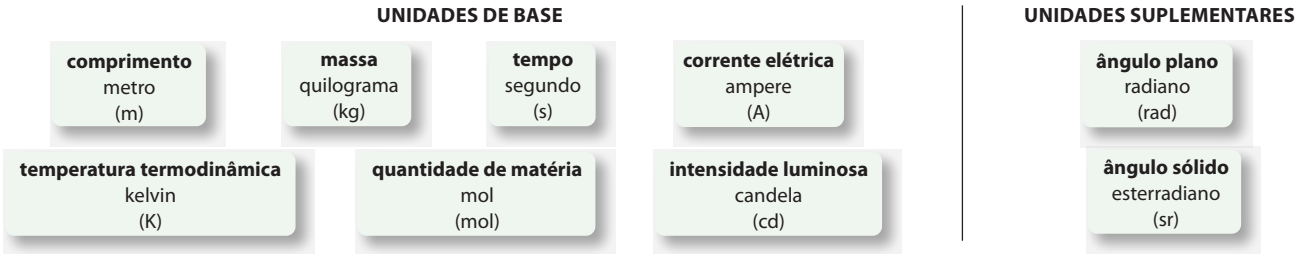


Figura 4. O Sistema Internacional de Unidades é constituído de sete unidades fundamentais (ou de base), de outras unidades que delas derivam e de duas unidades suplementares, de característica geométrica.

Na área da Mecânica são utilizadas, basicamente, três unidades fundamentais: comprimento, massa e tempo.

ILUSTRAÇÃO: ERICSON GUILHERME LUCIANO/ ARQUIVO DA EDITORA

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Comprimento

A primeira tentativa de padronização internacional foi feita pela Academia de Ciências de Paris, em 1790, com a instituição do **metro** (**m**) — derivado da palavra grega *métron*, que significa "medida" — como unidade de medida-padrão para comprimento.

Dentro da racionalidade da época, o metro foi definido como a décima milionésima parte $\left(\frac{1}{10.000.000}\right)$ da distância, ao longo da superfície da Terra, entre o equador terrestre e o Polo Norte, reproduzindo-se então esse comprimento em uma barra de platina.

Essa definição do metro teve de passar por várias alterações ao longo do tempo em decorrência dos avanços tecnológicos e da consequente necessidade de estabelecer um padrão de forma mais precisa.

Em 1983, durante a XVII Conferência Geral de Pesos e Medidas, o metro foi definido com maior precisão, tomando-se como base a velocidade da luz no vácuo. O metro é, atualmente, definido como a distância percorrida pela luz, no vácuo, durante o intervalo de tempo de $\frac{1}{299.792.458}$ s.

Massa

O padrão de medida para massa foi inicialmente estabelecido em função de um volume de água. Assim, o **quilograma** (**kg**) correspondia à massa de água — sob certas condições de temperatura e pressão — contida em um cubo cujas arestas mediam $\frac{1}{10}$ da unidade de comprimento do SI (0,1 m).

Em 1901, definiu-se o quilograma-padrão como sendo a massa de um cilindro feito de uma liga de platina e irídio, com 3,9 cm de diâmetro na base e 3,9 cm de altura, mantido no Bureau Internacional de Pesos e Medidas, em Saint-Cloud, na França. Há réplicas desse cilindro em diversos laboratórios no mundo.

O maior problema é que esse objeto pode sofrer alteração de massa com o tempo, já que até mesmo a interação com o ar atmosférico pode retirar átomos da sua superfície. Portanto, houve um esforço da comunidade científica para atribuir uma constante física como referência à unidade de massa. A partir de 2019, a definição de quilograma passou a ser feita em relação a uma constante chamada constante de Planck.

Tempo

A medida do tempo, desde a Antiguidade, sempre teve por base o movimento dos corpos celestes e os movimentos de translação e de rotação da Terra. Assim, o dia solar, no qual nosso dia de 24 horas está baseado, é o intervalo de tempo para o Sol voltar a sua altura máxima entre dois dias consecutivos. O ano solar é o tempo necessário para a Terra completar uma volta do movimento de translação ao redor do Sol.

O **segundo** (**s**) foi originalmente definido como $\frac{1}{86.400}$ do dia solar médio. No entanto, essa definição é pouco precisa, porque o movimento de rotação da Terra ao redor de seu eixo é ligeiramente irregular. Por esse motivo, em 1967, durante a XIII Conferência Geral de Pesos e Medidas, a definição do segundo foi estabelecida em função de um padrão atômico. O segundo é atualmente definido como o intervalo de tempo correspondente a 9.192.631.770 períodos de duração da transição de um elétron entre dois níveis específicos de energia de um isótopo do átomo de césio-133.

Relógios com base nesse padrão (Fig. 5) são idênticos, porque todos os átomos desse isótopo de césio são indistinguíveis e a frequência das transições pode ser medida em laboratórios com precisão de quatro partes em dez trilhões (10^{13}).

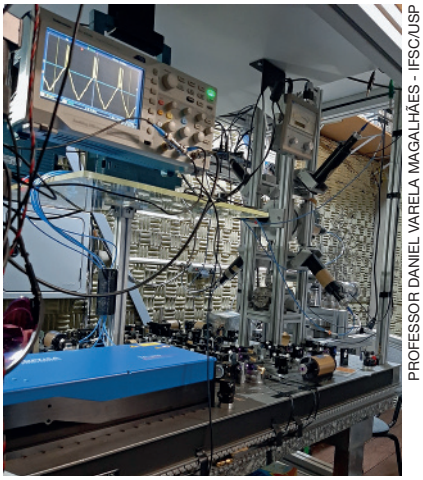
Outras unidades de medida de tempo muito usadas na prática são o minuto (min) e a hora (h).

É sempre bom relembrar que:

$$1 \text{ min} = 60 \text{ s}$$

e

$$1 \text{ h} = 60 \text{ min} = 3.600 \text{ s}$$



PROFESSOR DANIEL VARELA MAGALHÃES - IFSC/USP

Figura 5. Relógio atômico da Universidade de São Paulo (USP) no campus de São Carlos (SP). Esse relógio pode adiantar ou atrasar apenas 1 segundo a cada 1 milhão de anos. (São Carlos, 2019.)

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

5. Prefixos do SI

A linguagem utilizada pela Física e por muitas outras ciências exatas é a linguagem dos números. A diversidade dos números que aparecem no mundo físico é enorme. Para ter uma ideia, a massa da Terra, por exemplo, é de cerca de 5.980.000.000.000.000.000.000.000 quilogramas (kg), enquanto o diâmetro de um próton é de cerca de 0,000 000 000 000 001 metro (m).

A grande quantidade de zeros torna a representação desses números inconveniente e, por esse motivo, usamos uma maneira mais prática para escrever valores muito grandes ou muito pequenos. Usando potência de dez, podemos escrever a massa da Terra como $5{,}98 \cdot 10^{24}$ kg e o diâmetro do próton como 10^{-15} m.

Nesse tipo de notação, denominada **notação científica**, 10^3 representa $10 \cdot 10 \cdot 10 = 1.000$ e 10^{-4} representa $\frac{1}{10 \cdot 10 \cdot 10 \cdot 10} = \frac{1}{10.000} = 0{,}0001$.

Ao usar a notação científica para representar um número N qualquer, devemos escrevê-lo na forma $N = m \cdot 10^n$, em que $1 \leqslant m < 10$ é a mantissa e o expoente n, um número inteiro. Assim, o número 253, por exemplo, deve ser escrito como $2{,}53 \cdot 10^2$.

Visando facilitar ainda mais a notação das grandezas, é bastante comum a utilização de prefixos representando as potências de dez. A tabela a seguir traz a denominação dos principais prefixos de acordo com a regulamentação do Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia (Inmetro). Alguns dos prefixos mais comuns utilizados na Física foram colocados em destaque.

Principais prefixos do SI

Nome	Símbolo	Fator multiplicativo
exa	E	10^{18}
peta	P	10^{15}
tera	T	10^{12}
giga	**G**	$\mathbf{10^9}$
mega	**M**	$\mathbf{10^6}$
quilo	**k**	$\mathbf{10^3}$
hecto	h	10^2
deca	da	10^1
deci	d	10^{-1}
centi	**c**	$\mathbf{10^{-2}}$
mili	**m**	$\mathbf{10^{-3}}$
micro	**µ**	$\mathbf{10^{-6}}$
nano	**n**	$\mathbf{10^{-9}}$
pico	**p**	$\mathbf{10^{-12}}$
femto	f	10^{-15}
atto	a	10^{-18}

Fonte: INMETRO. **Quadro geral de unidades de medida no Brasil**. Tradução luso-brasileiro de 2021 do SI. Brasília, DF: Inmetro, 2021. Disponível em: /https://www.gov.br/inmetro/pt-br/centrais-de-conteudo/publicacoes/documentos-tecnicos-em-metrologia/quadro-geral-de-unidades-de-medida-no-brasil.pdf. Acesso em: 1º out. 2024.

Vamos aplicar esses conhecimentos em um exemplo de conversão de unidades.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Exercício resolvido

ESTRATÉGIA DE ESTUDO

Considere que uma pessoa caminha com velocidade $v_{PES} = 3{,}6$ km/h, uma ave voa com velocidade $v_{AVE} = 240$ m/min e um peixe nada com velocidade $v_{PEI} = 180$ cm/s. Disponha essas velocidades em ordem crescente.

Identificar

Em Física, é muito comum encontrar grandezas físicas expressas em diferentes unidades (km/h, m/min e cm/s). Sempre que isso ocorrer, lembre-se de deixar todas as unidades no mesmo padrão (em km/h, em m/min. ou em cm/s). Isso possibilitará a você fazer comparações e cálculos. Fique sempre atento às unidades presentes no enunciado e mantenha um padrão.

Preparar

As velocidades fornecidas foram $v_{PES} = 3{,}6$ km/h para uma pessoa caminhando; $v_{AVE} = 240$ m/min para a velocidade de voo de uma ave; e $v_{PEI} = 180$ cm/s para a velocidade de nado de um peixe. Vamos optar por transformar todas elas em m/s.

Executar

Então, vamos transformar todas as unidades em m/s:

- Pessoa: $v_{PES} = 3{,}6\,\frac{km}{h} = 3{,}6 \cdot \frac{10^3\ m}{3.600\ s} = \frac{3.600\ m}{3.600\ s} = 1\ m/s$
- Ave: $v_{AVE} = 240\,\frac{m}{min} = 240 \cdot \frac{1\ m}{60\ s} = \frac{240\ m}{60\ s} = 4\ m/s$
- Peixe: $v_{PEI} = 180\,\frac{cm}{s} = 180 \cdot \frac{10^{-2}\ m}{1\ s} = 1{,}8\ m/s$

Analisar

Agora que todas as velocidades apresentadas estão no padrão m/s, podemos compará-las e dispô-las em ordem crescente, como foi pedido no enunciado.

Portanto:

$v_{PES} < v_{PEI} < v_{AVE}$

É razoável pensar que uma ave e um peixe podem se deslocar com velocidade maior que a de um ser humano caminhando.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Veja respostas e comentários no Suplemento para o professor.

Aplicando conhecimentos

Registre as respostas em seu caderno.

3. Uma pessoa tem altura de 1,83 m. Expresse o valor dessa altura:

a. em centímetro;

b. em milímetro;

c. em quilômetro.

4. Um recipiente contém 2,5 kg de farinha de trigo. Expresse essa massa:

a. em grama;

b. em tonelada (1 t = 1.000 kg).

5. Um jogo de futebol, durante a Copa do Mundo do Brasil, teve duração total de 1 h 40 min. Expresse esse intervalo de tempo:

a. em minuto; **b.** em segundo.

6. Uma corrida de Fórmula 1 teve sua largada às 10 h 05 min 30 s. O vencedor recebeu a bandeirada final às 11 h 50 min 20 s. Expresse a duração dessa corrida:

a. em hora;

b. em minuto;

c. em segundo.

7. Represente os valores a seguir na forma de notação científica.

a. 1.230

b. 0,056

c. $14 \cdot 10^{-3}$

d. $0{,}88 \cdot 10^5$

e. $65{,}4 \cdot 10^2$

f. $0{,}45 \cdot 10^8$

g. 540

h. 0,75

6. Representações gráficas

Um aspecto importante da Física é a busca de relações entre diferentes quantidades, isto é, a determinação de como o valor de uma quantidade afeta o valor de outra. Essa busca é importante também em outros ramos das Ciências.

Considere, por exemplo, o custo de uma corrida de táxi. Em geral, as tarifas de táxi constam do valor da bandeirada adicionado ao custo dos quilômetros rodados.

Suponha que desejemos encontrar a relação entre o custo de uma corrida de táxi e a distância percorrida. A relação entre essas quantidades pode ser apresentada de diferentes maneiras.

Inicialmente, podemos pensar em relacionar as grandezas (custo e distância) com base nos dados de um **quadro** onde são mostrados o valor de uma das grandezas e o correspondente valor assumido pela outra. O quadro a seguir apresenta possíveis pares de valores.

Custo de uma corrida de táxi *versus* distância percorrida

Custo (R$)	4,50	7,25	10,00	12,75	15,50	18,25	21,00	23,75
Distância (km)	0	1	2	3	4	5	6	7

Fonte: Dados fictícios para fins didáticos.

Os dados deixam claro que o preço da bandeirada é de R$ 4,50, ou seja, o passageiro, ao entrar no táxi, já deve ao motorista R$ 4,50. Observe, também, que a cada quilômetro percorrido o preço da corrida aumenta R$ 2,75. Assim, podemos concluir que o passageiro paga R$ 2,75 por quilômetro rodado. Devemos ressaltar que, por simplificação, não levamos em conta, no quadro, o custo da hora parada.

Também podemos expressar a relação procurada com a **lei de uma função matemática**, $y = f(x)$, que mostra o valor de uma das grandezas em função do valor da outra.

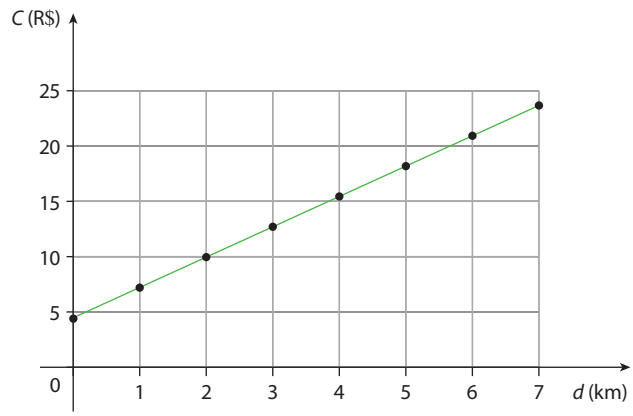
Nesse caso, se chamarmos de d a distância percorrida em quilômetro e de C o custo em real da corrida, teremos a função de lei:

$$c = 4{,}50 + 2{,}75 \cdot d$$

Finalmente, podemos expressar a relação entre as grandezas em um **gráfico** que nos fornece informações de forma resumida.

Para o caso da corrida de táxi, podemos construir o gráfico do custo C da corrida em função da distância percorrida d (Fig. 6).

Custo de uma corrida de táxi *versus* distância percorrida



ADILSON SECCO/ARQUIVO DA EDITORA

Fonte: Dados fictícios para fins didáticos.

Figura 6. Gráfico do custo C de uma corrida de táxi em função da distância percorrida d.

A vantagem da utilização de gráficos é que podemos construí-los relacionando grandezas de diversos campos do conhecimento humano, sejam eles econômicos, sociais ou geográficos, por exemplo. Os dados de um gráfico podem ser representados das mais variadas formas.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Veja comentários sobre essa atividade no Suplemento para o professor.

Em destaque

ODS 5 ODS 8

Dados sobre as mulheres no Brasil

O Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) levantou informações para analisar as condições de vida das mulheres no Brasil. Nesta atividade, vamos analisar um gráfico e extrair conclusões sobre desigualdades de gênero em relação a rendimento monetário.

Analise o gráfico e responda às questões a seguir.

1. Em âmbito nacional:

a. Qual é a média de rendimento dos homens?

b. Qual é a média de rendimento das mulheres?

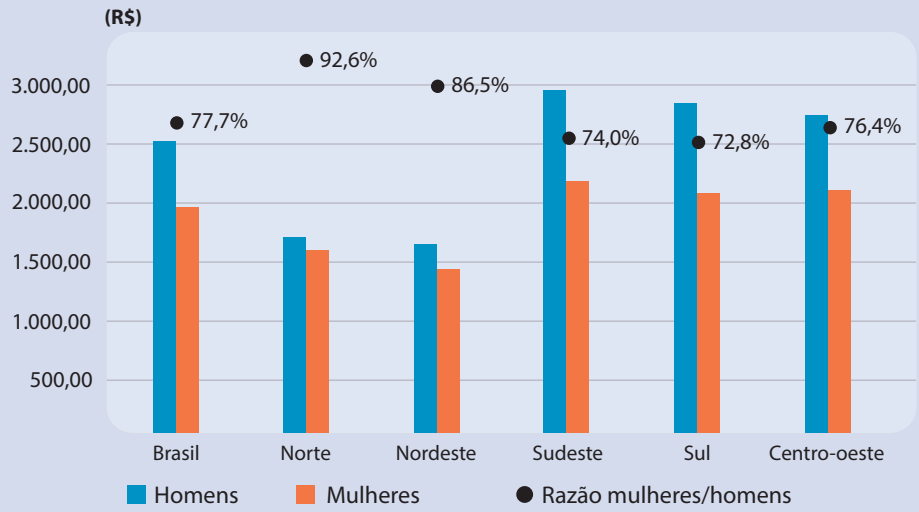
c. Qual é a razão de rendimentos das mulheres em comparação com os rendimentos dos homens?

2. Quais são as duas regiões do Brasil que apresentam maior diferença entre o rendimento das mulheres e dos homens? E quais são as duas regiões que mostram a menor diferença?

3. Discuta com os colegas qual seria o motivo dessa diferença entre as regiões do Brasil.

4. Em que cargos ou grupos ocupacionais vocês acreditam que ocorram as maiores desigualdades de rendimentos entre homens e mulheres?

Rendimento habitual médio mensal de todos os trabalhos e razão de rendimentos



NELSON MATSUDA/ARQUIVO DA EDITORA

Fonte: IBGE. **Estatísticas de gênero**: indicadores sociais das mulheres no Brasil. 2. ed. Rio de Janeiro: IBGE, 2021. 12 p. Disponível em: https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv101784_informativo.pdf. Acesso em: 30 jul. 2024.

Deve-se ressaltar que, seja qual for a forma de representação gráfica utilizada, é importante saber interpretar as informações fornecidas pelo gráfico. Vamos aplicar o que vimos até aqui na resolução do exercício a seguir.

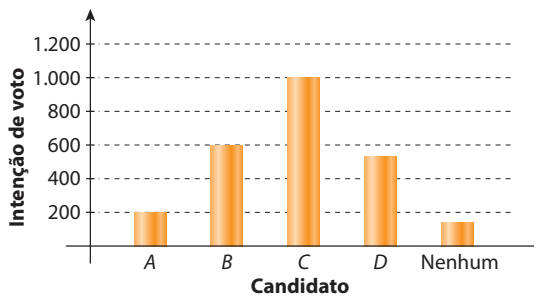
Exercício resolvido

Uma pesquisa de opinião foi realizada para avaliar o número de votos aos candidatos de uma eleição para prefeito de uma cidade. Os resultados obtidos estão apresentados neste gráfico de barras.

a. Qual foi aproximadamente o número de pessoas consultadas nessa pesquisa?

b. Qual é aproximadamente a porcentagem de entrevistados que declararam a intenção de votos no candidato *C*?

Intenção de voto por candidato



ADILSON SECCO/ARQUIVO DA EDITORA

Fonte: Dados fictícios para fins didáticos.

CONTINUA

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Resolução

Ao analisar gráficos, a primeira coisa que se deve observar são os eixos. Observe que o eixo vertical contém o número de intenções de votos, enquanto o eixo horizontal mostra o nome dos candidatos (*A*, *B*, *C*, *D* e nenhum). Assim, de acordo com o gráfico, podemos afirmar que o candidato *A* tem 200 prováveis eleitores; o *B*, 600 eleitores; o *C*, 1.000 eleitores; o *D*, 500 eleitores; e 100 eleitores não têm candidato.

a. O número total *N* de pessoas consultadas na pesquisa é, aproximadamente, igual a:

$N = 200 + 600 + 1.000 + 500 + 100 \therefore N = 2.400$ pessoas

b. A porcentagem de entrevistados que pretendem votar em *C* é:

$$p_C = \frac{N_C}{N} \Rightarrow p_C = \frac{1.000}{2.400} \Rightarrow p_C = 0{,}4166 \Rightarrow p_C \cong 42\%$$

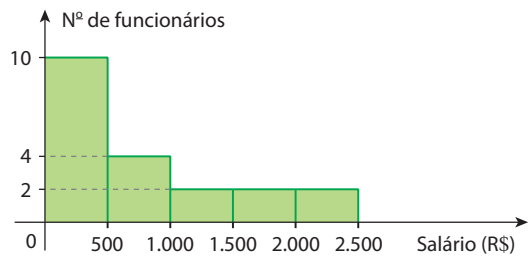
Veja respostas e comentários no Suplemento para o professor.

Aplicando conhecimentos

Registre as respostas em seu caderno.

8. O gráfico a seguir apresenta a distribuição de frequência das faixas salariais dos funcionários de uma pequena empresa.

Distribuição de frequência salarial



ADILSON SECCO/ARQUIVO DA EDITORA

Fonte: Dados fictícios para fins didáticos.

a. Quantos funcionários trabalham nessa empresa?

b. Qual é a média aritmética salarial dos funcionários dessa empresa? (Para o cálculo dessa média, use, em cada faixa salarial, o valor médio do intervalo.)

c. Qual é a porcentagem de funcionários que têm salário abaixo da média?

9. A tabela a seguir mostra as vendas de determinado produto, em três regiões, durante quatro trimestres consecutivos. Cada linha corresponde a uma região do Brasil, sendo respectivamente (de cima para baixo) Leste, Oeste e Norte.

Desempenho de vendas por trimestre e região

Região/ Trimestre	1º trimestre	2º trimestre	3º trimestre	4º trimestre
Leste	20	27	90	20
Oeste	30	39	35	32
Norte	46	47	45	44

Fonte: Dados fictícios para fins didáticos.

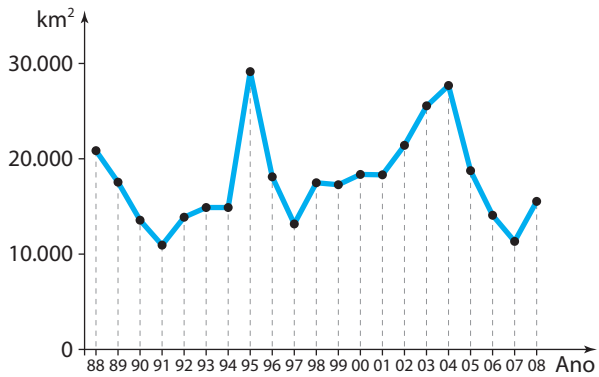
a. Com base nos dados, obtenha o total de vendas de cada trimestre e o total de vendas, no período de quatro trimestres, em cada região.

b. Esboce os resultados obtidos no item anterior em forma de gráfico de barras.

c. Qual é a região que apresentou o melhor desempenho de vendas durante os quatro trimestres? Em qual trimestre as vendas totais tiveram o melhor resultado?

10. (Enem) O gráfico mostra a área desmatada da Amazônia, em km², a cada ano, no período de 1988 a 2008.

10. d



NELSON MATSUDA/ARQUIVO DA EDITORA

Fonte: Ministério do Meio Ambiente (MMA).

As informações do gráfico indicam que:

a. o maior desmatamento ocorreu em 2004.

b. a área desmatada foi menor em 1997 que em 2007.

c. a área desmatada a cada ano manteve-se constante entre 1998 e 2001.

d. a área desmatada por ano foi maior entre 1994 e 1995 que entre 1997 e 1998.

e. o total de área desmatada em 1992, 1993 e 1994 é maior que 60.000 km².

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

ESTRATÉGIA DE ESTUDO

Para auxiliá-lo em seus estudos, você pode estabelecer palavras-chave e refletir sobre o que aprendeu.

Selecionar palavras-chave

Para cada tópico do capítulo, selecione termos que representem os principais assuntos estudados. Uma dica é prestar atenção às palavras destacadas no texto e aos títulos e subtítulos dos tópicos. No tópico *Fundamentos do pensamento científico*, por exemplo, é possível destacar: Ciência, fato, hipótese e teoria. Leia os demais tópicos do capítulo e copie no caderno os termos que considere relevantes. A seguir, agrupe as palavras que têm correlação.

Espera-se que haja diferenças entre as seleções e os agrupamentos, pois trata-se de uma interpretação pessoal. Compartilhe e compare suas palavras-chave com as dos colegas, para repensar a inclusão ou a exclusão de algum termo.

Você pode adotar essa estratégia em outros capítulos seguintes e, conforme o estudo avança, poderá relembrar assuntos importantes com base em suas anotações.

Verificar o que aprendeu

1. Avalie seu nível de compreensão dos assuntos apresentados no capítulo utilizando a escala:
   - Entendi completamente.
   - Entendi a maior parte, mas alguns itens estão confusos.
   - Não entendi a maior parte.
   - Não entendi.
2. Avalie suas habilidades para:
   - resolver os problemas apresentados;
   - relacionar o conteúdo com situações do cotidiano.

Veja respostas e comentários no Suplemento para o professor.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Atividades finais

Registre as respostas em seu caderno.

1. **(UFPR)** Sobre grandezas físicas, unidades de medidas e suas conversões, considere as igualdades abaixo representadas:

1. e

1) $50\ m^3 = 50 \cdot 10^6\ cm^3$
2) $20\ m/s = 0{,}072 \cdot 10^3\ km/h$
3) $35\ mg = 3{,}5 \cdot 10^{-5}\ kg$

Representa(m) uma igualdade correta:

a. 1 apenas.
b. 1 e 2 apenas.
c. 1 e 3 apenas.
d. 2 e 3 apenas.
e. 1, 2 e 3.

2. **(Enem)** Nos Estados Unidos a unidade de medida de volume mais utilizada em latas de refrigerante é a onça fluida (fl oz), que equivale a aproximadamente 2,95 centilitros (cL).

2. c

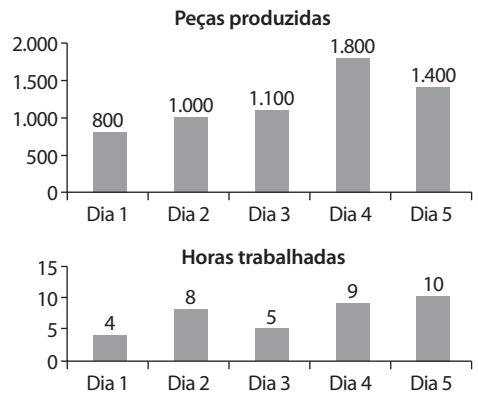
Sabe-se que o centilitro é a centésima parte do litro e que a lata de refrigerante usualmente comercializada no Brasil tem capacidade de 355 mL.

Assim, a medida do volume da lata de refrigerante de 355 mL, em onça fluida (fl oz), é mais próxima de

a. 0,83
b. 1,20
c. 12,03
d. 104,73
e. 120,34

3. **(Enem)** Os gráficos representam a produção de peças em uma indústria e as horas trabalhadas dos funcionários no período de cinco dias. Em cada dia, o gerente de produção aplica uma metodologia diferente de trabalho. Seu objetivo é avaliar a metodologia mais eficiente para utilizá-la como modelo nos próximos períodos. Sabe-se que, neste caso, quanto maior for a razão entre o número de peças produzidas e o número de horas trabalhadas, maior será a eficiência da metodologia.

3. c



NELSON MATSUDA/ARQUIVO DA EDITORA

Em qual dia foi aplicada a metodologia mais eficiente?

a. 1 **b.** 2 **c.** 3 **d.** 4 **e.** 5

CAPÍTULO 2

Cinemática

GRAIKI/GETTY IMAGES

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Paraquedistas em formação circular. Enquanto eles mantêm essa formação, é possível concluir se estão em repouso ou em movimento? (Boituva, São Paulo, 2016.)

O paraquedismo é um esporte radical em que pessoas com paraquedas saltam de um local alto ou de um avião em movimento, mergulhando em direção ao solo. Usualmente, o salto acontece a partir de uma altitude entre 2.300 e 4.600 metros acima do nível do mar. O tempo de queda depende de fatores como a altitude de onde acontece o salto, a aerodinâmica do vestuário e a posição do corpo do paraquedista.

Há uma modalidade (como na imagem) em que paraquedistas saltam em grupo e fazem formações simétricas ou sequências de movimentos durante a queda. Para obter uma queda lenta, o paraquedista pode usar um traje do tipo planador e se posicionar com o tronco paralelo em relação ao solo (chamado voo de barriga). Já em quedas rápidas, o paraquedista pode mergulhar de cabeça em direção ao solo, com os braços unidos ao tronco e as pernas esticadas e juntas.

Com base na situação da foto, podemos dizer que os paraquedistas estão em movimento e também em repouso. Em relação à Terra, os paraquedistas estão em movimento, mas estão em repouso se considerarmos a posição entre eles.

A Cinemática é o ramo da Mecânica que descreve os movimentos dos corpos, sem considerar as causas desses movimentos. Neste capítulo, estudaremos a Cinemática de dois movimentos distintos: o uniforme e o uniformemente variado. Para isso, descreveremos primeiro o que é espaço e referencial. Depois, veremos as definições de velocidade e aceleração. Por fim, estudaremos as grandezas vetoriais e os movimentos bidimensionais nas proximidades da superfície da Terra.

1. Espaço, referencial, velocidade e aceleração

Ao analisar o repouso ou o movimento de um corpo, podemos, muitas vezes, desprezar suas dimensões. Nesse caso, o corpo é denominado **ponto material**. Quando devemos levar em conta suas dimensões, ele é denominado **corpo extenso**. Dependendo do fenômeno em estudo, um carro pode ser considerado um ponto material ou um corpo extenso. Um carro em viagem numa rodovia pode ser considerado um ponto material, e manobrando numa garagem, um corpo extenso.

No estudo dos movimentos, qualquer corpo, como uma bola, uma pessoa, um carro, um avião ou mesmo o Sol ou a Lua, é denominado **móvel**.

Espaço

Para descrever um movimento, precisamos conhecer a posição do móvel em cada instante. De modo geral, vamos chamar de **trajetória** de um móvel a linha que liga os pontos consecutivos por onde o móvel passa durante seu movimento (Fig. 1).

PHOTOSMATIC/SHUTTERSTOCK

Figura 1. A trajetória corresponde ao caminho seguido pelo móvel durante seu movimento (Wilderness Beach, África do Sul, 2013).

Podemos determinar a posição P de um móvel, em cada instante t, ao longo da trajetória que ele descreve adotando um ponto O como origem e orientando a trajetória. Uma ponta de seta indica o sentido em que a trajetória foi orientada.

O **espaço *s*** do móvel, no instante t, é a medida algébrica do arco de trajetória $\overset{\frown}{OP}$ (Fig. 2).

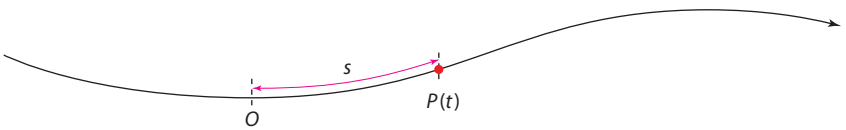


Figura 2. A cada instante t corresponde um espaço s.

Dizemos medida algébrica porque ela tem um sinal, positivo ou negativo, conforme o móvel se encontre de um lado ou de outro da origem (Fig. 3). Observe que, para a origem O, temos $s = 0$.

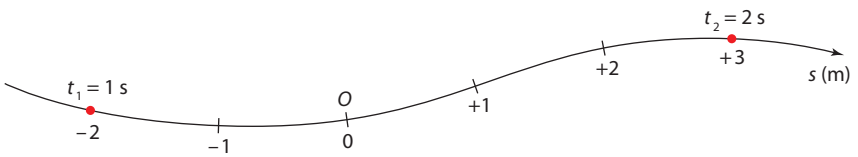


Figura 3. No instante $t_1 = 1$ s, o espaço do móvel é $s_1 = -2$ m e, no instante $t_2 = 2$ s, é $s_2 = +3$ m.

ILUSTRAÇÕES: ADILSON SECCO/ARQUIVO DA EDITORA

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Variação de espaço

Sejam s_1 o espaço de um móvel num instante t_1 e s_2 seu espaço num instante posterior t_2. Vamos representar por $\Delta s = s_2 - s_1$ a **variação de espaço** ocorrida no intervalo de tempo $\Delta t = t_2 - t_1$ (Fig. 4). A letra grega delta maiúscula (Δ) é usada para indicar a diferença entre os valores final e inicial de determinada grandeza.

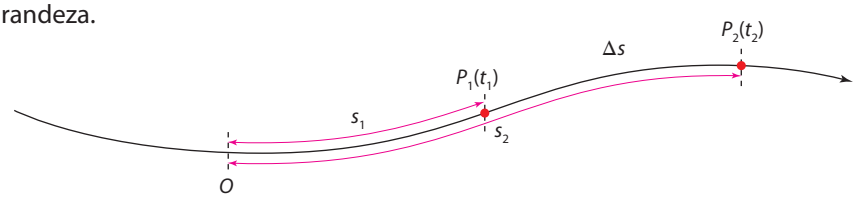


Figura 4. Representação da variação de espaço Δs.

A variação de espaço Δs é também denominada **deslocamento escalar** e pode ser positiva, negativa ou nula, conforme o espaço s_2 seja maior, menor ou igual a s_1 (Fig. 5).

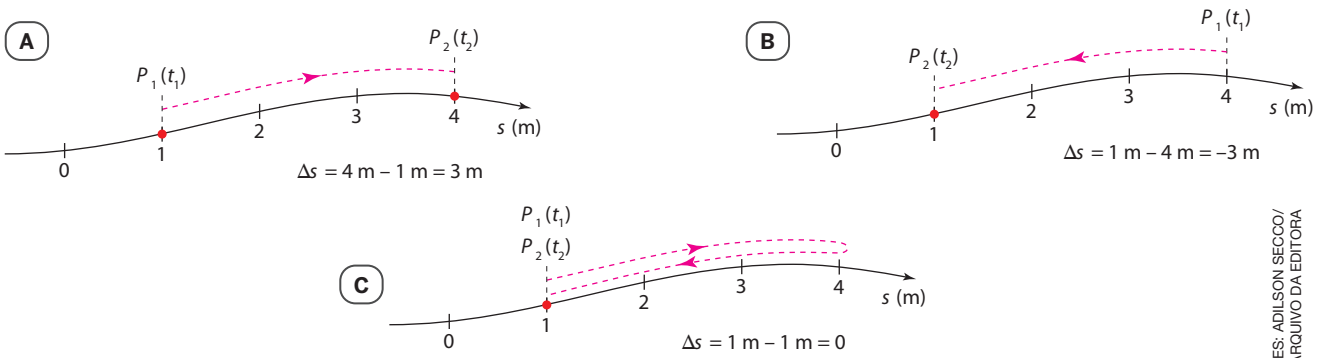


Figura 5. A variação de espaço Δs pode ser positiva (A), negativa (B) ou nula (C).

Quando um móvel se desloca sempre no mesmo sentido e no sentido de orientação da trajetória, a variação de espaço é igual à distância que o móvel percorre ao longo da trajetória.

Referencial

O corpo ou local em relação ao qual analisamos se um móvel está em repouso ou em movimento recebe o nome de **referencial**. O referencial pode ser um carro, uma casa, o solo, o planeta Terra, a Lua, o Sol, entre outros.

Dizemos que um corpo está em **movimento** em relação a determinado referencial quando sua posição, em relação a esse referencial, varia com o passar do tempo. Dizemos que um corpo está em **repouso** em relação a determinado referencial quando sua posição, em relação a esse referencial, não varia com o passar do tempo.

Imagine que você esteja sentado em uma poltrona dentro de um ônibus que trafega por uma rua de sua cidade. Em relação a um poste da rua (referencial *A*) você estará em movimento, mas em relação ao motorista do ônibus (referencial *B*) você estará em repouso (Fig. 6). Portanto, os estados cinemáticos de repouso e de movimento dependem do referencial adotado.

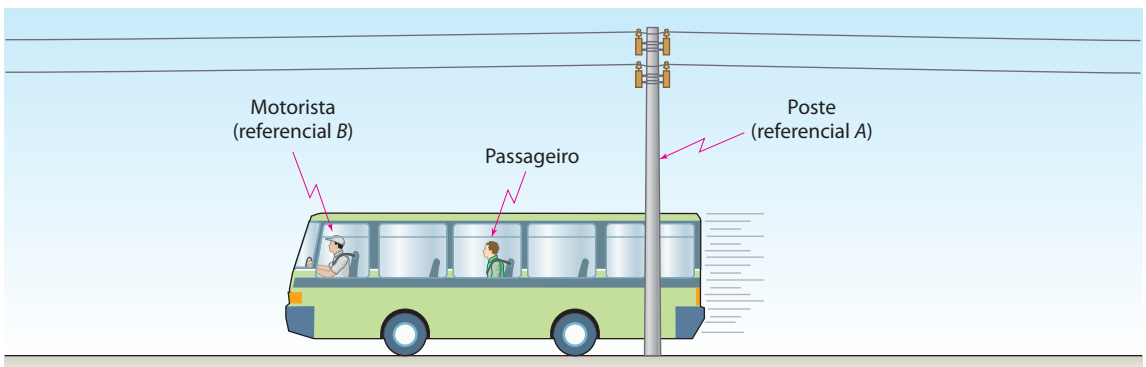
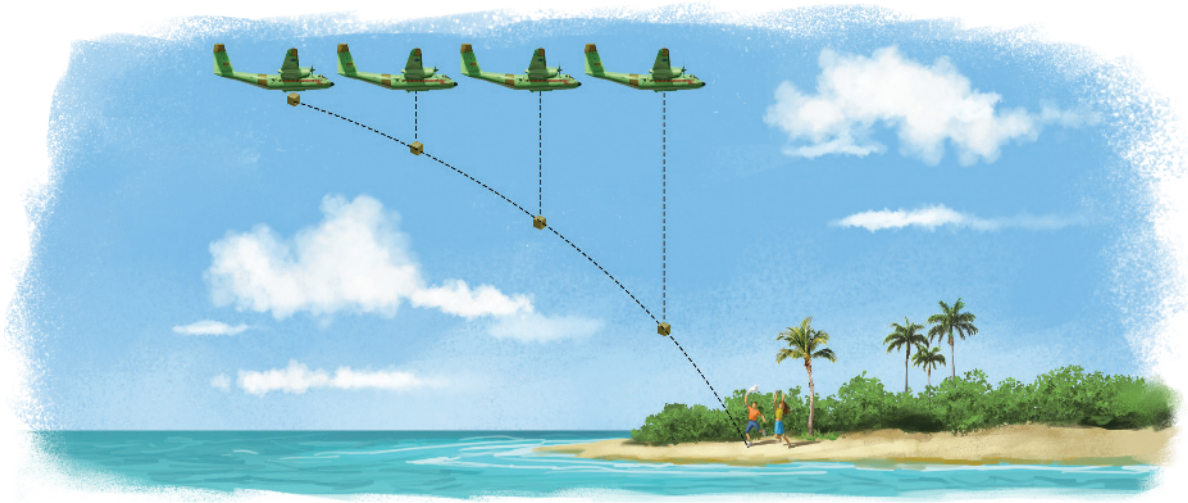


Figura 6. Um corpo poderá estar em movimento em relação a determinado referencial e em repouso em relação a outro referencial.

ILUSTRAÇÕES: ADILSON SECCO/ARQUIVO DA EDITORA
ADILSON SECCO/ARQUIVO DA EDITORA
Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

A forma da trajetória de um móvel durante seu movimento também depende do referencial adotado. Ao ser abandonado de um avião que voa horizontalmente, um corpo cai ao mesmo tempo que avança também horizontalmente. Para um referencial fixo no chão, a trajetória do corpo será curvilínea; para um referencial no avião, a trajetória será uma linha reta vertical (Fig. 7).



ÉBER EVANGLISTA/ARQUIVO DA EDITORA

Figura 7. A forma da trajetória de um móvel depende do referencial adotado.

Velocidade

No estudo dos movimentos, é preciso considerar a rapidez com que um móvel sofre mudança de posição. A razão entre a variação do espaço Δs e o intervalo de tempo Δt é denominada **velocidade escalar média**, representada por v_m:

$$v_m = \frac{\Delta s}{\Delta t}$$

No SI, a unidade de medida da velocidade escalar média é o **metro por segundo (m/s)**, mas, na prática, é bastante comum medi-la em quilômetro por hora (km/h).

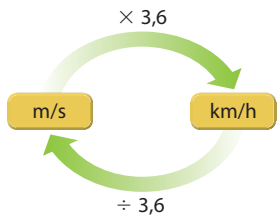
Note que:

$$1\ \frac{km}{h} = 1 \cdot \frac{1.000\ m}{3.600\ s} \Rightarrow 1\ \frac{km}{h} = 1 \cdot \frac{1\ m}{3{,}6\ s} \Rightarrow 1\ \frac{m}{s} = 3{,}6\ \frac{km}{h}$$

Assim, para converter m/s em km/h, basta multiplicar o valor da velocidade por 3,6.

Por exemplo: 10 m/s $= 10 \cdot 3{,}6$ km/h $= 36$ km/h

Para converter km/h em m/s, devemos dividir o valor da velocidade por 3,6 (Fig. 8).



ADILSON SECCO/ARQUIVO DA EDITORA

Figura 8. Conversão entre as unidades de velocidade.

Exercício resolvido

Uma ciclista parte da cidade *A* às 9 h 30 min e chega à cidade *B*, distante 72 km de *A*, às 13 h 30 min. Determine a velocidade escalar média dessa ciclista na viagem de *A* até *B*, em km/h e em m/s.

Resolução

Inicialmente, vamos determinar a duração da viagem (Δt). O intervalo de tempo Δt é dado pela diferença entre o instante de chegada à cidade *B* e o instante de partida da cidade *A*. Então:

$\Delta t = 13\text{ h }30\text{ min} - 9\text{ h }30\text{ min} \Rightarrow \Delta t = 4\text{ h}$

A variação de espaço Δs da ciclista na viagem de *A* até *B* corresponde à distância entre as cidades *A* e *B*; assim, $\Delta s = 72$ km. Portanto:

$$v_m = \frac{\Delta s}{\Delta t} \Rightarrow v_m = \frac{72\ km}{4\ h} \Rightarrow v_m = 18\ km/h$$

Sabendo que 1 m/s = 3,6 km/h ou, ainda, que $1\text{ km/h} = \frac{1}{3{,}6}$ m/s, temos:

$$v_m = 18\ km/h = 18 \cdot \frac{1}{3{,}6}\ m/s \Rightarrow v_m = 5\ m/s$$

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Veja comentários sobre essa atividade no Suplemento para o professor.

ODS 9

Atividade em grupo

Com a expansão das ferrovias para o oeste dos Estados Unidos, no século XIX, a comunicação e a circulação de produtos tornaram-se mais fáceis em todo o país, com trens que se deslocavam a aproximadamente 50 km/h, então considerada alta velocidade. Hoje em dia, com a evolução dos meios de transporte, é possível cruzar o mundo em algumas horas, em aviões comerciais com velocidades médias de aproximadamente 800 km/h. Essa é uma das razões para a expressão "aldeia global".

Em grupos, discutam com os colegas as consequências do "encurtamento de distâncias" para os aspectos econômico, comercial, tecnológico, político e social. Reúnam argumentos e exemplos para sustentar suas análises.

Explicar aos estudantes que o termo "encurtamento de distâncias" se refere à diminuição do intervalo de tempo para cobrir distâncias fixas decorrente da evolução dos meios de transporte.

Veja respostas e comentários no Suplemento para o professor.

Aplicando conhecimentos

Registre as respostas em seu caderno.

1. Na Antiguidade, o filósofo grego Heráclito de Éfeso (540 a.C.-480 a.C.) acreditava na perpétua mudança do Universo. A frase "Não poderás banhar-te duas vezes nas mesmas águas de um rio" é atribuída a ele. Mesmo que permanecesse no rio, a pessoa e as águas que a banhassem não seriam as mesmas, pois tudo muda incessantemente. Para Heráclito, tudo é movimento. No entanto, a noção de movimento não pode ser considerada absoluta. Os conceitos de movimento e de repouso dependem do referencial adotado.

Cite dois exemplos de situações em que um corpo está em movimento em relação a um referencial e em repouso em relação a outro referencial.

2. Um motociclista vai de João Pessoa a Cabedelo, cidades paraibanas, para presenciar o pôr do sol na Lagoa do Jacaré ao som do Bolero de Ravel. A moto desenvolve velocidade escalar média de 50 km/h até a metade do percurso e de 75 km/h na metade seguinte. Qual é a velocidade escalar média desenvolvida pela moto de João Pessoa a Cabedelo?

Veja comentários sobre esta atividade no Suplemento para o professor.

Em destaque

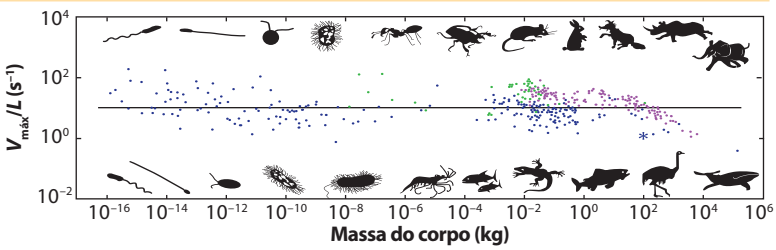
Velocidade máxima de deslocamento

A velocidade média de uma pessoa caminhando em passo normal é de aproximadamente 1,5 m/s (ou 5,4 km/h). Atletas em provas de 100 m rasos desenvolvem velocidades médias próximas de 10 m/s (ou 36 km/h).

Uma lebre atinge uma velocidade de 70 km/h; já um guepardo pode alcançar a velocidade de 100 km/h; e um falcão-peregrino pode mergulhar durante um voo a uma velocidade de 320 km/h.

O gráfico a seguir é um exemplo da relação entre a velocidade de alguns animais e seu comprimento. O eixo horizontal dessa figura representa a massa corporal total, e em quilograma, de organismos que vão desde uma pequena bactéria (à esquerda) até os maiores animais, como elefantes e baleias (à direita). O eixo vertical representa a velocidade máxima $v_{máx}$ do animal dividida pelo seu comprimento L, ou seja, a velocidade máxima por comprimento.

Relação entre velocidade e massa de alguns animais



Fonte: MEYER-VERNET, N; ROSPARS, J. How fast do living organisms move: maximum speeds from bacteria to elephants and whales. **American Journal of Physics**, College Park, v. 83, p. 719-722, 2015.

Os dados foram levantados para diversos organismos, como mamíferos, não mamíferos, espécies nadadoras e microrganismos. O asterisco para $M \simeq 10^2$ kg representa o recorde mundial humano de velocidade em natação. A linha horizontal indica a curva ajustada aos dados para um valor constante de $\frac{v_{máx.}}{L}$.

1. No eixo horizontal, em qual ordem de grandeza de massa estaria posicionado um ser humano?

2. Qual é o valor médio de $\frac{v_{máx}}{L}$ da curva ajustada aos dados?

3. Discuta com os colegas o significado físico da reta horizontal presente no gráfico.

NELSON MATSUDA/ARQUIVO DA EDITORA

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Aceleração

A **aceleração** de um móvel indica a rapidez com que ocorre determinada variação na velocidade instantânea desse móvel. É muito comum dizer que um corpo que se movimenta com velocidade variável tem aceleração.

Um carro cuja velocidade aumenta de 0 a 80 km/h, em determinado intervalo de tempo, está acelerando. Se outro carro puder ter essa mesma variação de velocidade, mas em um intervalo de tempo menor, então poderemos dizer que esse segundo carro tem uma aceleração maior. Concluímos, portanto, que, para uma mesma variação de velocidade Δv, a aceleração é inversamente proporcional ao intervalo de tempo Δt no qual se deu tal variação de velocidade.

A **aceleração escalar média**, que representaremos por α_m, é definida como a razão entre Δv e Δt:

$$\alpha_m = \frac{\Delta v}{\Delta t}$$

Voltando ao exemplo do carro que acelera de 0 a 80 km/h, vamos admitir que essa variação de velocidade tenha ocorrido em um intervalo de tempo de 10 s. Nesse caso, a aceleração escalar média desse carro será igual a:

$$\alpha_m = \frac{\Delta v}{\Delta t} \Rightarrow \alpha_m = \frac{80\ \text{km/h}}{10\ \text{s}} \Rightarrow \alpha_m = \frac{8\ \text{km/h}}{\text{s}}$$

Podemos interpretar essa aceleração escalar dizendo que, em média, a velocidade instantânea do carro cresceu 8 km/h a cada segundo, durante essa arrancada: $v = 0$ (no instante $t = 0$), $v = 8$ km/h (para $t = 1$ s), $v = 16$ km/h (para $t = 2$ s), $v = 24$ km/h (para $t = 3$ s) e assim por diante, até o instante $t = 10$ s.

A indicação do velocímetro de um veículo mostra o **módulo** da velocidade escalar do veículo em cada instante. Assim, quando o velocímetro indicar valores crescentes de velocidade em dado intervalo de tempo, como no exemplo anterior, dizemos que o móvel realiza um **movimento acelerado**, isto é, ele está se movimentando cada vez mais rapidamente (Fig. 9).

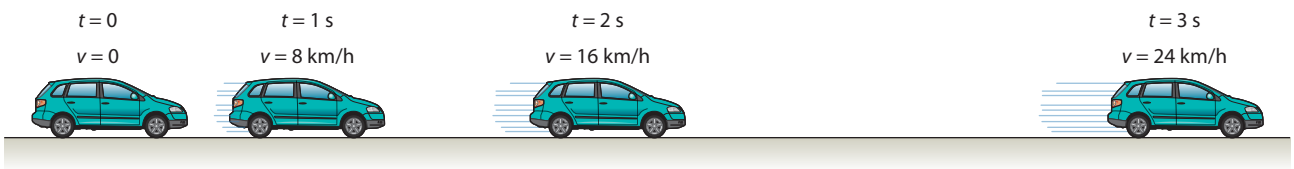


Figura 9. Automóvel em movimento acelerado.

Se o velocímetro indicar valores decrescentes em dado intervalo de tempo (por exemplo, 50 km/h, 45 km/h, 40 km/h), dizemos que o veículo realiza um **movimento retardado**, ou seja, ele está se deslocando cada vez mais lentamente.

A aceleração escalar do móvel em dado instante é denominada **aceleração escalar instantânea** α.

No SI, a unidade de medida da aceleração escalar média e da aceleração escalar instantânea é o **metro por segundo quadrado** $\left(\frac{\text{m}}{\text{s}^2}\right)$ ou $\text{m} \cdot \text{s}^{-2}$.

Veja respostas e comentários no Suplemento para o professor.

Aplicando conhecimentos

Registre as respostas em seu caderno.

3. Uma bola chega às mãos de um goleiro de futebol com velocidade de 54 km/h. Sabendo que o goleiro consegue imobilizar essa bola em 0,5 s, determine, em m/s^2, o módulo da aceleração escalar média da bola.

4. Um carro e uma moto estão parados em um cruzamento. Assim que a luz verde do semáforo se acende, os veículos partem. Após 4 s, o carro atinge a velocidade escalar de 30 km/h, e a moto atinge 45 km/h. Quantas vezes a aceleração escalar da moto é maior que a do carro no intervalo de tempo considerado?

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

ADILSON SECCO/ARQUIVO DA EDITORA

2. Cinemática dos movimentos uniforme e uniformemente variado

Movimento uniforme (MU)

O movimento uniforme (MU) é aquele no qual o móvel sofre iguais variações de espaço em iguais intervalos de tempo (Fig. 10). Assim, no MU, a velocidade escalar média é a mesma em qualquer intervalo de tempo e, portanto, é igual à velocidade escalar instantânea.

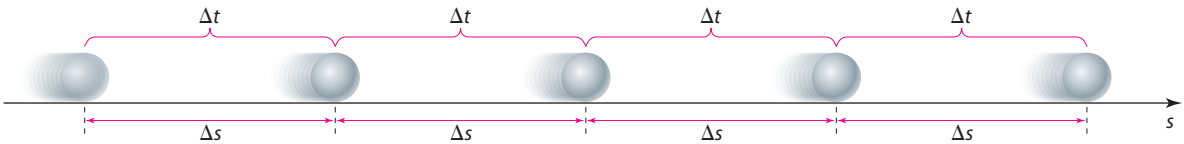


Figura 10. Representação esquemática de um móvel em movimento uniforme.

ADILSON SECCO/ARQUIVO DA EDITORA

No movimento uniforme, a velocidade escalar instantânea v é constante e diferente de zero.

Portanto, $v = v_m \Rightarrow v = \frac{\Delta s}{\Delta t}$ = constante não nula (**função horária da velocidade**).

Se no MU a velocidade escalar instantânea v é constante, então a aceleração escalar α é **constante** e **igual a zero**. Assim, no MU:

$$\alpha = \text{constante} = 0$$

Vamos considerar um móvel que realiza um movimento uniforme, em que s_0 é o espaço no instante $t_0 = 0$, denominado **espaço inicial**, e s é o espaço em um instante posterior t. O instante $t_0 = 0$ é denominado **origem dos tempos**.

Assim, a função horária que descreve a posição de um móvel ao longo do tempo é dada por:

$$s = s_0 + v \cdot t \text{ (função horária do espaço)}$$

A função horária do espaço no MU é uma função do 1º grau; logo, a curva que representa essa função é uma reta inclinada, em relação aos eixos, no gráfico $s \times t$ (Fig. 11).

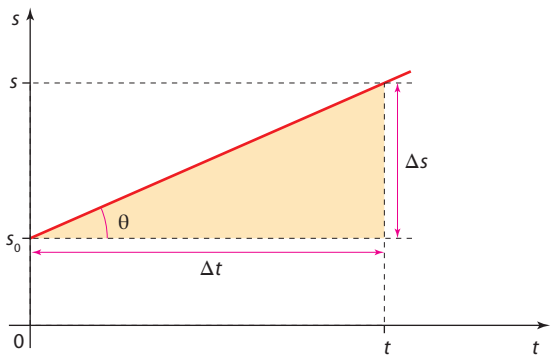


Figura 11. Gráfico $s \times t$ do MU.

ADILSON SECCO/ARQUIVO DA EDITORA

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

No gráfico (Fig. 11), temos:

$$\text{tg}\,\theta = \frac{\Delta s}{\Delta t} \Rightarrow v \overset{N}{=} \text{tg}\,\theta$$

Dada a função horária do espaço de um MU, podemos determinar o espaço inicial s_0 e a velocidade escalar v de um móvel. Observe o exemplo a seguir.

Exercício resolvido

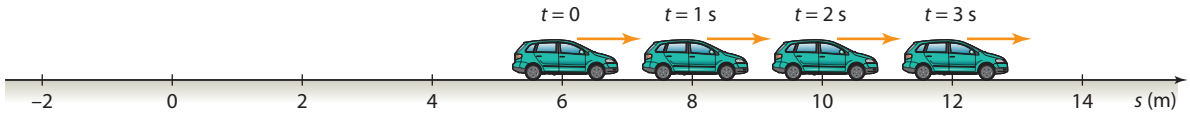
A função horária do espaço de um móvel em movimento uniforme é $s = 6 + 2t$ (SI). Determine o espaço inicial s_0 e a velocidade escalar v do móvel.

Resolução

Devemos comparar a função $s = 6 + 2t$ com a função $s = s_0 + v \cdot t$.

Note que: $s_0 = 6$ m e $v = 2$ m/s

Supondo a trajetória retilínea, podemos determinar também a posição do móvel nos instantes $t = 0$, $t = 1$ s, $t = 2$ s e $t = 3$ s, como mostra o esquema a seguir.



ADILSON SECCO/ARQUIVO DA EDITORA

O sentido do movimento do móvel é o mesmo sentido de orientação da trajetória, ou seja, é o sentido positivo do eixo s. Nesse caso, o movimento é chamado de **progressivo**. Se o sentido do movimento do móvel fosse oposto ao sentido de orientação da trajetória, o movimento seria chamado de **retrógrado**, e sua velocidade seria negativa.

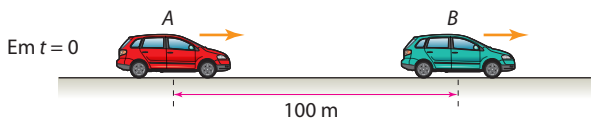
Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Podemos determinar o instante e a posição em que ocorre o encontro entre dois móveis em MU, em uma mesma trajetória. Observe o exemplo a seguir.

Exercício resolvido

ESTRATÉGIA DE ESTUDO

Dois automóveis, A e B, movem-se em movimento uniforme e no mesmo sentido. Suas velocidades escalares têm módulos respectivamente iguais a 15 m/s e 10 m/s. No instante $t = 0$, os automóveis estão nas posições indicadas a seguir. Considere desprezíveis as dimensões dos automóveis.



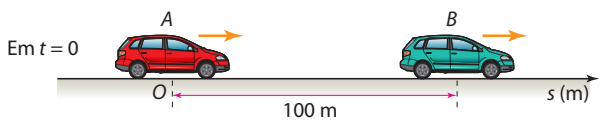
Determine:

O instante t_e em que A alcança B e a posição s_e na qual se dá o encontro.

Identificar

Para a resolução deste exercício, devemos escrever as funções horárias do espaço de A e B. Para isso, é necessário adotar arbitrariamente um ponto O como origem dos espaços e orientar a trajetória.

A origem dos espaços que vamos adotar é a posição inicial do automóvel A e vamos orientar a trajetória no sentido de A para B.



ILUSTRAÇÕES: ADILSON SECCO/ARQUIVO DA EDITORA

Preparar

Como se trata de um movimento uniforme, para o automóvel A, temos: $s_A = s_{0A} + v_A \cdot t$

Sendo $s_{0A} = 0$ e $v_A = 15$ m/s, vem: $s_A = 15t$ (SI).

Para o automóvel B: $s_B = s_{0B} + v_B \cdot t$. Sendo $s_{0B} = 100$ m e $v_B = 10$ m/s, vem: $s_B = 100 + 10t$ (SI).

Executar

No encontro, teremos:

$s_A = s_B \Rightarrow 15t_e = 100 + 10t_e \Rightarrow 5t_e = 100 \therefore t_e = 20$ s

Já o espaço dos móveis no instante do encontro é obtido substituindo-se $t_e = 20$ s em uma das duas funções horárias. Assim:

$s_e = 15t_e \Rightarrow s_A = 15 \cdot 20 \therefore s_e = 300$ m.

Se usássemos a função horária de B, teríamos:

$s_e = 100 + 10t_e = 100 + 10 \cdot 20 \therefore s_e = 300$ m

Analisar

Como a velocidade do móvel A é de 15 m/s, em 20 s ele percorre 300 m. Já o móvel B tem uma velocidade de 10 m/s; portanto, em 20 s ele percorre 200 m. Como ele já estava 100 m à frente, sua posição no encontro será 300 m, mostrando que os móveis se encontram no mesmo ponto da trajetória, confirmando os valores obtidos na resolução.

Movimento uniformemente variado (MUV)

O **movimento uniformemente variado (MUV)** é aquele no qual o móvel sofre iguais variações de velocidade em iguais intervalos de tempo (Fig. 12).

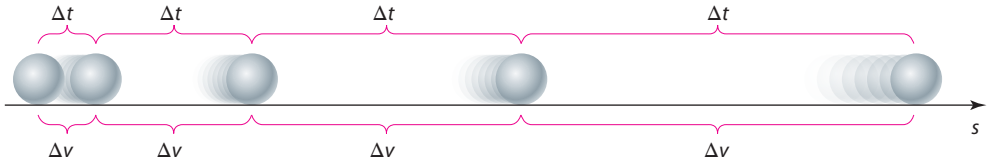


Figura 12. Representação esquemática de um móvel em movimento uniformemente variado.

ADILSON SECCO/ARQUIVO DA EDITORA

Assim, no MUV, a aceleração escalar média é a mesma em qualquer intervalo de tempo e, portanto, é igual à aceleração escalar em qualquer instante.

> No movimento uniformemente variado, a aceleração escalar instantânea α é constante e diferente de zero.

No MUV, a aceleração escalar instantânea α é constante, não nula e igual à aceleração escalar média α_m em qualquer intervalo de tempo. Assim, podemos escrever:

$$\alpha = \text{cte} \Rightarrow \alpha = \alpha_m \Rightarrow \alpha = \frac{\Delta v}{\Delta t}$$ **(função horária da aceleração)**

Considere um móvel que descreve um MUV em que v_0 é a velocidade escalar instântanea, no instante $t = 0$, denominada **velocidade inicial**, e v é a velocidade escalar instantânea num instante posterior t. A função horária que descreve a velocidade de um móvel ao longo do tempo é dada por:

$$\alpha = \frac{\Delta v}{\Delta t} \Rightarrow \alpha = \frac{v - v_0}{t - 0} \Rightarrow v = v_0 + \alpha \cdot t$$ **(função horária da velocidade)**

A função horária da velocidade escalar no MUV é uma função do 1º grau; logo, a curva que representa essa função é uma reta inclinada, em relação aos eixos, no gráfico $v \times t$ (Fig. 13).

No gráfico (Fig. 13), temos:

$$\text{tg}\,\theta = \frac{\Delta v}{\Delta t} \Rightarrow \alpha \triangleq \text{tg}\,\theta$$

A função horária que descreve a posição de um móvel ao longo do tempo é dada por:

$$s = s_0 + v_0 \cdot t + \frac{\alpha}{2} \cdot t^2$$ **(função horária do espaço)**

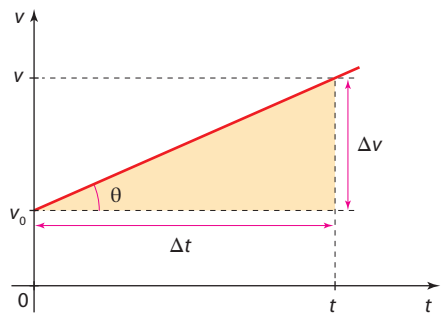


Figura 13. Gráfico $v \times t$ do MUV.

Note que a função horária do espaço no MUV é uma função do 2º grau; logo, a curva que representa essa função é uma parábola no gráfico $s \times t$. Se a aceleração escalar é positiva ($\alpha > 0$), a concavidade da parábola é voltada para cima (Fig. 14A); se a aceleração escalar é negativa ($\alpha < 0$), a concavidade da parábola é voltada para baixo (Fig. 14B).

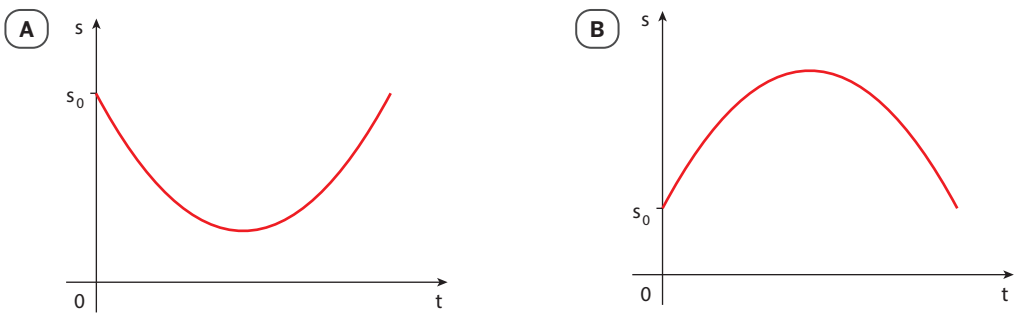


Figura 14. Gráficos $s \times t$ do MUV. (A) Parábola com concavidade para cima, $\alpha > 0$; (B) parábola com concavidade para baixo, $\alpha < 0$.

ILUSTRAÇÕES: ADILSON SECCO/ARQUIVO DA EDITORA

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Dada a função horária do espaço de um MUV, podemos determinar o espaço inicial s_0, a velocidade inicial v_0, a aceleração escalar α e a função horária da velocidade. Veja o exemplo a seguir.

Exercício resolvido

A função horária do espaço de um móvel é dada por $s = 2 + 3t + 5t^2$ (SI). Vamos determinar o espaço inicial s_0, a velocidade inicial v_0, a aceleração escalar α e a função horária da velocidade.

Resolução

Para isso, devemos comparar:

$$s = 2 + 3t + 5t^2, \text{ com } s = s_0 + v_0 \cdot t + \frac{\alpha}{2} \cdot t^2$$

Note que:

$$s_0 = 2 \text{ m}, v_0 = 3 \text{ m/s e } \frac{\alpha}{2} = 5 \therefore \alpha = 10 \text{ m/s}^2$$

De $v = v_0 + \alpha \cdot t$, temos:

$$v = 3 + 10t \text{ (SI)}$$

Veja respostas e comentários no Suplemento para o professor.

Aplicando conhecimentos

Registre as respostas em seu caderno.

5. Um automóvel se desloca numa rodovia com velocidade constante, indicada pelo velocímetro na foto a seguir.

O celular do motorista toca e, tentando imprudentemente alcançar o telefone enquanto dirige, sua atenção se desvia durante 2 s. Qual é a distância percorrida pelo automóvel nesse intervalo de tempo? Cite algumas consequências desse ato imprudente, considerando a distância percorrida pelo automóvel durante a distração do motorista.

6. O som e a luz se propagam realizando movimentos uniformes. Como você explica o fato de ouvirmos o som do trovão instantes depois de vermos a luz do relâmpago durante uma tempestade?

7. Uma partícula realiza um movimento uniformemente variado. Em determinado instante, sua velocidade escalar se anula. Pode-se afirmar que nesse instante sua aceleração escalar também é nula?

8. Um móvel parte da origem dos espaços ($s_0 = 0$) e realiza um MUV cuja função horária da velocidade é $v = 1 + 2t$ (SI).

a. Determine a aceleração escalar α e a velocidade escalar inicial v_0 da partícula;

b. Determine a função horária do espaço para esse movimento;

c. Construa os gráficos da aceleração, da velocidade e do espaço em função do tempo.

Equação de Torricelli para o MUV

Vamos relacionar a velocidade escalar v com o espaço s.

Para isso, vamos elevar ao quadrado ambos os membros da função horária da velocidade.

$$v = v_0 + \alpha \cdot t \Rightarrow (v)^2 = (v_0 + \alpha \cdot t)^2 \Rightarrow v^2 = v_0^2 + 2 \cdot v_0 \cdot \alpha \cdot t + \alpha^2 \cdot t^2$$

No segundo membro dessa expressão, podemos colocar $2 \cdot \alpha$ em evidência. Assim:

$$v^2 = v_0^2 + 2 \cdot \alpha \cdot \left(v_0 \cdot t + \frac{\alpha}{2} \cdot t^2\right)$$

Observe que a expressão entre parênteses corresponde ao deslocamento escalar $\Delta s = s - s_0$ na função horária dos espaços no MUV. Assim, temos:

$$v^2 = v_0^2 + 2 \cdot \alpha \cdot \Delta s$$

Essa equação é denominada **equação de Torricelli para o MUV**.

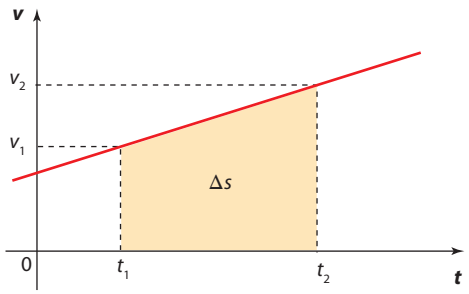
Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Exercício resolvido

Um móvel realiza um MUV. No instante t_1, sua velocidade escalar é v_1 e, no instante t_2, ela é v_2. Prove que a velocidade escalar média v_m, no intervalo de tempo Δt, é dada por $v_m = \frac{v_1 + v_2}{2}$.

Resolução

No MUV, a velocidade escalar varia linearmente com o tempo, como apresentado a seguir.



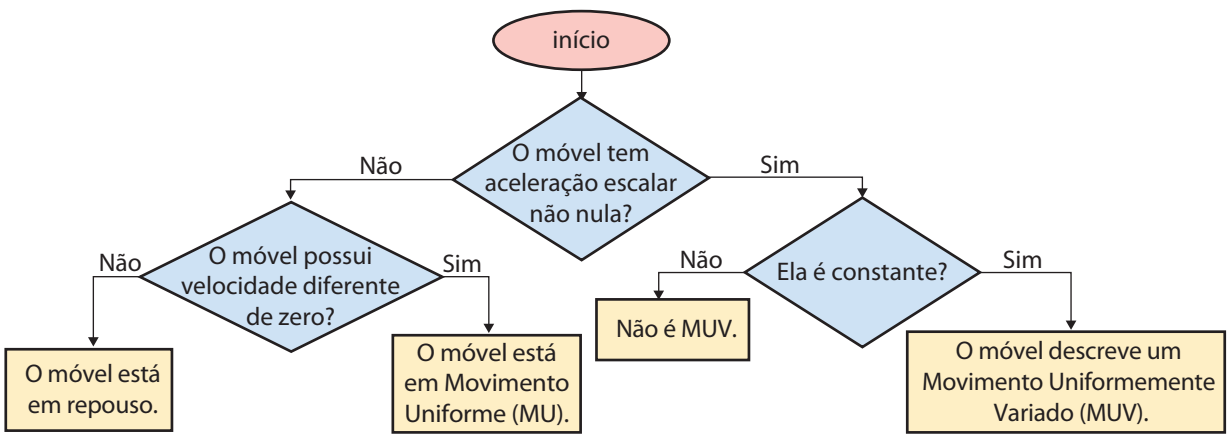
ADILSON SECCO/ARQUIVO DA EDITORA

A área do trapézio sombreado no gráfico é numericamente igual ao deslocamento escalar Δs no intervalo de tempo entre t_1 e t_2. Assim:

$$A_{trapézio} = \frac{(B + b) \cdot h}{2} \Rightarrow \Delta s = \frac{(v_1 + v_2) \cdot (t_2 - t_1)}{2} \Rightarrow \frac{\Delta s}{\Delta t} = \frac{(v_1 + v_2)}{2}$$

Portanto, chegamos a: $v_m = \frac{v_1 + v_2}{2}$

Podemos organizar o raciocínio lógico em relação ao que estudamos até agora em Cinemática em um fluxograma (Fig. 15).



NELSON MATSUDA/ARQUIVO DA EDITORA

Figura 15. Fluxograma para determinar se o movimento descrito por um móvel é MU ou MUV.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Veja respostas e comentários no Suplemento para o professor.

Aplicando conhecimentos

Registre as respostas em seu caderno.

9. Um trem parte do repouso e atinge a velocidade de 54 km/h após percorrer 75 m em movimento uniformemente variado. Qual é a aceleração escalar desse trem?

10. Em algumas avenidas de Curitiba (PR), a velocidade máxima permitida passou de 70 km/h para 60 km/h. Para ter ideia de como essa redução de velocidade contribuiu para a segurança dos motoristas, considere que um carro a 60 km/h é freado e, depois de percorrer uma distância *d*, para quase encostando em um caminhão estacionado na pista devido a uma pane no motor. Se esse carro estivesse a 70 km/h no momento em que foi freado, depois de percorrer a mesma distância *d*, ele colidiria com o caminhão com que velocidade? Considere que a desaceleração é a mesma e constante nos dois casos.

Movimento vertical nas proximidades da superfície terrestre

Ao ser abandonado nas proximidades da superfície terrestre, desprezando a resistência do ar, um corpo é atraído para o solo e cai livremente com velocidade crescente. Em outras palavras, o corpo acelera. A aceleração do móvel, nesse caso, é denominada **aceleração da gravidade**, geralmente representada por g.

Nas proximidades da superfície terrestre, a aceleração da gravidade é aproximadamente constante e igual a 9,8 m/s^2. Neste livro, sempre que necessário e a menos que se diga algo contrário, vamos considerar que, nas proximidades da superfície terrestre, a aceleração da gravidade tem valor igual a 10 m/s^2, isto é:

$$g = 10 \text{ m/s}^2$$

O movimento vertical de um móvel nas proximidades da superfície terrestre, quando se despreza a resistência do ar, é um movimento uniformemente variado, pois ele ocorre com aceleração constante (g).

O sinal da aceleração escalar em um movimento vertical, nas proximidades da superfície terreste, depende do sentido em que a trajetória é orientada: $\alpha = +g$ quando a trajetória é orientada para baixo e $\alpha = -g$ quando a trajetória é orientada para cima, não importando se o móvel em estudo está subindo ou descendo.

Veja comentários sobre essa atividade no Suplemento para o professor.

Dialogando com o texto

Depois de tratar sobre queda livre na sala de aula, uma professora de Física realizou o seguinte experimento para provar que corpos abandonados da mesma altura e sob ação exclusiva da gravidade chegam ao solo ao mesmo tempo.

Primeiro, ela abandonou de certa altura uma folha de papel aberta e outra amassada, formando uma bolinha. Constatou com os estudantes que a folha de papel amassada chegou ao solo antes da folha de papel aberta.

Em seguida, colocou a bolinha de papel e um pedaço da folha aberta sobre um apagador disposto paralelamente ao solo. Abandonando o conjunto de certa altura, constataram que os três objetos chegaram juntos ao solo. Você sabe explicar o que ocorreu em cada uma das situações descritas?

Veja comentários sobre essa atividade no Suplemento para o professor.

Aplicando conhecimentos

Registre as respostas em seu caderno.

11. A missão Apollo XV, cujo comandante era David R. Scott, foi lançada em 26 de julho de 1971. Para comprovar que Galileu estava certo em suas descobertas, o astronauta realizou, em solo lunar, um experimento simples, largando da mesma altura e simultaneamente uma pena e um martelo, constatando que:

11. c

a. o martelo, sendo mais pesado, chegou ao solo antes da pena.
b. a pena chegou ao solo antes do martelo, mesmo sendo mais leve.
c. a pena e o martelo atingiram o solo ao mesmo tempo.
d. o martelo desceu, e a pena flutuou na atmosfera lunar.
e. o martelo desceu, e a pena subiu.

12. Uma bolinha de tênis é abandonada da janela de um edifício, demorando 3 s para atingir o solo. Considere $g = 10$ m/s^2 e despreze a resistência do ar. De que altura a bolinha foi abandonada?

3. Grandezas escalares e grandezas vetoriais

A **grandeza física escalar** é uma grandeza caracterizada apenas por um valor numérico acompanhado da correspondente unidade de medida, quando houver. A massa de um corpo (por exemplo, 50 kg), a temperatura (por exemplo, 36 °C), o volume (5 m^3, por exemplo), a densidade (para a água, 1.000 kg/m^3), a pressão (10^5 N/m^2, por exemplo) e a energia (por exemplo, 100 J) são grandezas físicas escalares **dimensionais**. O coeficiente de atrito entre duas superfícies é um exemplo de grandeza física escalar não dotada de unidade de medida, sendo, portanto, uma grandeza **adimensional**.

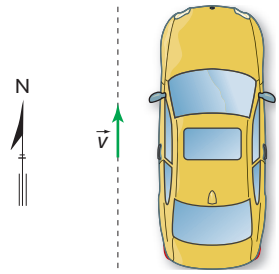
Na Física, os vetores representam grandezas que têm tanto **magnitude** (tamanho ou intensidade) quanto **direção** e **sentido**. Dada a velocidade instantânea de um móvel qualquer, por exemplo, um carro a 80 km/h, constatamos que apenas essa informação é insuficiente para sabermos a direção em que o móvel segue. Isso acontece porque a velocidade é uma **grandeza física vetorial**.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Para caracterizar uma grandeza física vetorial, precisamos conhecer não apenas seu valor numérico e sua correspondente unidade de medida (isto é, sua intensidade ou módulo), mas também sua direção e seu sentido. A grandeza vetorial costuma ser indicada por uma seta acima da letra que a representa, por exemplo, $\vec{v}$. Sua intensidade, ou módulo, pode ser indicada por $|\vec{v}|$ ou apenas por v.

Uma grandeza física vetorial pode ser representada graficamente por um segmento de reta (indicando sua direção) dotado de uma seta (indicando seu sentido), trazendo ainda seu valor numérico seguido da correspondente unidade de medida (indicação de sua intensidade). Tal representação gráfica é denominada **vetor**.

Para caracterizar a grandeza física velocidade no exemplo do carro citado, poderíamos dizer que, em determinado instante, ele se movimenta com velocidade $\vec{v}$ de módulo $v = 80$ km/h, na direção norte-sul e no sentido de sul para norte. Essa velocidade vetorial instantânea pode ser representada por um vetor, como mostra a figura 16.



ADILSON SECCO/ARQUIVO DA EDITORA

Figura 16. Representação gráfica da velocidade vetorial $\vec{v}$ do carro num determinado instante.

Operações com grandezas vetoriais

Em muitas situações, um corpo pode ter mais de uma velocidade, mais de uma aceleração, ou, ainda, estar sujeito a mais de uma força. Nesses casos, quase sempre será preciso determinar a **velocidade resultante**, a **aceleração resultante** ou a **força resultante**. Existem três operações básicas com vetores: a **adição** vetorial, a **subtração** vetorial e a **multiplicação** de um vetor por um número real. A seguir, estudaremos essas operações.

Adição de vetores

Para obter o vetor soma ou vetor resultante $\vec{v}_S$, podemos usar a regra do paralelogramo ou o método da linha poligonal.

Regra do paralelogramo

Os vetores $\vec{v}_1$ e $\vec{v}_2$ (Fig. 17A) são posicionados de modo que suas origens coincidam (Fig. 17B). Pela extremidade de $\vec{v}_1$, traça-se uma reta paralela a $\vec{v}_2$ e, pela extremidade de $\vec{v}_2$, traça-se uma reta paralela a $\vec{v}_1$, obtendo-se, assim, um paralelogramo (Fig. 17C).

O vetor $\vec{v}_S$, cuja origem coincide com a origem comum dos vetores $\vec{v}_1$ e $\vec{v}_2$ e com a extremidade no vértice oposto do paralelogramo (Fig. 17D), é o **vetor soma** ou **resultante**.

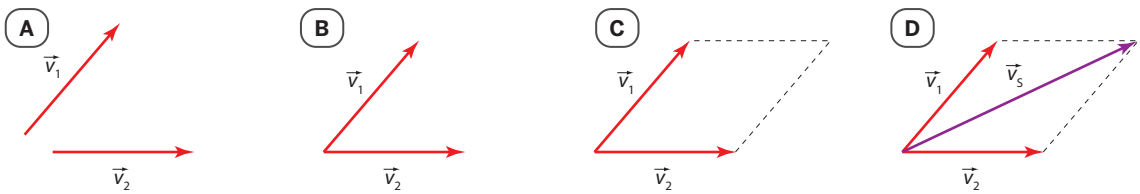


Figura 17. Adição de vetores pela regra do paralelogramo.

Método da linha poligonal

Os vetores $\vec{v}_1$ e $\vec{v}_2$ (Fig. 18A) são posicionados de modo que a origem de um deles coincida com a extremidade do outro (Fig. 18B). A origem do vetor soma $\vec{v}_S$ coincide com a origem do primeiro vetor da sequência, e sua extremidade coincide com a extremidade do último vetor da sequência (Fig. 18C). O resultado não se altera se invertermos a sequência dos vetores, $\vec{v}_1 + \vec{v}_2 = \vec{v}_2 + \vec{v}_1$ (Fig. 18D).

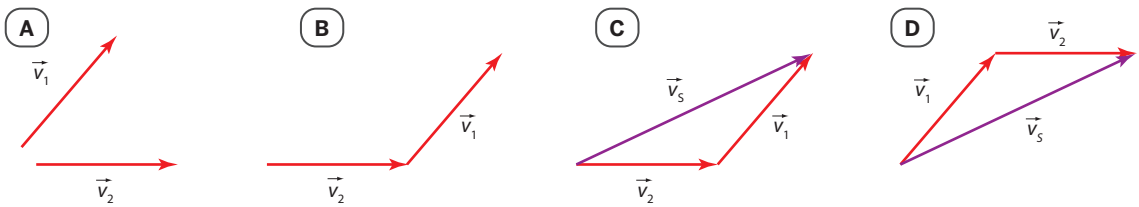


Figura 18. Adição de vetores pelo método da linha poligonal.

ILUSTRAÇÕES: ADILSON SECCO/ARQUIVO DA EDITORA

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

O método da linha poligonal pode ser aplicado para mais de dois vetores.

Os vetores podem ter direções diferentes (Fig. 19) ou a mesma direção (Fig. 20). Em todos os casos, a sequência em que os vetores são posicionados não importa.

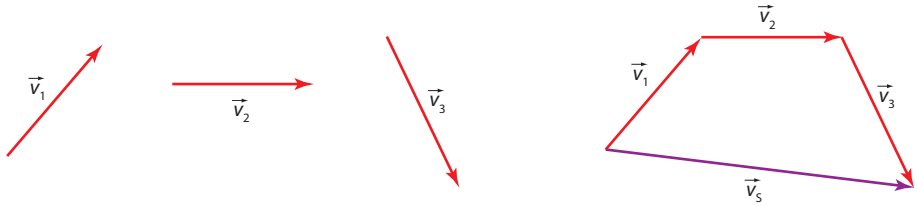


Figura 19. Adição de vetores de direções diferentes: $\vec{v}_S = \vec{v}_1 + \vec{v}_2 + \vec{v}_3$.

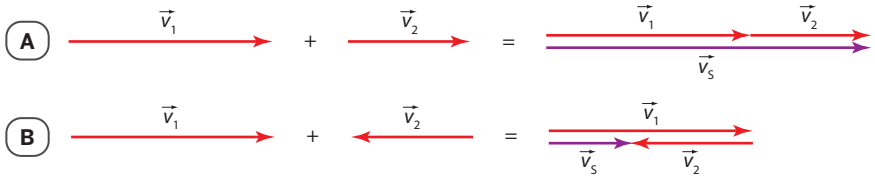


Figura 20. (A) Adição de vetores de mesma direção e mesmo sentido; (B) adição de vetores de mesma direção e sentidos opostos.

ILUSTRAÇÕES: ADILSON SECCO/ARQUIVO DA EDITORA

Vetor oposto de um vetor $\vec{v}$

O vetor que tem a mesma direção de um vetor $\vec{v}$, o mesmo módulo e sentido oposto é denominado **vetor oposto de** $\vec{v}$, dado por $-\vec{v}$ (Fig. 21).

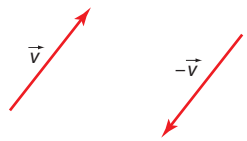


Figura 21. Vetor oposto de um vetor $\vec{v}$.

Subtração de vetores

Para efetuar a subtração dos vetores $\vec{v}_1$ e $\vec{v}_2$, nessa ordem, temos de fazer a adição do vetor $\vec{v}_1$ com o vetor oposto de $\vec{v}_2$. O vetor obtido é o vetor diferença: $\vec{v}_D = \vec{v}_1 + (-\vec{v}_2) = \vec{v}_1 - \vec{v}_2$ (Fig. 22).

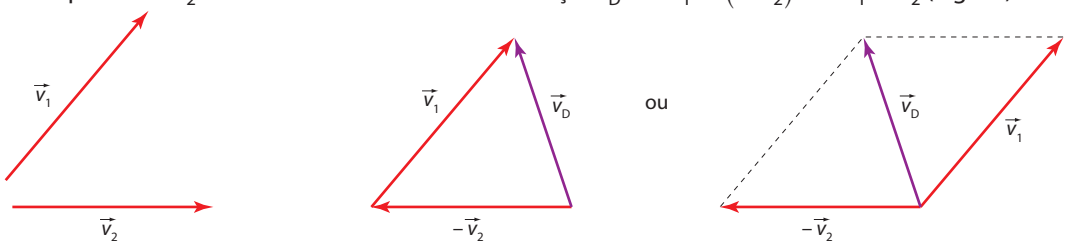


Figura 22. Subtração de vetores pelo método da linha poligonal.

ILUSTRAÇÕES: ADILSON SECCO/ARQUIVO DA EDITORA

Multiplicação de um número real por um vetor

O produto de um número real n por um vetor $\vec{v}$ é o vetor $\vec{p} = n \cdot \vec{v}$, com as seguintes características:

- a direção de $\vec{p}$ é a mesma de $\vec{v}$;
- o sentido de $\vec{p}$ é o mesmo de $\vec{v}$, se $n > 0$, e o oposto ao de $\vec{v}$, se $n < 0$;
- o módulo de $\vec{p}$ é dado por $|\vec{p}| = |n| \cdot |\vec{v}|$.

Na representação dos vetores $\vec{v}$, $2\vec{v}$ e $-3\vec{v}$ (Fig. 23), os vetores $2\vec{v}$ e $-3\vec{v}$ resultam da multiplicação dos números reais 2 e -3, respectivamente, pelo vetor $\vec{v}$.

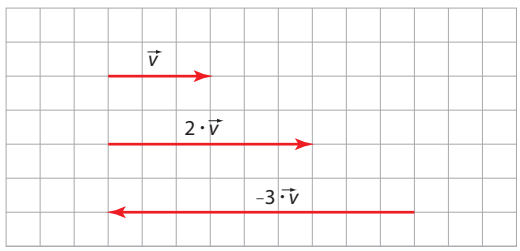


Figura 23. Representação dos vetores $\vec{v}$, $2\vec{v}$ e $-3\vec{v}$.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Veja comentários sobre essa atividade no Suplemento para o professor.

Dialogando com o texto

ODS 4

Como você orientaria uma pessoa cega ou com baixa visão a se deslocar da entrada da escola até a secretaria, a diretoria ou outro local do prédio? Pesquise uma solução para essa questão utilizando recursos táteis, como sinalização de piso tátil, que orientem essa pessoa a chegar ao seu destino.

Para entender como o conceito de deslocamento vetorial pode ser aplicado, analise o exemplo a seguir.

Exercício resolvido

ESTRATÉGIA DE ESTUDO

Um grupo de amigos parte em um carro, de um posto de combustível para um festival de dança na cidade vizinha. Eles se deslocaram a uma velocidade média escalar de 80 km/h, durante 0,5 h, na direção norte-sul, indo do sul para o norte. A seguir, mudaram de rumo e passaram a se deslocar na direção leste-oeste, no sentido de leste para oeste, a uma velocidade média escalar de 60 km/h, por 0,5 h. Ao final dessa viagem de 1 h, a que distância o grupo de amigos estará do posto de combustível? Qual é o módulo da velocidade vetorial média do carro?

Identificar

Devemos, inicialmente, calcular os deslocamentos escalares realizados pelo grupo em cada uma das duas etapas da viagem. Para isso, vamos usar a expressão da velocidade média: $v_m = \frac{\Delta s}{\Delta t}$. No entanto, o enunciado afirma que há uma mudança de direção. Assim, para obtermos a velocidade vetorial média, precisamos do deslocamento vetorial, que é o vetor resultante da adição vetorial dos deslocamentos vetoriais parciais.

Preparar

No primeiro trecho da viagem, o deslocamento escalar foi de:

$$v_{m(1)} = \frac{\Delta s_1}{\Delta t} \Rightarrow 80 = \frac{\Delta s_1}{0{,}5} \therefore \Delta s_1 = 40 \text{ km}$$

No segundo trecho da viagem, o deslocamento escalar é:

$$v_{m(2)} = \frac{\Delta s_2}{\Delta t} \Rightarrow 60 = \frac{\Delta s_1}{0{,}5} \therefore \Delta s_2 = 30 \text{ km}$$

Em cada etapa da viagem, o módulo do deslocamento vetorial coincide com o deslocamento escalar, pois o carro movimenta-se em linha reta.

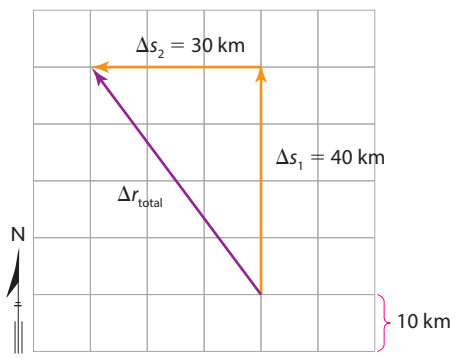
Executar

Vamos, agora, representar vetorialmente esses dois deslocamentos e, com eles, obter o deslocamento vetorial total realizado pelo grupo de amigos.

Na representação a seguir, cada quadrícula tem lado correspondente a 10 km. O deslocamento vetorial total, $\Delta\vec{r}_{total}$, tem módulo Δr_{total} que pode ser calculado aplicando o teorema de Pitágoras ao triângulo retângulo cujos lados são os vetores deslocamento em cada uma das duas etapas:

$$\Delta r_{total}^2 = \Delta s_1^2 + \Delta s_2^2 \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \Delta r_{total}^2 = (40 \text{ km})^2 + (30 \text{ km})^2 \therefore \Delta r_{total} = 50 \text{ km}$$



ADILSON SECCO/ARQUIVO DA EDITORA

Portanto, ao final da viagem, o grupo de amigos estará a uma distância de 50 km do posto de gasolina. O módulo da velocidade vetorial média é dado pela razão entre o módulo do deslocamento vetorial total e o intervalo de tempo correspondente. Então:

$$|\vec{v}_m| = \frac{|\Delta\vec{r}_{total}|}{\Delta t} \Rightarrow |\vec{v}_m| = \frac{50 \text{ km}}{1 \text{ h}} = 50 \text{ km/h}$$

Avaliar

Com base na representação, observamos que o vetor velocidade média tem a mesma direção e o mesmo sentido do vetor deslocamento total. Isso faz sentido, pois na equação vetorial $\vec{v}_m = \frac{\Delta\vec{r}_{total}}{\Delta t}$ o intervalo de tempo Δt é uma grandeza escalar positiva; portanto, a velocidade vetorial média é um vetor que tem a mesma direção e o mesmo sentido do deslocamento vetorial total.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

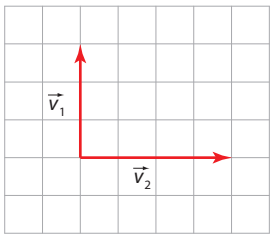
Veja respostas e comentários no Suplemento para o professor.

Aplicando conhecimentos

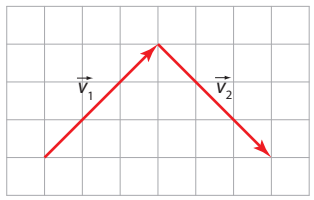
Registre as respostas em seu caderno.

13. São dados os vetores $\vec{v}_1$ e $\vec{v}_2$ em duas situações distintas. Represente graficamente o vetor $\vec{v}_s = \vec{v}_1 + \vec{v}_2$ em cada uma das situações indicadas a seguir.

a.



b.



ADILSON SECCO/ARQUIVO DA EDITORA

14. Retome o exercício anterior. Sabendo que o lado de cada quadrícula é igual a uma unidade de medida (1 u), determine o módulo do vetor $\vec{v}_S$ em cada situação.

4. Movimentos bidimensionais sob a ação da gravidade

Muitas modalidades esportivas olímpicas fazem uso de arremessos, como o lançamento de dardo (**Fig. 24**) e de disco (**Fig. 25**), quando o atleta procura efetuar o lançamento de modo que o objeto atinja a maior distância possível.

DEAN MOUHTAROPOULOS/GETTY IMAGES

Figura 24. Lançamento de dardo. O dardo é constituído por uma haste de metal ou madeira com uma ponta metálica afiada (Tóquio, 2021).

ANDREJ ISAKOVIC/AFP/GETTY IMAGES

Figura 25. Modalidade de lançamento de disco. O disco geralmente é feito de madeira e tem borda de metal (Tóquio, 2021).

Lançamento horizontal (livre)

Quando um móvel é lançado horizontalmente, com velocidade $\vec{v}_0$, nas proximidades da superfície da Terra, ele descreve uma trajetória parabólica, quando se despreza a resistência do ar. O movimento do móvel pode ser decomposto em outros dois movimentos, que ocorrem simultaneamente: um movimento vertical, que se realiza com aceleração constante igual à aceleração da gravidade, sendo, portanto, um MUV, e um MU, que se realiza com velocidade constante igual à velocidade de lançamento (Fig. 26).

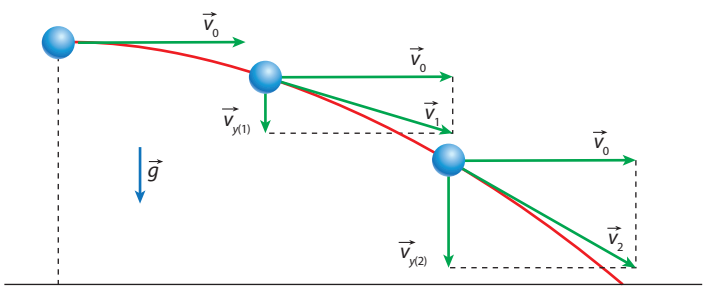


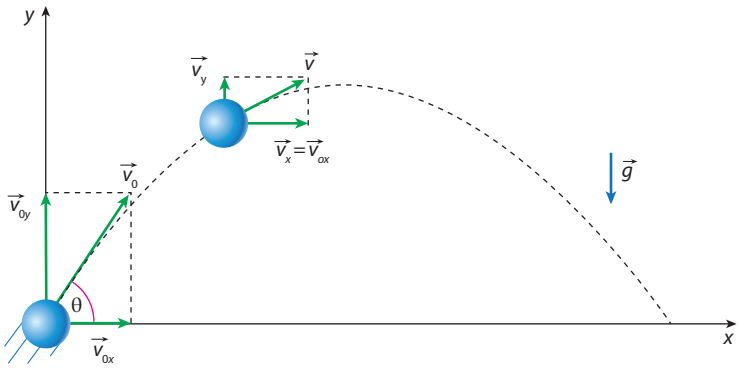
Figura 26. Um lançamento horizontal é a composição de um MUV na vertical com um MU na horizontal.

ADILSON SECCO/ARQUIVO DA EDITORA

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Lançamento oblíquo (livre)

Quando um móvel é lançado obliquamente, sua velocidade inicial $\vec{v}_0$ forma ângulo θ com a direção horizontal (Fig. 27).



ADILSON SECCO/ARQUIVO DA EDITORA

Figura 27. Lançamento oblíquo: composição de um MUV na vertical com um MU na horizontal.

O movimento horizontal é uniforme, com velocidade v_{0x}. O movimento vertical é uniformemente variado com velocidade inicial v_{0y} e aceleração igual em módulo à aceleração gravitacional g.

Ressalte que as equações são as mesmas estudadas na Cinemática escalar.

Veja respostas e comentários no Suplemento para o professor.

Em destaque

MULTICULTURALISMO

Esportes indígenas

Reunião preparatória para os Jogos Mundiais dos Povos Indígenas

[...] a Fundação Cultural Palmares (FCP) recebeu grupos de povos indígenas para tratarem da reunião preparatória para os Jogos Mundiais dos Povos Indígenas, coordenado pelos indígenas Marcos e Carlos, da etnia Terena.

Os Jogos Mundiais dos Povos Indígenas são considerados o maior evento desportivo-cultural indígena das Américas, onde buscam a celebração e o envolvimento dos povos participantes, incentivando o respeito mútuo às vivências culturais e desportivas tradicionais e ocidentais.

[...]

"Os Jogos são um marco no requisito de expressões corporal e esportivo, onde se celebra artisticamente e historicamente os encontros etnocêntricos culturais indígenas", explica Ângela Inácio.

Para um dos organizadores dos Jogos Mundiais, o evento é um marco mundial e uma celebração aos povos indígenas.

"Os Jogos Mundiais dos Povos Indígenas é uma criação do índio brasileiro. É um sonho, e de unir povos não só das 300 etnias do Brasil, mas do mundo todo! Estamos com um grande desafio, pois queremos reunir indígenas dos Estados Unidos, África e do mundo todo em geral", destaca Marco Serena.

Nesse cenário, os jogos possibilitam a reorganização e a reafirmação de papéis sociais estabelecidos historicamente entre os vários povos indígenas participantes da sociedade brasileira.

Fonte: REUNIÃO preparatória para os Jogos Mundiais dos Povos Indígenas. *In*: **Fundação Cultural Palmares**, 25 out. 2023. Disponível em: https://www.gov.br/palmares/pt-br/assuntos/noticias/reuniao-preparatoria-para-os-jogos-mundiais-dos-povos-indigenas. Acesso em: 2 ago. 2024.

1. Faça uma pesquisa sobre as modalidades existentes nos Jogos Mundiais dos Povos Indígenas.

2. Quais dessas modalidades envolvem os conceitos sobre lançamentos de corpos (oblíquos ou horizontais)?

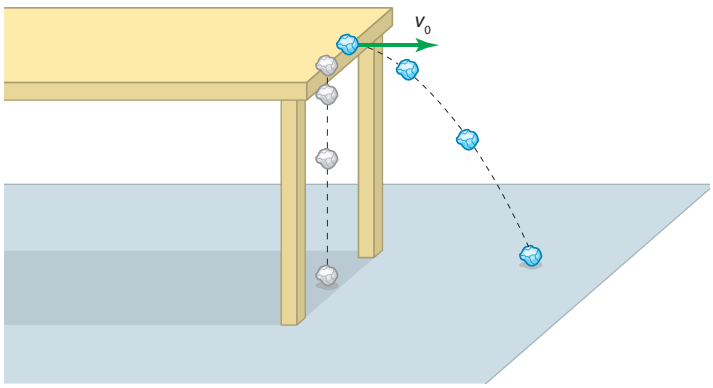
Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Veja respostas e comentários no Suplemento para o professor.

Aplicando conhecimentos

Registre as respostas em seu caderno.

15. Ao analisar os temas queda livre e lançamento horizontal, o professor de Cinemática fez um pequeno experimento. Abandonou da beirada da mesa, existente na sala de aula, uma bolinha de papel e, ao mesmo tempo, lançou horizontalmente outra bolinha de papel, também da beirada da mesa. Os estudantes perceberam que as bolinhas chegaram ao solo praticamente no mesmo intervalo de tempo. O professor pediu aos estudantes que explicassem tal fato. Se você fosse um estudante dessa sala, como explicaria?



ADILSON SECCO/ARQUIVO DA EDITORA

16. Uma bolinha é lançada obliquamente nas proximidades da superfície terrestre, de modo que a componente horizontal da sua velocidade inicial é $v_{0x} = 6{,}0$ m/s e a componente vertical da velocidade inicial é $v_{0y} = 8{,}0$ m/s. Considerando 10 m/s^2 o módulo da aceleração gravitacional local, adote $t_0 = 0$ para o instante do lançamento e determine:

a. o instante t_s no qual a bolinha retorna ao solo;

b. a altura máxima H atingida pela bolinha em relação ao solo.

Despreze a força resistência do ar sobre a bolinha.

Veja respostas e comentários no Suplemento para o professor.

Atividades finais

Registre as respostas em seu caderno.

1. **(Unesp)** O limite máximo de velocidade para veículos leves na pista expressa da Av. das Nações Unidas, em São Paulo, foi recentemente ampliado de 70 km/h para 90 km/h. O trecho dessa avenida conhecido como Marginal Pinheiros possui extensão de 22,5 km. Comparando os limites antigo e novo de velocidades, a redução máxima de tempo que um motorista de veículo leve poderá conseguir ao percorrer toda a extensão da Marginal Pinheiros pela pista expressa, nas velocidades máximas permitidas, será de, aproximadamente,

1.e

a. 1 minuto e 7 segundos.

b. 4 minutos e 33 segundos.

c. 3 minutos e 45 segundos.

d. 3 minutos e 33 segundos.

e. 4 minutos e 17 segundos.

2. **(Enem)** Um motorista que atende a uma chamada de celular é levado à desatenção, aumentando a possibilidade de acidentes ocorrerem em razão do aumento de seu tempo de reação. Considere dois motoristas, o primeiro atento e o segundo utilizando o celular enquanto dirige. Eles aceleram seus carros inicialmente a 1,00 m/s^2. Em resposta a uma emergência, freiam com uma desaceleração igual a 5,00 m/s^2. O motorista atento aciona o freio à velocidade de 14,0 m/s, enquanto o desatento, em uma situação análoga, leva 1,00 segundo a mais para iniciar a frenagem. Que distância o motorista desatento percorre a mais do que o motorista atento, até a parada total dos carros?

2.e

a. 2,90 m;

b. 14,0 m;

c. 14,5 m;

d. 15,0 m;

e. 17,4 m.

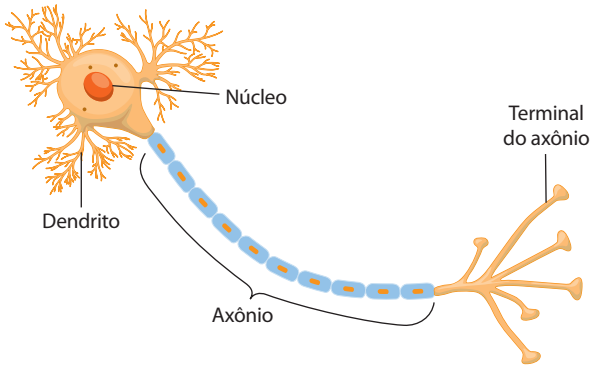
CONTINUA

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

CONTINUAÇÃO

3. A velocidade de condução de um sinal no sistema nervoso varia entre os animais, assim como de um nervo para o outro. Por exemplo, em um gato, a velocidade de condução de um sinal varia de 30 a 120 m/s, enquanto no caracol esse valor chega a 0,2 m/s. Os nervos são feixes de células nervosas, chamadas de neurônios, que, por sua vez, são formados por três partes principais: corpo celular, dendrito e axônio.

ADILSON SECCO/ARQUIVO DA EDITORA



(Representação fora de proporção; cores meramente ilustrativas)

O sinal sempre passa de um axônio para o corpo celular ao qual está conectado. Essa conexão entre o axônio e o corpo celular é chamada de sinapse.

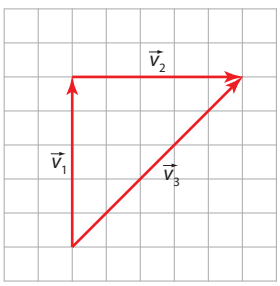
Em um modelo matemático, considera-se que a velocidade de propagação v do sinal é diretamente proporcional à raiz quadrada do diâmetro d do axônio: $v = k\sqrt{d}$. Nessa equação, k é uma constante de proporcionalidade. Suponha que, em um animal, um sinal percorra uma distância de 20 cm em 0,01 s.

Se os axônios tivessem o dobro do diâmetro e as outras condições fossem as mesmas, qual seria o tempo necessário para essa propagação?

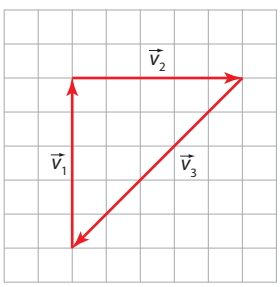
4. São dados quatro diagramas com os vetores $\vec{v}_1$, $\vec{v}_2$ e $\vec{v}_3$:

ILUSTRAÇÕES: ADILSON SECCO/ARQUIVO DA EDITORA

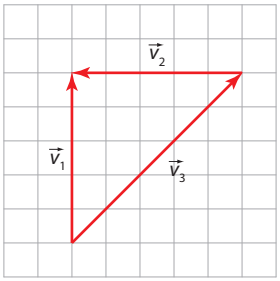
I.



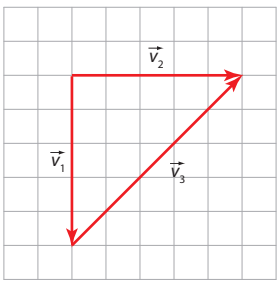
II.



III.



IV.



ILUSTRAÇÕES: ADILSON SECCO/ARQUIVO DA EDITORA

Associe cada diagrama a um dos itens.

a. $\vec{v}_1 + \vec{v}_2 + \vec{v}_3 = \vec{0}$

b. $\vec{v}_1 = \vec{v}_3 + \vec{v}_2$

c. $\vec{v}_1 + \vec{v}_2 = \vec{v}_3$

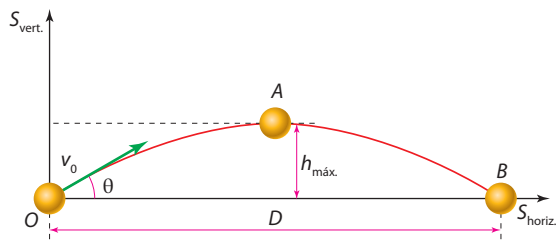
d. $\vec{v}_1 + \vec{v}_3 = \vec{v}_2$

5. Uma pequena bola é lançada horizontalmente com velocidade $v_0 = 5$ m/s e, após 5 s, atinge o solo. Considere $g = 10$ m/s^2 e despreze a resistência do ar.

a. De que altura, em relação ao solo, a bola foi lançada?

b. A que distância da vertical de lançamento a bola atinge o solo?

6. Uma bola é lançada do solo com velocidade $\vec{v}_0$, cujo módulo é $v_0 = 20$ m/s, formando um ângulo $\theta = 30°$ com a horizontal.



Considere $g = 10$ m/s^2, despreze a resistência do ar sobre a bola e determine:

a. o intervalo de tempo de subida da bola t_s, isto é, o intervalo de tempo decorrido entre o lançamento no ponto O e a passagem da bola pelo vértice A da parábola;

b. o intervalo de tempo de descida t_d, isto é, o intervalo de tempo decorrido entre a passagem da bola pelo vértice A da parábola e sua chegada ao ponto B;

c. a altura máxima $h_{máx.}$;

d. o alcance horizontal D do lançamento;

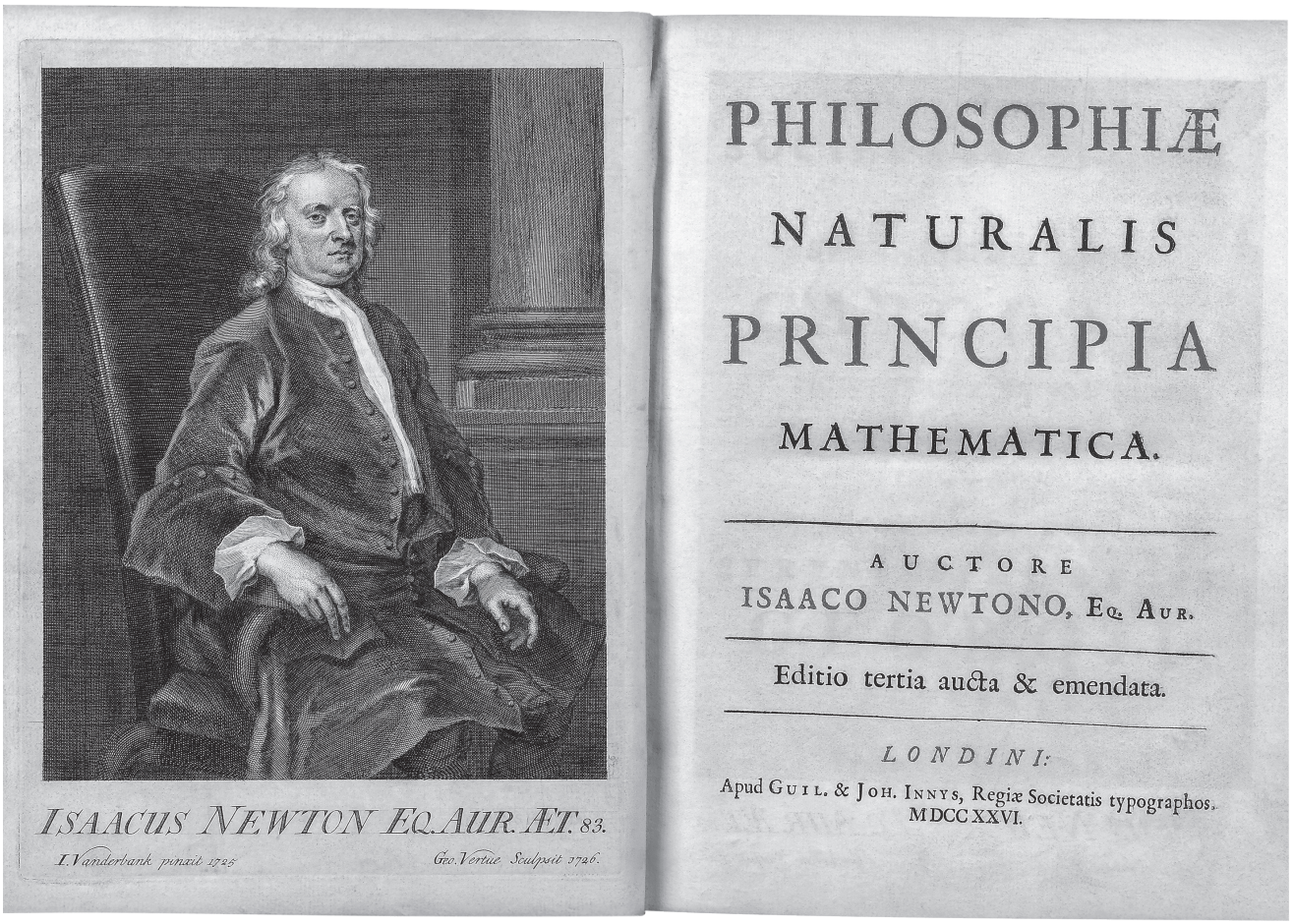
e. a velocidade da bola ao passar pelo vértice A da parábola.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

CAPÍTULO 3

Força e movimento

CLASSIC IMAGE/ALAMY/FOTOARENA



Livro *Princípios matemáticos da filosofia natural* (ou *Philosophiae naturalis principia mathematica*), publicado por Isaac Newton, em 1687. (Imagem da terceira edição, alterada em 1726, obtida em 2021.)

Os trabalhos de Isaac Newton (1642-1727) contribuíram para diversas áreas do conhecimento, e, por isso, ele é considerado um dos maiores cientistas de todos os tempos. Newton viveu muito depois de personalidades que fundaram as bases da filosofia da Ciência Ocidental, como os pré-socráticos (dos séculos VII a.C. a V a.C.), Aristóteles (384 a.C.-322 a.C.), Arquimedes (287 a.C.-212 a.C.) e Claudio Ptolomeu (90 d.C.-168 d.C.). Muitos pensadores e cientistas que o precederam contribuíram para o desenvolvimento científico. É o caso de Nicolau Copérnico (1473-1543), Johannes Kepler (1571-1630) e Galileu Galilei (1564-1642). Atribui-se a Newton a frase "Se vi mais longe, foi por estar sobre ombros gigantes", sendo ele próprio um desses gigantes que viriam a apoiar seus sucessores. Essas considerações nos mostram que a Ciência resulta de um processo que se estende de geração a geração.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

1. Conceito de força

A noção intuitiva que temos sobre força vem de nossa experiência diária. Sabemos que um carrinho de supermercado parado se move se alguém o empurra (Fig. 1) e, caso ele já esteja em movimento, para pará-lo em algum lugar, temos de puxá-lo no sentido contrário ao de seu movimento. Em todas essas situações, algum agente externo é responsável por colocar esses corpos em movimento ou alterar o movimento já existente, modificando o estado cinemático do corpo. Esse agente externo é denominado **força**. Portanto, podemos conceituar força como um agente físico capaz de alterar o estado de repouso ou de movimento uniforme de um corpo.

1000 WORDS/SHUTTERSTOCK

Figura 1. Para iniciar o movimento de um carrinho de mercado, é necessária a aplicação de uma força.

Em 1687, Newton exprimiu essa ideia em sua obra *Princípios matemáticos da filosofia natural* afirmando que "uma força imprimida é uma ação exercida sobre um corpo a fim de alterar seu estado, seja de repouso ou de movimento, em uma linha reta".

Assim, podemos dizer que força e mudança de velocidade são, entre si, causa e efeito, respectivamente.

Força é uma grandeza vetorial e, portanto, para que ela seja plenamente caracterizada precisamos especificar sua direção de atuação, seu sentido de orientação e sua intensidade. A unidade de intensidade de força no Sistema Internacional de Unidades (SI) é denominada **newton** e é representada pelo símbolo **N**.

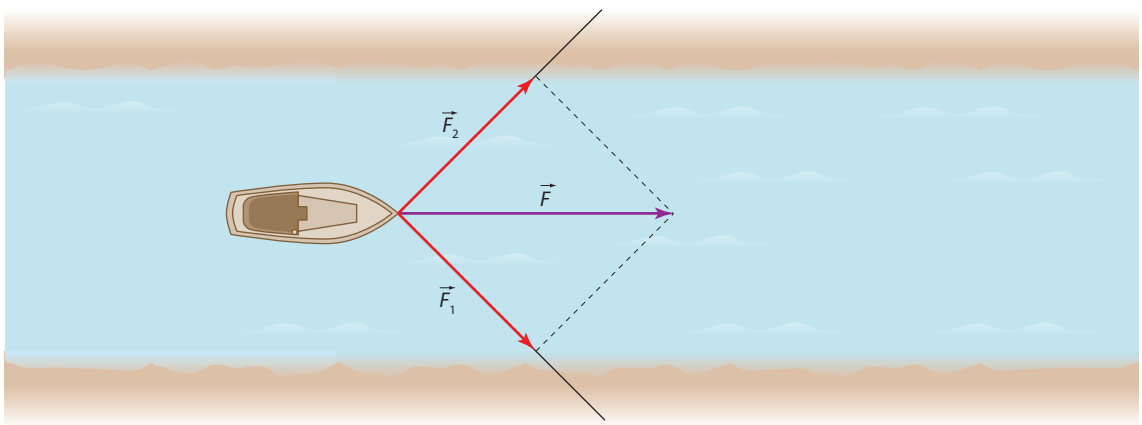
Assim, a alteração do estado de movimento de um corpo pode ser causada por uma força ou um conjunto de forças, as quais podem ser analisadas como uma única força chamada de **força resultante**.

A força resultante é a soma vetorial das forças atuantes sobre o corpo.

Se as forças atuarem sobre o corpo na mesma direção e no mesmo sentido, a intensidade da força resultante será a soma algébrica das intensidades dessas forças (Fig. 2A). Se as forças atuarem na mesma direção, mas em sentidos opostos, a intensidade da força resultante será a diferença algébrica entre as intensidades dessas forças (Fig. 2B).

Figura 2. (A) Forças que atuam no mesmo sentido: $F_{res} = F_1 + F_2$. (B) Forças que atuam em sentidos opostos: $F_{res} = |F_1 - F_2|$

A figura 3 mostra um barco se deslocando sob a ação de duas forças, $\vec{F}_1$ e $\vec{F}_2$. Essa ação conjunta resulta na força $\vec{F}$, denominada força resultante.



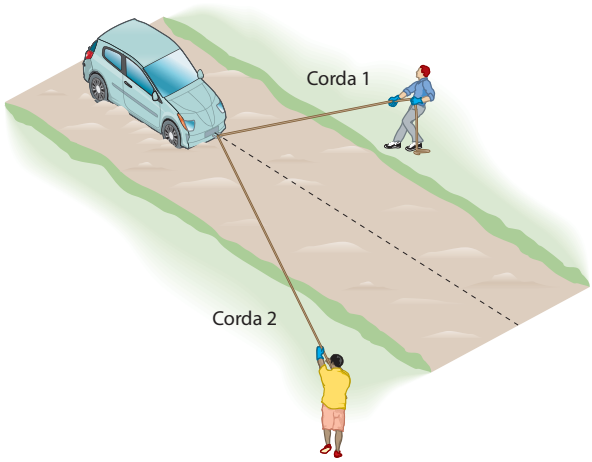
ILUSTRAÇÕES: ADILSON SECCO/ARQUIVO DA EDITORA

Figura 3. Neste esquema, a força $\vec{F}$ é a força resultante, ou seja, a força equivalente à soma vetorial das duas forças que agem sobre o barco.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Exercício resolvido

Duas pessoas estão tentando desatolar um carro e, para isso, prendem cordas à parte dianteira do veículo e o puxam por meio delas. O carro se desloca na direção da linha tracejada, como mostra a figura.



As cordas são feitas do mesmo material, mas têm comprimentos diferentes.

Considerando as intensidades das componentes $\vec{F}_1$ e $\vec{F}_2$, qual das cordas tem maior possibilidade de arrebentar: a corda 1 ou a corda 2? Ou as possibilidades são iguais?

Resolução

O deslocamento do carro ocorre na mesma direção da força resultante. Portanto, a força resultante tem a mesma direção da linha tracejada. A figura A mostra a força resultante $\vec{F}$ que movimenta o carro. Obtemos as componentes $\vec{F}_1$ e $\vec{F}_2$ da força $\vec{F}$ projetando o vetor $\vec{F}$ sobre as direções das cordas 1 e 2, como mostra a figura B.

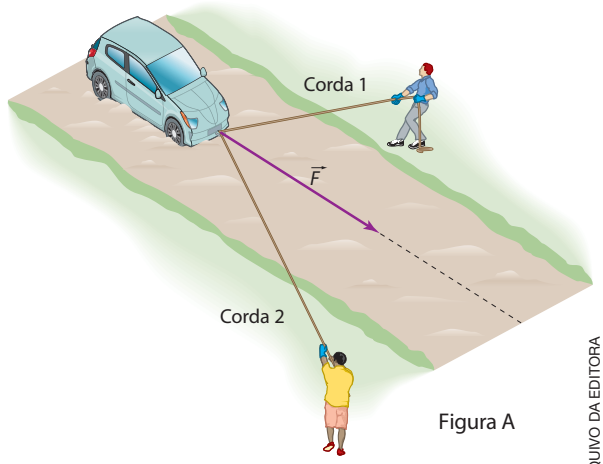


Figura A

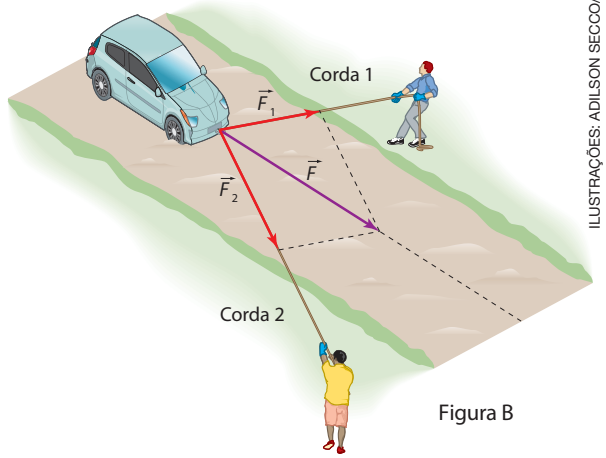


Figura B

ILUSTRAÇÕES: ADILSON SECCO/ARQUIVO DA EDITORA

Vemos que a componente $\vec{F}_2$ tem módulo maior que a componente $\vec{F}_1$. Isso mostra que $\vec{F}_2$ é uma força de maior intensidade que $\vec{F}_1$. Portanto, como as cordas são feitas do mesmo material, é possível que a corda 2 se rompa primeiro, pois está mais tracionada que a corda 1.

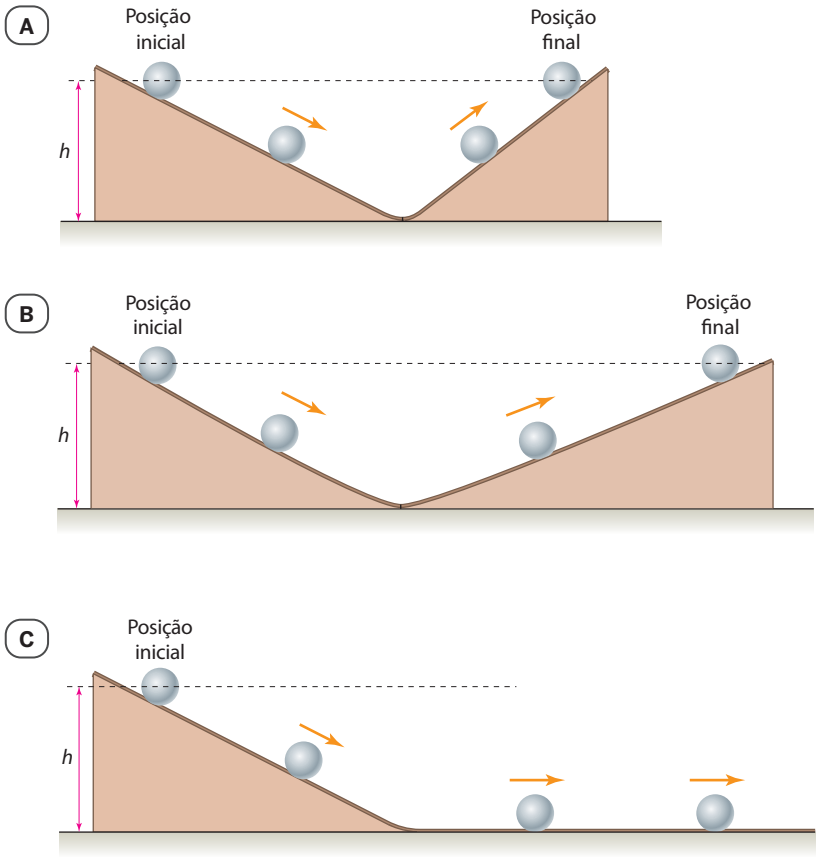
Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

2. As leis de Newton

As causas dos movimentos e de suas alterações foram compreendidas graças aos trabalhos de vários cientistas, como o de Galileu Galilei sobre a queda dos corpos e o de Isaac Newton sobre os movimentos dos corpos terrestres e celestes, os quais ocorreram entre o final do século XVI e meados do século XVII.

Primeira lei de Newton ou princípio da inércia

Usando planos inclinados equipados com canaletas e combinados em sequência (Fig. 4), Galileu observou que, independentemente da inclinação do plano da direita (Fig. 4A e Fig. 4B), uma bola, abandonada de um ponto qualquer do plano da esquerda, alcançaria uma altura no plano da direita praticamente igual àquela da qual havia sido abandonada.



ILUSTRAÇÕES: ADILSON SECCO/ARQUIVO DA EDITORA

Figura 4. Representação esquemática do experimento de Galileu. (A) Com uma inclinação maior do plano da direita. (B) Com uma inclinação menor do plano da direita. (C) Com inclinação apenas do plano da esquerda.

Galileu atribuiu às asperezas na madeira das canaletas as pequenas diferenças observadas entre as alturas inicial e final da bola. Isso significa que, se fosse possível eliminar o atrito entre a bola e a superfície das canaletas, as alturas deveriam ser exatamente iguais em ambos os planos.

De acordo com Galileu, se o plano da direita fosse praticamente horizontal, ou seja, com uma inclinação bem pequena, e sem atrito, a bola deveria atingir a mesma altura de partida, porém percorrendo uma distância muito grande, praticamente "infinita" (Fig. 4C). Em outras palavras, a bola teria um movimento retilíneo e uniforme durante um tempo praticamente "infinito", até atingir a altura final. Desse modo, Galileu apresentou o conceito de **inércia de movimento**.

Entre as inúmeras contribuições de Galileu à Física, uma das mais significativas foi apresentar o conceito de inércia como um princípio básico da natureza.

Com base no trabalho de cientistas antecessores, como Galileu, Newton chegou à conclusão de que inércia é a resistência dos corpos às mudanças em seu estado cinemático de repouso ou de movimento retilíneo e uniforme. Segundo esse conceito, pode-se interpretar a inércia como uma propriedade intrínseca dos corpos, que tende a mantê-los em repouso ou em movimento retilíneo e uniforme e que pode ser medida pela chamada massa inercial desses corpos.

Portanto, podemos dizer que quanto maior a massa inercial de um corpo, maior sua inércia ou que quanto maior a inércia de um corpo, mais difícil é colocá-lo em movimento, caso ele esteja em repouso, ou alterar sua velocidade, caso ele já esteja em movimento.

Foi com a obra *Principia* que Newton consolidou a ideia de inércia. A **primeira lei de Newton** ou **princípio da inércia** afirma que:

> Todo corpo permanece em seu estado de repouso ou de movimento uniforme em linha reta, a menos que uma força nele aplicada o faça mudar esse estado.

Assim, de acordo com a primeira lei de Newton, para "vencer" a inércia, tanto de repouso como de movimento, é preciso aplicar uma **força** ao corpo ou um **conjunto de forças**.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Veja comentários sobre essa atividade no Suplemento para o professor.

Em destaque

CIDADANIA E CIVISMO

Inércia e as leis de trânsito

A Física desempenha um papel fundamental na interpretação das leis que regem o trânsito, destacando a inércia como uma propriedade crucial dos veículos em movimento. A inércia, princípio que define a tendência dos corpos de manterem seu estado de repouso ou movimento uniforme, sem a interferência de uma força externa, tem implicações diretas nos veículos em circulação. Do Código de Trânsito Brasileiro (CTB), tem-se:

> Artigo 65
>
> É obrigatório o uso do cinto de segurança para condutor e passageiros em todas as vias do território nacional, salvo em situações regulamentadas pelo CONTRAN.

> Artigo 29, II
>
> o condutor deverá guardar distância de segurança lateral e frontal entre o seu e os demais veículos, bem como em relação ao bordo da pista, considerando-se, no momento, a velocidade e as condições do local, da circulação, do veículo e as condições climáticas.

OBJETO DIGITAL Vídeo: Código de trânsito brasileiro

> Artigo 29, parágrafo 2
>
> Respeitadas as normas de circulação e conduta estabelecidas neste artigo, em ordem decrescente, os veículos de maior porte serão sempre responsáveis pela segurança dos menores, os motorizados pelos não motorizados e, juntos, pela incolumidade dos pedestres.

Fonte: BRASIL. Lei nº 9.503, de 23 de setembro de 1997. Institui o Código de Trânsito Brasileiro. **Diário Oficial da União**: seção 1, Brasília, DF, ano 135, n. 184, p. 21.201, 24 set. 1997.

Com base nas diretrizes descritas anteriormente, discuta com os colegas as seguintes questões:

1. O que é dito como obrigatório nos três trechos citados do CTB?
2. Como o uso do cinto de segurança está relacionado ao princípio da inércia?
3. Qual é a relação entre a colisão traseira e o princípio da inércia?
4. Como a responsabilidade dos veículos de maior porte pela segurança dos menores se relaciona com o princípio da inércia?

Veja respostas e comentários no Suplemento para o professor.

Aplicando conhecimentos

Registre as respostas em seu caderno.

1. Considere as três situações apresentadas a seguir.

1. a

I. Um ciclista pedalando por uma rua reta, plana e horizontal, com velocidade constante.

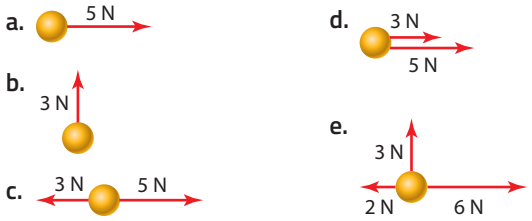
II. Um automóvel que parte do repouso quando o sinal de trânsito passa de vermelho para verde.

III. Uma gota de água que pinga de uma torneira a 1 m do solo e cai na vertical.

Podemos afirmar que a força resultante que atua no corpo em questão é nula apenas nas situações:

a. I. **b.** II. **c.** III. **d.** I e II. **e.** II e III.

2. Nas situações a seguir são apresentados corpos sujeitos a diferentes forças. Para cada situação, redesenhe o esquema apresentado. Depois, desenhe uma única força adicional que, ao ser aplicada ao corpo, permite que ele se movimente em linha reta com velocidade constante.



ILUSTRAÇÕES: ADILSON SECCO/ ARQUIVO DA EDITORA

Segunda lei de Newton ou princípio fundamental da Dinâmica

De acordo com o princípio da inércia, um corpo só pode sair do seu estado de repouso ou de movimento retilíneo e uniforme se uma força resultante não nula atuar sobre ele.

Se isso ocorrer, a velocidade do corpo poderá aumentar de intensidade, diminuir de intensidade ou mudar de direção, enquanto existir a atuação dessa força resultante. Em outras palavras, nesse intervalo de tempo, o corpo estará sujeito a algum tipo de aceleração.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

É intuitivo que a intensidade da força que teremos de aplicar dependa da massa desse corpo, pois, quanto maior for a massa do corpo, maior será sua inércia e, portanto, mais difícil será mudar sua velocidade. Se o corpo fosse, por exemplo, uma bicicleta, a força necessária para acelerá-lo teria intensidade muito menor comparada à uma motocicleta.

Essa relação entre força resultante aplicada, massa e variação de velocidade foi enunciada por Isaac Newton na sua **segunda lei dos movimentos**, também conhecida como **princípio fundamental da Dinâmica**:

A força resultante $\vec{F}_{res}$ que age em um corpo de massa m produz uma aceleração $\vec{a}$ tal que:

$$\vec{F}_{res} = m \cdot \vec{a}$$

Como a massa m é uma grandeza escalar sempre positiva, **os vetores $\vec{F}_{res}$ e $\vec{a}$ sempre terão mesma direção e mesmo sentido**. Matematicamente, podemos considerar a massa m o coeficiente de proporcionalidade entre as intensidades de $\vec{F}_{res}$ e $\vec{a}$. Assim, temos:

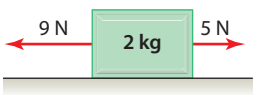
$$F_{res} = m \cdot a \Rightarrow a = \frac{F_{res}}{m}$$

No SI, a massa é medida em kg, e a aceleração, em m/s^2. Assim, de acordo com a segunda lei de Newton, a intensidade da força resultante é medida em kg · m/s^2 (ou kg · m · s^{-2}), unidade de medida que recebe o nome de newton (N). Essa unidade pode ser assim definida: 1 N é a intensidade da força que, aplicada em um corpo de massa 1 kg, produz nele uma aceleração de 1 m/s^2.

Observe, no exemplo a seguir, como podemos aplicar o princípio fundamental da Dinâmica a sistemas que estão sob a ação de mais de uma força.

Exercício resolvido

Determine o módulo, a direção e o sentido da aceleração ao qual o corpo a seguir está submetido.



Resolução

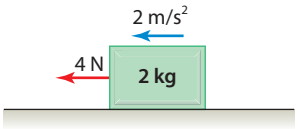
Inicialmente, devemos determinar, em cada um dos casos, o módulo, a direção e o sentido da força resultante que atua no corpo. Pelo princípio fundamental da Dinâmica, a força resultante e a aceleração têm sempre mesma direção e mesmo sentido, e seus módulos são tais que $F_{res.} = m \cdot a$.

Como na direção vertical o corpo não se movimenta, então, as forças que porventura atuam nessa direção têm resultante nula. O corpo está sendo puxado, para a esquerda, por uma força de intensidade 9 N e, para a direita, por outra força de intensidade 5 N. Assim, a força resultante está orientada para a esquerda e tem intensidade igual a 4 N (dada pela diferença: 9 N – 5 N).

Portanto, a aceleração tem a mesma direção da força resultante e sentido para a esquerda. Seu módulo é dado por:

$F_{res} = m \cdot a \Rightarrow 4 = 2 \cdot a$

Logo: $a = 2$ m/s^2



ILUSTRAÇÕES: ADILSON SECCO/ARQUIVO DA EDITORA

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Veja respostas e comentários no Suplemento para o professor.

Aplicando conhecimentos

Registre as respostas em seu caderno.

3. Uma mesma força resultante é aplicada a dois corpos diferentes, *A* e *B*, inicialmente em repouso, durante um mesmo intervalo de tempo. O corpo *A* atinge, então, a velocidade de 3 m/s, e o corpo *B* atinge a velocidade de 7 m/s. Qual dos dois corpos tem maior massa?

4. Qual é a intensidade da força resultante necessária para acelerar uma bicicleta, juntamente com seu ocupante, com massa total de 60 kg a 1,5 m/s^2?

Terceira lei de Newton ou princípio da ação e reação

Suponha que, durante um jogo de vôlei, você esteja posicionado para receber a bola. Quando suas mãos entram em contato com a bola, são observados dois efeitos sobre ela: uma deformação em sua superfície e uma variação de velocidade.

Ambos os efeitos têm como causa comum a aplicação de uma força, exercida por suas mãos. Entretanto, durante o contato com a bola, suas mãos também sofrem efeitos semelhantes aos observados na bola: deformação dos dedos e diminuição da velocidade. Isso nos leva a concluir que suas mãos também estão sujeitas à ação de uma força, responsável por esses efeitos. Mas quem está aplicando essa força sobre suas mãos? Só pode ser a bola. Ela é o único agente externo em contato com suas mãos durante o movimento. Então, as mãos aplicam uma força sobre a bola (ação), e a bola também aplica uma força sobre as mãos (reação). Ação e reação são aplicadas em corpos distintos, nunca sobre um mesmo corpo e, portanto, nunca se equilibram.

Invariavelmente, a reação sempre é aplicada em quem exerce a ação. De acordo com Newton, aquilo que puxa ou empurra é igualmente puxado ou empurrado. Portanto, ação e reação sempre se relacionam a corpos distintos, nunca a um mesmo corpo.

Essas constatações constituem o **princípio da ação e reação**, ou **terceira lei de Newton**, que pode ser assim enunciado:

> Quando um corpo *A* exerce uma força $\vec{F}_A$ em um corpo *B*, este exerce em *A* uma força $\vec{F}_B$.
>
> As forças $\vec{F}_A$ e $\vec{F}_B$ têm mesma intensidade, mesma direção e sentidos opostos.

Qualquer uma dessas forças pode ser considerada a força de ação. Se $\vec{F}_A$ for considerada a força de ação, $\vec{F}_B$ será a força de reação, e vice-versa.

Como exemplo, considere dois blocos *A* e *B*, apoiados sobre uma mesa horizontal lisa, e apliquemos sobre o bloco *A* uma força $\vec{F}$. (Fig. 5).

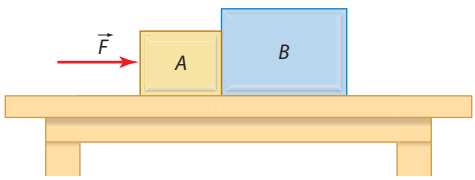


Figura 5. Blocos unidos sob a ação de uma força de intensidade *F*.

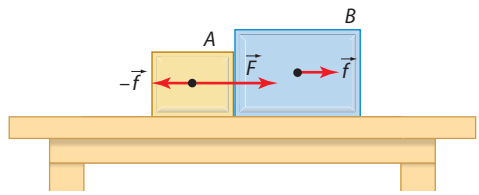


Figura 6. Representação das forças $\vec{F}$, de ação $\vec{f}$ e reação $-\vec{f}$ nos blocos *A* e *B*.

ILUSTRAÇÕES: ADILSON SECCO/ ARQUIVO DA EDITORA

O bloco *A* acelera, e o bloco *B* necessariamente deverá ter a mesma aceleração de *A*, pois segue à sua frente. A força que acelera *B* é a força $\vec{f}$ aplicada por *A*. Assim, $\vec{f}$ é a força de ação, e $-\vec{f}$ é a força de reação. (Fig. 6)

Veja respostas e comentários no Suplemento para o professor.

Aplicando conhecimentos

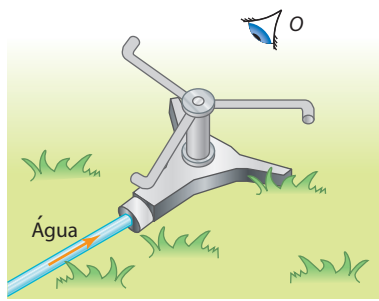
Registre as respostas em seu caderno.

5. Em um teste de uma indústria automobilística, foi realizada a colisão entre uma pequena moto e um automóvel, ambos sem passageiros. Usando seus conhecimentos das leis de Newton, responda às perguntas a seguir e justifique sua resposta citando o princípio físico que a fundamentou.

a. Qual dos veículos exerceu maior força sobre o outro?

b. Qual dos veículos sofreu maior variação de velocidade durante a colisão?

6. Um irrigador rotativo, utilizado em um jardim, é constituído de tubos capazes de girar em torno de um eixo. Considerando que a água entra nos tubos do irrigador pelo centro do conjunto, em que sentido (horário ou anti-horário) esses tubos giram, em relação a um observador *O*? Explique.



ADILSON SECCO/ARQUIVO DA EDITORA

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Veja comentários sobre essa atividade no Suplemento para o professor.

Atividade prática

Propulsão de um carrinho

Objetivo

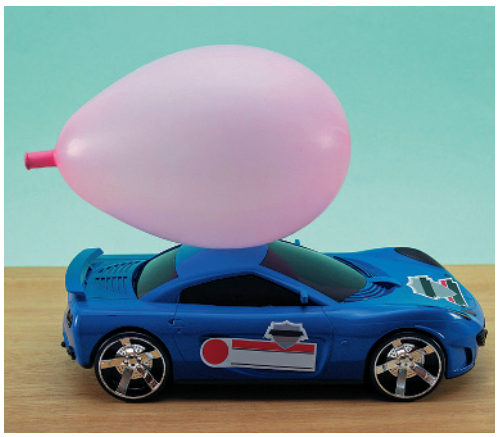
Analisar o princípio da ação e reação.

Material

- um balão de festa
- um carrinho de brinquedo, de plástico
- fita adesiva dupla face

Procedimento

1. Fixe um pedaço de fita adesiva dupla face no teto do carrinho de brinquedo. Retire a película protetora para tornar adesiva a face exposta.
2. Posicione o carrinho em uma superfície lisa e horizontal. Encha o balão de festa de ar e segure a boca do balão para impedir a saída do ar.
3. A seguir, ainda segurando a boca do balão, pressione-o contra a fita adesiva de modo a fixá-lo sobre o teto do carrinho.
4. Para colocar o carrinho em movimento, basta soltar a boca do balão e deixar o ar escapar.



RICARDO SIWIEC/ARQUIVO DA EDITORA

Analise o experimento e responda:

Como o experimento proposto permite analisar o princípio da ação e reação?

3. Forças

Vamos analisar algumas forças fundamentais no estudo da Mecânica. Para caracterizar plenamente essas forças, devemos conhecer a direção na qual elas atuam, seu sentido e sua intensidade, já que a força é uma grandeza vetorial.

Força de deformação elástica

Já sabemos que uma força resultante pode provocar uma variação de velocidade, ou uma aceleração, em um corpo. Esse é o chamado **efeito dinâmico** de uma força. Entretanto, uma força também pode provocar a deformação de um corpo; é o denominado **efeito estático**.

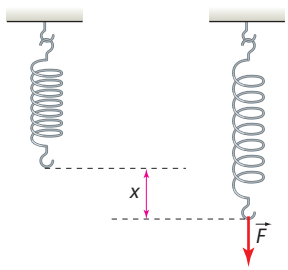
Considere uma mola, suspensa em um suporte por uma de suas extremidades, submetida a uma força a partir de sua outra extremidade, como mostra a Figura 7. Quanto maior a intensidade da força aplicada à extremidade livre da mola, mais ela vai se deformar, isto é, distender.

A deformação será chamada elástica quando, ao cessar a aplicação da força, a mola retornar a seu comprimento inicial.

Por meio de experimentos, podemos concluir que, em regime de deformação elástica, a intensidade da força que deforma a mola é diretamente proporcional à deformação x que ela provoca.

Com base na proporcionalidade entre a intensidade da força e a respectiva deformação, podemos escrever:

$$F = k \cdot x$$



ADILSON SECCO/ARQUIVO DA EDITORA

Figura 7. Representação esquemática de uma mola sendo deformada pela ação da força $\vec{F}$.

Essa expressão é conhecida como **lei de Hooke**, em homenagem ao físico inglês Robert Hooke (1635-1703). Nessa expressão, k é uma constante de proporcionalidade, denominada **constante elástica da mola**, e medida, no SI, em newton por metro (N/m).

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Peso e gravidade

Entre as forças existentes na natureza há as que atuam durante o contato dos corpos, denominadas **forças de contato**, e as que atuam mesmo a distância, chamadas **forças de campo**.

Ao soltar uma bolinha de certa altura do chão, a partir do repouso, notamos que, durante a queda, a velocidade dela aumenta. Com base nessa observação, concluímos que uma força deve estar agindo sobre a bolinha, pois sua velocidade está variando, ou seja, a bolinha está acelerando.

Os objetos caem porque a Terra exerce uma força sobre eles, mesmo quando não estão em contato com ela. Essa força de atração gravitacional que a Terra exerce sobre todos os corpos, denominada **peso**, depende da massa do corpo em queda. Assim, quanto maior a massa do corpo, maior também será seu peso.

A gravidade é uma propriedade não apenas da Terra, mas de toda matéria, como a Lua, por exemplo (Fig. 8). Todo corpo que possui massa no Universo exerce uma força de atração sobre todos os outros corpos massivos, que depende não apenas das massas desses corpos, mas também da distância entre eles.

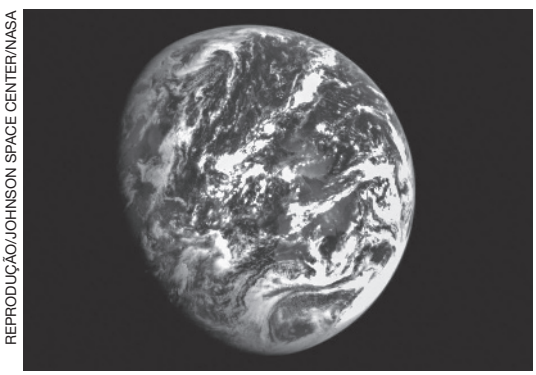
A força de atração entre a maioria dos objetos que manipulamos no cotidiano é muito pequena porque as massas envolvidas também são muito pequenas.

O peso $\vec{P}$ de um corpo na superfície terrestre é uma força com direção vertical e sentido para o centro da Terra. A intensidade (ou módulo) da força peso de um corpo é dada por:

$$P = m \cdot g$$

Nessa expressão acima, g é a aceleração da gravidade, e m, a massa do corpo. Nas proximidades da superfície da Terra, g tem valor de aproximadamente 10 m/s^2.

A força peso explica porque objetos ficam presos à superfície terrestre. É o sentido da aceleração da gravidade da Terra que nos dá a "sensação" de em cima e embaixo quando estamos próximos à sua superfície.



REPRODUÇÃO/JOHNSON SPACE CENTER/NASA

Figura 8. Planeta Terra fotografado pela cápsula não tripulada Órion, da Administração Nacional do Espaço e da Aeronáutica dos EUA (NASA na sigla em inglês), a caminho da Lua (2022).

Veja comentários sobre essa atividade no Suplemento para o professor.

EDUCAÇÃO MIDIÁTICA

Ciência e pseudociência: fatos ou falsas alegações?

Estudamos a metodologia científica, destacando a importância de bases sólidas e evidências na construção do conhecimento. Agora, voltamos nossa atenção para um desafio que afeta a sociedade atual: diferenciar informações científicas de alegações pseudocientíficas.

Você já se deparou com promessas milagrosas de produtos com suposta comprovação científica? O conjunto de conceitos falsamente revestidos de roupagem científica, em busca de credibilidade, é o que chamamos de pseudociência.

Para avaliar a confiabilidade de uma informação, apresentamos a seguir alguns critérios.

1. Fonte

Verifique a fonte da informação, como o veículo de publicação e a identificação e o vínculo institucional do autor. Consulte fontes adicionais de apoio para conferir a experiência do autor e a credibilidade das informações.

2. Linguagem

Avalie se a linguagem do texto apresenta suposições em vez de fatos comprovados.

CONTINUA

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

3. Escrita sensacionalista

Fique atento a títulos exagerados ou dramáticos, pois eles podem esconder informações imprecisas. Na Ciência, costuma-se utilizar uma linguagem neutra, com textos diretos e apresentação de fatos de forma imparcial.

4. Tamanho da amostra

Examine o tamanho do conjunto de dados apresentados (também chamada amostra, que pode ser de objetos, pessoas, situações, opiniões etc.). Quanto menor, maior a chance de ser um estudo não representativo.

5. Resultados

Verifique se o estudo apresentado pode ser aplicado a outras situações e se resultados foram selecionados pontualmente para apoiar uma narrativa específica.

6. Revisão

Veja se as informações foram revisadas por especialistas na área (chamada revisão por pares), prática comum do método da Ciência.

7. Conflito de interesses

Identifique as possibilidades de conflitos de interesses por parte dos autores ou financiadores de um estudo.

8. Conexão com a comunidade científica

Verifique se o autor ou o veículo de informação tem vínculos com a comunidade científica, como pesquisadores e instituições de pesquisa.

9. Citações e referências

Verifique se a fonte inclui citações e referências a estudos científicos ou pesquisas confiáveis que sustentam as informações apresentadas.

Formem grupos e respondam às questões para análise do texto a seguir utilizando os critérios apresentados.

Descobrindo a verdade sobre a Terra!

Um pesquisador de uma renomada universidade dos Estados Unidos quebrou o silêncio e fez uma confissão explosiva em uma entrevista reveladora:

"Por anos, fui cúmplice de uma conspiração, mas tive uma revelação e agora decidi expor a verdade que descobri. O verdadeiro formato da Terra é plano! É fácil perceber com um fato comprovável por qualquer um: a água despejada em uma bola escorre e em um prato, se acumula."

Fonte: Texto fictício elaborado para fins didáticos.

1. A linguagem utilizada é neutra ou sensacionalista?
2. O que se sabe sobre o autor?
3. Quais são os indícios de uma roupagem científica?

Força de reação normal do apoio e força de atrito

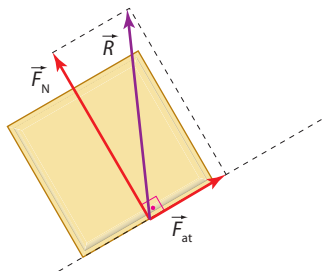
Quando dois corpos estão em contato, existe entre as superfícies em contato uma força de interação. Se há uma tendência de deslizamento dessas superfícies, essa força pode ser decomposta em duas componentes ortogonais, ou seja, perpendiculares uma à outra.

Consideremos um corpo em repouso e apoiado em um plano inclinado (Fig. 9), e seja $\vec{R}$ a força que o plano exerce no corpo.

A componente que age na direção perpendicular às superfícies em contato costuma ser denominada **reação normal de apoio**, representada por $\vec{F}_N$. A componente que age na direção paralela às superfícies em contato recebe o nome de **força de atrito** e é representada por $\vec{F}_{at}$.

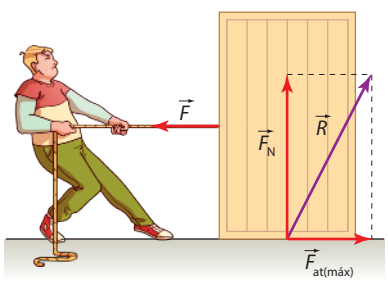
A força de atrito $\vec{F}_{at}$ existe quando as superfícies em contato tendem a deslizar uma em relação à outra ou quando de fato deslizam. Ela atua no sentido de se opor à tendência de deslizamento das superfícies, ou ao deslizamento efetivo entre elas. E experimentalmente, observa-se que sua intensidade não depende da área de contato entre os corpos nem da velocidade relativa entre as superfícies em contato.

Vamos considerar uma caixa de madeira em repouso sobre uma superfície horizontal. Para colocá-la em movimento, uma **força solicitadora** $\vec{F}$ deverá ser exercida para vencer sua inércia (Fig. 10). Quanto maior a massa da caixa, maior a intensidade da força solicitadora que teremos de aplicar.



ADILSON SECCO/ARQUIVO DA EDITORA

Figura 9. Representação das componentes da força $\vec{R}$ que agem em um corpo em repouso sobre um plano inclinado.



DANIEL ZEPPO/ARQUIVO DA EDITORA

Figura 10. Representação das forças que agem na caixa em repouso, mas na iminência de movimento.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

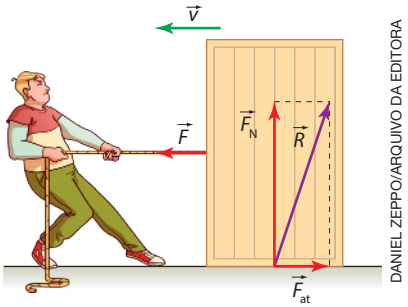
Quando as duas superfícies em contato, mesmo sob ação da força $\vec{F}$, ainda não deslizam uma em relação à outra, a força de atrito é denominada **força de atrito estático** e sua intensidade $\vec{F}_{at}$ é tal que:

$$F_{at} \leqslant \mu_e \cdot F_N$$

em que μ_e é o **coeficiente de atrito estático**.

Observe que a força de atrito estático tem intensidade variável, sendo igual à intensidade da força solicitadora enquanto não há um deslizamento efetivo entre as duas superfícies. A força de atrito estático assume seu valor máximo, $F_{at(máx)} = \mu_e \cdot F_N$, quando as superfícies estão na iminência de deslizamento.

Com a caixa já em movimento com velocidade constante, a intensidade da força necessária para mantê-la nesse estado é menor que a aplicada para iniciar o movimento (Fig. 11). Nessas condições, a força solicitadora continua equilibrando a força de atrito, agora denominada **força de atrito dinâmico** ou **força de atrito cinético**.



DANIEL ZEPPO/ARQUIVO DA EDITORA

Figura 11. Representação da força de atrito que age na caixa em movimento com velocidade constante.

Em outras palavras, a força de atrito de deslizamento dinâmico geralmente tem intensidade menor que a intensidade da força de atrito estático máxima.

A força de atrito dinâmico tem intensidade constante dada por:

$$F_{at} = \mu_d \cdot F_N$$

em que μ_d é o **coeficiente de atrito dinâmico**.

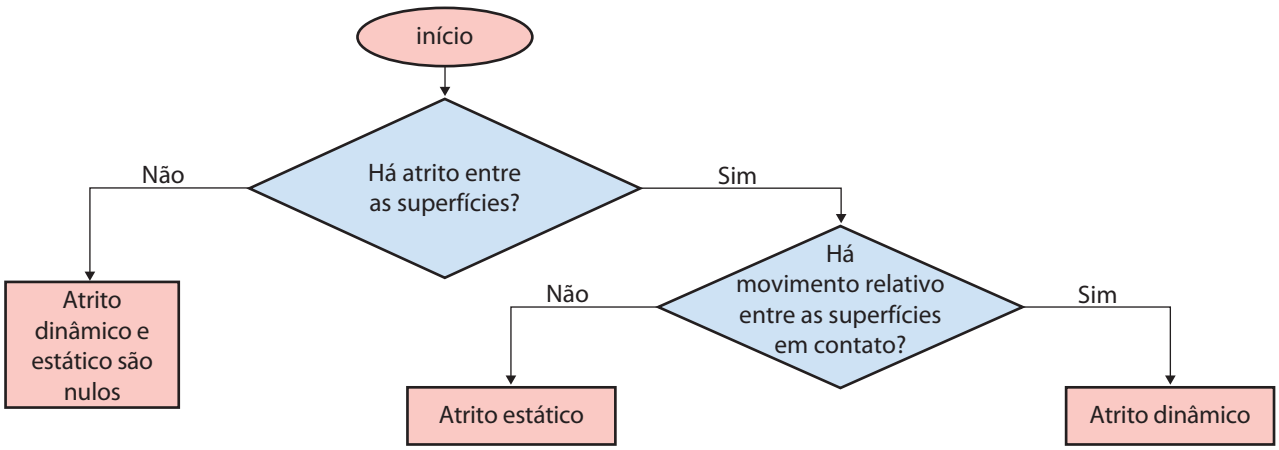
Mas, se você deixar de puxar a caixa, ela provavelmente se movimentará por mais uma pequena distância e gradativamente diminuirá sua velocidade até parar por completo. Quanto mais liso for o chão, maior será a distância que a caixa percorrerá até parar, pois a força de atrito será menor.

Como regra geral, a força de atrito entre duas superfícies que se tocam depende do acabamento dessas superfícies. Assim, a força de atrito de deslizamento seria menor para superfícies mais lisas.

Nas duas expressões anteriores, o acabamento das superfícies é representado pelo coeficiente de atrito estático e pelo coeficiente de atrito dinâmico.

É importante saber diferenciar o atrito dinâmico do atrito estático; para isso, pode-se usar o diagrama mostrado na figura 12, pois trata-se de um fluxograma que organiza o raciocínio lógico para diferenciar situações que envolvem ou não a força de atrito e qual o tipo de atrito.

Condições para ocorrência de atrito entre superfícies em contato



NELSON MATSUDA/ARQUIVO DA EDITORA

Figura 12. Fluxograma que expressa o raciocínio para identificar as condições na resolução de determinados problemas sobre o tipo de atrito que age em um corpo.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

O gráfico a seguir mostra a intensidade da força de atrito em função da intensidade da força solicitadora (Fig. 13). Observe que o deslizamento só começa quando a intensidade da força solicitadora ultrapassa o valor máximo da força de atrito estático.

ADILSON SECCO/ARQUIVO DA EDITORA

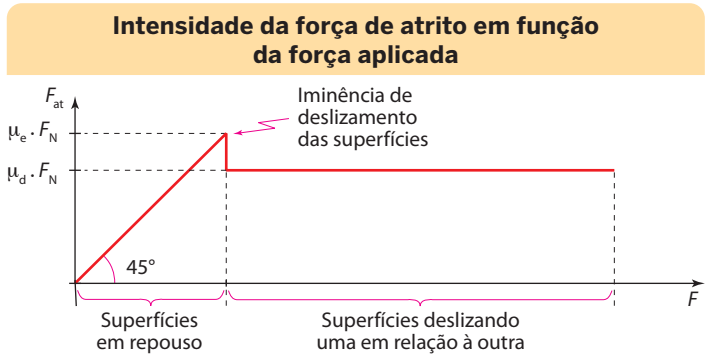


Figura 13. Gráfico da intensidade da força de atrito (F_{at}) em função da intensidade da força solicitadora (F).

Pode-se diminuir a força de atrito entre superfícies em contato lubrificando-as com óleo ou graxa ou empregando rodas.

Muitas vezes, principalmente em máquinas e equipamentos mecânicos, o atrito é indesejável, pois gera calor e desgaste de peças, o que exige uma potência adicional para as máquinas manterem o desempenho.

Entretanto, é difícil imaginar como seria o mundo se não existisse atrito. É o atrito entre o solo e os pés que possibilita o caminhar. Por isso, é preciso ter cuidado ao andar sobre um chão liso e ensaboado. Ao usar uma caneta para escrever em uma folha de papel, o atrito possibilita a escrita; tente escrever com uma caneta esferográfica em uma placa de vidro liso e veja o que acontece. O atrito também permite que os carros se movimentem e parem quando necessário.

Veja comentários sobre essa atividade no Suplemento para o professor.

Dialogando com o texto

Para complementar o estudo, há um simulador interativo disponível no endereço https://phet.colorado.edu/pt_BR/simulations/forces-and-motion-basics (acesso em: 7 ago. 2024) que permite a exploração de conceitos fundamentais sobre forças.

Caso seja possível acessá-lo, ao abrir o simulador na versão "Atrito", explore os elementos da interface, como os controles deslizantes e botões. Observe as opções disponíveis para alterar variáveis como força aplicada, massa do objeto e intensidade da força de atrito (de nenhum a muito).

Em seguida, modifique a força aplicada e observe como ela afeta o movimento do objeto. Varie a massa do objeto e analise como a velocidade e a força necessária para mantê-lo em movimento são influenciadas. Explore a influência da variação da intensidade da força de atrito entre o objeto e o solo. Anote em seu caderno suas observações e descobertas.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

4. Força resultante centrípeta

Sempre que um corpo se movimenta em uma trajetória não retilínea com velocidade escalar constante, agem sobre ele uma ou mais forças cuja resultante altera a direção do vetor velocidade, para permitir que o móvel percorra essa trajetória em curva. Essa força resultante é denominada **força resultante centrípeta** $\vec{F}_c$.

A palavra "centrípeta" significa: "que se orienta para o centro; que procura se aproximar do centro".

A força resultante centrípeta deve ter direção perpendicular à trajetória, portanto, perpendicular à direção do vetor velocidade, e orientada para o centro da curva. Assim, de acordo com o princípio fundamental da Dinâmica, essa força deve proporcionar ao móvel uma aceleração também perpendicular à direção do vetor velocidade e orientada para o centro da curva. Essa aceleração, denominada **aceleração centrípeta** $\vec{a}_c$ é responsável pela variação na direção do vetor $\vec{v}$.

Se uma esfera metálica presa a um fio for posta a girar descrevendo uma trajetória circular horizontal, um sistema conhecido como pêndulo cônico, a força resultante entre a força de tração no fio e o peso da esfera será a força resultante centrípeta (Fig. 14).

Se o fio arrebentar, a força de tração deixará de existir, e, pelo princípio da inércia, a esfera tenderá a um movimento em linha reta, na direção tangente à trajetória (Fig. 15). Sem aceleração centrípeta, é impossível que o corpo descreva uma trajetória curvilínea.

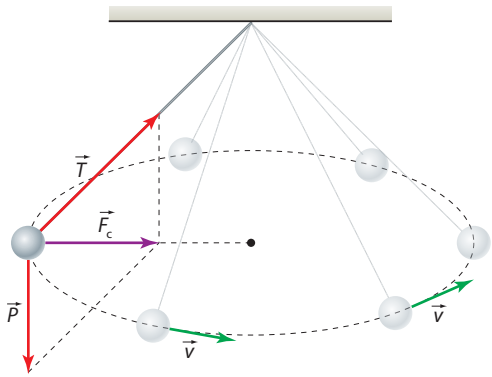


Figura 14. Representação esquemática de um pêndulo cônico em movimento. Neste sistema, $\vec{F}_c = \vec{T} + \vec{P}$.

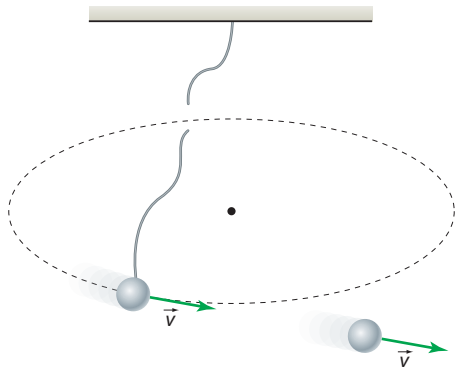


Figura 15. Quando o fio arrebenta, a esfera tende, por inércia, a seguir a direção tangente à trajetória circular que descrevia.

ILUSTRAÇÕES: ADILSON SECCO/ARQUIVO DA EDITORA

A figura 16 representa esquematicamente um móvel, que descreve um movimento circular uniforme em uma trajetória de raio R, em dois instantes distintos, t_1 e t_2. A velocidade do móvel nesses instantes, $\vec{v}_1$ e $\vec{v}_2$, tem mesmo módulo v, pois o movimento é uniforme.

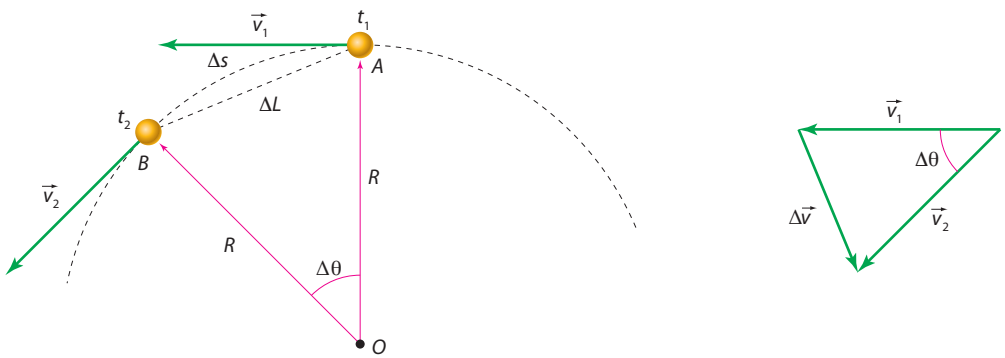


Figura 16. O móvel em MCU sofre uma variação de velocidade $\Delta\vec{v}$ em um intervalo de tempo Δt.

ILUSTRAÇÕES: ADILSON SECCO/ARQUIVO DA EDITORA

Observe que o triângulo isósceles *AOB* é semelhante ao triângulo definido pelos vetores $\vec{v}_1$, $\vec{v}_2$ e $\Delta\vec{v}$, pois os vetores $\vec{v}_1$ e $\vec{v}_2$ têm mesmo módulo v.

Então, podemos escrever:

$$\frac{\Delta v}{v} = \frac{\Delta L}{R} \Rightarrow \Delta v = \frac{v \cdot \Delta L}{R}$$

Dividindo ambos os membros da igualdade por Δt, obtemos:

$$\frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{v \cdot \Delta L}{R \cdot \Delta t}$$

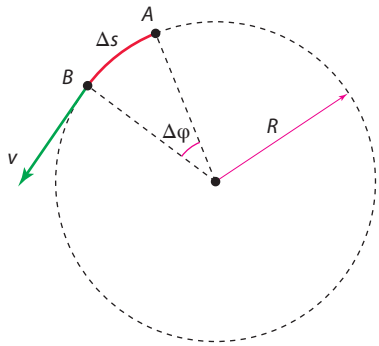
Observe, porém, que à medida que o intervalo de tempo $\Delta t = t_2 - t_1$ diminui, tendendo a zero, a relação $\frac{\Delta v}{\Delta t}$ tende à aceleração centrípeta a_c, e a corda de comprimento ΔL tende ao arco de comprimento Δs. Então:

$$a_c = \frac{v \cdot \Delta s}{R \cdot \Delta t} \Rightarrow a_c = \frac{v}{R} \cdot v \Rightarrow \boxed{a_c = \frac{v^2}{R}}$$

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Velocidade angular

Considere um corpo que descreve um movimento com velocidade escalar constante v em uma trajetória circular de raio R, isto é, o corpo descreve um movimento circular uniforme (MCU) (Fig. 17).



ADILSON SECCO/ARQUIVO DA EDITORA

Figura 17. O deslocamento Δs, medido ao longo da trajetória circular, corresponde a um deslocamento angular $\Delta\varphi$.

Vamos chamar de T o intervalo de tempo necessário para que o corpo complete uma volta em sua trajetória. Esse intervalo de tempo recebe o nome de **período** do movimento.

Como a velocidade escalar v do móvel é constante, em qualquer instante, v será igual à velocidade escalar média, ou seja: $v = \frac{\Delta s}{\Delta t}$

De maneira análoga, podemos definir a **velocidade angular** ω do móvel.

A velocidade angular indica a rapidez com que varia o deslocamento angular $\Delta\varphi$ do móvel em um intervalo de tempo Δt.

$$\omega = \frac{\Delta\varphi}{\Delta t}$$

Como $\Delta\varphi$ é medido em radiano (rad), e Δt é medido em segundo (s), podemos concluir que a unidade de medida da velocidade angular ω, no SI, é o radiano por segundo (rad/s).

Considerando uma volta completa, temos: $\Delta\varphi = 2 \cdot \pi$ e $\Delta t = T$.

Então:

$$\omega = \frac{2 \cdot \pi}{T}$$

Podemos concluir, ainda, que existe uma relação entre a velocidade escalar v e a velocidade angular ω do móvel. Vamos, então, calcular a velocidade escalar v do móvel em uma volta completa, em que $\Delta s = 2 \cdot \pi \cdot R$ e $\Delta t = T$. Então:

$$v = \frac{2 \cdot \pi \cdot R}{T} \Rightarrow v = \frac{2 \cdot \pi}{T} \cdot R$$

Note que a grandeza $\frac{2 \cdot \pi}{T}$ corresponde à velocidade angular ω no movimento circular.

Portanto:

$$v = \omega \cdot R$$

Assim, quanto maior a velocidade escalar v, maior será a velocidade angular ω.

Velocidade angular e aceleração centrípeta

Como existe uma relação entre a velocidade escalar e a velocidade angular, podemos obter uma expressão que relaciona a aceleração centrípeta com a velocidade angular ω.

$$a_c = \frac{v^2}{R} \Rightarrow a_c = \frac{(\omega \cdot R)^2}{R} \Rightarrow a_c = \omega^2 \cdot R$$

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Vejamos como essa teoria pode ser aplicada a um problema cotidiano. Acompanhe o exemplo a seguir.

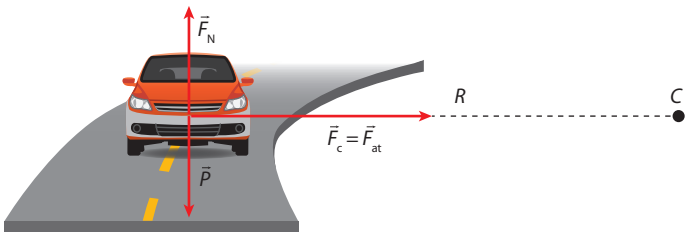
Exercício resolvido

ESTRATÉGIA DE ESTUDO

Um carro de massa 1.000 kg descreve uma curva em uma trajetória circular de raio 100 m sobre uma pista em um plano horizontal, mantendo a velocidade constante. O coeficiente de atrito estático entre os pneus e a pista vale 0,4. Considerando que a aceleração da gravidade é 10 m/s^2, determine a máxima velocidade que o carro pode desenvolver para não derrapar.

Identificar

Inicialmente, precisamos detectar as forças que atuam no carro; são elas: o peso $\vec{P}$, a força de reação normal do apoio $\vec{F}_N$ e a força de atrito $\vec{F}_{at}$, como ilustrado na figura.



NELSON MATSUDA/ARQUIVO DA EDITORA

Preparar

Na direção vertical, a força resultante deve ser nula, pois a velocidade do carro, nessa direção, não varia. Assim: $F_N = m \cdot g$.

Já a força responsável por manter o movimento curvilíneo do carro é a força de atrito, orientada para o centro C da curva e que desempenha o papel de força resultante centrípeta.

$$F_{res} = m \cdot a \Rightarrow F_{at} = m \cdot \frac{v^2}{R} \quad (1)$$

É importante ressaltar que essa força de atrito tem intensidade variável com a velocidade. Para baixas velocidades, essa força tem pequena intensidade; para velocidades mais altas, intensidade maior.

Quando o carro estiver desenvolvendo a máxima velocidade possível, na iminência de derrapar, a força de atrito atingirá seu valor máximo, dado por:

$$F_{at(máx)} = \mu \cdot F_N = \mu \cdot m \cdot g \quad (2)$$

Portanto, para o carro não derrapar, devemos ter: $F_{at} \leqslant F_{at(máx)}$ (3)

Executar

Substituindo as equações (1) e (2) em (3), obtemos:

$$m \cdot \frac{v^2}{R} \leqslant \mu \cdot m \cdot g \Rightarrow v^2 \leqslant \mu \cdot R \cdot g \Rightarrow v \leqslant \sqrt{\mu \cdot R \cdot g}$$

Aplicando os valores numéricos fornecidos no enunciado do problema, obtemos:

$$v \leqslant \sqrt{0{,}4 \cdot 100 \cdot 10} \Rightarrow v \leqslant \sqrt{400} \therefore v \leqslant 20\,\text{m/s ou } v \leqslant 72\,\text{km/h}$$

A máxima velocidade que o carro pode desenvolver ao realizar a curva, para não derrapar, é 72 km/h.

Avaliar

Observe que a máxima velocidade v, que torna possível ao carro realizar a curva sem derrapar, não depende da massa do carro, mas, basicamente, do raio da curva e do coeficiente de atrito, este último ligado principalmente às características do pneu e da pista.

Pela expressão obtida, podemos concluir que, quanto menor o raio R da curva (uma curva mais "fechada"), menor será a velocidade máxima v possível.

Da mesma maneira, quanto menor o coeficiente de atrito μ (pista mais lisa, com água, óleo ou areia; ou pneus mais gastos), menor também será a velocidade máxima v possível.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

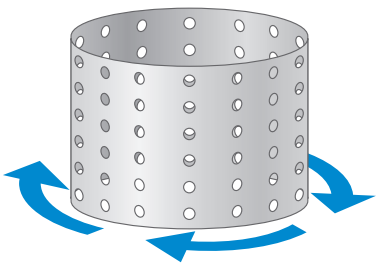
Veja respostas e comentários no Suplemento para o professor.

Atividades finais

Registre as respostas em seu caderno.

1. Nas máquinas de lavar roupas, o tambor rotativo é dotado de furos que permitem o fluxo da água durante os processos de lavagem e secagem das roupas. Após o processo de lavagem, o tambor começa a girar rapidamente para que a água absorvida pelos tecidos das roupas saia pelos furos laterais.

1. e



ADILSON SECCO/ARQUIVO DA EDITORA

Sobre essa situação, são feitas as afirmações a seguir.

I. Durante o processo de secagem, com o tambor girando uniformemente, não há troca de forças entre as roupas e as paredes laterais do tambor.

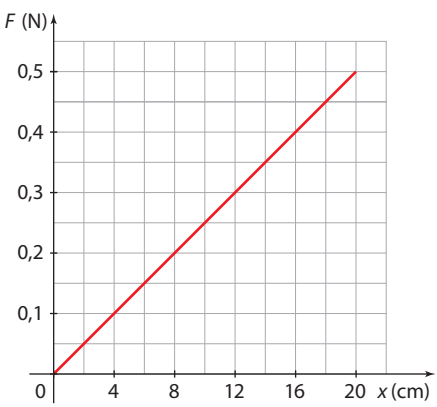
II. Durante o processo de secagem, com o tambor girando uniformemente, as paredes laterais do tambor exercem forças sobre as roupas, mantendo-as em rotação.

III. Sob o ponto de vista do princípio da inércia, fisicamente o tambor não retira a água das roupas; ele retira as roupas da água, isto é, as roupas são desviadas pela ação do tambor.

Analisando cada uma das afirmações anteriores, podemos dizer que:

a. todas as afirmações estão corretas.
b. somente a afirmação I está correta.
c. somente a afirmação II está correta.
d. estão corretas somente as afirmações I e III.
e. estão corretas somente as afirmações II e III.

2. O gráfico a seguir relaciona a força F exercida sobre um elástico e a correspondente deformação x que este sofre sob a ação dessa força. (Dado: $g = 10\ m/s^2$.)



ADILSON SECCO/ARQUIVO DA EDITORA

Um bloquinho de madeira é pendurado por uma das extremidades desse elástico, que sofre uma deformação de 14 cm. Nessa situação, qual é o peso do bloquinho?

3. Uma luminária com massa 2 kg está suspensa na vertical presa por um fio ao teto de uma sala. (Dado: $g = 10\ m/s^2$)

a. Qual é o peso da luminária?
b. Qual é a intensidade da força resultante que atua sobre ela?
c. Qual é a intensidade da força de tração no fio que sustenta a luminária?

4. Por meio de experiências, Galileu Galilei constatou que a tendência natural de um corpo, livre da ação de forças, ou quando a resultante das forças sobre ele é nula, é permanecer em repouso ou em movimento retilíneo uniforme. Concluímos, então, que um corpo pode estar em movimento na ausência de forças ou quando a resultante das forças que nele atuam é nula. Quando a força que age em um corpo não é equilibrada, ela produz variação de velocidade.

Analise as afirmações e explique-as de acordo com as conclusões de Galileu.

a. Uma gota de chuva, logo que se desprende de uma nuvem, cai em movimento retilíneo e uniforme.
b. Uma nave espacial, lançada da Terra, move-se sob a ação de seus propulsores. As forças gravitacionais que a Terra, o Sol e outros corpos celestes exercem na nave, a partir de certo instante, podem ser desprezadas. Quando se desligam os propulsores, a nave continua em movimento, e este é retilíneo e uniforme.
c. Em uma viagem de carro, o motorista tira o pé do acelerador, e o carro gradativamente diminui de velocidade até parar.

5. Uma força resultante com intensidade 80 N acelera uma massa de 20 kg a $4\ m/s^2$.

a. Se a massa do corpo dobrar, qual deverá ser a intensidade da nova força resultante aplicada ao corpo para manter a mesma aceleração?
b. Se a massa do corpo dobrar, e a força resultante permanecer inalterada, qual será a nova aceleração adquirida pelo corpo?

6. Uma cadeira de um carrossel de um parque de diversões gira em torno de um eixo vertical com velocidade angular ω constante, executando uma volta completa a cada 20 s. O raio da trajetória descrita pela cadeira é de 8 m. Calcule:

a. a velocidade angular ω;
b. a velocidade v da cadeira;
c. o módulo da aceleração centrípeta a_c da cadeira.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

CAPÍTULO 4

Quantidade de movimento e impulso

NIKOLAS_JKD/SHUTTERSTOCK

A cratera de Barringer, formada pelo impacto de um meteorito, tem cerca de um quilômetro de diâmetro (Winslow, Arizona, EUA, 2016).

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Ainda há muito o que descobrir sobre a formação da Terra, ocorrida há cerca de 4,5 bilhões de anos, bem como sobre o início da vida no planeta. Sabemos que as características físicas e químicas da Terra mudaram consideravelmente ao longo de todo esse tempo, e que alguns eventos levaram à extinção de grande parte da vida existente no planeta. Os oceanos foram fundamentais para o surgimento da vida e sua diversidade dentro e fora da água, enquanto a formação de diferentes ecossistemas favoreceu a proliferação dos seres vivos pelo planeta.

Além das fontes terrestres de biomoléculas, acredita-se que meteoros, cometas, asteroides e poeira interestelar sejam fontes extraterrestres de substâncias essenciais aos processos biológicos. Algumas moléculas formadas fora da Terra podem ter sido trazidas para o planeta por algum desses astros, e o impacto deles na superfície da Terra pode ter liberado enormes quantidades de energia.

Na maioria dos casos conhecidos, quando um corpo celeste entra na atmosfera terrestre, ocorre atrito entre eles, o que pode fragmentar o astro e minimizar o impacto na superfície. A fragmentação do astro aumenta o intervalo de tempo de interação da colisão e reduz a intensidade da força média exercida pelos fragmentos na atmosfera. Entretanto, essa redução do impacto depende de outras variáveis, como a massa e a velocidade do corpo celeste ao entrar na atmosfera. Na Física, as grandezas **força** e **intervalo de tempo** estão relacionadas à grandeza **impulso**, as grandezas **massa** e **velocidade** estão relacionadas à grandeza **quantidade de movimento**, e a grandeza impulso está relacionada à grandeza quantidade de movimento. O estudo do impulso e da quantidade de movimento é o assunto deste capítulo.

1. Um pouco de história

Nasceu de estudos filosóficos a ideia da existência de uma grandeza que mede a quantidade de movimento do Universo e permanece invariável com o tempo, apesar da interação entre os corpos. Um dos filósofos que se debruçaram sobre o problema foi o francês René Descartes (1596-1650), também conhecido por seu nome latino Renatus Cartesius.

Em uma de suas obras mais conhecidas, *Discurso do método*, publicada em 1637, Descartes estabeleceu os princípios do método para o "verdadeiro conhecimento", sendo o primeiro princípio de sua filosofia o "*cogito ergo sum*": "penso, logo existo".

Em 1643, Descartes publicou o *Principia philosophiae*, ou *Os princípios da Filosofia*, que tinha por objetivo substituir a filosofia aristotélica, ainda ensinada nas universidades. Nessa obra, ele estabeleceu a conservação da quantidade de movimento. Descartes deu início a uma nova filosofia da natureza, o **mecanicismo**. De acordo com essa filosofia, na qual aparece claramente o conceito de inércia, todos os fenômenos devem ser explicados pelas leis da matéria em movimento.

2. Quantidade de movimento

Para Descartes, a grandeza **quantidade de movimento**, que representamos por Q, corresponderia ao produto da massa m do corpo pelo valor de sua velocidade v. Assim, segundo o filósofo, nas interações, a grandeza escalar $Q = m \cdot v$ se manteria invariável.

Por exemplo, num jogo de bilhar, um jogador utiliza o taco para colocar em movimento uma bola branca, e ela atinge frontalmente uma bola vermelha (colisão direta), que está inicialmente em repouso. As bolas possuem mesma massa m. Observa-se que a bola branca para e a bola vermelha entra em movimento com a mesma velocidade v que a bola branca apresentava na iminência do choque. Assim, a quantidade de movimento da bola branca foi totalmente transferida para a bola vermelha (Fig. 1).

A quantidade de movimento do sistema de bolas imediatamente antes da colisão é igual à quantidade de movimento do sistema imediatamente após a colisão. O exemplo mostra que houve conservação da quantidade de movimento.

Outro exemplo de conservação da quantidade de movimento é o do pêndulo múltiplo, conhecido como **pêndulo de Newton**. Ele é constituído por esferas de aço idênticas entre si, suspensas por fios (Fig. 2). Deslocando-se a esfera de uma das extremidades até certa altura e, em seguida, abandonando-a dessa posição, ela atinge a vizinha com certa velocidade v. Observa-se que a esfera da outra extremidade parte com a mesma velocidade v e que a primeira para. Isso significa que a quantidade de movimento foi conservada, transferindo-se da primeira para a última esfera, através das esferas intermediárias (Fig. 3). Se repetirmos o experimento afastando duas bolas da extremidade esquerda e abandonando-as, veremos as duas bolas da extremidade direita saírem com a mesma velocidade das bolas incidentes.

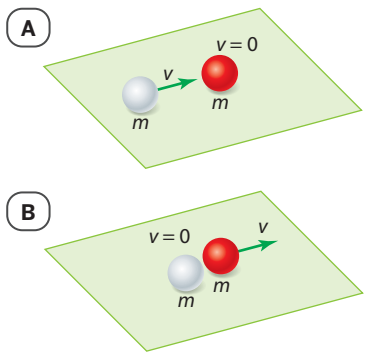


Figura 1. Representação esquemática da colisão frontal entre duas bolas de bilhar: (A) antes do choque e (B) depois do choque.

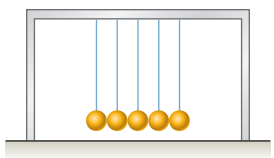


Figura 2. Representação do pêndulo de Newton.

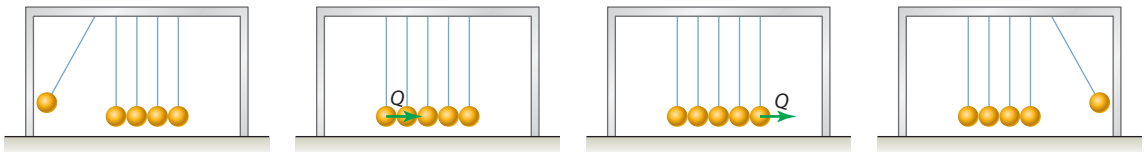


Figura 3. Sequência que ilustra a conservação da quantidade de movimento em um pêndulo múltiplo.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

ILUSTRAÇÕES: ADILSON SECCO/ARQUIVO DA EDITORA

3. Princípio da conservação da quantidade de movimento

Constatou-se que a grandeza definida por Descartes só se mantinha invariável em algumas situações, não se mantendo constante, por exemplo, quando as colisões entre os corpos não eram frontais.

Descartes, com base no **princípio da conservação da quantidade de movimento**, estabeleceu sete regras para um choque mecânico. Porém, seis dessas leis eram falsas, já que ele não considerava o caráter vetorial da quantidade de movimento de um corpo.

As primeiras ideias sobre o caráter vetorial da quantidade de movimento foram estabelecidas pelo matemático inglês John Wallis (1616-1703), em um trabalho apresentado em 1668 à The Royal Society of London. Essas ideias fundamentavam-se em equações que analisavam o comportamento dos corpos após colisões frontais e que seguiam juntos após o choque, o chamado **choque inelástico**.

Com essas equações, Wallis demonstrou que, ao contrário do afirmado por Descartes, a quantidade de movimento de um corpo nem sempre era positiva. Era preciso considerar, também, o sentido do movimento dos corpos. O sinal negativo da quantidade de movimento resulta do caráter vetorial da velocidade e, consequentemente, da quantidade de movimento.

Voltemos ao exemplo do jogo de bilhar, considerando, agora, que a bola branca atinja a colorida não frontalmente, mas de raspão, no que é denominado **colisão oblíqua**. Após o choque, as esferas deslocam-se em direções diferentes (Fig. 4).

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

ILUSTRAÇÕES: ADILSON SECCO/ARQUIVO DA EDITORA

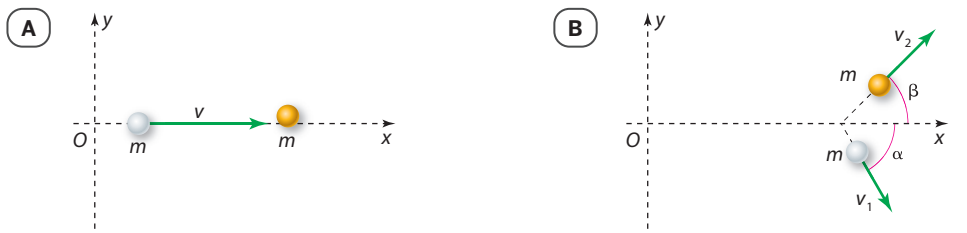


Figura 4. Representação esquemática da colisão não frontal entre duas esferas: (A) antes do choque e (B) depois do choque.

Isaac Newton (1643-1727) formulou uma hipótese com base nas ideias de Descartes, propondo que a quantidade de movimento de um corpo deveria ser uma grandeza vetorial $(\vec{Q})$, e não uma grandeza escalar. Desse modo, a quantidade de movimento seria dada pelo produto da massa m do corpo pela velocidade vetorial $\vec{v}$. Ou seja:

$$\vec{Q} = m \cdot \vec{v}$$

Como a massa m é uma grandeza escalar positiva, a quantidade de movimento de um corpo tem a mesma direção e o mesmo sentido de sua velocidade vetorial $\vec{v}$ e módulo dado por $Q = m \cdot v$ (Fig. 5).

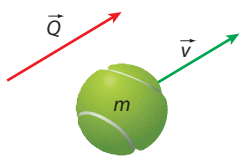


Figura 5. Os vetores $\vec{Q}$ e $\vec{v}$ apresentam mesma direção e mesmo sentido.

ADILSON SECCO/ARQUIVO DA EDITORA

A unidade de medida da quantidade de movimento no Sistema Internacional de Unidades (SI) é o produto da unidade de massa (kg) pela unidade de velocidade (m/s). Ou seja: kg · m/s.

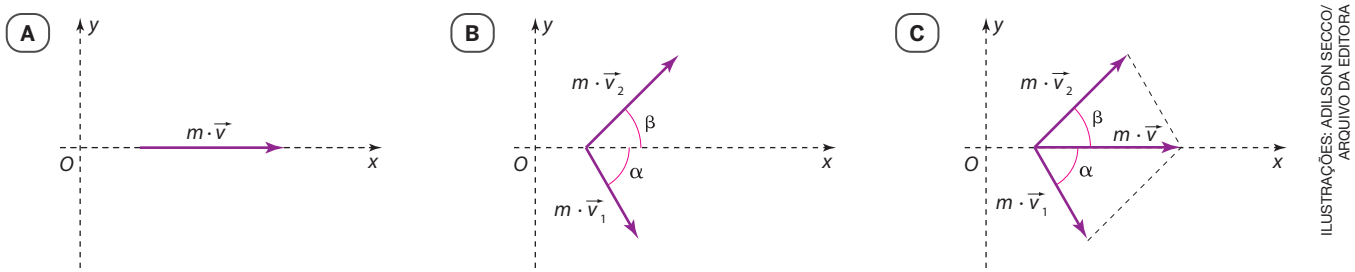
A quantidade de movimento de um corpo é também chamada de **momento linear**, termo empregado por John Wallis e usado até os dias atuais.

As quantidades de movimento do sistema, antes e depois do choque, obedecem à seguinte igualdade vetorial:

$$\vec{Q}_{antes} = \vec{Q}_{depois}$$

Portanto, no caso do exemplo da colisão não frontal da bola de bilhar (Fig. 6), temos:

$$m \cdot \vec{v} = m \cdot \vec{v}_1 + m \cdot \vec{v}_2$$



ILUSTRAÇÕES: ADILSON SECCO/ ARQUIVO DA EDITORA

Figura 6. Representação das quantidades de movimento em uma colisão oblíqua entre duas bolas de bilhar: (A) antes do choque; (B) depois do choque; e (C) composição vetorial das quantidades de movimento de cada bola.

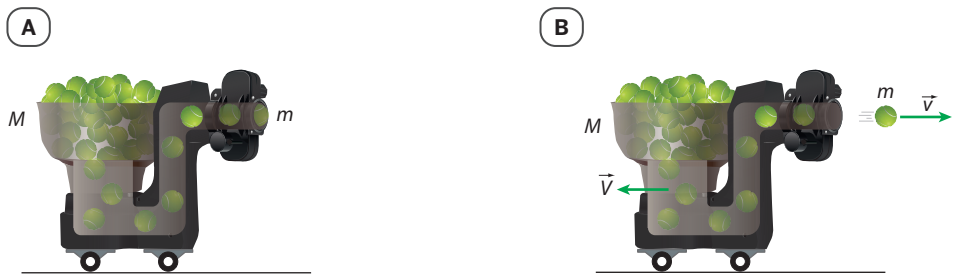
Ao projetar essa igualdade vetorial na direção dos eixos *Ox* e *Oy*, obtemos duas igualdades escalares.

Projeção no eixo *Ox*: $m \cdot v = m \cdot v_1 \cdot \cos \alpha + m \cdot v_2 \cdot \cos \beta$

Projeção no eixo *Oy*: $0 = m \cdot v_2 \cdot \text{sen } \beta + m \cdot v_1 \cdot \text{sen } \alpha$

Podemos também aplicar a conservação da quantidade de movimento para obter a velocidade de recuo de uma máquina lançadora de bola de tênis (Fig. 7), de início em repouso e capaz de se mover livremente num plano horizontal, que dispara uma bola horizontalmente. Considere *m* a massa da bola e *M* a massa da máquina, $\vec{v}$ a velocidade com que a bola é lançada e $\vec{V}$ a velocidade de recuo da máquina.

A quantidade de movimento permanece a mesma imediatamente antes e imediatamente depois do lançamento. Como o sistema está inicialmente em repouso $\left(\vec{v}_{sistema} = \vec{0}\right)$, a quantidade de movimento antes do lançamento é nula, o mesmo acontecendo com a quantidade de movimento depois. Desse modo, a quantidade de movimento da bola para a direita, por exemplo, deve ser anulada pela quantidade de movimento da máquina, que recua para a esquerda.



ILUSTRAÇÕES: NELSON MATSUDA/ARQUIVO DA EDITORA

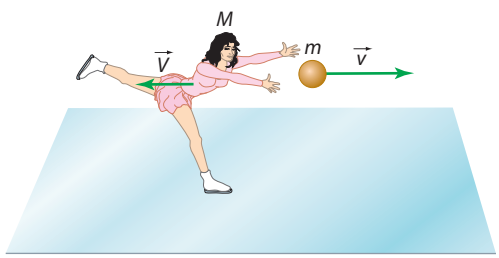
Figura 7.
(A) Representação da máquina lançadora de bola de tênis e da bola em repouso.
(B) Representação da máquina e da bola logo após o lançamento.

Assim, as quantidades de movimento da bola e da máquina têm mesma direção, sentidos opostos e módulos iguais, isto é: $M \cdot V = m \cdot v$. Portanto, o módulo da velocidade de recuo da máquina *V* será de:

$$V = \frac{m \cdot v}{M}$$

Observe casos semelhantes a seguir.

- Uma patinadora de massa *M* sobre patins, inicialmente em repouso, atira horizontalmente com velocidade $\vec{v}$ uma bola de massa *m*. A patinadora recua com velocidade $\vec{V}$ (Fig. 8).



ADILSON SECCO/ARQUIVO DA EDITORA

Figura 8. A patinadora e a bola deslocam-se em sentidos opostos.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

- Uma mulher de massa M caminha com velocidade $\vec{V}$ sobre um carrinho de massa m, que recua com velocidade $\vec{v}$ (Fig. 9).

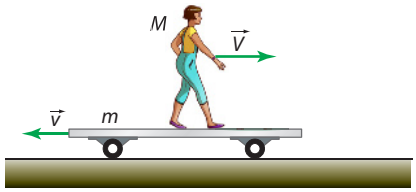


Figura 9. A quantidade de movimento do sistema conserva-se.

DANIEL ZEPPO/ARQUIVO DA EDITORA

Em quaisquer das situações citadas, temos: $M \cdot V = m \cdot v$.

Sistema isolado de forças externas

Podemos aplicar o princípio da conservação da quantidade de movimento a qualquer ação entre corpos? A resposta é não. Podemos aplicar o princípio da conservação da quantidade de movimento à interação entre os corpos de um **sistema isolado de forças externas**.

Um sistema de corpos é considerado isolado de forças externas quando não atuam sobre ele forças externas, isto é, forças provenientes de corpos não pertencentes a esse sistema; ou quando a resultante das forças externas que atuam sobre os corpos do sistema tem intensidade nula ou praticamente desprezível quando comparada com as forças internas.

Entretanto, pode haver forças internas, ou seja, forças que um corpo exerce sobre outro corpo do mesmo sistema. É o caso da força que uma bola de bilhar exerce sobre a outra durante a colisão; podem existir forças externas, mas de resultante nula, ou de intensidades desprezíveis, quando comparadas com as forças internas.

Vamos aplicar o princípio da conservação da quantidade de movimento a uma situação na qual os corpos colidem e passam a se mover juntos.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Exercício resolvido

Uma garota lança uma bolinha de argila com velocidade v, que colide frontalmente com outra, inicialmente parada. Ambas possuem a mesma massa m. Após a colisão, as duas aderem uma à outra e passam a se mover juntas. A colisão, nessa situação, é denominada perfeitamente inelástica. Qual será a velocidade das duas bolinhas após a colisão? Considere desprezível o atrito entre as bolas e a superfície.

Resolução

Temos a seguinte representação:

ADILSON SECCO/ARQUIVO DA EDITORA

Como todos os vetores têm a mesma direção (no caso, horizontal), podemos aplicar a conservação da quantidade de movimento, trabalhando com uma igualdade escalar:

$$Q_{antes} = Q_{depois} \Rightarrow m \cdot v + m \cdot 0 = m \cdot v' + m \cdot v' \Rightarrow m \cdot v = 2 \cdot m \cdot v' \Rightarrow v' = \frac{v}{2}$$

Veja respostas e comentários no Suplemento para o professor.

Aplicando conhecimentos

Registre as respostas em seu caderno.

1. Uma bola de massa $m = 400$ g possui, em um certo instante, velocidade horizontal, sentido da esquerda para a direita e intensidade $v = 20$ m/s. Dê as características (direção, sentido e intensidade) da quantidade de movimento $\vec{Q}$ da bola nesse instante.

2. Considere uma estudante, com massa de 50 kg, em repouso no solo sobre um *skate* de massa 4 kg. A estudante, que utiliza todos os equipamentos de segurança, salta para a frente com velocidade horizontal de 1 m/s em relação ao solo. Depois que ela saltar, o *skate* vai permanecer em repouso ou vai se movimentar? Caso ele se movimente, em que sentido será esse movimento e qual será o módulo de sua velocidade em relação ao solo?

4. Impulso de uma força constante e variação da quantidade de movimento

Quando corpos interagem, um exerce força sobre o outro, provocando variações em suas velocidades e, consequentemente, em suas quantidades de movimento.

A variação da quantidade de movimento sofrida por um corpo, indicada por $\Delta\vec{Q} = m \cdot \Delta\vec{v}$, depende da força resultante $\vec{F}$ atuante no corpo e do intervalo de tempo Δt durante o qual a força age.

A relação entre a força resultante $\vec{F}$, suposta constante, e a variação da quantidade de movimento $\Delta\vec{Q}$ pode ser obtida com base na segunda lei de Newton: $\vec{F} = m \cdot \vec{a}$

Sabemos que: $\vec{a} = \frac{\Delta\vec{v}}{\Delta t}$

Então: $\vec{F} = m \cdot \vec{a} \Rightarrow \vec{F} = m \cdot \frac{\Delta\vec{v}}{\Delta t} \Rightarrow \vec{F} \cdot \Delta t = m \cdot \Delta\vec{v}$

Portanto:

$$\Delta\vec{Q} = m \cdot \Delta\vec{v} = \vec{F} \cdot \Delta t$$

Por essa relação, podemos concluir que, quanto mais intensa for a força, menor será o intervalo de tempo necessário para produzir certa variação na quantidade de movimento. Reciprocamente, quanto menos intensa for a força, maior deverá ser o intervalo de tempo necessário para que ocorra a mesma variação da quantidade de movimento.

Essa conclusão é válida para uma força $\vec{F}$ constante ou para um intervalo de tempo Δt extremamente pequeno.

Se a força tiver intensidade variável, como a força de impacto dos exemplos a seguir, devemos utilizar o conceito de força média, isto é, uma força constante que produz, no intervalo de tempo Δt, o mesmo efeito da força variável.

Em competições de carros de corrida, é comum que alguns trechos de muro possuam uma barreira de pneus. A ideia é que, em caso de acidente, os pneus absorvam parte da energia da colisão: quanto maior o intervalo de tempo de impacto, menor será a intensidade da força de impacto aplicada ao carro de corrida na colisão. Sem a barreira de pneus, a força de impacto sobre o carro de corrida seria muito intensa, e o intervalo de tempo de impacto, muito pequeno. Verifica-se algo semelhante com o *air bag* em veículos: em um possível acidente, sua função é aumentar o intervalo de tempo de impacto e diminuir a intensidade da força de impacto sobre o motorista.

Ao pular de certa altura, não mantemos as pernas estendidas quando atingimos o solo, mas as flexionamos durante a colisão, para aumentar o intervalo de tempo de contato com o solo e diminuir a intensidade da força de impacto aplicada ao corpo.

Você já deve ter observado lutadores de caratê quebrando uma tábua ou uma pilha de tijolos com um golpe rápido. Como o intervalo de tempo em que o golpe ocorre é muito pequeno, a força de impacto, aplicada na tábua ou na pilha de tijolos, é muito intensa.

A grandeza vetorial $\vec{F} \cdot \Delta t$ é indicada por $\vec{I}$ e recebe o nome de impulso da força $\vec{F}$, constante, durante o intervalo de tempo Δt. Ou seja:

$$\vec{I} = \vec{F} \cdot \Delta t$$

Como o intervalo de tempo Δt é uma grandeza escalar positiva, a direção e o sentido do impulso $\vec{I}$ são os mesmos da força $\vec{F}$. No SI, a unidade de medida do módulo do impulso é o N · s (Fig. 10).

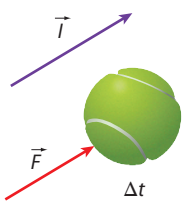


Figura 10. O impulso $\vec{I}$ é uma grandeza vetorial que tem direção e sentido iguais aos da força $\vec{F}$.

ADILSON SECCO/ ARQUIVO DA EDITORA

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Ao substituirmos a igualdade (II) na (I), podemos escrever: $\Delta \vec{Q} = \vec{I}$

Ou seja:

> A variação da quantidade de movimento de um corpo, em determinado intervalo de tempo, é igual ao impulso da força resultante nesse mesmo intervalo de tempo.

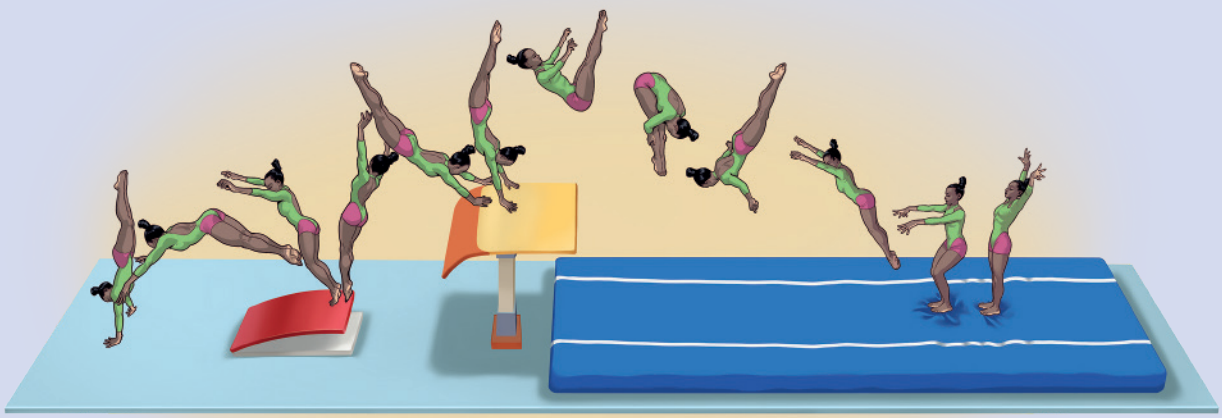
Essa conclusão constitui **o teorema do impulso**, que tem validade geral, ou seja, é válido para qualquer tipo de interação. Note que, no SI, o kg · m/s é equivalente a N · s, ou seja: 1 kg · m/s = 1 N · s

Veja respostas e comentários no Suplemento para o professor.

Dialogando com o texto

A ginástica artística foi incluída como mais uma modalidade nos Jogos Olímpicos em 1896, para os homens, e em 1928, para as mulheres. No Brasil, a primeira participação de uma ginasta brasileira em Olimpíadas ocorreu em 1980. Desde então, o esporte tem ganhado mais adeptas no Brasil. A primeira medalha de ouro para o Brasil na ginástica artística veio nos Jogos Olímpicos de Tóquio 2020, ocorrido em 2021. Nas Olimpíadas de Paris 2024, o Brasil teve um desempenho notável, conquistando quatro medalhas na ginástica artística feminina.

Na modalidade de salto sobre a mesa, as ginastas precisam combinar velocidade, técnica e controle corporal para executar movimentos complexos no ar, que ocorrem em poucos segundos. O salto é dividido em quatro fases principais: a aproximação, em que a ginasta corre em alta velocidade em direção à mesa; a interação com a mesa, momento em que ela se impulsiona no aparelho; o voo, em que são realizadas as piruetas e os giros; e a aterrissagem, um momento crítico de finalizar o movimento mantendo o equilíbrio.



NELSON MATSUDA/ARQUIVO DA EDITORA

Na aterrissagem, a ginasta dobra ligeiramente os joelhos no momento do contato com o solo para absorver o impacto da força da queda. Essa manobra ajuda também a manter o equilíbrio, garantindo que a performance seja concluída de forma segura.

Segundo o teorema do impulso, explique por que as ginastas flexionam as pernas durante a aterrissagem.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

No exercício resolvido a seguir, temos um exemplo de aplicação do teorema do impulso.

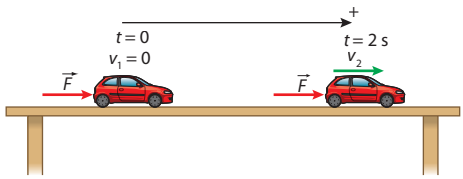
Exercício resolvido

Um carrinho de massa 0,5 kg, inicialmente em repouso sobre uma mesa, é submetido à ação de uma força horizontal constante de intensidade 2 N. Vamos calcular a velocidade que o carrinho adquire 2 s após a aplicação da força.

Resolução

Temos a seguinte representação:

ADILSON SECCO/ ARQUIVO DA EDITORA



Como todos os vetores têm a mesma direção (no caso, horizontal), podemos aplicar o teorema do impulso, trabalhando com uma igualdade escalar:

$$\Delta Q = I \Rightarrow m \cdot v_2 - m \cdot v_1 = F \cdot \Delta t \Rightarrow 0{,}5 \cdot v_2 - 0{,}5 \cdot 0 = 2 \cdot 2 \Rightarrow 0{,}5 \cdot v_2 = 4 \therefore v_2 = 8 \text{ m/s}$$

No gráfico a seguir, temos a intensidade da força constante $\vec{F}$, que age em um corpo, em função do tempo t (Fig. 11).

ADILSON SECCO/ ARQUIVO DA EDITORA

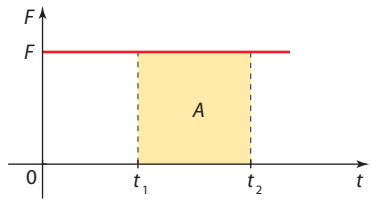


Figura 11. Gráfico $F \times t$ para $\vec{F}$ constante.

A área A do retângulo formado entre os instantes t_1 e t_2 é dada por:

$$A = \text{altura} \times \text{base} = F \cdot (t_2 - t_1) = F \cdot \Delta t$$

Concluímos, então, que a área A é numericamente igual à intensidade do impulso da força $\vec{F}$, no intervalo de tempo Δt:

$$I = \text{Área}$$

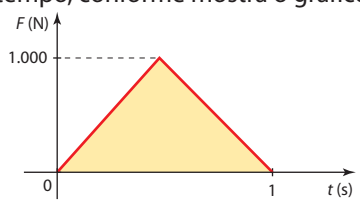
A propriedade apresentada será válida se a força $\vec{F}$ tiver direção constante e for variável em intensidade.

No exercício resolvido a seguir, determinamos a intensidade da força constante que produz o mesmo impulso de uma força variável, em um intervalo de tempo Δt. Essa força constante é denominada **força média**.

Exercício resolvido

Em um teste de segurança automobilística, a intensidade da força de impacto que age no corpo de um boneco, colocado no lugar de um motorista durante uma colisão, varia com o tempo, conforme mostra o gráfico.

ADILSON SECCO/ ARQUIVO DA EDITORA



Determine a intensidade da força média que produz o mesmo impulso no intervalo de tempo que durou a colisão.

Resolução

A área do triângulo é numericamente igual à intensidade do impulso da força variável, no intervalo de tempo $\Delta t = 1$ s. Então:

$$I = \frac{\text{base} \times \text{altura}}{2} \Rightarrow I = \frac{1 \cdot 1.000}{2} \therefore I = 500 \text{ N} \cdot \text{s}$$

Logo, a intensidade do impulso é 500 N · s.

Assim, a força média (constante) tem intensidade F dada por:

$$I = F \cdot \Delta t \Rightarrow 500 = F \cdot 1 \therefore F = 500 \text{ N}$$

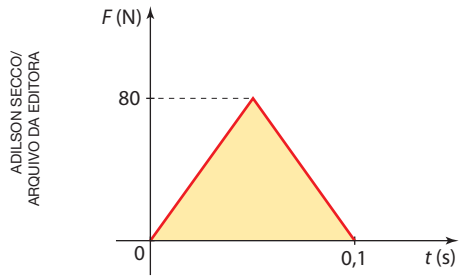
Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Veja respostas e comentários no Suplemento para o professor.

Aplicando conhecimentos

Registre as respostas em seu caderno.

3. Uma bola é abandonada de certa altura e colide com o solo. A intensidade da força que o solo aplica na bola, em função do tempo, durante a colisão está representada no gráfico a seguir.



ADILSON SECCO/ ARQUIVO DA EDITORA

Determine a intensidade:

a. do impulso da força que o solo aplica na bola;

b. da força média que o solo aplica na bola.

4. Na cobrança de uma falta, um jogador de futebol dá um chute em uma bola de massa 0,5 kg. Imediatamente após o chute, a bola adquire uma velocidade cujo módulo é 30 m/s.

a. Determine o módulo do impulso que o pé do jogador aplica sobre a bola.

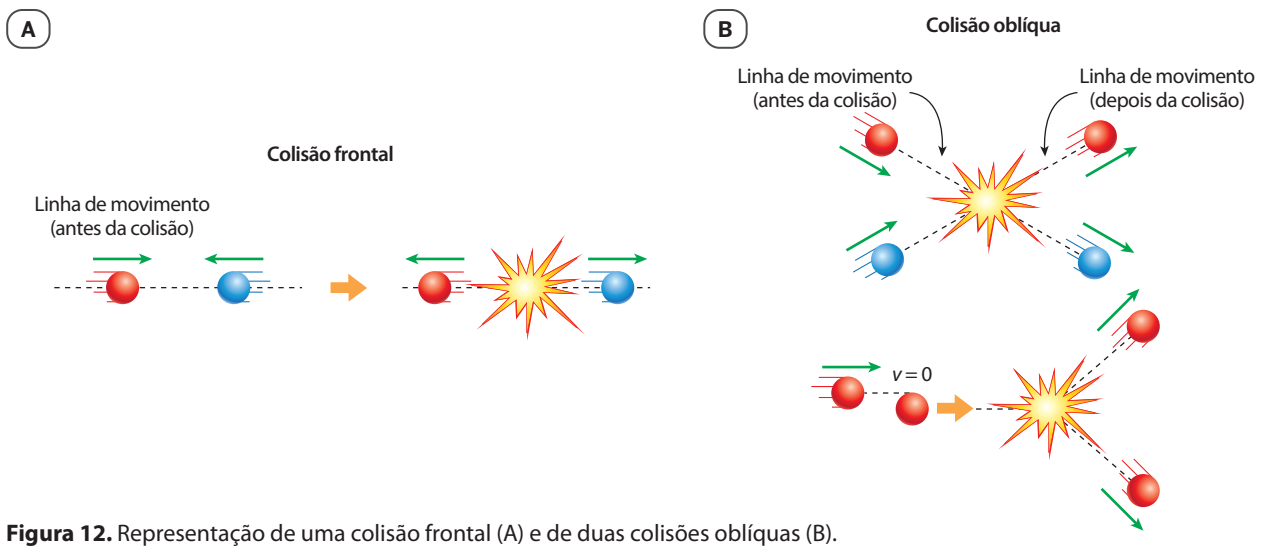
b. Sendo a intensidade da força média que o pé do jogador aplica sobre a bola $1{,}5 \cdot 10^3$ N, determine o intervalo de tempo de interação do pé com a bola.

5. Choques mecânicos

Choques mecânicos ou **colisões** são interações em que dois ou mais corpos exercem força uns sobre os outros em um curto intervalo de tempo. Por exemplo, as colisões entre bolas em um jogo de bilhar, as colisões entre veículos em um acidente automobilístico e muitas outras situações.

Vamos analisar apenas os choques entre dois corpos ou entre corpos e superfícies planas. Neste estudo, consideraremos que os corpos não têm movimento de rotação, apenas de translação.

Quando os centros dos corpos se deslocam sobre uma mesma reta, antes e depois da colisão, dizemos que o choque é frontal ou direto. Caso contrário, a colisão é dita colisão oblíqua (Fig. 12).



ILUSTRAÇÕES: NELSON MATSUDA/ARQUIVO DA EDITORA

Figura 12. Representação de uma colisão frontal (A) e de duas colisões oblíquas (B).

Conforme vimos anteriormente, o teorema do impulso estabelece que o impulso da força resultante é igual à variação da quantidade de movimento do sistema. Ou seja: $\vec{I} = \Delta\vec{Q}$.

Entretanto, em sistemas isolados de forças externas, o impulso da força resultante (externa) é nulo e, por esse motivo, a variação da quantidade de movimento do sistema também é nula.

Portanto, em sistemas isolados de forças externas, como é o caso das colisões e explosões, podemos aplicar o teorema da conservação da quantidade de movimento e teremos:

$$\vec{Q}_{antes} = \vec{Q}_{depois}$$

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Consideremos a colisão frontal entre dois corpos, *A* e *B*, de massas m_A e m_B, respectivamente. Vamos representar esquematicamente os corpos imediatamente antes e imediatamente depois da colisão (Fig. 13). Observe que, antes da colisão, *A* se aproxima de *B* e, depois da colisão, *B* se afasta de *A*.

ADILSON SECCO/ ARQUIVO DA EDITORA

Figura 13. Antes da colisão, ocorre uma aproximação entre os corpos e, após a colisão, um afastamento.

Para levar em conta as propriedades elásticas dos materiais que constituem os corpos que colidem, define-se uma grandeza adimensional, denominada **coeficiente de restituição (*e*)**, como a relação entre a velocidade relativa de afastamento dos corpos e a velocidade relativa de aproximação dos corpos. Assim:

$$e = \frac{\text{velocidade relativa de afastamento}}{\text{velocidade relativa de aproximação}}$$

A velocidade relativa é obtida subtraindo-se os valores das velocidades, se os corpos estiverem se deslocando no mesmo sentido; se os corpos estiverem se deslocando em sentidos opostos, a velocidade relativa entre eles é a soma dos valores das velocidades. Essas velocidades relativas são sempre consideradas em módulo.

Para o caso indicado na Figura 13, teríamos:

$$e = \frac{v'_B - v'_A}{v_A - v_B}$$

Se $e = 1$, o choque é denominado **choque perfeitamente elástico**. Nesse caso, a velocidade relativa de afastamento é igual à velocidade relativa de aproximação. No choque perfeitamente elástico, há conservação da energia, isto é, a energia total do sistema imediatamente antes do choque é igual à energia total do sistema depois do choque. Consideremos, por exemplo, uma bola de bilhar deslocando-se com velocidade *v* e colidindo frontalmente com outra inicialmente parada. Após a colisão, observa-se que a primeira bola para e a outra adquire velocidade *v*. Observe que a velocidade relativa depois do choque é *v*, o mesmo acontecendo com a velocidade relativa antes do choque.

Se $e = 0$, o choque é denominado **choque perfeitamente inelástico**. Nesse caso, a velocidade relativa de afastamento é nula, isto é, $v'_B = v'_A$; os corpos passam a se mover juntos.

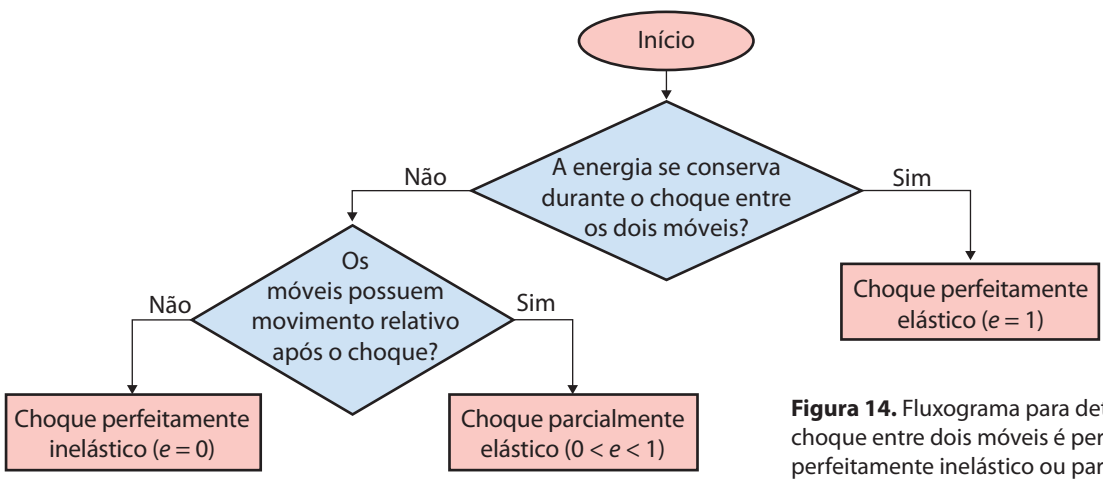
Se $0 < e < 1$, o choque é denominado **choque parcialmente elástico**. Nesse caso, a velocidade relativa de afastamento é menor do que a velocidade relativa de aproximação.

Nos dois últimos tipos de choque, a energia imediatamente antes do choque é maior que a energia cinética imediatamente depois do choque e, portanto, não se conserva.

No choque inelástico ocorre máxima dissipação de energia em comparação com o choque parcialmente elástico. Assim, à medida que o coeficiente de restituição diminui, a dissipação de energia aumenta.

O fluxograma a seguir (Fig. 14) representa uma forma de organizar o raciocínio lógico para determinar o tipo de choque durante a colisão entre dois móveis.

Condições para determinar o tipo de choque em uma colisão entre dois móveis



NELSON MATSUDA/ARQUIVO DA EDITORA

Figura 14. Fluxograma para determinar se o choque entre dois móveis é perfeitamente elástico, perfeitamente inelástico ou parcialmente elástico.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Como regra geral, na análise do choque entre duas partículas, devemos impor o princípio da conservação da quantidade de movimento $(m_A \cdot v_A + m_B \cdot v_B = m_A \cdot v'_A + m_B \cdot v'_B)$ e a definição do coeficiente de restituição $\left(e = \frac{\text{velocidade relativa de afastamento}}{\text{velocidade relativa de aproximação}}\right)$, sempre observando o sentido e a direção dos vetores.

Vamos aplicar essas considerações no exemplo apresentado a seguir.

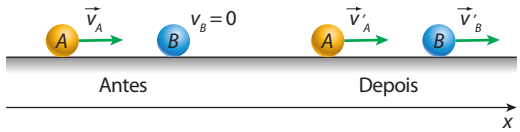
Exercício resolvido

ESTRATÉGIA DE ESTUDO

Uma esfera *A* desloca-se com velocidade de módulo $v_A = 3{,}0$ m/s e colide frontalmente com uma esfera *B*, que se encontra em repouso ($v_B = 0$). As esferas possuem a mesma massa *m*. Sendo o choque perfeitamente elástico ($e = 1$), determine os módulos das velocidades das esferas *A* e *B* imediatamente depois da colisão, v'_A e v'_B.

Identificar

Observe a figura, que mostra a situação das esferas *A* e *B* antes e depois do choque perfeitamente elástico. Note que o eixo *x* está orientado para a direita, mesmo sentido da velocidade das esferas.



ADILSON SECCO/ARQUIVO DA EDITORA

Como se trata de uma colisão, caso em que as forças internas durante o choque são muito maiores que as forças externas, podemos aplicar o princípio da conservação da quantidade de movimento. Ademais, foi fornecido o coeficiente de restituição $e = 1$; com isso, é possível relacionar as velocidades relativas antes e depois da colisão.

Preparar

Da definição de coeficiente de restituição, temos:

$$e = \frac{\text{velocidade relativa de afastamento}}{\text{velocidade relativa de aproximação}} \Rightarrow e = \frac{v'_B - v'_A}{v_A - v_B} \Rightarrow 1 = \frac{v'_B - v'_A}{3{,}0 - 0} \Rightarrow v'_B - v'_A = 3{,}0 \text{ (I)}$$

Pelo princípio da conservação da quantidade de movimento, tomando o eixo *x* como referência, temos:

$$m_A \cdot v_A + m_B \cdot v_B = m_A \cdot v'_A + m_B \cdot v'_B \Rightarrow m \cdot 3{,}0 + m \cdot 0 = m \cdot v'_A + m \cdot v'_B \Rightarrow v'_A + v'_B = 3{,}0 \text{ (II)}$$

Executar

Resolvendo o sistema de equações **(I)** e **(II)**, temos: $v'_A = 0$ e $v'_B = 3{,}0$ m/s.

Analisar

É interessante observar que, pelo fato de a colisão ser perfeitamente elástica ($e = 1$), os objetos de mesma massa simplesmente trocaram de velocidades. Esse tipo de situação ocorre, por exemplo, quando átomos, moléculas ou partículas subatômicas de massas idênticas colidem, não sendo possível distinguir qual é a partícula 1 e qual é a partícula 2, pois ocorre uma troca de energia e de quantidade de movimento entre elas.

Esse resultado permite-nos concluir que nos choques frontais e perfeitamente elásticos entre corpos de massas iguais ocorre troca de velocidades. Entretanto, se as massas são diferentes, a troca de velocidades não ocorrerá como mostramos a seguir.

Exercício resolvido

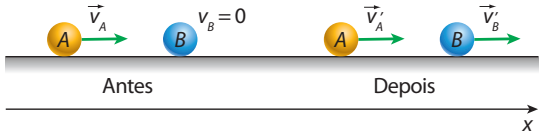
Uma esfera *A*, de massa $m_A = 0{,}20$ kg, desloca-se com velocidade de módulo $v_A = 3{,}0$ m/s e colide frontalmente com uma esfera *B*, de massa $m_B = 0{,}10$ kg e que se encontra em repouso ($v_B = 0$). Sendo o choque perfeitamente elástico ($e = 1$), determine os módulos das velocidades que as esferas *A* e *B* adquirem imediatamente depois do choque, v'_A e v'_B.

CONTINUA

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Resolução

A figura a seguir representa, mais uma vez, a situação das esferas *A* e *B* antes e depois do choque perfeitamente elástico.



ADILSON SECCO/ARQUIVO DA EDITORA

As duas equações que permitem determinar as velocidades depois do choque estão relacionadas à definição do coeficiente de restituição e ao princípio da conservação da quantidade de movimento.

Sendo o choque perfeitamente elástico, temos:

$$e = \frac{\text{velocidade relativa de afastamento}}{\text{velocidade relativa de aproximação}} \Rightarrow e = \frac{v'_B - v'_A}{v_A - v_B} \Rightarrow 1 = \frac{v'_B - v'_A}{3{,}0 - 0} \Rightarrow v'_B - v'_A = 3{,}0 \text{ (I)}$$

De acordo com o princípio da conservação da quantidade de movimento, para o sistema constituído pelas duas esferas, e considerando o eixo *x*, podemos escrever:

$$m_A \cdot v_A + m_B \cdot v_B = m_A \cdot v'_A + m_B \cdot v'_B \Rightarrow 0{,}20 \cdot 3{,}0 + 0{,}10 \cdot 0 = 0{,}20 \cdot v'_A + 0{,}10 \cdot v'_B \Rightarrow 2v'_A + v'_B = 6{,}0 \text{ (II)}$$

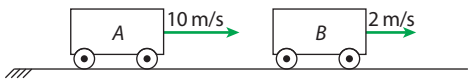
Resolvendo o sistema de equações **(I)** e **(II)**, temos: $v'_A = 1{,}0$ m/s e $v'_B = 4{,}0$ m/s.

Veja respostas e comentários no Suplemento para o professor.

Aplicando conhecimentos

Registre as respostas em seu caderno.

5. Os carrinhos *A* e *B* da figura a seguir têm massas iguais a 2 kg cada um e deslocam-se sobre uma mesma trajetória retilínea com velocidades constantes.



NELSON MATSUDA/ ARQUIVO DA EDITORA

Determine:

a. a quantidade de movimento inicial do sistema constituído pelos dois carrinhos;

b. a quantidade de movimento final do sistema constituído pelos dois carrinhos após a colisão;

c. a velocidade escalar do conjunto (*A* + *B*), sabendo-se que os carrinhos permanecem unidos após a colisão;

d. a energia dissipada durante a colisão.

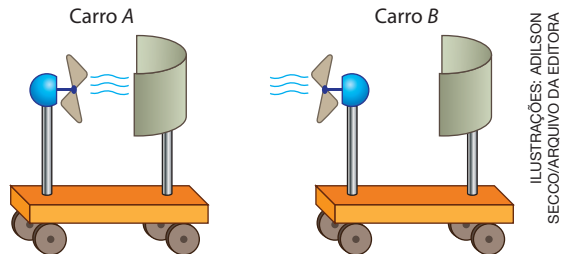
6. Um dardo com massa 5 g é disparado horizontalmente contra um bloco de madeira em repouso em uma superfície horizontal no qual se aloja. Sabendo-se que o bloco de madeira tem massa 10 kg e que após o disparo o conjunto (bloco + dardo) desloca-se com velocidade 0,3 m/s, pede-se:

a. o módulo da quantidade de movimento do conjunto (bloco + dardo) após o dardo se alojar no bloco;

b. o módulo da velocidade inicial do dardo antes de se alojar no bloco.

7. **(Enem)** Em desenhos animados é comum vermos a personagem tentando impulsionar um barco soprando ar contra a vela para compensar a falta de vento. Algumas vezes usam o próprio fôlego, foles ou ventiladores. Estudantes de um laboratório didático resolveram investigar essa possibilidade. Para isso, usaram dois pequenos carros de plástico, *A* e *B*, instalaram sobre estas pequenas ventoinhas e fixaram verticalmente uma cartolina de curvatura parabólica para desempenhar uma função análoga à vela de um barco. No carro *B* inverteu-se o sentido da ventoinha e manteve-se a vela, a fim de manter as características do barco, massa e formato da cartolina. As figuras representam os carros produzidos. A montagem do carro *A* busca simular a situação dos desenhos animados, pois a ventoinha está direcionada para a vela.

7. b



ILUSTRAÇÕES: ADILSON SECCO/ARQUIVO DA EDITORA

Com os carros orientados de acordo com as figuras, os estudantes ligaram as ventoinhas, aguardaram o fluxo de ar ficar permanente e determinaram os módulos das velocidades médias dos carros *A* (V_A) e *B* (V_B) para o mesmo intervalo de tempo.

A respeito das intensidades das velocidades médias e do sentido de movimento do carro *A*, os estudantes observaram que:

a. $V_A = 0$; $V_B > 0$; o carro *A* não se move.

b. $0 < V_A < V_B$; o carro *A* se move para a direita.

c. $0 < V_A < V_B$; o carro *A* se move para a esquerda.

d. $0 < V_B < V_A$; o carro *A* se move para a direita.

e. $0 < V_B < V_A$; o carro *A* se move para a esquerda.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

ESTRATÉGIA DE ESTUDO

Para auxiliá-lo em seus estudos, você pode estabelecer palavras-chave e refletir sobre o que aprendeu.

Selecionar palavras-chave

Para cada tópico do capítulo, selecione termos que representem os principais assuntos estudados. Uma dica é prestar atenção às palavras destacadas no texto e aos títulos e subtítulos dos tópicos. No tópico *Um pouco de história*, por exemplo, é possível destacar: René Descartes e mecanicismo. Leia os demais tópicos do capítulo e copie no caderno os termos que considere relevantes. A seguir, agrupe as palavras que têm correlação.

Espera-se que haja diferenças entre as seleções e os agrupamentos, pois trata-se de uma interpretação pessoal. Compartilhe e compare suas palavras-chave com as dos colegas, para repensar a inclusão ou a exclusão de algum termo.

Você pode adotar essa estratégia em outros capítulos e, conforme o estudo avança, você poderá relembrar assuntos importantes com base em suas anotações.

Verificar o que aprendeu

1. Avalie seu nível de compreensão dos assuntos apresentados no capítulo utilizando a escala:
   - Entendi completamente.
   - Entendi a maior parte, mas alguns itens estão confusos.
   - Não entendi a maior parte.
   - Não entendi.
2. Avalie suas habilidades para:
   - resolver os problemas apresentados;
   - relacionar o conteúdo com situações do cotidiano.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Veja respostas e comentários no Suplemento para o professor.

Atividades finais

Registre as respostas em seu caderno.

1. Um auxiliar de supermercado tem por função recolher os carrinhos de compra deixados junto aos caixas e dispô-los, encaixados um no outro, na entrada da loja. Cada carrinho vazio tem massa de 15 kg. Se o rapaz empurrar um carrinho vazio, abandonando-o com velocidade de 3 m/s, e este se juntar a dois outros carrinhos encaixados e em repouso, qual será a velocidade adquirida pelo conjunto dos três carrinhos?

2. Uma bola de massa 200 g move-se com velocidade de 20 m/s quando se choca perpendicularmente com uma parede. Após a colisão, a bola retorna com velocidade de 20 m/s no sentido oposto ao do movimento inicial. Determine:

a. o módulo da variação da quantidade de movimento sofrida pela bola;

b. a intensidade da força média sobre a bola, sabendo que a colisão durou 0,01 s.

3. Uma esfera A desloca-se com velocidade de módulo $v_A = 3{,}0$ m/s e colide frontalmente com uma esfera B, que se encontra em repouso ($v_B = 0$). As esferas possuem a mesma massa m. Sendo o choque perfeitamente elástico ($e = 1$), determine os módulos das velocidades das esferas A e B imediatamente depois da colisão, v_A' e v_B'.

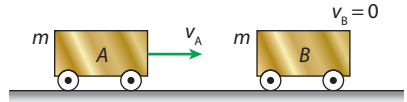
4. Duas esferas, A e B, de massas $m_A = 0{,}1$ kg e $m_B = 0{,}3$ kg, deslocam-se na mesma reta, no mesmo sentido, e em dado instante realizam um choque frontal. As esferas A e B possuem imediatamente antes da colisão as velocidades $v_A = 2$ m/s e $v_B = 1$ m/s. Determine as velocidades das esferas imediatamente depois da colisão, nos seguintes casos:

a. o choque é perfeitamente elástico ($e = 1$);

b. o choque é perfeitamente inelástico ($e = 0$);

c. o choque é parcialmente elástico ($e = 0{,}6$).

5. Um carrinho A desloca-se com velocidade de módulo $v_A = 2{,}0$ m/s e colide frontalmente com um carrinho B, que está em repouso ($v_B = 0$), conforme mostra a figura.



ADILSON SECCO/ ARQUIVO DA EDITORA

Os carrinhos têm uma mesma massa m. Imediatamente após a colisão, eles adquirem velocidades de módulos v_A' e v_B', respectivamente.

Determine as velocidades v_A' e v_B' nos seguintes casos:

a. o choque é perfeitamente elástico ($e = 1$);

b. o choque é perfeitamente inelástico ($e = 0$).

CAPÍTULO 5

Trabalho e energia

LUCAS OLENIUK/TORONTO STAR/GETTY IMAGES

O primo de William Kamkwamba, Gift, sobe um dos quatro moinhos na fazenda para liberar o giro das aletas para bombear água do subsolo e irrigar a plantação da família (Wimbe, Malaui, 2009).

Desde os primeiros anos escolares, aprendemos que a energia solar, principal fonte de energia do planeta, é o que possibilita a manutenção da vida na Terra. Ao longo da história da humanidade, nossa espécie, com base na observação das diferentes manifestações de energia da natureza, aprendeu a usá-las em benefício próprio. Muitos são os exemplos de aplicação da energia que marcaram civilizações e revoluções e contribuíram para o desenvolvimento humano, científico, econômico e tecnológico.

No entanto, tal desenvolvimento tecnológico não resolve por completo problemas relacionados à demanda de energia, e nem todas as pessoas têm acesso às tecnologias para explorar as fontes de energia. Um caso no continente africano revela que o interesse pela pesquisa e a persistência de um adolescente resultaram em soluções para questões energéticas locais.

No início dos anos 2000, houve uma seca severa no Malaui, país do sudeste africano, que gerou escassez de alimentos. O malauiano William Kamkwamba, à época com 14 anos, não tinha recursos financeiros para continuar frequentando a escola, então resolveu estudar sozinho. Em livros que conseguia na biblioteca da escola, começou a entender o funcionamento de geradores elétricos, o que o fez vislumbrar a possibilidade de ajudar o pai e a comunidade construindo um sistema gerador de energia elétrica e de irrigação.

Com peças garimpadas do lixo das casas da comunidade onde vivia, William aplicou o que havia aprendido, construindo um moinho gerador de eletricidade. Com a ajuda de um dispositivo elétrico de uma bicicleta, utilizado para acender um pequeno farol, e algumas peças a mais, conseguiu produzir energia para carregar os telefones celulares dos moradores locais. Depois, William construiu outro moinho, dessa vez para bombear água e irrigar a plantação da família.

A energia está presente no mundo e em tudo o que fazemos. Cabe a nós, como cidadãos, compreendê-la e utilizá-la de forma consciente para propor soluções aos problemas que nos rodeiam e promover o diálogo com os órgãos ou serviços responsáveis para a implementação de melhorias em sua distribuição. Este capítulo apresenta várias formas de energia mais comuns, as diferentes formas da energia mecânica, conceitua trabalho e potência e explica como a energia se conserva.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

1. As várias formas de energia

As ideias que temos a respeito de energia são baseadas em experiências do nosso dia a dia. O assunto é tratado com frequência cada vez maior nos jornais, nas revistas, no rádio, na televisão e na internet, que, muitas vezes, divulgam informações sobre o custo da energia e a necessidade de economizá-la.

Um antigo anúncio publicitário de um fabricante de açúcar dizia: "Açúcar é energia!". De fato, uma alimentação adequada fornece ao nosso corpo a energia necessária para nos manter vivos e executarmos as tarefas diárias, e é um fator bastante estudado, por exemplo, para a preparação do treinamento de um atleta (Fig. 1).

Assim como as pessoas, os objetos em geral também podem armazenar energia. Uma mola comprimida armazena energia e, ao ser distendida, pode colocar um corpo em movimento (Fig. 2).

A água em movimento pode acionar uma roda-d'água, e esta, por sua vez, pode mover uma moenda para moer grãos (Fig. 3).

Um carro utiliza a energia do combustível para se mover. Atualmente, a gasolina, o álcool e o gás natural são os combustíveis mais comuns. Os carros movidos a eletricidade utilizam a energia química armazenada em baterias (que podem ser recarregadas em eletropostos) para se movimentar (Fig. 4).

A queima de gás de cozinha, ou de lenha, libera energia para preparar e aquecer as refeições.

A energia elétrica permite o funcionamento de eletrodomésticos e de outros aparelhos que auxiliam na realização de várias tarefas.

A luz solar aquece os corpos e é essencial para o desenvolvimento de diversos seres vivos. O Sol fornece à Terra energia sob a forma de radiação. Essa energia pode ser captada em coletores especiais e aproveitada para aquecer água ou para acionar equipamentos elétricos.

Mas, afinal, o que é energia?

Apesar de ser um dos conceitos mais abrangentes e relevantes em todas as áreas das ciências, a energia começou a ser discutida em bases científicas no Ocidente no final do século XVIII.

CHRIS GRAYTHEN/EQUIPE/GETTY IMAGES

Figura 1. Neisi Patricia Dajomes Barrera foi a primeira mulher equatoriana a ganhar uma medalha de ouro olímpica no levantamento de peso. Categoria 76 kg (Tóquio, Japão, 2020).

KATE CONNELL/PHOTOGRAPHER'S CHOICE/GETTY IMAGES

Figura 2. O garoto é impulsionado para cima pela energia que estava armazenada na mola.

PECOLD/SHUTTERSTOCK

Figura 3. Roda-d'água em museu ao ar livre (Beskids, República Tcheca, 2012).

SCHARFSINN/SHUTTERSTOCK

Figura 4. Um carro elétrico utiliza a energia armazenada em baterias para se movimentar. (Oslo, Noruega, 2016).

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Podemos afirmar que o Universo, e tudo o que existe nele, é uma combinação de matéria e energia.

A matéria é constituída de átomos e moléculas, possui massa e ocupa determinado volume no espaço; logo, percebemos sua presença. Entretanto, isso não ocorre com a maioria das formas de energia. Percebemos seus efeitos apenas nos corpos que a liberam ou a absorvem.

Apesar de reconhecermos formas de energia, é difícil conceituá-la, pois ela sempre está relacionada a um processo. Pessoas, objetos e lugares possuem energia, mas geralmente só notamos sua presença em processos de transferência ou de transformação.

De forma simplificada, podemos afirmar que um corpo possui energia se for capaz de provocar alguma mudança em si mesmo ou em sua vizinhança.

Neste capítulo, daremos ênfase à energia mecânica em suas diferentes formas.

Veja comentários sobre essa atividade no Suplemento para o professor.

Dialogando com o texto

MEIO AMBIENTE ODS 7

A Organização das Nações Unidas (ONU) estabeleceu metas para o acesso universal, confiável e sustentável à energia até 2030. O Brasil possui uma matriz energética com energias limpas, como a energia solar, eólica, hidrelétrica e de biomassa. Faça uma pesquisa em grupo sobre os seguintes tópicos: com qual porcentagem cada uma delas contribui para a matriz energética brasileira; como essas fontes de energia têm impulsionado o crescimento econômico do país (com a criação de empregos e fomento à inovação, por exemplo); e como as energias limpas ajudam a preservar o meio ambiente, reduzindo as emissões de gases de efeito estufa e promovendo uma qualidade de vida melhor.

Por fim, discuta com seus colegas, com base em suas pesquisas, o que ainda precisa ser feito e como a cooperação internacional é crucial para alcançarmos os objetivos propostos pela ONU.

Veja comentários sobre essa atividade no Suplemento para o professor.

Atividade prática

Transformando energias

Na montagem representada na figura desta atividade, você poderá comprovar a transformação de um tipo de energia em outro e sua posterior transferência de um corpo para outro, provocando alterações nesses corpos.

Materiais

- uma bolinha de gude;
- duas réguas de plástico de 30 cm;
- peças de dominó;
- dois livros;
- uma superfície plana e horizontal (uma mesa, por exemplo).

Procedimento

Inicie a montagem do experimento enfileirando as peças de dominó sobre a mesa, como mostra a figura, uma na frente da outra, apoiadas sobre a face de menor área. Primeiro, posicione apenas um livro e disponha as duas réguas para que formem um trilho na direção dos dominós. Depois, coloque a bolinha de gude em repouso no alto do trilho formado pelas réguas e solte-a. Repita o experimento com a mesma quantidade de peças de dominó, mas desta vez em uma montagem em que as réguas estejam apoiadas sobre dois livros empilhados.

DANIEL ZEPPO/ARQUIVO DA EDITORA

Análise do experimento

O que mudou no estado das peças de dominó da primeira para a segunda montagem?

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

2. Trabalho de uma força

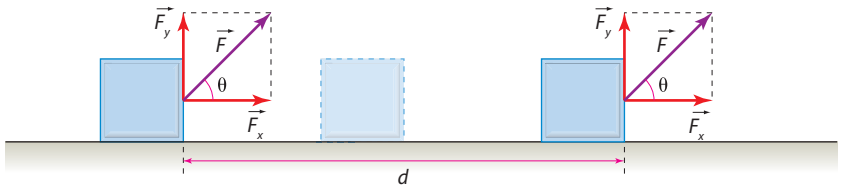
Realizar trabalho significa usar uma força para mover um objeto por certa distância. Ao empurrar um carrinho de brinquedo, por exemplo, a força aplicada pela pessoa está realizando trabalho (Fig. 5).

Fisicamente falando, o trabalho de uma força é a medida da quantidade de energia fornecida ou retirada de um corpo ou de um sistema por meio da aplicação de uma força.

O trabalho τ realizado por uma força é uma **grandeza escalar**. Para o caso de uma força constante $\vec{F}$ aplicada a um corpo, o trabalho é, por definição, o produto da intensidade F da força pelo módulo d do deslocamento pelo cosseno do ângulo θ entre a força e o deslocamento (Fig. 6).

SOLSTOCK/E+/GETTY IMAGES

Figura 5. A realização de trabalho exige a aplicação de uma força e um deslocamento.



NELSON MATSUDA/ ARQUIVO DA EDITORA

Figura 6. Representação esquemática da força $\vec{F}$, que realiza trabalho sobre o bloco.

Analiticamente, temos:

$$\tau_F = F \cdot d \cdot \cos\theta$$

Mas $F \cdot \cos\theta = F_x$, então:

$$\tau_F = \pm F_x \cdot d$$

Se a componente $\vec{F}_x$ tiver o mesmo sentido do deslocamento, o trabalho será positivo (**trabalho motor**) e ela transferirá energia ao sistema; se $\vec{F}_x$ tiver sentido oposto ao do deslocamento, o trabalho será negativo (**trabalho resistente**) e ela retirará energia do sistema.

No Sistema Internacional de Unidades (SI), o trabalho é medido em joule (J), unidade que homenageia o cientista inglês James Prescott Joule (1818-1889). Note que 1 joule é o trabalho realizado por uma força de 1 newton que produz um deslocamento de 1 metro na direção e no sentido da força, isto é:

$$1\,J = 1\,N \cdot 1\,m = 1\,N \cdot m$$

De acordo com a definição anterior, o trabalho da força que a pessoa andando com velocidade constante (Fig. 7) aplica sobre a maleta para deslocá-la na horizontal é nulo, pois a força é vertical e perpendicular à direção do movimento; em outras palavras, a componente da força na direção do movimento é nula.

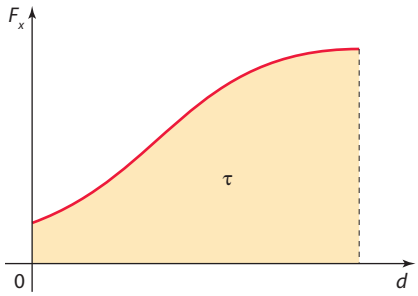
A expressão anterior para o cálculo do trabalho é aplicável apenas quando a força $\vec{F}$ é constante, isto é, quando a força tem módulo, direção e sentido constantes.

DANIEL ZEPPO/ARQUIVO DA EDITORA

Figura 7. A força aplicada pela pessoa à maleta não realiza trabalho ao longo do deslocamento da maleta.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Para uma força com direção constante e módulo variável, o trabalho deve ser calculado com base no gráfico de F_x em função de d. No gráfico $F_x \times d$, o trabalho τ é numericamente igual à área abaixo da curva (Fig. 8).



ADILSON SECCO/ARQUIVO DA EDITORA

Figura 8. Gráfico $F_x \times d$ e a representação do trabalho τ como a área abaixo da curva.

Então:

$$\tau_F \overset{N}{=} \text{área sob a curva } F_x \times d$$

Vamos aplicar essa teoria a um exemplo simples, porém fundamental para o prosseguimento do estudo do trabalho de uma força.

Exercício resolvido

Um corpo com massa de 10 kg movimenta-se em um plano horizontal sob a ação de uma força resultante horizontal $\vec{F}$, de módulo constante, que lhe imprime uma aceleração de 2 m/s^2. Determine o trabalho realizado por essa força em um deslocamento de 5 m, na mesma direção e sentido da força.

Resolução

O trabalho realizado pela força constante é dado por $\tau_F = F \cdot d \cdot \cos \theta$.

Como conhecemos o deslocamento d (que tem o mesmo sentido da força), para o cálculo do trabalho τ devemos, antes, calcular a intensidade da força $\vec{F}$.

Pelo princípio fundamental da Dinâmica, temos:

$F = m \cdot a \Rightarrow F = 10\ \text{kg} \cdot 2\ \text{m/s}^2 \Rightarrow F = 20\ \text{N}$

Portanto:

$\tau_F = F \cdot d \cdot \cos \theta \Rightarrow \tau_F = 20\ \text{N} \cdot 5\ \text{m} \cdot \cos 0° \therefore \tau_F = 100\ \text{J}$

Assim, durante o deslocamento $d = 5$ m, a força $F = 20$ N transfere ao corpo 100 J de energia.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

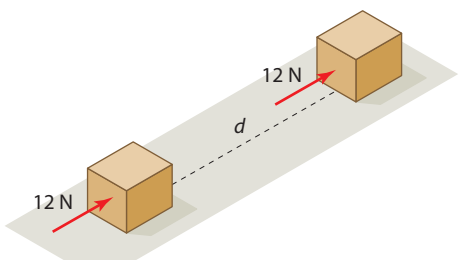
Veja respostas e comentários no Suplemento para o professor.

Aplicando conhecimentos

Registre as respostas em seu caderno.

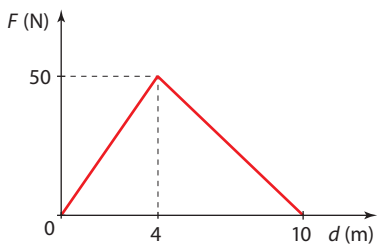
1. Uma força horizontal com intensidade 12 N atua em um corpo, movimentando-o por um plano horizontal.

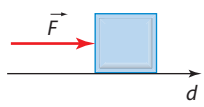
ADILSON SECCO/ARQUIVO DA EDITORA



Se o trabalho realizado por essa força é de 60 J, determine o deslocamento d sofrido pelo corpo.

2. Um corpo é submetido à ação de uma força resultante $\vec{F}$ de direção constante e módulo variável, de acordo com o gráfico.





ADILSON SECCO/ARQUIVO DA EDITORA

Qual é o trabalho realizado por essa força durante um deslocamento de 10 m?

3. Trabalho e energia

Como vimos no tópico anterior, o trabalho realizado por uma força é uma medida da quantidade de energia que tal força transfere ou retira de um corpo ou de um sistema. Portanto, da mesma forma que o trabalho, a **energia** é uma **grandeza escalar** e, no SI, também é medida em joule (J).

No caso de sistemas mecânicos, a energia pode assumir basicamente duas formas: cinética e potencial. A energia potencial pode ser dividida em dois tipos: gravitacional e elástica.

Energia cinética

A **energia cinética** está associada ao movimento de um corpo. Assim, um corpo em movimento, desenvolvendo determinada velocidade, tem energia cinética.

A quantidade de energia cinética desse corpo em movimento depende de sua massa e de sua velocidade. Um trem tem mais energia cinética que um carro, quando ambos se movem à mesma velocidade. Um carro movendo-se a 100 km/h tem mais energia cinética do que se estivesse a 40 km/h.

Analiticamente, a energia cinética E_C de um corpo com massa m, deslocando-se com velocidade v, é, por definição, dada por:

$$E_C = \frac{m \cdot v^2}{2}$$

Vamos aplicar a definição de energia cinética para fazer alguns cálculos em três situações distintas.

Exercício resolvido

Considere três corpos em movimento:

I. Um atleta de massa 80 kg correndo a 10 m/s.

II. Um projétil de massa 20 g deslocando-se a 300 m/s.

III. Uma baleia-azul com massa de 40 t nadando a 5 m/s.

Coloque em ordem crescente a energia cinética de cada um desses corpos.

Resolução

I. Para o atleta: $E_{C(\text{atleta})} = \frac{80 \cdot 10^2}{2} \therefore E_{C(\text{atleta})} = 4.000 \text{ J}$

II. Para o projétil: $E_{C(\text{projétil})} = \frac{0{,}020 \cdot 300^2}{2} \therefore E_{C(\text{projétil})} = 900 \text{ J}$

III. Para a baleia: $E_{C(\text{baleia})} = \frac{40.000 \cdot 5^2}{2} \therefore E_{C(\text{baleia})} = 500.000 \text{ J}$

Logo: $E_{C(\text{projétil})} < E_{C(\text{atleta})} < E_{C(\text{baleia})}$

Comente com os estudantes que a baleia é a mais lenta, mas a sua massa lhe confere a maior energia cinética. Por outro lado, o projétil é o mais rápido, porém a sua massa lhe confere a menor energia cinética entre os três corpos considerados nesse exemplo.

Considere, então, um corpo com massa m transladando com velocidade de módulo v_1 que, a partir de determinado instante, fica sujeito a uma força resultante $\vec{F}$ de mesma direção e de mesmo sentido da velocidade e que atua durante certo intervalo de tempo. Durante esse intervalo, o corpo, como uma caixa, sofre um deslocamento d, e sua velocidade final, em módulo, é v_2 (Fig. 9).

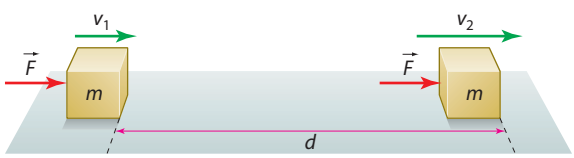


Figura 9. A caixa, sujeita à força resultante $\vec{F}$, sofre uma variação em sua energia cinética.

ADILSON SECCO/ARQUIVO DA EDITORA

A ação da força resultante $\vec{F}$ imprime ao corpo determinada aceleração, o que provoca uma variação em sua velocidade. Em outras palavras, a energia cinética do corpo varia.

Pelo princípio fundamental da dinâmica, temos:

$F = m \cdot a$ (I)

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Além disso, a equação de Torriceli fornece:

$v_2^2 = v_1^2 + 2 \cdot a \cdot d$ (II)

Assim, combinando as equações (I) e (II), podemos escrever:

$$v_2^2 = v_1^2 + 2 \cdot \left(\frac{F}{m}\right) \cdot d \Rightarrow \frac{m \cdot v_2^2}{2} - \frac{m \cdot v_1^2}{2} = F \cdot d$$

Portanto, a quantidade de energia transferida pela força resultante $\vec{F}$, ou seja, o trabalho da força resultante $\vec{F}$ durante o deslocamento d, é igual à variação da energia cinética do corpo. Ou seja:

$$\tau_F = \frac{m \cdot v_2^2}{2} - \frac{m \cdot v_1^2}{2}$$

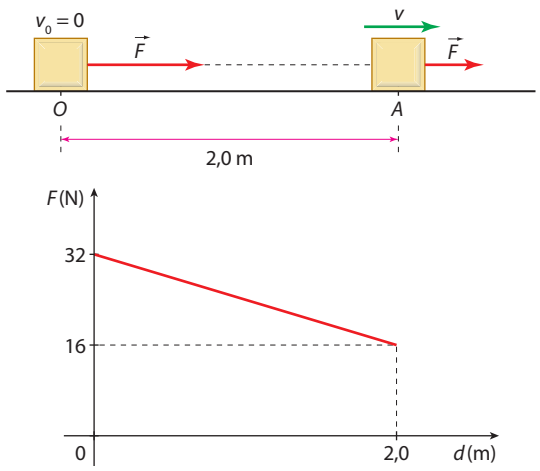
Tal resultado é conhecido como **teorema da energia cinética** ou **teorema trabalho-energia** e tem validade geral, podendo ser aplicado mesmo quando a intensidade da força resultante não é constante.

Como exemplo de aplicação do que estudamos até aqui, acompanhe a resolução do exercício a seguir.

Exercício resolvido

Um pequeno bloco de massa 1,0 kg, partindo do repouso de um ponto *O*, é arrastado ao longo de um plano horizontal por ação de uma força $\vec{F}$, cuja intensidade varia de acordo com o gráfico a seguir. Adote $g = 10\ m/s^2$.

ILUSTRAÇÕES: ADILSON SECCO/ARQUIVO DA EDITORA

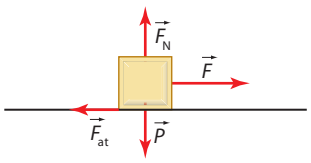


a. Determine o trabalho da força resultante que age no bloco depois de se deslocar do ponto *O* até o ponto *A*, distante 2,0 m de *O*, sabendo que o coeficiente de atrito dinâmico entre o piso e o bloco é igual a 0,8.

b. Qual é a velocidade do bloco ao atingir o ponto *A*?

Resolução

a. A figura mostra as forças que agem no bloco de massa 1,0 kg: a força $\vec{F}$ com que o bloco é puxado, o peso $\vec{P}$, a reação normal de apoio $\vec{F}_N$ e a força de atrito $\vec{F}_{at}$.



O trabalho da força resultante pode ser obtido pela soma algébrica dos trabalhos de cada uma das forças que atuam no bloco.

Ou seja: $\tau_{res} = \tau_P + \tau_{F_N} + \tau_{F_{at}} + \tau_F$

Vamos calcular, então, o trabalho de cada uma dessas forças.

$\tau_P = 0$ e $\tau_{F_N} = 0$, pois $\vec{P}$ e $\vec{F}_N$ são perpendiculares ao deslocamento do bloco.

$\tau_{F_{at}} = -F_{at} \cdot d \Rightarrow$

$\Rightarrow \tau_{F_{at}} = -0{,}8 \cdot 1{,}0 \cdot 10 \cdot 2{,}0 \therefore \tau_{F_{at}} = -16\ J$ (trabalho resistente, pois a força de atrito se opõe ao deslocamento do bloco)

$\tau_F \overset{N}{=}$ área do trapézio $\Rightarrow$

$\Rightarrow \tau_F = \frac{(32 + 16)}{2} \cdot 2{,}0 \therefore \tau_F = 48\ J$ (calculado numericamente por meio da área sob a curva do gráfico, pois a força tem intensidade variável)

Assim, o trabalho da força resultante é dado por:

$\tau_{res} = 0 + 0 - 16 + 48 \therefore \tau_{res} = 32\ J$

b. De acordo com o teorema da energia cinética, temos:

$$\tau_{res} = \frac{m \cdot v^2}{2} - \frac{m \cdot v_O^2}{2}$$

Como o corpo partiu do repouso ($v_O = 0$), sua energia cinética inicial é nula. Então:

$$\tau_{res} = \frac{m \cdot v^2}{2} \Rightarrow 32 = \frac{1{,}0 \cdot v^2}{2} \Rightarrow$$

$\Rightarrow v^2 = 64 \therefore v = 8\ m/s$

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Energia potencial gravitacional nas proximidades da superfície terrestre

Consideremos um corpo de peso P a certa altura do solo. Se tal corpo for abandonado a partir do repouso, cairá, e sua velocidade aumentará gradativamente. Em outras palavras, à medida que o corpo cai, sua energia cinética aumenta.

Mas , de onde vem essa energia? Que força terá transferido essa energia para o corpo?

Note que, desprezada a resistência do ar, a única força que age no corpo é seu peso $\vec{P}$. Logo, a energia cinética que o corpo possui em determinado instante foi-lhe transferida pela ação da força peso $\vec{P}$, ou seja, o peso do corpo realizou um trabalho.

Essa energia, relacionada com a posição inicial do corpo e que se transformou em energia cinética, é denominada **energia potencial gravitacional** $(E_{P(grav)})$.

A energia potencial gravitacional de um corpo, em dada posição, é sempre medida com relação a um nível de referência. No nível de referência, a energia potencial gravitacional é nula. No entanto, a uma distância h em relação ao nível de referência, a energia potencial gravitacional é:

$$E_{P(grav)} = \pm m \cdot g \cdot h$$

No SI, a massa m é medida em kg, a aceleração g, em m/s^2, o desnível h, em m, e a energia potencial gravitacional $E_{P(grav)}$, em J. Se a massa m estiver acima do nível de referência, a energia potencial gravitacional será positiva ($+mgh$). Se a massa m estiver abaixo do nível de referência, a energia potencial gravitacional será negativa ($-mgh$).

Vamos aplicar o conceito de energia potencial gravitacional a um exemplo.

Exercício resolvido

Considere uma bola de vôlei movendo-se a 108 km/h, equivalente a 30 m/s. Se essa bola colidir com uma barreira, o impacto da batida será correspondente à queda de uma determinada altura, ou seja, convertendo a energia cinética da bola em energia potencial gravitacional, de que altura seria a queda em relação ao solo mantendo a velocidade de 108 km/h (30 m/s)? Adote $g = 10$ m/s^2.

Resolução

A condição que devemos impor é: $E_{P(grav)} = E_C$

Então: $m \cdot g \cdot h = \frac{m \cdot v^2}{2} \Rightarrow 10 \cdot h = \frac{30^2}{2} \Rightarrow h = \frac{900}{20} \therefore h = 45$ m

Portanto, a bola terá energia potencial gravitacional igual à energia cinética, enquanto se mover a 30 m/s, se a queda for correspondente a 45 m de altura em relação ao solo.

Energia potencial elástica

Corpos que deformam e retornam ao seu aspecto inicial, como molas, elásticos e barras ou arcos, também "armazenam" energia, que pode, eventualmente, se transformar em energia cinética. Nesses casos, dizemos que o corpo apresenta **energia potencial elástica** $(E_{P(elást)})$. A energia potencial elástica armazenada em uma mola deformada é calculada pela relação:

$$E_{P(elást)} = \frac{k \cdot x^2}{2}$$

Nessa expressão, k é a constante elástica da mola, medida no SI em N/m, x é a deformação em metro (m) e $E_{P(elást)}$ é a energia potencial elástica em joule (J).

Quando você dá corda em um brinquedo, a energia utilizada fica, em parte, armazenada em uma mola na forma de energia potencial elástica. Quando a mola é liberada, a energia potencial elástica armazenada se transforma em energia cinética do brinquedo (Fig. 10).

DREAM_LIGHT/SHUTTERSTOCK

Figura 10. Robô de brinquedo movido a corda.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Veja respostas e comentários no Suplemento para o professor.

Aplicando conhecimentos

Registre as respostas em seu caderno.

3. Uma bola de massa $m = 500$ g é lançada, em um certo instante t_1, com velocidade $v = 20$ m/s. Em um instante posterior t_2, sua velocidade passa a ser de 30 m/s. Determine:

a. a energia cinética da bola nos instantes t_1 e t_2;

b. o trabalho da força resultante que age na bola entre os instantes t_1 e t_2.

4. A energia potencial elástica armazenada em uma mola M_1 de constante elástica k e sob deformação x é igual a E. Qual será, em função de E, a energia potencial elástica armazenada em uma mola M_2, de constante elástica $3 \cdot k$ e sob deformação $2 \cdot x$?

4. A conservação da energia

Há muito tempo, os cientistas perceberam que a quantidade de energia de um sistema isolado é uma grandeza invariável. A energia não pode ser criada nem destruída; pode apenas ser convertida em outra forma de energia.

Essa conservação de energia ocorre em todo e qualquer sistema físico e constitui o denominado **princípio da conservação de energia**. Um dos cientistas que ajudaram a estabelecê-lo foi o físico britânico Joule.

Durante a queima de fogos de artifício, ocorre conversão da energia química dos componentes do artefato em energia cinética e energia luminosa dos estilhaços (Fig. 11).

Este assunto também é trabalhado no capítulo 13 de Química desta coleção.

CHRISTOPHE SIMON/AFP

Figura 11. Queima de fogos durante o *réveillon* na Praia de Copacabana (Rio de Janeiro, RJ, 2015).

Sabemos que os alimentos que ingerimos nos fornecem energia. Essa energia é proveniente do Sol. Ela é absorvida e usada pelas plantas nos processos metabólicos de crescimento. Quando um animal come uma planta, parte da energia que ela contém fica armazenada no corpo do animal, e ele a utiliza para se movimentar e desempenhar suas funções; outra parte é transformada em calor (que também é uma forma de energia).

Um arqueiro, por exemplo, ao retesar seu arco, despende certa quantidade de energia, parte da qual fica armazenada sob a forma de energia potencial elástica no arco (Fig. 12). Quando a corda é liberada, essa energia potencial elástica será convertida em energia cinética da flecha.

Por causa de sua universalidade, o princípio da conservação da energia constitui uma das bases da Física.

ROSA GAUDITANO/STUDIO R

Figura 12. O arco flexionado armazena energia potencial elástica, que será transferida para a flecha na forma de energia cinética. (XII Jogos Indígenas, Cuiabá, 2013.)

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

5. Energia mecânica

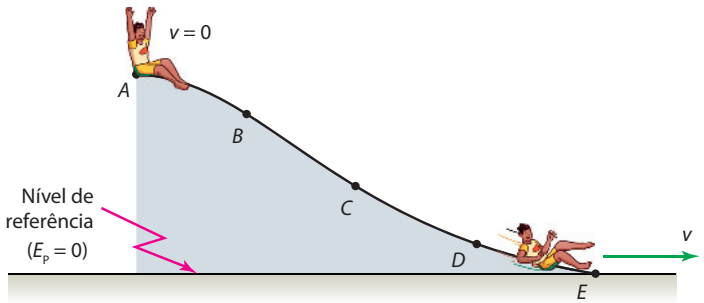
Em um sistema mecânico qualquer, a energia do sistema costuma estar sob a forma de energia mecânica (E_M), que corresponde à soma da energia cinética (E_C) com a energia potencial (E_P) (gravitacional e/ou elástica).

Então, em um sistema mecânico, temos:

$$E_M = E_C + E_P$$

Vamos, agora, analisar as conversões de energia que ocorrem em um sistema mecânico.

Na figura 13, vemos uma pessoa escorregando por um tobogã, cujo perfil segue os pontos *A*, *B*, *C*, *D* e *E*. Vamos considerar que o nível zero de energia potencial gravitacional seja o plano horizontal em que está o ponto *E*, isto é, no ponto *E* a energia potencial gravitacional é nula.



DANIEL ZEPPO/ARQUIVO DA EDITORA

Figura 13. Quando uma pessoa desce por um tobogã, sua energia é continuamente transformada.

Vamos admitir, também, que existe atrito entre a pessoa e o tobogã. Nesse caso, parte da energia mecânica inicial do sistema será dissipada na forma de calor.

A Tabela 1 apresenta possíveis valores que as energias cinética e potencial gravitacional poderiam assumir durante a descida da pessoa pelo tobogã e a energia dissipada na forma de calor ao longo do trajeto.

Tabela 1. Balanço energético durante a descida da pessoa pelo tobogã (considerando o atrito entre a pessoa e o tobogã)

Ponto	E_P (J)	E_C (J)	E_{dissip} (J)	E_{total} (J)
A	6.000	0	0	6.000
B	4.500	1.200	300	6.000
C	3.000	2.400	600	6.000
D	1.500	3.600	900	6.000
E	0	4.800	1.200	6.000

Fonte: Dados fictícios para fins didáticos.

Observe, entretanto, que a energia total do sistema – que é a soma das energias potencial gravitacional, cinética e dissipada na forma de calor – permanece constante.

Mas e se o tobogã fosse perfeitamente liso? O que mudaria?

Se o tobogã fosse extremamente liso, ou seja, se fosse possível desprezar os atritos, então não haveria dissipação de energia na forma de calor. Nesse caso, a energia mecânica do sistema – que corresponderia agora à energia total – permaneceria constante.

A Tabela 2 apresenta os valores das energias potencial gravitacional, cinética e mecânica daquela pessoa durante a descida pelo tobogã.

Tabela 2. Balanço energético durante a descida da pessoa pelo tobogã (desprezando o atrito entre a pessoa e tobogã)

Ponto	E_P (J)	E_C (J)	E_M (J)
A	6.000	0	6.000
B	4.500	1.500	6.000
C	3.000	3.000	6.000
D	1.500	4.500	6.000
E	0	6.000	6.000

Fonte: Dados fictícios para fins didáticos.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Observe que, durante a descida pelo tobogã, a energia cinética da pessoa aumenta, mas a energia potencial gravitacional diminui. Em outras palavras, a velocidade da pessoa aumenta à medida que sua altura em relação ao nível zero de energia potencial (ponto *E*) diminui.

Comparando os dados das duas tabelas, observamos que a consequência direta da existência de atrito é que a energia cinética final da pessoa é menor do que ela teria se não houvesse atrito. Note também que a energia potencial gravitacional da pessoa não é afetada pela presença de atrito. Tal energia depende apenas da posição da pessoa em relação ao nível de referência adotado.

Para finalizar, observe o esquema a seguir, que resume as formas que a energia pode assumir em um sistema mecânico e as expressões usadas para o cálculo dessas energias:

$$\text{Energia} \begin{cases} \text{cinética: } E_C = \dfrac{m \cdot v^2}{2} \\ \text{potencial} \begin{cases} \text{gravitacional: } E_{P(grav)} = m \cdot g \cdot h \\ \text{elástica: } E_{P(elást)} = \dfrac{k \cdot x^2}{2} \end{cases} \end{cases}$$

Podemos, assim, analisar as transformações que a energia pode sofrer em um sistema puramente mecânico e a sua conservação.

Em uma montanha-russa, por exemplo, a energia potencial gravitacional aumenta à medida que o carrinho sobe e, consequentemente, a velocidade diminui. Durante a descida, enquanto a energia potencial gravitacional diminui, a energia cinética e a velocidade do carrinho aumentam. Se desprezarmos o atrito, a energia mecânica do carrinho permanecerá constante.

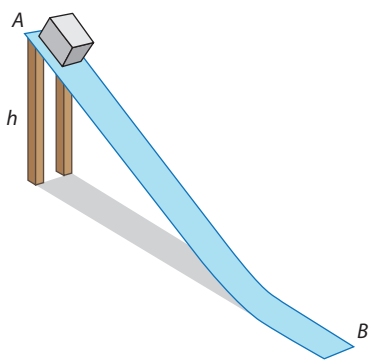
Vamos aplicar o princípio da conservação de energia na situação em que um corpo desliza em um plano inclinado.

Exercício resolvido

ESTRATÉGIA DE ESTUDO

Considere um corpo que escorrega a partir do repouso de um ponto *A* por uma rampa de altura $h = 5$ m.

Desprezando os atritos, qual será a velocidade do corpo ao chegar à base da rampa (ponto B)? Considere: $g = 10\ m/s^2$.



ADILSON SECCO/ARQUIVO DA EDITORA

Identificar

Como não são consideradas as forças de atrito, a energia mecânica do corpo se conservará, e a energia potencial gravitacional do corpo no ponto de partida se converterá em energia cinética quando ele atingir a base da rampa.

Preparar

A partir do princípio da conservação da energia, temos:

$$E_{P(A)} = E_{C(B)} \Rightarrow m \cdot g \cdot h_A = \frac{m \cdot v_B^2}{2} \Rightarrow v_B = \sqrt{2 \cdot g \cdot h_A}$$

Aplicar

Usando os valores fornecidos, teremos:

$$v_B = \sqrt{2 \cdot 10 \cdot 5} \Rightarrow v_B = \sqrt{100} \therefore v_B = 10\ m/s$$

Avaliar

É interessante observar que a velocidade de chegada à base da rampa não depende da massa do corpo. Assim, se soltarmos um corpo muito mais massivo que o do exemplo, sua velocidade no ponto na base da rampa será a mesma do corpo de menor massa.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Veja respostas e comentários no Suplemento para o professor.

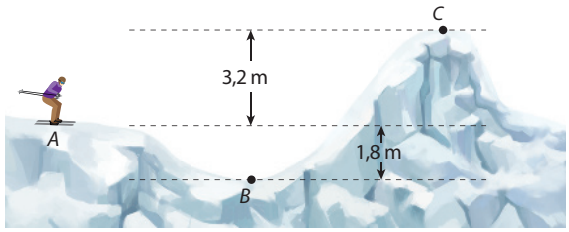
Aplicando conhecimentos

Registre as respostas em seu caderno.

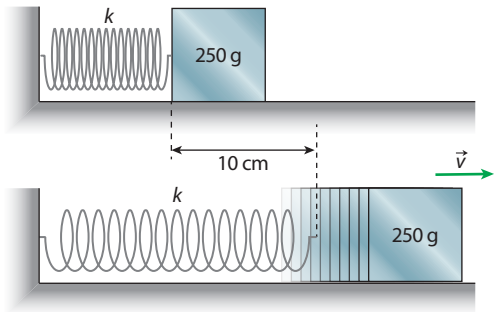
5. Observe a figura e considere um esquiador que passa pelo ponto *A* com velocidade escalar de 8,0 m/s. A pista de gelo é suficientemente lisa para que possamos desprezar a influência do atrito, e o ar também não oferece resistência considerável.
Adotando para a aceleração da gravidade o valor $g = 10\ m/s^2$, determine:

a. a velocidade escalar do esquiador ao passar pelo ponto *B*;

b. a velocidade escalar do esquiador ao atingir o ponto *C*.



6. Um corpo com massa igual a 250 g está comprimindo uma mola de constante elástica *k* desconhecida, sem estar preso a ela. Quando o sistema massa-mola é liberado, o corpo é impulsionado sobre um plano horizontal sem atrito e, ao perder contato com a mola, está com velocidade escalar $v = 2$ m/s. Na posição inicial, o corpo está em repouso e a mola apresenta comprimento 10 cm menor que o normal.



ILUSTRAÇÕES: ADILSON SECCO/ARQUIVO DA EDITORA

Para esse sistema, determine:

a. a energia potencial elástica armazenada inicialmente na mola, $E_{Pelást(inicial)}$;

b. o valor da constante elástica *k*;

c. a intensidade da força que a mola aplicava inicialmente no corpo, $F_{elást}$.

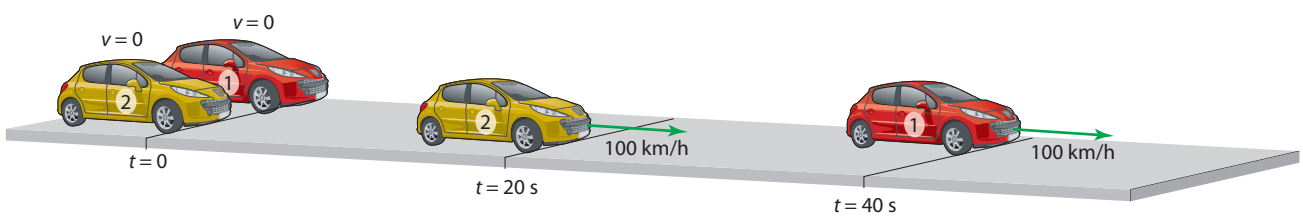
Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

6. Potência

A grandeza física escalar que indica a rapidez com que determinada quantidade de energia é transferida a um corpo ou a rapidez com que determinada quantidade de energia é convertida de um tipo em outro é chamada **potência**.

Considere, por exemplo, dois carros de mesma marca, modelo e motor que, partindo do repouso, atingem a mesma velocidade de 100 km/h (Fig. 14). Para que isso aconteça, é necessário que haja transferência de energia para os carros, visto que, ao final da arrancada, eles possuem energia cinética. Essa energia é transferida ao carro pelo motor.

Vamos supor que o carro 1 tenha levado 40 s para chegar aos 100 km/h, e o carro 2, apenas 20 s.



ADILSON SECCO/ARQUIVO DA EDITORA

Figura 14. Representação esquemática de dois carros que, partindo do repouso, atingem 100 km/h. (Representação fora de proporção; cores meramente ilustrativas.)

Ambos os carros sofreram a mesma variação de energia cinética. Assim, o trabalho da força resultante sobre os carros foi o mesmo nas duas situações. A diferença entre eles ocorre em razão do intervalo de tempo necessário para a realização do trabalho.

É intuitivo perceber que o carro que atingiu os 100 km/h no menor tempo desenvolveu maior potência. Então, podemos concluir que, para um mesmo trabalho τ, a potência média P_m é inversamente proporcional ao intervalo de tempo Δt. Analiticamente, podemos escrever:

$$P_m = \frac{\tau}{\Delta t}$$

No SI, a potência média é medida em joule por segundo (J/s), unidade chamada **watt**, símbolo **W**, em homenagem a James Watt (1736-1819). Portanto: 1 W = 1 J/s.

Outras unidades usuais de medida da potência são o **hp** (do inglês **horsepower**) e o **cv** (**cavalo-vapor**). As relações entre essas unidades e o watt (W) são mostradas a seguir:

$$1\ \text{hp} = 746\ \text{W} \quad \text{e} \quad 1\ \text{cv} = 735\ \text{W}$$

Em algumas áreas, na Eletricidade, principalmente, a potência é comumente medida em quilowatt (kW). Nesse caso, se o intervalo de tempo for medido em hora (h), então o trabalho (ou a energia consumida) será medido em **quilowatt-hora** (**kWh**): 1 kWh = 1 kW · 1 h

Vamos aplicar a definição de potência média a um exemplo simples.

Exercício resolvido

Uma força constante de intensidade 40 N é aplicada a um corpo, deslocando-o por uma distância de 5 m, na direção e no sentido da força, durante 4 s. Determine:

a. o trabalho realizado pela força;

b. a potência média dessa força.

Resolução

a. A partir da definição do trabalho de uma força constante, temos:

$\tau = F \cdot d \cdot \cos\theta \Rightarrow \tau = 40 \cdot 5 \cdot \cos 0° \therefore \tau = 200\ \text{J}$

b. Pela definição de potência média, temos:

$P_m = \frac{\tau}{\Delta t} \Rightarrow P_m = \frac{200}{4} \therefore P_m = 50\ \text{W}$

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Veja comentários sobre essa atividade no Suplemento para o professor.

Em destaque

100 metros em menos de 10 segundos

Erik Cardoso faz história e se torna primeiro brasileiro a correr abaixo de 10 s nos 100 m

Erik Cardoso fez história para o Brasil nos 100 metros rasos. No primeiro dia do Campeonato Sul-americano de Atletismo, realizado no Centro Olímpico de Treinamento e Pesquisa, em São Paulo, o velocista se tornou o primeiro brasileiro a correr abaixo dos 10 segundos ao fazer a marca de 9s97 na final da prova, nesta sexta-feira (28) [julho/2023]. Além de quebrar o recorde nacional de Robson Caetano (10s00), de 1988, Erik conquistou a medalha de prata neste Sul-americano e ainda garantiu a classificação para os Jogos Olímpicos Paris 2024.

BERNADETT SZABO/REUTERS/FOTOARENA

Erik Felipe Barbosa Cardoso competiu nos 60 metros no campeonato mundial de atletismo *indoor* realizado em Belgrado, Sérvia, 2022.

CONTINUA

CONTINUAÇÃO

O velocista correu abaixo do índice olímpico de 10 segundos e do índice para o Mundial de Atletismo, que vai ser realizado em agosto, em Budapeste (Hungria). Ao cravar 9s97, o brasileiro só ficou atrás de Asinga Issamade, do Suriname, que garantiu o ouro com o tempo de 9s89 e se tornou o homem mais rápido da América do Sul, recorde que também pertencia a Robson Caetano com os 10s00 do Campeonato Ibero-Americano, no México, 1988. O pódio do Sul-americano foi completado pelo colombiano Ronal Mosquera, com 9s99.

"Estou muito agradecido por ter conseguido essa marca de 9s97. Foi uma prova muito forte, três atletas sul-americanos correndo na casa dos 9 segundos. Fico muito feliz por ter conquistado, foi incrível", ressaltou Erik após a prova.

[...]

O desempenho de Erik foi assistido *in loco* pelo ídolo do atletismo brasileiro e então recordista Robson Caetano. Para Robson, por sinal, esse resultado tem tudo para trazer boas perspectivas aos velocistas brasileiros.

"Esses meninos do Brasil já treinavam e conseguiam correr abaixo de 10s há algum tempo, então fico feliz do Erik ter quebrado essa barreira numa competição oficial. Ele é muito focado e concentrado na corrida dos 100 metros. Acredito que esse resultado vai estimular e trazer os demais para correr também para 9 segundos", finalizou Robson.

Fonte: ERIK Cardoso faz história e se torna primeiro brasileiro a correr abaixo de 10s nos 100m. **Comitê Olímpico do Brasil**, Rio de Janeiro, 28 jul. 2023. Disponível em: https://www.cob.org.br/comunicacao/noticias/erik-cardoso-faz-historia-e-se-torna-primeiro-brasileiro-a-correr-abaixo-de-10s-nos-100m-. Acesso em: 16 ago. 2024.

1. Quais são os tempos de prova de 100 metros rasos dos três medalhistas do Campeonato Sul-americano de Atletismo mencionados no texto?

2. Pesquise como os atletas podem desenvolver e aprimorar a potência mecânica em suas modalidades esportivas. Considere fatores como treinamento específico, técnicas de movimento e a importância da individualidade biológica na maximização da potência em atletas.

Veja respostas e comentários no Suplemento para o professor.

Aplicando conhecimentos

Registre as respostas em seu caderno.

7. **(Enem)** Podemos estimar o consumo de energia elétrica de uma casa considerando as principais fontes desse consumo. Pense na situação em que apenas os aparelhos que constam no quadro abaixo fossem utilizados diariamente da mesma forma.

7. e

O quadro a seguir fornece a potência e o tempo efetivo de uso diário de cada aparelho doméstico.

Aparelho	Potência (kW)	Tempo de uso diário (horas)
Ar-condicionado	1,5	8
Chuveiro elétrico	3,3	$\frac{1}{3}$
Freezer	0,2	10
Geladeira	0,35	10
Lâmpadas	0,10	6

Supondo que o mês tenha 30 dias e que o custo de 1 kWh é de R$ 0,40, o consumo de energia elétrica mensal dessa casa é de aproximadamente:

a. R$ 135. **b.** R$ 165. **c.** R$ 190. **d.** R$ 210. **e.** R$ 230.

8. Um guindaste G_1 levanta verticalmente uma carga de 2 toneladas a 5 m de altura em 20 s, enquanto outro guindaste, G_2, levanta a mesma carga a uma altura de 9 m em 30 s.

Qual será o tempo gasto pelo guindaste mais potente para levantar uma carga de 3 toneladas a 10 m de altura? Adote $g = 10\ m/s^2$.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Veja comentários sobre essa atividade no Suplemento para o professor.

Vale tudo pela visualização?

Em muitas partes do mundo, circulam propagandas de máquinas mirabolantes que prometem a produção e o uso de energia sem perdas, de forma infinita e sem a necessidade de fontes externas de energia. Esse dispositivo é conhecido como máquina de energia infinita ou moto-perpétuo. Uma das razões científicas para essa máquina não existir é o princípio da conservação de energia.

Imagine que você encontrou um vídeo na internet com milhões de visualizações apresentando, de forma convincente, uma máquina dessas. Antes de acreditar e propagar a alegação, é importante sermos cidadãos responsáveis, fazendo uma análise crítica das informações e tomando algumas precauções, como as listadas a seguir.

Ética nas mídias sociais:

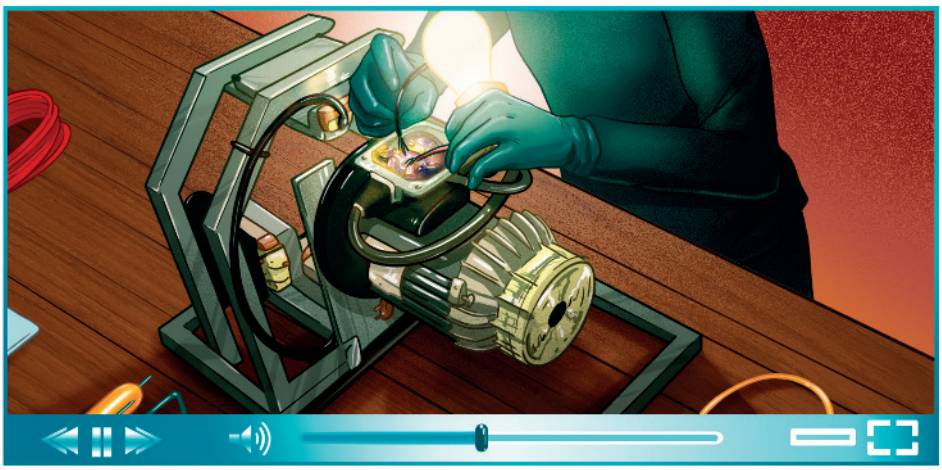
A ética envolve agir de maneira adequada em comunidade, respeitando os direitos coletivos e a individualidade sem limitar a liberdade de expressão. Somos responsáveis pelo nosso comportamento e pelos conteúdos que produzimos, apoiamos e disseminamos.

Compartilhar informações de forma ética contribui para um ambiente digital mais confiável e respeitoso, no qual podemos nos expressar de maneira construtiva.

Monetização das mídias sociais:

Conteúdos enganosos ou sensacionalistas são frequentemente criados para atrair atenção e gerar renda. Por exemplo, uma dieta milagrosa, que promete emagrecimento sem esforços, pode se tornar viral nas redes sociais, gerando receita para seus criadores por meio de anúncios e/ou visualizações. Isso ressalta a importância de exercitar o discernimento e de questionar conteúdos que prometem resultados improváveis.

É importante também analisar a credibilidade das informações divulgadas. Leia atentamente a descrição a seguir de um vídeo fictício publicado na internet sobre um gerador de energia infinita.



DANIEL ZEPPO/ARQUIVO DA EDITORA

Autor: Anônimo_7aH9zK
Visualizações: 3,7 milhões
Curtidas: 153 mil
Descrição do vídeo: Apresentamos a maior revolução tecnológica da história: o extraordinário gerador de energia infinita! Este é um motor revolucionário que eu inventei após muitos anos de pesquisa científica. Ele funciona com bobinas e ímãs, e para ligá-lo basta puxar uma corda para dar a partida. Testemunhe a magia de um mecanismo capaz de gerar energia sem limites e sem depender de fontes externas, sem consumo de matéria-prima, zero poluição! A humanidade nunca mais será a mesma depois dessa invenção!

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

CONTINUA

Curta e compartilhe esse vídeo! Não deixe ninguém de fora dessa incrível novidade!

Se esse vídeo atingir 1 milhão de visualizações e 100 mil curtidas, vou **sortear** este gerador para uma das pessoas que deixarem um comentário e que esteja inscrita em nosso canal.

Queremos adaptar essa tecnologia para que qualquer pessoa consiga construir e utilizar em sua própria casa e, por isso, precisamos do seu apoio. Participe do nosso financiamento coletivo!

Conheça e compre nossos produtos: camisetas, canecas e adesivos!

Fonte: Texto fictício elaborado para fins didáticos.

Formem grupos e respondam às perguntas a seguir:

1. Análise crítica:

a. Quem é o autor do conteúdo?

b. Há evidências ou fontes confiáveis citadas?

c. O conteúdo parece ter base em fatos ou em opiniões?

d. O conteúdo respeita os direitos individuais e coletivos?

e. Você acredita que o conteúdo é apresentado de forma ética? Por quê?

f. O conteúdo promove algum produto ou serviço?

g. O conteúdo é sensacionalista?

h. Quais estratégias de monetização são utilizadas?

i. O criador do conteúdo é transparente sobre seu modelo de negócio?

2. Discussão:

Cada grupo compartilhará suas conclusões com a turma. Se possível, utilizem exemplos de casos reais, que você ou alguém do grupo tenha presenciado na internet, para validar os pontos destacados.

Veja respostas e comentários no Suplemento para o professor.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Atividades finais

Registre as respostas em seu caderno.

1. **(Enem)** Observe a situação descrita na tirinha a seguir.

1. c

© FRANCISCO CARUSO E LUISA DAOU/ OFICINA EDUHQ

CARUSO, F.; DAOU, L. *Tirinhas de Física*. Rio de Janeiro: CBPF, 2000.

Assim que o menino lança a flecha, há transformação de um tipo de energia em outra.

A transformação, nesse caso, é de energia:

a. potencial elástica em energia gravitacional.

b. gravitacional em energia potencial.

c. potencial elástica em energia cinética.

d. cinética em energia potencial elástica.

e. gravitacional em energia cinética.

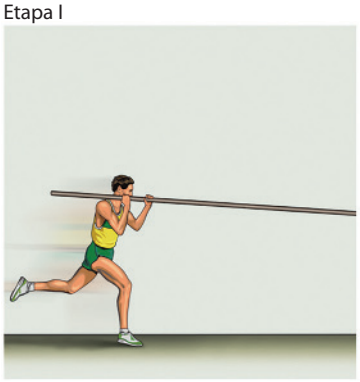
CONTINUA

CONTINUAÇÃO

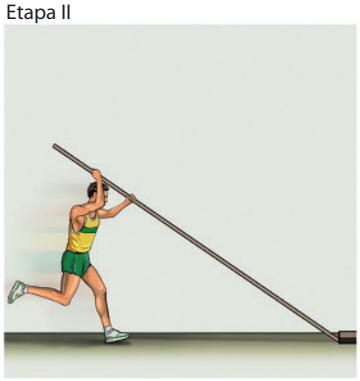
2. Uma força de 4 N é aplicada a uma mola, que sofre um alongamento de 8 cm. Determine a constante elástica dessa mola (N/m) e a energia potencial elástica.

3. **(Enem)** Uma das modalidades presentes nas Olimpíadas é o salto com vara. As etapas de um dos saltos
3. c de um atleta estão representadas na figura:

Etapa I

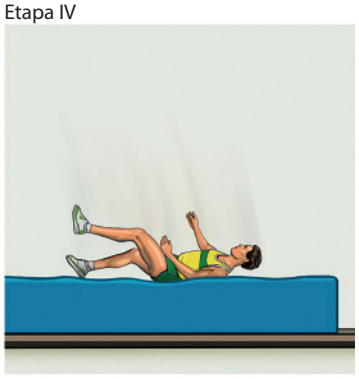


Etapa II



Etapa III

Etapa IV



ILUSTRAÇÕES: SELMA CAPARROZ/ARQUIVO DA EDITORA

Desprezando-se as forças dissipativas (resistência do ar e atrito), para que o salto atinja a maior altura possível, ou seja, o máximo de energia conservada, é necessário que:

a. a energia cinética, representada na etapa I, seja totalmente convertida em energia potencial elástica, representada na etapa IV.

b. a energia cinética, representada na etapa II, seja totalmente convertida em energia potencial gravitacional, representada na etapa IV.

c. a energia cinética, representada na etapa I, seja totalmente convertida em energia potencial gravitacional, representada na etapa III.

d. a energia potencial gravitacional, representada na etapa II, seja totalmente convertida em energia potencial elástica, representada na etapa IV.

e. a energia potencial gravitacional, representada na etapa I, seja totalmente convertida em energia potencial elástica, representada na etapa III.

4. **(Enem)** Os carrinhos de brinquedo podem ser de vários tipos. Entre eles, há os movidos a corda, em que
4. e uma mola em seu interior é comprimida quando uma criança puxa o carrinho para trás. Ao ser solto, o carrinho entra em movimento enquanto a mola volta a sua forma inicial.

O processo de conversão de energia que ocorre no carrinho descrito também é verificado em:

a. Um dínamo.

b. Um freio de automóvel.

c. Um motor a combustão.

d. Uma usina hidroelétrica.

e. Uma atiradeira (estilingue).

5. A velocista jamaicana Elaine Thompson (1992-) quebrou o recorde mundial dos 100 metros rasos na modalidade feminina nos Jogos Olímpicos do Rio 2016, atingindo o segundo melhor recorde mundial. Nos 50 metros finais, Elaine disparou em relação às outras velocistas e cruzou a linha de chegada em 10,71 segundos. Supondo que a velocidade máxima ao final desse percurso tenha sido de 10 m/s e que a massa da atleta seja de 57 kg, qual é o trabalho total realizado pela velocista?

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

CAPÍTULO 6

Gravitação universal

NG IMAGES/ALAMY/FOTOARENA

Fotomontagem do início da colisão entre as galáxias Andrômeda (à esquerda) e Via Láctea, evento previsto para ocorrer em, aproximadamente, 3,75 bilhões de anos devido à atração gravitacional entre essas galáxias consideradas "gêmeas, pois compartilham características muito semelhantes.
Fonte: NASA; ESA; LEVAY, Z.; VAN DER MAREL, R.; HALLAS, T.; MELLINGER, A. **Illustration sequence of the Milky Way and Andromeda galaxy colliding**. Maryland: NASA, 2012. Disponível em: https://science.nasa.gov/missions/hubble/nasas-hubble-shows-milky-way-is-destined-for-head-on-collision/. Acesso em: 16 out. 2024.

A imensidão do Universo sempre impressionou o ser humano, que, mesmo na Pré-história, provavelmente olhou para o céu e especulou sobre o que seria aquele imenso astro que o aquecia e iluminava durante o dia e sobre a Lua e as estrelas, menos luminosas, mas igualmente belas e misteriosas, que ele via no céu à noite. E dessas especulações surgiram as concepções de mundo, inicialmente de caráter mítico e místico, e que, mais tarde, com o decorrer dos séculos e a evolução da Ciência, originaram teorias mais sofisticadas, com base na observação acurada do céu e nos cálculos matemáticos.

O sonho de sair deste pequeno planeta e explorar e povoar outros mundos, em sistemas solares afastados, permanece no espírito humano.

Este capítulo apresenta as conquistas do ser humano em seus estudos e suas pesquisas sobre o espaço, bem como o caminho trilhado pela Astronomia, a mais antiga das ciências naturais, pela Astrofísica, a partir do século XVIII, e pela Cosmologia e Astronáutica, desde fins do século XIX até alcançar o ponto atual de sua evolução, em nossos dias.

A fotomontagem da abertura do capítulo dá uma ideia de como será o início da colisão entre as galáxias Andrômeda e Via Láctea, que ocorrerá daqui a, aproximadamente, 3,75 bilhões de anos, fruto da atração gravitacional entre elas. Na escala do Universo, a força que predomina é a onipresente e enigmática gravidade.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

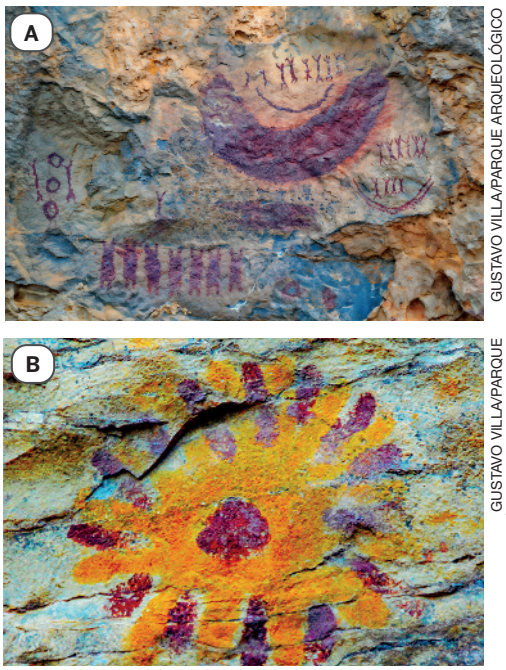
1. Uma breve história dos modelos cosmológicos

OBJETO DIGITAL Mapa clicável: Sítios arqueológicos brasileiros

Vamos remontar aos tempos pré-históricos, quando os primeiros indivíduos da espécie *Homo sapiens* olharam para o céu. Provavelmente, ao se depararem com aquela "bola" que lhes dava calor e luz durante o dia e com a Lua e as estrelas que enfeitavam o céu à noite, eles devem ter começado a elaborar hipóteses para explicar o que viam. Daí talvez tenham surgido as primeiras explicações de fundo místico, mítico e religioso. Algo ou alguém deveria ser responsável por tamanhos prodígios. Os registros pictóricos que nossos primeiros ancestrais deixaram em inscrições rupestres (Fig. 1) já indicam sua curiosidade e fascínio com os fatos do céu e da natureza.

Com o passar do tempo, cada povo, em cada lugar da Terra, em cada época, procurou explicar os fenômenos que aconteciam ao seu redor. A Astronomia da maioria dos povos antigos estava profundamente ligada à religião. Por exemplo, entre os egípcios, as observações astronômicas e suas explicações eram função exclusiva dos sacerdotes. Muitas superstições e histórias fantásticas foram criadas para explicar os fenômenos celestes. À medida que a Ciência progrediu, teorias cosmológicas surgiram e evoluíram.

A visão histórica da Ciência ocidental abordada neste livro tem forte influência dos pensadores da Grécia antiga. Para mencionar alguns nomes, filósofos como Tales de Mileto (625 a.C.-547 a.C.) e Pitágoras de Samos (570 a.C.-495 a.C.) acreditavam que a Terra era o centro do Universo e que os corpos celestes giravam em torno dela. Quem desafiou essa visão foi Aristarco de Samos (320 a.C.-250 a.C.) ao propor um modelo com o Sol no centro, mas suas ideias foram, em sua maior parte, ignoradas em seu tempo.



GUSTAVO VILLA/PARQUE ARQUEOLÓGICO DA PEDRA DO SOL

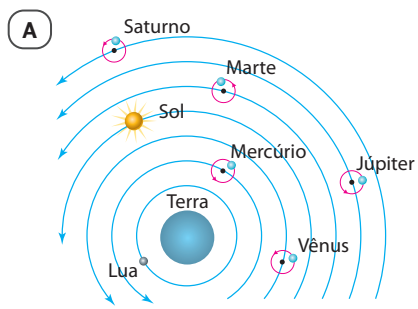
GUSTAVO VILLA/PARQUE ARQUEOLÓGICO DA PEDRA DO SOL

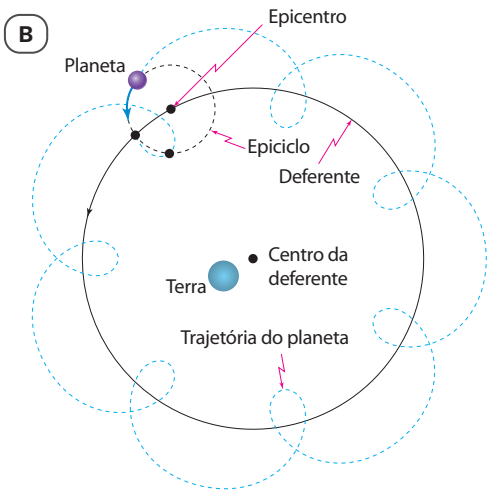
Figura 1. Registros rupestres: (A) registro de um calendário lunar; (B) possível representação do Sol (Montalvânia, MG, 2015).

O modelo de Ptolomeu

Entre os anos 160 a.C. e 127 a.C., Hiparco de Niceia (190 a.C.-120 a.C.), considerado um dos maiores astrônomos da Antiguidade, fez muitas observações dos astros no observatório que mandou construir na ilha de Rhodes (Grécia). Entre seus inúmeros feitos, Hiparco descobriu a precessão dos equinócios, o lento movimento do eixo de rotação da Terra, que demora cerca de 25.771,6 anos para completar uma revolução, montou um catálogo de mais de mil estrelas, classificando-as de acordo com o brilho de cada uma, e calculou a distância da Lua à Terra, encontrando o valor de 59 raios terrestres, com um erro de apenas 2,2% em relação ao valor considerado atualmente de 60,3 raios terrestres. Ao calcular a duração do ano por meio das estações, cometeu um erro de apenas 6,5 minutos em relação às medições modernas, e organizou uma lista de ocorrências de futuros eclipses para um período de 600 anos.

Já na Era Cristã, o astrônomo grego Cláudio Ptolomeu (85-165) retomou e teorizou o **modelo geocêntrico** proposto por Apolônio de Perga e Hiparco de Niceia. Os sistemas planetários mais antigos admitiam que os planetas estavam incrustados em esferas, que giravam ao redor da Terra. Entretanto, esses sistemas não explicavam satisfatoriamente os movimentos dos planetas e suas irregularidades. Em uma descrição bem simplificada, o sistema planetário de Ptolomeu admitia que o planeta não estava fixo em sua esfera, mas descrevia uma órbita circular, o **epiciclo**, em torno de um ponto virtual, o **epicentro**, que descrevia outra órbita circular (a **deferente**) em torno da Terra. Apenas o Sol e a Lua não descreviam epiciclos, gravitando em torno da Terra em órbitas circulares (Fig. 2).



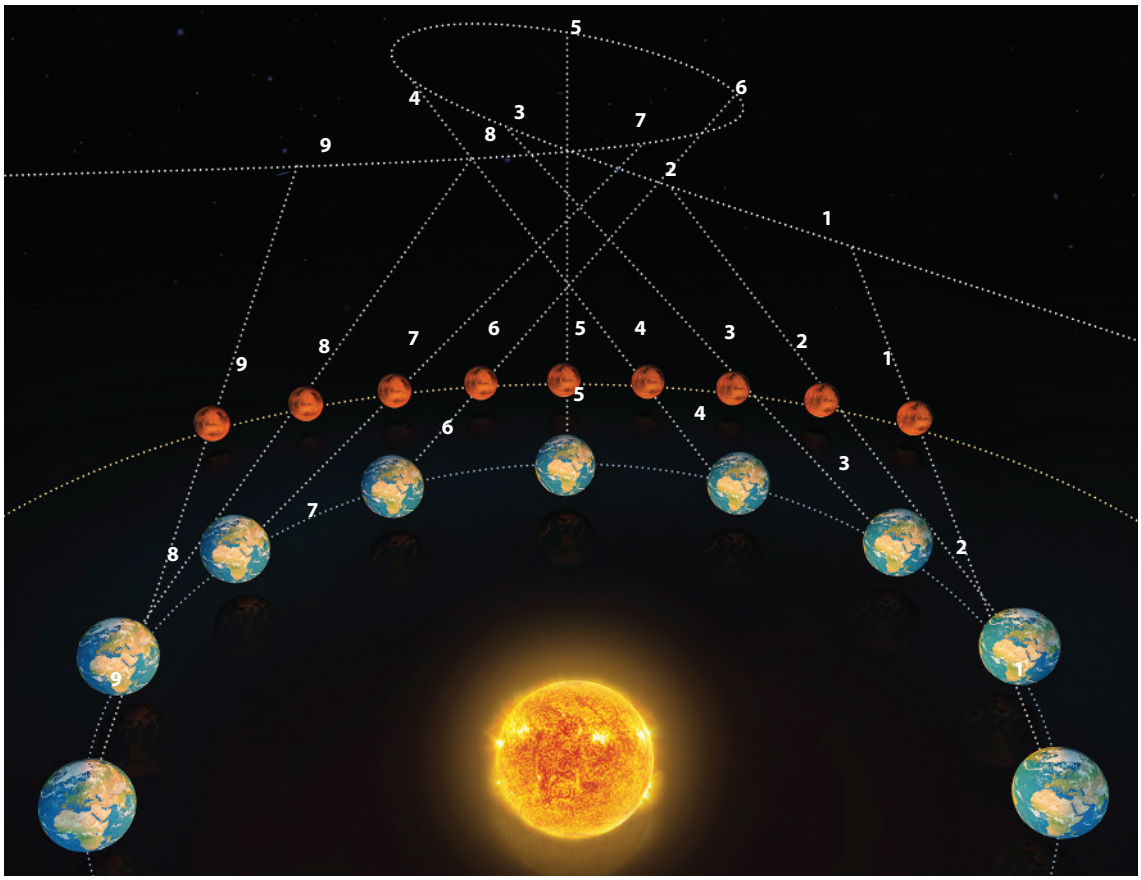


ILUSTRAÇÕES: ADILSON SECCO/ARQUIVO DA EDITORA

Figura 2. (A) Modelo de Ptolomeu do Sistema Solar. (B) Elementos orbitais no modelo de Ptolomeu. (Representação fora de proporção; cores meramente ilustrativas.)

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

O modelo de Ptolomeu conseguia explicar de maneira satisfatória os movimentos dos planetas no céu, incluindo os movimentos retrógrados, nos quais um planeta "parece recuar" em sua trajetória e, depois, tornar a avançar (Fig. 3). Esse aparente movimento retrógrado do planeta deve-se a um efeito de observação, denominado paralaxe. Em grego, *parallaxis* significa "variação ou alteração do eixo". No caso, alteração do eixo de observação do astro a partir da Terra.



CRIS ALENCAR/ARQUIVO DA EDITORA

Figura 3. Explicação do movimento retrógrado aparente de Marte. Esse efeito é consequência da diferença de velocidades orbitais entre Marte e a Terra. (Representação fora de proporção; cores meramente ilustrativas.)

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

O modelo de Copérnico

O sistema planetário ptolomaico permaneceu aceito, sem contestação, por quase treze séculos, tendo total apoio da Igreja Católica, pois, ao colocar a Terra no centro do Universo, o modelo considerava o ser humano a obra mais importante da criação divina. Durante os séculos XV, XVI e XVII, estava em pleno vigor a Santa Inquisição, que punia severamente quem ousasse negar os ensinamentos da Igreja. Foi o que aconteceu com o filósofo e cosmólogo italiano Giordano Bruno (1548-1600), que acreditava em um Universo sem limites, infinito, com a Terra girando em torno do Sol e as estrelas sendo centros de outros sistemas planetários. Por suas ideias, consideradas heréticas, ele foi condenado à morte.

Uma das ousadias de Giordano Bruno foi defender o sistema planetário proposto pelo astrônomo polonês Nicolau Copérnico (1473-1543), cuja obra *De Revolutionibus Orbium Cœlestium* (Sobre as revoluções das esferas celestes) só foi publicada em 1543, ano da morte do autor. Nela, Copérnico propunha um **modelo heliocêntrico** para o sistema planetário que habitamos, no qual os seis planetas então conhecidos (Mercúrio, Vênus, Terra, Marte, Júpiter e Saturno) realizariam movimentos circulares ao redor do Sol.

Em sua obra, Copérnico mostra que os "movimentos" diário e anual do Sol são apenas aparentes, resultantes do movimento da Terra, e os estranhos "movimentos retrógrados aparentes" dos planetas podiam ser explicados de maneira mais simples, admitindo o Sol como o centro do sistema.

No entanto, tirar a Terra do centro do sistema planetário significava para a Igreja Católica tirar o ser humano do centro do Universo, e essa ideia era considerada uma heresia, razão pela qual a obra copernicana foi incluída no *Index Librorum Prohibitorum* (Índice de livros proibidos), uma relação de livros cuja leitura era proibida aos cristãos católicos, sob pena de severa punição a quem desobedecesse.

Veja comentários sobre essa atividade no Suplemento para o professor.

Em destaque MULTICULTURALISMO

Mitos e cosmologias indígenas

As cosmologias indígenas representam modelos complexos que expressam suas concepções a respeito da origem do Universo e de todas as coisas que existem no mundo. Os mitos, considerados individualmente, descrevem a origem do homem, das relações ecológicas entre animais, plantas e outros elementos da natureza, da origem da agricultura, da metamorfose de seres humanos em animais, da razão de ser de certas relações sociais culturalmente importantes etc.

[...] Para exemplificar, apresentamos, resumidamente, o mito de origem dos índios Arara, grupo de língua Karib.

Para eles, quando essa vida ainda não havia começado, existiam somente o céu e a água. Separando-os, uma pequena casca que recobria o céu e servia de assoalho a seus habitantes. Na casca do céu a vida era plena, pois havia de tudo para todos.

A boa humanidade, protegida pela divindade Akuanduba, vivia conforme as coisas básicas da vida: acordar, comer, beber, namorar, dormir. Se alguém cometesse algum excesso, contrariando as normas, a divindade fazia soar uma pequena flauta, chamando a atenção de todos para que se comportassem de acordo com a boa ordem. Fora da casca do céu, existiam coisas ruins, seres atrozes e espíritos maléficos, contra os quais a boa humanidade estava protegida por Akuanduba.

Houve um dia, no entanto, que ocorreu uma grande briga da qual participou muita gente. A divindade fez soar a flauta, mas a multidão teimosa não quis parar de brigar. Nessa confusão, a casca do céu se rompeu, lançando tudo e todos para longe, para dentro da água que envolvia a casca.

Com a queda, todos perderam e todos os velhos e crianças morreram, restando apenas uns poucos homens e mulheres. Dos sobreviventes, alguns foram levados de volta ao céu por pássaros amazônicos, onde se transformaram em estrelas. Os que ficaram foram abandonados pelos pássaros nos pedaços da casca do céu que caíram sobre as águas. Assim, surgiram os Arara que, para se manter afastados das águas, escolheram ocupar o interior da floresta. [...]

Os Arara, que antes viviam como estrelas, estão agora condenados a viver como gente, tendo que perseguir o alimento de cada dia em meio aos perigos que existem sobre o chão.

Fonte: MITO e Cosmologia. **Museu do Índio – Funai**, [202-]. Disponível em: http://antigo.museudoindio.gov.br/educativo/pesquisa-escolar/245-mito-e-cosmologia. Acesso em: 20 ago. 2024.

Faça uma pesquisa sobre mitos e cosmologias de povos tradicionais da América Latina, assim como dos indígenas Arara. Em seguida, elabore um texto em tópicos com as principais características da visão cosmológica desse povo.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

2. Leis de Kepler dos movimentos planetários

Em meio à polêmica entre o sistema geocêntrico de Ptolomeu e o sistema heliocêntrico de Copérnico, nasceu o astrônomo dinamarquês Tycho Brahe (1546-1601). Tendo condições financeiras e políticas, Brahe dedicou-se integralmente à observação astronômica. Dois eventos marcantes no céu impulsionaram seus estudos: o surgimento de uma "nova", estrela que explode e aumenta consideravelmente seu brilho, contrariando a ideia de que o céu era imutável, e o aparecimento de um cometa, que, de acordo com suas observações, estava bem além da Lua – na época, pensava-se que os cometas ficavam próximos da Terra, como as nuvens.

Assim, Brahe intensificou suas observações. Com instrumentos de notável precisão, obteve registros muito acurados dos movimentos planetários, os quais chegaram ao conhecimento de Johannes Kepler (1571-1630), seu discípulo e assistente, que os interpretou matematicamente e os sintetizou em três leis, que conhecemos hoje como leis de Kepler dos movimentos planetários. Na época de Kepler, além da Terra, conheciam-se outros cinco planetas do Sistema Solar: Mercúrio, Vênus, Marte, Júpiter e Saturno.

Atualmente, são conhecidos oito planetas: os seis já citados, Urano, descoberto em 1781, e Netuno, descoberto em 1846. Plutão, descoberto em 1930, integrou esse grupo até 2006, quando foi excluído dessa categoria pela União Astronômica Internacional e incluído na categoria de planeta-anão.

Ao enunciar as leis dos movimentos planetários, Kepler se referiu aos planetas do Sistema Solar conhecidos em sua época. Entretanto, como veremos a seguir, essas leis têm validade universal, podendo ser aplicadas a quaisquer corpos que gravitam em torno de outro, como a Lua e os satélites artificiais que orbitam a Terra, outros corpos do Sistema Solar e até mesmo o próprio Sistema Solar, que gravita em torno do centro da Via Láctea.

Primeira lei de Kepler ou lei das órbitas

Johannes Kepler concluiu a formulação dessa lei e a publicou em 1609 no livro *Astronomia nova*, escrito entre 1600 e 1606. Nessa obra, ele afirma que a Terra e os outros planetas deslocam-se em torno do Sol segundo um movimento que não é uniforme nem circular. Suas trajetórias são elípticas e o Sol ocupa a posição de um dos focos dessas elipses.

A elipse é uma curva que possui dois eixos principais, perpendiculares entre si, denominados eixo maior e eixo menor (Fig. 4).

Sobre o eixo maior da elipse, definem-se três pontos, F_1 e F_2, denominados **focos** da elipse, e C, que é o "centro" da elipse. Os focos guardam uma propriedade geométrica: a soma das distâncias dos focos até qualquer ponto da elipse é constante. Assim, na figura 4, em que os pontos P e Q representam a posição de um astro em órbita na elipse, temos:

$$PF_1 + PF_2 = QF_1 + QF_2$$

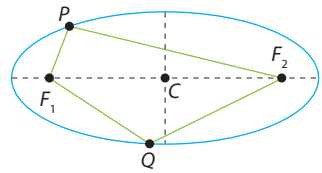


Figura 4. Elipse de focos F_1 e F_2 e centro C.

Usando uma linguagem sem rigor matemático, a elipse pode ser considerada uma circunferência "achatada". Quanto mais "achatada", mais excêntrica ela é. Na elipse de grande excentricidade, os focos estão bem afastados um do outro (Fig. 5A), ao passo que, na elipse de pequena excentricidade, os focos estão mais próximos entre si (Fig. 5B).

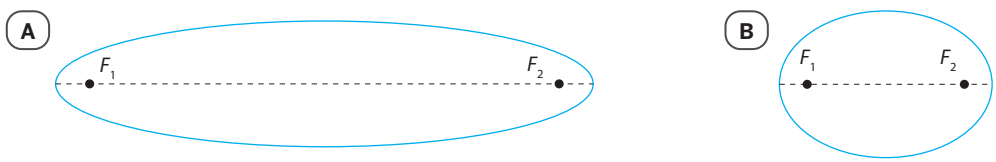


Figura 5. (A) Elipse de grande excentricidade. (B) Elipse de pequena excentricidade.

As trajetórias elípticas dos planetas do Sistema Solar têm excentricidades muito pequenas, por isso, em quase todas as atividades e exercícios sobre Sistema Solar, essas órbitas são consideradas circulares.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

ILUSTRAÇÕES: ADILSON SECCO/ARQUIVO DA EDITORA

Veja comentários sobre essa atividade no Suplemento para o professor.

Atividade prática

Construindo uma órbita

Vamos construir uma elipse que vai representar uma órbita.

Materiais

- quinze folhas de papel tamanho A4 (pode ser rascunho);
- dois clipes;
- uma régua de 30 cm de comprimento;
- um lápis;
- duas tachinhas;
- um pedaço de barbante ou fio de náilon com 30 cm de comprimento.

CONTINUA

Procedimento

1. Junte todas as folhas, dobre-as ao meio e prenda-as com os clipes.
2. Trace um segmento de reta de 18 cm de comprimento no centro da folha. Chamaremos essa reta de segmento base.
3. Sobre o segmento base, fixe as duas tachinhas, cada uma a 2 cm de uma extremidade do segmento (Fig. A).

> **Para uma perfuração mais segura, rotacione a tachinha em movimentos de vaivém, pressionando-a levemente contra os papéis.**

4. Amarre as extremidades do barbante, formando um laço.
5. Envolva o laço de barbante nas tachinhas e encoste no barbante a ponta do lápis até que a linha do barbante esteja bem esticada (Fig. B).
6. Trace uma curva com o lápis, mantendo o fio esticado durante todo o percurso da ponta do lápis. Você obterá, assim, uma elipse. (Fig. C).

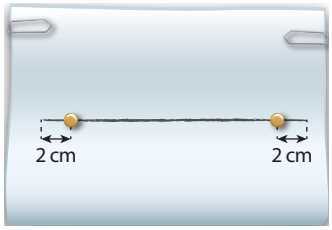


Figura A. Tachinhas fixadas no papel sobre o segmento base.

ILUSTRAÇÕES: NELSON MATSUDA/ARQUIVO DA EDITORA

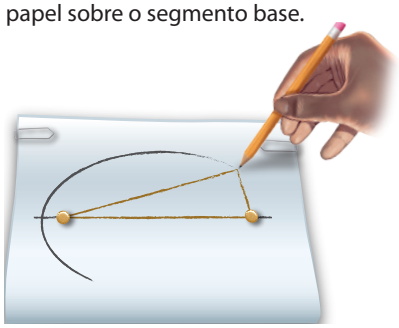


Figura B. O movimento do lápis é guiado pelo barbante esticado.

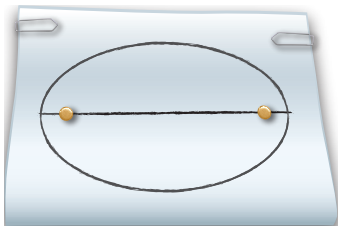


Figura C. Exemplo de resultado final.

Análise do experimento

1. Os pontos nos quais você fixou as tachinhas representam quais elementos geométricos da elipse?
2. Supondo que a elipse traçada represente a órbita de um planeta do Sistema Solar, qual seria a posição do Sol?
3. Repita o procedimento, fixando sobre o segmento base as tachinhas mais próximas entre si e ajustando o tamanho do laço de barbante para que o lápis não saia do papel. O que você nota quanto à excentricidade da nova elipse?
4. Repita o procedimento, fixando as tachinhas uma ao lado da outra. Qual foi o formato gerado? Se essa representação da órbita corresponde à de um satélite terrestre, onde estaria a Terra nesse caso?

Segunda lei de Kepler ou lei das áreas

A segunda lei do movimento planetário foi apresentada no terceiro livro da obra *Astronomia nova*. Empregando os dados precisos de Tycho Brahe sobre a órbita de Marte, Kepler observou que os planetas se movem mais rapidamente quando estão próximos do Sol e mais lentamente quando estão mais distantes dele. Ou seja, quando o planeta se aproxima do Sol, seu movimento é acelerado e, quando ele se afasta do Sol, seu movimento é retardado. Kepler demonstrou que o segmento de reta que liga o centro de massa do Sol ao centro de massa do planeta varre áreas iguais em intervalos de tempo iguais, como esquematizado na figura 6.

ADILSON SECCO/ARQUIVO DA EDITORA

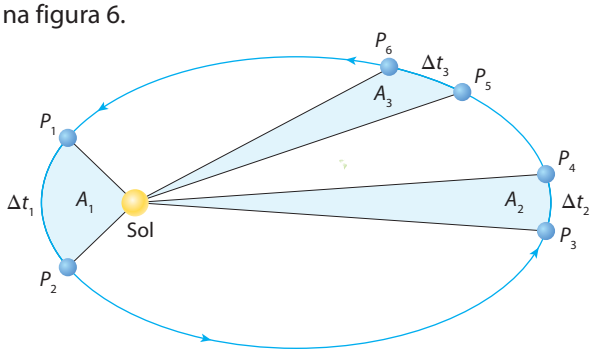


Figura 6. Se tivermos $\Delta t_1 = \Delta t_2 = \Delta t_3$, teremos $A_1 = A_2 = A_3$. (Representação fora de proporção; cores meramente ilustrativas.)

Se os intervalos de tempo considerados forem diferentes, as áreas varridas terão valores diferentes, mas serão diretamente proporcionais aos respectivos intervalos de tempo:

$$\frac{A_1}{\Delta t_1} = \frac{A_2}{\Delta t_2} = \frac{A_3}{\Delta t_3}$$

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

A razão entre as áreas varridas e os respectivos intervalos de tempo é denominada velocidade areolar ($v_{areolar}$) do planeta. Portanto, a velocidade areolar de um dado planeta é constante durante seu movimento orbital, diferindo em valor de um planeta para outro.

Terceira lei de Kepler ou lei dos períodos

Em 1619, no seu livro *Harmonia dos mundos*, Kepler enunciou a terceira lei do movimento planetário, relacionando os períodos de translação dos planetas e os raios médios das órbitas. O raio médio das órbitas planetárias corresponde à medida do semieixo maior das elipses.

Sendo T o período de translação de um planeta, isto é, o intervalo de tempo decorrido para o planeta completar uma volta em torno do Sol (ano), e R o raio médio da sua órbita, a terceira lei de Kepler afirma que:

> A razão entre o quadrado do período de translação (T^2) de um planeta e o cubo do raio médio de sua órbita (R^3) é igual para todos os planetas do Sistema Solar.

Então, considerando T_1 o período de translação de um planeta cuja órbita tem raio médio R_1, T_2 o período de translação de um planeta cuja órbita tem raio médio R_2 e assim sucessivamente, podemos escrever:

$$\frac{T_1^2}{R_1^3} = \frac{T_2^2}{R_2^3} = \frac{T_3^2}{R_3^3} = \ldots = K$$

Para o Sistema Solar, pode-se dizer que a constante de proporcionalidade K depende apenas da massa do Sol, uma vez que sua massa é cerca de 750 vezes a massa total do restante do Sistema Solar.

Podemos, então, enunciar a terceira lei de Kepler de maneira um pouco diferente, mas equivalente ao enunciado anterior:

> O quadrado do período de translação T de um planeta em torno do Sol é diretamente proporcional ao cubo do raio médio R de sua órbita: $T^2 = k \cdot R^3$.

Assim, quanto mais afastado um planeta está do Sol, tanto maior é seu período de translação, isto é, maior é o seu "ano". Por exemplo, Mercúrio, o planeta mais próximo do Sol, tem um período de 88 dias terrestres, isso é cerca de $\frac{1}{4}$ do ano terrestre. Netuno, o mais afastado do Sol, tem um período de 165 anos terrestres. A Tabela 1 mostra o período de translação T, a distância média ao Sol R (raio médio da órbita) e a razão $\frac{T^2}{R^3}$, em valores da época de Kepler, para os seis planetas então conhecidos: Mercúrio, Vênus, Terra, Marte, Júpiter e Saturno. Quando T é medido em **anos terrestres** e R é medido em **unidade astronômica** (**UA**), essa razão tem valor exatamente $1\ \frac{(\text{ano})^2}{(\text{UA})^3}$ para a Terra ($T_{\text{Terra}} = \mathbf{1}$ ano e $R_{\text{Terra}} = \mathbf{1}$ UA) e muito próximo de $1\ \frac{(\text{ano})^2}{(\text{UA})^3}$ para os demais corpos do Sistema Solar.

Tabela 1. Dados usados por Kepler

Planeta	Raio médio orbital (UA)	Período orbital (anos terrestres)	$\frac{T^2}{R^3}\left(\frac{\text{ano}^2}{\text{UA}^3}\right)$
Mercúrio	0,389	0,240	0,978
Vênus	0,724	0,615	0,997
Terra	1,000	1,000	1,000
Marte	1,524	1,881	0,996
Júpiter	5,200	11,862	1,001
Saturno	9,510	29,457	1,009

Fonte: CASPAR, M. **Kepler**. Nova York: Dover Publications, 1993.

Vamos ver o exemplo de uma aplicação fictícia da terceira lei de Kepler e calcular o tempo que a Lua levaria para "cair" sobre a Terra se sua velocidade orbital praticamente se anulasse.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Exercício resolvido

Supondo que, devido a uma colisão com um grande asteroide, a velocidade orbital da Lua diminuísse um pouco, ela iniciaria uma ligeira "queda" em direção à Terra até atingir uma órbita mais "baixa", compatível com sua nova velocidade orbital.

Se, no entanto, esse cataclismo reduzisse a velocidade orbital da Lua a um valor muito próximo de zero, ela iniciaria uma acentuada "queda" em direção à Terra, terminando por colidir catastroficamente com ela, após um intervalo de tempo Δt.

Estime o valor de Δt, aplicando a terceira lei de Kepler.

Resolução

Na figura A, representamos a situação atual em que R é o raio da órbita e o período de translação da Lua em torno da Terra é $T_L = 27{,}32$ dias. Na figura B, está representada a situação hipotética em que a Lua descreve uma órbita elíptica bastante alongada, com velocidade praticamente nula no maior afastamento e o centro da Terra ocupando um dos focos.

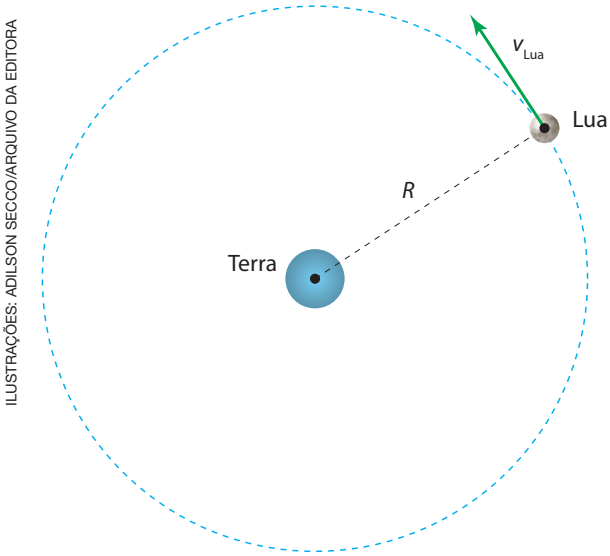


Figura A.

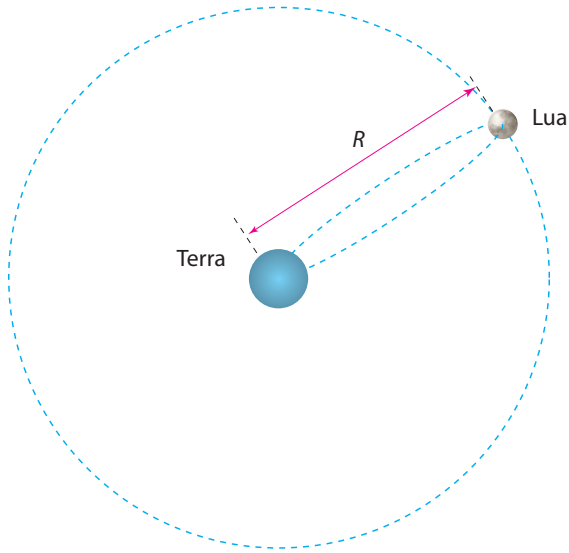


Figura B.

ILUSTRAÇÕES: ADILSON SECCO/ARQUIVO DA EDITORA

(Representações fora de proporção; cores meramente ilustrativas.)

Observe que, nessa nova situação, o eixo maior da elipse é R. Sendo T o novo período orbital, a terceira lei de Kepler, para as duas situações, nos fornece:

Situação atual: $T_L^2 = K \cdot R^3$ (I)

Situação hipotética: $T^2 = K \cdot \left(\frac{R}{2}\right)^3 \Rightarrow T^2 = K \cdot \frac{R^3}{8}$ (II)

Dividindo-se a equação (II) pela equação (I), temos:

$$\frac{T^2}{T_L^2} = \frac{1}{8} \Rightarrow T = \frac{T_L}{\sqrt{8}} = \frac{27{,}32 \text{ dias}}{\sqrt{8}} \Rightarrow T \simeq 9{,}66 \text{ dias}$$

Entretanto, o intervalo de tempo Δt procurado é a metade desse novo período, visto que a Lua colidiria com a Terra e não retornaria ao ponto de partida.

Portanto:

$$\Delta t = \frac{1}{2} \cdot T \Rightarrow \Delta t \simeq 4{,}83 \text{ dias} \Rightarrow \Delta t \simeq 4 \text{ dias e } 20 \text{ horas}$$

Se imaginássemos a mesma situação para a "queda da Terra sobre o Sol", chegaríamos a aproximadamente 2 meses!

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

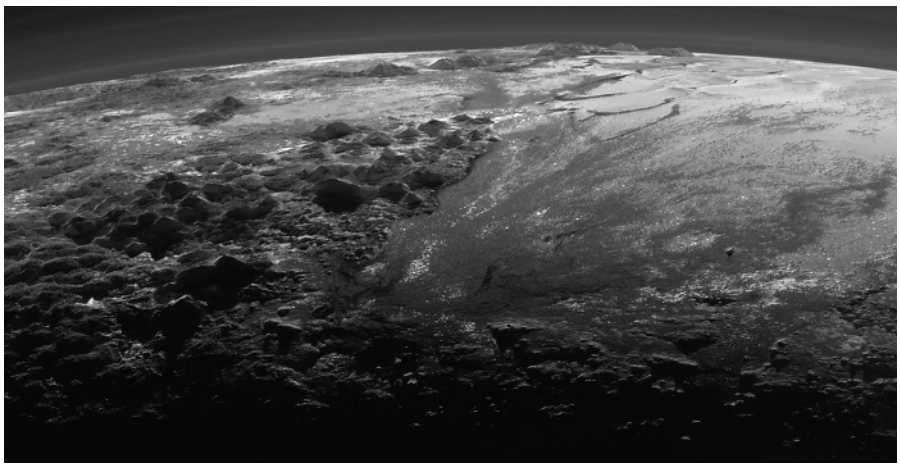
Veja comentários sobre essa atividade no Suplemento para o professor.

Em destaque

CIÊNCIA E TECNOLOGIA

Plutão em foco

Após a passagem da sonda New Horizons nas proximidades de Plutão, em 2015, a comunidade acadêmica levantou muitas informações sobre o planeta-anão, incluindo detalhes sobre sua superfície e atmosfera.



JOHNS HOPKINS UNIVERSITY APPLIED PHYSICS LABORATORY/SOUTHWEST RESEARCH INSTITUTE/NASA

A extensão suave da planície Sputnik (direita) é acompanhada a oeste (esquerda) por montanhas escarpadas de até 3.500 metros de altura, incluindo o Monte Tenzing, em primeiro plano, e o Monte Hillary, no horizonte. A luz de fundo destaca mais de uma dúzia de camadas de neblina na tênue, mas distendida atmosfera de Plutão. A imagem foi tirada de uma distância de 18.000 quilômetros de Plutão; a cena tem 380 quilômetros de comprimento.

A superfície de Plutão tem montanhas, vales, planícies e crateras. A temperatura em Plutão pode ser tão fria quanto −226 a −240 graus Celsius.

[...] Essas montanhas são grandes blocos de gelo d'água, às vezes com uma camada de gases congelados como metano. Longos vales e depressões com até 600 quilômetros de comprimento adicionam características interessantes a este distante planeta-anão.

Crateras com até 260 quilômetros de diâmetro pontilham algumas partes da paisagem de Plutão, com algumas mostrando sinais de erosão e deposição de sedimentos. Isso sugere que forças tectônicas estão lentamente renovando a superfície de Plutão.

[...] Plutão tem uma atmosfera fina e tênue que se expande quando se aproxima do Sol e se contrai à medida que se afasta – de maneira semelhante ao que ocorre com um cometa. O principal constituinte é o nitrogênio molecular, embora moléculas de metano e monóxido de carbono também tenham sido detectadas.

Quando Plutão está próximo ao Sol, o gelo na sua superfície sublima (passando diretamente do estado sólido para o gasoso) e os vapores se elevam para formar temporariamente uma atmosfera fina. A baixa gravidade de Plutão (cerca de 6% da gravidade da Terra) faz com que a atmosfera se estenda muito mais em altitude do que a atmosfera do nosso planeta. Plutão se torna muito mais frio durante a parte do ano em que viaja para longe do Sol. Nesse período, a maior parte da atmosfera pode congelar e cair como neve na superfície. [...]

Fonte: PLUTO facts. **NASA Science**. 2024. Disponível em: https://science.nasa.gov/dwarf-planets/pluto/facts/. Acesso em: 14 set. 2024. (Tradução nossa)

A partir das informações do texto, em grupos, respondam:

1. O que a erosão e os sedimentos nas crateras em Plutão revelam sobre sua atividade geológica?
2. Expliquem o processo de sublimação e discutam como as baixas temperaturas de Plutão influenciam o comportamento químico dos elementos presentes em sua atmosfera.
3. Considerando que a gravidade em Plutão é cerca de 6% da gravidade da Terra, como a força gravitacional de Plutão afeta sua atmosfera e sua capacidade de manter gases como nitrogênio, metano e monóxido de carbono?

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Veja respostas e comentários no Suplemento para o professor.

Aplicando conhecimentos

Registre as respostas em seu caderno.

1. Um satélite terrestre *A* descreve órbita circular de raio *R* e período orbital $T_A = 1{,}5$ h. Outro satélite terrestre *B* será colocado em órbita circular de raio $4R$ e período T_B tal que:
1. d

a. $T_B = 3{,}0$ h. **b.** $T_B = 6{,}0$ h. **c.** $T_B = 8{,}0$ h. **d.** $T_B = 12$ h.

2. Considere a Terra perfeitamente esférica, com raio $R_T = 6.378$ km, o período de translação da Lua em torno da Terra igual a 27 dias e sua órbita circular com raio igual a $60\,R_T$.
2. c

Para que um satélite terrestre tenha período de translação de 24 horas, ele deve estar a uma altitude *h* de:

a. 6.378 km. **b.** 18.071 km. **c.** 36.142 km. **d.** 42.520 km.

3. Lei da gravitação universal (ou lei da atração das massas)

A gravidade rege o movimento no Universo. Ela mantém a Lua girando ao redor da Terra, a Terra girando ao redor do Sol, o Sol e outras centenas de bilhões de estrelas girando ao redor do centro da Via Láctea.

Os primeiros passos para compreender os "mistérios" da gravidade foram dados por Galileu Galilei (1564-1642) por volta de 1604. Simulando a queda dos corpos em planos inclinados, Galileu estabeleceu as expressões matemáticas que relacionam a posição e a velocidade dos corpos em movimento pela ação da gravidade.

Entretanto, coube ao físico e matemático inglês Isaac Newton (1642-1727) interpretar a gravidade como uma força de caráter universal, reunindo, assim, os fenômenos (movimentos) celestes e terrestres em uma única teoria. Tudo começou com um "desafio". Embora as três leis de Kepler, do movimento planetário, já fossem conhecidas havia mais de cinquenta anos, não existia uma teoria que desse um suporte matemático para sua demonstração.

Em 1684, o matemático e arquiteto Christopher Wren (1632-1723), um dos fundadores da The Royal Society de Londres, sugeriu a dois colegas, o astrônomo Edmond Halley (1656-1742) e o cientista experimental Robert Hooke (1635-1703), a demonstração de que os movimentos planetários podiam ser plenamente explicados pelo fato de a intensidade da força variar com o inverso do quadrado da distância entre os corpos. Os três suspeitavam disso havia algum tempo, mas eles não apresentaram uma demonstração convincente.

Newton disse a Halley que essa questão lhe era familiar, uma vez que a ideia lhe ocorrera alguns anos antes. No entanto, como não lembrava onde havia guardado a demonstração, enviou a Halley, em novembro daquele ano, um manuscrito muito breve, intitulado *De Motu*, com a resposta ao problema proposto por Wren a Halley e a Hooke. Entusiasmado, Halley apresentou o trabalho de Newton à The Royal Society de Londres.

Contagiado pela euforia de Halley, Newton aprofundou e ampliou suas ideias, "resumidas" no manuscrito *De Motu*, e, em 1686, apresentou a Halley um tratado de quatrocentas páginas manuscritas com o título *Philosophiæ Naturalis Principia Mathematica* (Princípios matemáticos da filosofia natural). Com total apoio intelectual e financeiro de Edmond Halley, em 1687, a Royal Society publicou a primeira edição do *Principia*. No Livro I do *Principia*, Newton enunciou e demonstrou alguns teoremas que confirmavam, por meio de cálculos, as leis de Kepler, indicando que ele estava no caminho certo, isto é, que suas premissas e proposições estavam corretas.

Entre as inúmeras demonstrações e definições encontradas no *Principia*, a lei da atração das massas foi enunciada das seguinte forma:

> Todo corpo atrai qualquer outro com uma força dirigida ao longo da linha que os une, cuja intensidade é diretamente proporcional ao produto de suas massas e inversamente proporcional ao quadrado da distância que os separa.

Nesse enunciado, os corpos são considerados **pontos materiais**, isto é, corpos cujas dimensões são desprezíveis em comparação com as distâncias envolvidas. Se os corpos fossem esferas homogêneas, a distância mencionada no enunciado seria a distância entre seus centros geométricos, onde se admite estarem concentradas suas massas.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Para efeito de formulação matemática da lei da atração das massas, vamos considerar dois pontos materiais de massas m_1 e m_2, separados por uma distância d (Fig. 7).

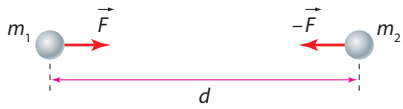


Figura 7. Representação das forças de atração gravitacional. Essas forças formam um par de ação e reação.

ADILSON SECCO/ARQUIVO DA EDITORA

A intensidade F da força de atração gravitacional será dada por:

$$F = G \cdot \frac{m_1 \cdot m_2}{d^2}$$

As forças de atração gravitacional $\vec{F}$ e $-\vec{F}$ atuam à distância, na direção que une os centros dos corpos. São forças de campo que formam um par de forças de ação e reação; portanto, atuam em corpos distintos e têm mesma intensidade.

Na fórmula da lei, a constante de proporcionalidade ***G*** chama-se **constante universal de gravitação**. Seu valor não depende da natureza dos corpos envolvidos, nem da distância entre eles, nem do meio onde estão situados os corpos, e foi obtido com grande precisão, pela primeira vez, em 1798, pelo cientista inglês Henry Cavendish (1731-1810), utilizando uma balança de torção.

O valor atualmente adotado para essa constante é:

$$G = 6{,}67430 \cdot 10^{-11}\ \text{N} \cdot \text{m}^2/(\text{kg})^2$$

Para compreender melhor a lei da gravitação universal, vamos analisar um exemplo numérico.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Exercício resolvido

Dois navios, de massas 16.000 toneladas cada um, flutuam em água com seus centros separados por 50 m um do outro, em repouso. Admitindo válida a lei da atração das massas para esses corpos, desconsidere as forças resistivas e determine:

a. a intensidade da força de atração gravitacional que um navio exerce sobre o outro;

b. o módulo da aceleração adquirida pelos navios, devido à ação dessas forças;

c. o tempo necessário para que a distância entre os centros dos navios esteja a 40 m um do outro, supondo que eles se movimentem apenas pela ação dessas forças cujas intensidades permanecem praticamente inalteradas durante esse deslocamento.

Resolução

a. A intensidade das forças de atração gravitacional será

$F = G \cdot \frac{m_1 \cdot m_2}{d^2} = 6{,}67 \cdot 10^{-11} \cdot \frac{1{,}6 \cdot 10^7 \cdot 1{,}6 \cdot 10^7}{50^2} \Rightarrow F \cong 6{,}8\ \text{N}$, que é uma força de intensidade muito pequena, considerando dois corpos com massas significativamente grandes.

b. Para o cálculo dos módulos das acelerações, vamos aplicar a segunda lei de Newton dos movimentos:

$F = m_{\text{navio}} \cdot a_{\text{navio}} \Rightarrow 6{,}8 = 1{,}6 \cdot 10^7 \cdot a_{\text{navio}} \Rightarrow a_{\text{navio}} = 4{,}25 \cdot 10^{-7}\ \text{m/s}^2$ (suposta constante).

c. No instante em que os centros dos navios estiverem a 40 m um do outro, cada navio terá se deslocado 5,0 m. Para o cálculo do intervalo tempo nesse deslocamento, vamos usar a equação do deslocamento do MUV:

$\Delta s = v_0 \cdot (\Delta t) + \frac{1}{2} \cdot a_{\text{navio}} \cdot (\Delta t)^2 \Rightarrow 5{,}0 = 0 \cdot \Delta t + \frac{1}{2} \cdot 4{,}25 \cdot 10^{-7} \cdot (\Delta t)^2$

$\therefore \Delta t \simeq 4.850\ \text{s} \Rightarrow \Delta t \simeq 1\ \text{h}\ 20\ \text{min}\ 50\ \text{s}$

Esse intervalo de tempo corresponde a uma velocidade média de, aproximadamente, 1,0 mm/s! Sim, **um milímetro** por segundo.

Veja respostas e comentários no Suplemento para o professor.

Aplicando conhecimentos

Registre as respostas em seu caderno.

3. Sobre a força de atração gravitacional entre corpos de massas constantes e pequenas dimensões, é correto afirmar que sua intensidade:

3. e

a. dobra quando se reduz a distância entre os corpos à metade.

b. é diretamente proporcional ao quadrado da distância entre os corpos.

c. cai para um terço do valor inicial quando se triplica a distância entre os corpos.

d. é diretamente proporcional ao quadrado das massas dos corpos.

e. é diretamente proporcional ao quadrado do inverso da distância entre esses corpos.

4. Você vai precisar de uma calculadora no item (a) deste exercício.

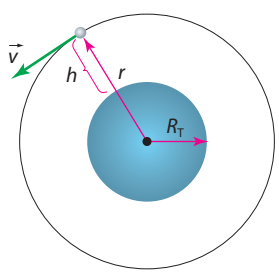
a. Determine a intensidade da força de atração que a Terra exerce sobre uma pessoa de massa $m = 100$ kg, parada sobre sua superfície. Adote $d = 6{,}37 \cdot 10^6$ m para a distância entre os centros de massa da pessoa e da Terra, $M = 5{,}97 \cdot 10^{24}$ kg para a massa da Terra e $G = 6{,}67 \cdot 10^{-11}\ N \cdot m^2/kg^2$ para o valor da constante universal de gravitação.

b. Compare o valor obtido no item (a) com o valor do peso dessa pessoa calculado pela relação $P = m \cdot g$, com $g = 9{,}81\ m/s^2$. Em sua opinião, existe alguma explicação razoável para a notável proximidade entre esses valores ou é apenas uma coincidência numérica?

Velocidade e período de um satélite em órbita circular

Satélites artificiais são usados para diversos fins: comunicação, medidas meteorológicas, observações astronômicas (o telescópio James Webb é um exemplo), além da rede de GPS (sigla em inglês para Sistema de Posicionamento Global).

Com o auxílio de um foguete, um satélite, de massa m, é elevado à altitude h em que ele deve ficar em relação à superfície da Terra. Uma vez atingido esse ponto, ainda com o auxílio do foguete, é imprimida ao satélite uma velocidade $\vec{v}$, tangente à trajetória circular de raio $r = R_T + h$, sendo R_T o raio do planeta Terra (Fig. 8).



ADILSON SECCO/ARQUIVO DA EDITORA

Figura 8. Representação esquemática de satélite em órbita circular de raio $r = R_T + h$. (Representação fora de proporção; cores meramente ilustrativas.)

A força de atração gravitacional entre a Terra e o satélite é a força centrípeta do movimento circular. Assim, sendo M a massa da Terra e G a constante universal de gravitação, temos:

$$F_{gravitacional} = F_{centrípeta} \Rightarrow G \cdot \frac{M \cdot m}{r^2} = m \cdot \frac{v^2}{r} \Rightarrow v = \sqrt{\frac{G \cdot M}{r}}, \text{ em que } r = R_T + h.$$

Da expressão obtida, vemos que a velocidade orbital do satélite não depende da sua massa, mas depende da massa da Terra e do raio da órbita circular. Isso significa que para cada órbita corresponde uma só velocidade.

Veja comentários sobre essa atividade no Suplemento para o professor.

Dialogando com o texto

MEIO AMBIENTE ODS 13

A Agenda da ONU 2030 para a Ação contra a Mudança Global do Clima representa um conjunto de metas globais criadas pelas Nações Unidas para enfrentar os desafios ambientais do planeta Terra. Nesse contexto, os satélites têm um papel crucial no estudo e na previsão das mudanças climáticas. No Brasil, os satélites que operam com esse fim são controlados pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (Inpe). Em grupos, pesquisem quais são os tipos de dados coletados por satélites brasileiros de previsão do tempo e do clima e qual é a altitude de suas órbitas.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Exercício resolvido

ESTRATÉGIA DE ESTUDO

Suponhamos que um satélite de massa $m = 500$ kg seja colocado em uma órbita circular ao redor da Terra, a uma altitude $h = 622$ km. Adotando $R_T = 6.378$ km para o raio da Terra e $M = 5{,}98 \cdot 10^{24}$ kg para sua massa, determine o módulo da velocidade e o período do movimento orbital desse satélite.

Adote $G = 6{,}67 \cdot 10^{-11}\ \text{N} \cdot \text{m}^2/\text{kg}^2$.

Identificar

O problema fornece informações sobre um satélite em órbita circular ao redor da Terra; nesse caso, a força de atração gravitacional entre a Terra e o satélite é a força centrípeta do movimento circular. O objetivo é determinar o módulo da velocidade orbital (v) e o período do movimento orbital (T) do satélite. As variáveis fornecidas incluem a massa do satélite (m), a altitude em relação à superfície da Terra (h), o raio da Terra (R_T) e a massa da Terra (M).

Preparar

Igualando a força de atração gravitacional entre a Terra e o satélite e a força centrípeta do movimento circular, temos:

$$F_{\text{gravitacional}} = F_{\text{centrípeta}} \Rightarrow G \cdot \frac{M \cdot m}{r^2} = m \cdot \frac{v^2}{r} \Rightarrow v = \sqrt{\frac{G \cdot M}{r}}$$

Então, para descobrirmos o módulo da velocidade orbital, precisamos da massa da Terra ($M = 5{,}98 \cdot 10^{24}$ kg), da constante gravitacional ($G = 6{,}67 \cdot 10^{-11}\ \text{N} \cdot \text{m}^2/\text{kg}^2$) e do raio r da órbita descrita, que é igual à soma da altitude h do satélite com o raio R_T da Terra (6.378 km).

Assim:

$r = R_T + h = 6.378\ \text{km} + 622\ \text{km} = 7.000\ \text{km} = 7{,}0 \cdot 10^6\ \text{m}$

Já o período do satélite pode ser obtido analisando o problema de um movimento circular uniforme.

$$v = \frac{\Delta s}{\Delta t} = \frac{2\pi r}{T}$$

Executar

Substituindo os dados fornecidos na equação obtida para o módulo da velocidade orbital do satélite, temos:

$$v = \sqrt{\frac{G \cdot M}{r}} = \sqrt{\frac{6{,}67 \cdot 10^{-11} \cdot 5{,}98 \cdot 10^{24}}{7{,}0 \cdot 10^6}} \therefore v = 7{,}55 \cdot 10^3\ \text{m/s}$$

Como o satélite descreve um movimento circular uniforme, temos:

$$v = \frac{\Delta s}{\Delta t} = \frac{2\pi r}{T} \Rightarrow 7{,}55 \cdot 10^3 = \frac{2\pi \cdot 7 \cdot 10^6}{T} \Rightarrow T = \frac{14.000 \cdot \pi}{7{,}55} \therefore$$

$T \simeq 5.825\ \text{s} \cong 1\ \text{h}\ 37\ \text{min}$

Avaliar

O período do satélite também pode ser resolvido usando a terceira lei de Kepler. Essa solução é interessante, pois não usa o módulo da velocidade orbital que calculamos antes. Temos:

$$T^2 = \frac{4\pi^2}{G \cdot M} \cdot r^3 \Rightarrow T^2 = \frac{4\pi^2}{6{,}67 \cdot 10^{-11} \cdot 5{,}98 \cdot 10^{24}} \cdot \left(7{,}0 \cdot 10^6\right)^3 \therefore$$

$T \simeq 5.826\ \text{s} \simeq 1\ \text{h}\ 37\ \text{min}$

A pequena diferença encontrada se deve aos arredondamentos.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Veja comentários sobre essa atividade no Suplemento para o professor.

MUNDO DO TRABALHO

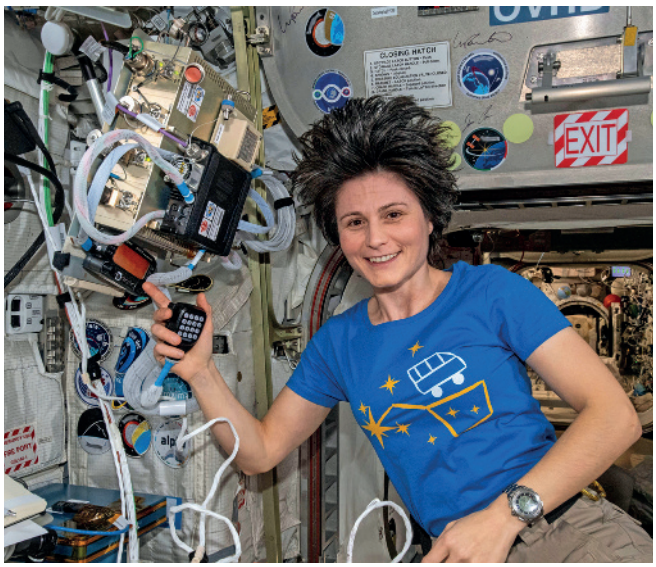
Astronauta (ainda) é uma profissão do futuro?

ODS 8

Tornar-se astronauta demanda tempo, estudo e uma boa dose de esforço. A carreira é desejada e conhecida pelas missões no espaço, mas boa parte do tempo dos astronautas se passa em terra firme, em treinamentos técnicos ou atividades burocráticas. A maior parte do trabalho se relaciona à operação e ao controle de veículos e máquinas e ao constante monitoramento das condições de saúde.

Mesmo com o número crescente de agências espaciais em todo o mundo, a quantidade de astronautas que subiram ao espaço ainda não chegou a mil.

As tarefas de rotina, externas às naves e estações espaciais, têm sido paulatinamente substituídas por dispositivos robóticos, que podem ser operados e controlados distância, sem colocar vidas em risco. Todo o projeto de construção, implementação e manutenção desses dispositivos robóticos está a cargo de profissionais das ciências e das tecnologias.



GEOPIX/ALAMY/FOTOARENA

Samantha Cristoforetti, astronauta da Agência Espacial Europeia, na Estação Espacial Internacional (2022).

1. Considerando o exposto até aqui, você considera que a profissão de astronauta tem possibilidade de se extinguir?

2. Pense em outra profissão (por exemplo, a que você deseja seguir) e reflita sobre as condições de que ela depende para ser demandada na sociedade. Você considera que essa profissão pode ser atualizada, remodelada ou mesmo substituída por outra?

Veja respostas e comentários no Suplemento para o professor.

Aplicando conhecimentos

Registre as respostas em seu caderno.

5. A estação espacial russa Mir (que significa "paz" em russo) permaneceu em órbita ao redor da Terra durante aproximadamente 15 anos, até ser afundada no Oceano Pacífico no início de 2001. O controle espacial russo informou que ela estava, em dezembro de 2000, em órbita circular ao redor da Terra, a uma altitude de 320 km. Adote para a massa e para o raio da Terra os valores $6{,}0 \cdot 10^{24}$ kg e 6.350 km, para a massa da estação espacial Mir 130 toneladas e para a constante universal de gravitação $G = 6{,}67 \cdot 10^{-11}\ N \cdot m^2/kg^2$. Com esses dados, determine para a estação espacial Mir, enquanto ela esteve em órbita:

a. sua velocidade orbital;

b. seu período orbital.

ESTRATÉGIA DE ESTUDO

Para auxiliá-lo em seus estudos, você pode estabelecer palavras-chave e refletir sobre o que aprendeu.

Selecionar palavras-chave

Para cada tópico do capítulo, selecione termos que representem os principais assuntos estudados. Uma dica é prestar atenção às palavras destacadas no texto e aos títulos e subtítulos dos tópicos. No tópico *Uma breve história dos modelos cosmológicos*, por exemplo, é possível destacar: modelo geocêntrico e modelo heliocêntrico. Leia os demais tópicos do capítulo e copie no caderno os termos que considere relevantes. A seguir, agrupe as palavras que têm correlação.

Espera-se que haja diferenças entre as seleções e os agrupamentos, pois trata-se de uma interpretação pessoal. Compartilhe e compare suas palavras-chave com as dos colegas, para repensar a inclusão ou a exclusão de algum termo.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

CONTINUA

CONTINUAÇÃO

Você pode adotar essa estratégia em outros capítulos e, conforme o estudo avança, poderá relembrar assuntos importantes com base em suas anotações.

Verificar o que aprendeu

1. Avalie seu nível de compreensão dos conceitos apresentados no capítulo utilizando a escala:

- Entendi completamente.
- Entendi a maior parte, mas algumas partes estão confusas.
- Não entendi a maior parte, mas algumas partes fazem sentido.
- Não entendi.

2. Avalie suas habilidades para:

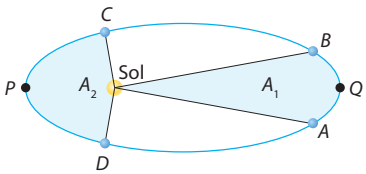
- resolver os problemas apresentados;
- relacionar o conteúdo com situações do cotidiano.

Veja respostas e comentários no Suplemento para o professor.

Atividades finais

Registre as respostas em seu caderno.

1. Um planeta, em sua órbita ao redor do Sol, passa pelos pontos *A*, *B*, *C* e *D*, nessa ordem, como mostrado no esquema a seguir.



ADILSON SECCO/ ARQUIVO DA EDITORA

(Representações fora de proporção; cores meramente ilustrativas.)

Os intervalos de tempo para percorrer os trechos *AQB* e *CPD* são iguais.

a. O que se pode afirmar sobre as áreas destacadas A_1 e A_2?

b. O que se pode afirmar sobre a velocidade escalar média do planeta nesses trechos?

c. Sabendo que *P* é ponto médio do arco *CPD* e *Q* é ponto médio do arco *AQB*, o que se pode afirmar sobre os intervalos de tempo Δt_{BC} e Δt_{DA} decorridos para o planeta percorrer os trechos *BC* e *DA*?

2. **(UFRGS)** Considere o raio médio da órbita de Júpiter em torno do Sol igual a 5 vezes o raio médio da órbita da Terra. Segundo a 3ª lei de Kepler, o período de revolução de Júpiter em torno do Sol é de, aproximadamente,

2. b

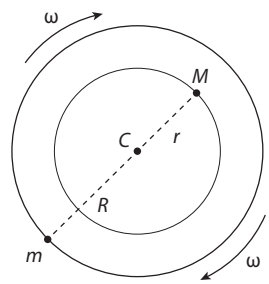
a. 5 anos. **c.** 25 anos. **e.** 125 anos.
b. 11 anos. **d.** 110 anos.

3. Netuno, o oitavo planeta do Sistema Solar, tem um período orbital de 164,8 anos terrestres, aproximadamente. Portanto, o raio médio de sua órbita, em UA, é um valor próximo de:

3. a

a. 30. **c.** 50. **e.** 27.000.
b. 40. **d.** 100.

4. Escreva a terceira lei de Kepler para um sistema binário cujos corpos têm massas *M* e *m* e gravitam em torno do centro de massa comum mantendo uma distância *D* entre si.



ADILSON SECCO/ARQUIVO DA EDITORA

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

CAPÍTULO 7

Estática e máquinas simples

ARTEM FIRSOV/ALAMY/FOTOARENA

Conceitos de Estática são aplicados, por exemplo, na Engenharia civil para a construção de pontes. (Florianópolis, SC, 2022.)

A Estática é a área da Física que estuda o equilíbrio dos corpos e das estruturas físicas. Seus conceitos têm aplicação nas Engenharias, bem como na Arquitetura e nas Artes plásticas, por exemplo. Nessas aplicações práticas, a escolha dos materiais utilizados é fundamental. A resistência dos materiais é uma parte da Estática que estuda a capacidade de os materiais resistirem a esforços ou cargas a eles aplicados. Desde a Antiguidade, sempre houve a necessidade de conhecer as propriedades dos materiais utilizados nas construções e desenvolver técnicas para aperfeiçoá-los, adaptá-los e dimensioná-los adequadamente. Neste capítulo, veremos algumas noções sobre esforços aplicados a corpos em equilíbrio.

Nosso estudo está dividido em três partes: estática do ponto material, estática dos corpos extensos e máquinas simples.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

1. Ponto material (ou partícula) e corpo extenso

Um navio, deslocando-se em mar aberto, é observado na tela de um radar como um ponto, isto é, suas dimensões não são relevantes para determinarmos sua posição pela sua latitude e sua longitude. Nesta situação, dizemos que o navio é considerado um **ponto material** ou uma **partícula**. Entretanto, se estamos monitorando suas manobras de atracação no cais de um porto, seu comprimento, sua largura e seu calado (distância vertical entre a base do casco e a linha de flutuação) passam a ter importância para que o procedimento seja seguro. Neste caso, dizemos que o navio é um **corpo extenso**.

SANTIAGO URQUIJO/GETTY IMAGES

ADVTP/SHUTTERSTOCK

Figura 1. (A) Navio em alto mar: suas dimensões são desprezíveis comparadas à vastidão do oceano – ponto material (Mar Mediterrâneo, Catalunha, Espanha, 2020). (B) Navio se deslocando no canal do porto de Santos para realizar atracação no cais: suas dimensões não são desprezíveis comparadas à largura do canal – corpo extenso (canal do porto de Santos, SP, 2018).

Portanto, se as dimensões do corpo não são relevantes para o fenômeno estudado, dizemos que o corpo é um ponto material. Se as dimensões do corpo importam no estudo em questão, dizemos que o corpo é extenso. A Terra, em seu movimento orbital ao redor do Sol, pode ser considerada um ponto material. Entretanto, no movimento de rotação em torno do seu eixo, ela é considerada um corpo extenso.

Assim, qualquer corpo pode ser considerado como ponto material ou como corpo extenso, dependendo do contexto.

2. Equilíbrio de um ponto material

Em um ponto material, todas as forças atuantes estão aplicadas em um mesmo ponto, o próprio corpo. De acordo com a primeira lei de Newton, para que um ponto material esteja em equilíbrio é necessário e suficiente que a resultante das forças aplicadas sobre ele seja nula. Assim, se $\vec{F}_1$, $\vec{F}_2$, $\vec{F}_3$, ..., $\vec{F}_n$ são as forças que atuam em um ponto material em equilíbrio, devemos ter:

$$\vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \vec{F}_3 + \ldots + \vec{F}_n = \vec{0}$$

Para efetuarmos essa adição de forças, usamos as propriedades da adição de vetores.

NELSON MATSUDA/ARQUIVO DA EDITORA

Figura 2. (A) $\vec{S}$ é vetor soma (ou resultante) da adição $\vec{A} + \vec{B} + \vec{C}$; (B) o vetor resultante da adição $\vec{M} + \vec{N} + \vec{P} + \vec{Q}$ é o vetor que "liga" a origem de $\vec{M}$ à extremidade de $\vec{Q}$, sendo, portanto, um vetor nulo $(\vec{0})$.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Vamos analisar o exemplo a seguir que trata do equilíbrio de forças em um ponto.

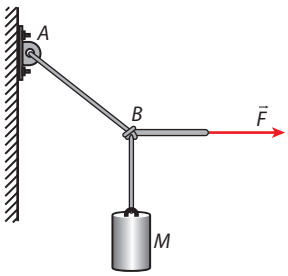
Exercício resolvido

O corpo *M* representado na figura pesa 80 N e é mantido em equilíbrio por meio da corda *AB* e pela ação da força horizontal $\vec{F}$ de módulo 60 N.

Considerando $g = 10\ m/s^2$, a intensidade da tração na corda *AB*, suposta ideal, em newtons, é igual a:

a. 60. **c.** 100. **e.** 200.

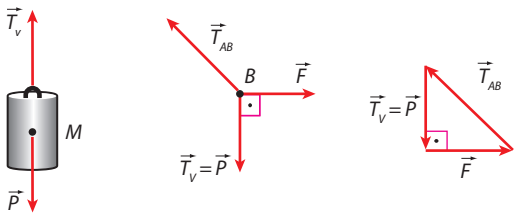
b. 80. **d.** 140.



NELSON MATSUDA/ARQUIVO DA EDITORA

Resolução

Sobre o corpo *M* atuam duas forças: seu peso ($\vec{P}$) e a tração ($\vec{T}_V$) na corda vertical. Como esse corpo está em equilíbrio, temos $T_V = P = 80$ N. No ponto *B* atuam três forças: a tração na corda *AB* ($\vec{T}_{AB}$), a força horizontal $\vec{F}$ e a tração $\vec{T}_V$. Como o sistema está em equilíbrio, essas três forças têm resultante nula. Ligando-as pelo método da linha poligonal teremos um triângulo retângulo, uma vez que *F* e T_V são perpendiculares entre si:



NELSON MATSUDA/ARQUIVO DA EDITORA

Aplicando o teorema de Pitágoras aos módulos das forças no triângulo retângulo, obtemos:

$$T_{AB}^2 = T_V^2 + F^2 \Rightarrow T_{AB}^2 = 80^2 + 60^2 \therefore T_{AB} = 100\ N$$

Veja comentários sobre essa atividade no Suplemento para o professor.

Em destaque

ODS 6 MEIO AMBIENTE

Equilibrando a lata na cabeça

Letra da música "A força que nunca seca", de Chico César.

Já se pode ver ao longe
A senhora com a lata na cabeça
Equilibrando a lata vesga
Mais do que o corpo dita
Que faz o equilíbrio cego
A lata não mostra
O corpo que entorta

Pra lata ficar reta
Pra cada braço uma força
De força não geme uma nota
A lata só cerca, não leva
A água na estrada morta
E a força que nunca seca
Pra água que é tão pouca

Fonte: A FORÇA que nunca seca. Intérprete e compositor: Chico César. *In*: MAMA Mundi. Intérprete: Chico César. Rio de Janeiro: MZA Music, 1998. 1 CD, faixa 5.

A letra da música se refere a uma região com escassez de água, onde as pessoas precisam se deslocar para buscá-la. Nessa atividade, vamos interpretar e refletir sobre o cenário da senhora que não só equilibra a lata, mas também situações adversas para lidar com a falta de água.

1. Considerando que a linguagem da composição é metafórica, o que você acha que significa o "equilíbrio cego"?

2. De qual região brasileira poderia ser "a senhora com a lata na cabeça"?

3. Nesse contexto, a lata é um ponto material ou um corpo extenso? Por quê?

O Brasil é um dos países com maior abundância de água do mundo. As águas superficiais e subterrâneas somadas correspondem a cerca de 40% da água doce disponível na Terra. Isso se deve a um conjunto singular de fatores geográficos que garantem ao território brasileiro a ocorrência de grandes volumes de chuva, graças à ação de massas de ar equatoriais e tropicais.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

CONTINUA

CONTINUAÇÃO

Apesar disso, algumas regiões do Brasil são afetadas por uma escassez crônica de água, que decorre da falta de equilíbrio entre a oferta e a demanda desse recurso nessas regiões. Observando essa situação, a Agência Nacional de Águas (ANA) elaborou e calculou o Índice de Segurança Hídrica (ISH) para 2017 e uma previsão para 2035. Esse índice indica o balanço entre a disponibilidade de água e a demanda de consumo, considerando o perfil da população e das atividades econômicas desenvolvidas.

No Brasil, as áreas mais afetadas pela insegurança hídrica são o semiárido nordestino, incluindo o interior dos estados do Ceará, Rio Grande do Norte, Paraíba, Pernambuco, Alagoas e Sergipe; e, na Bahia, a região de fruticultura irrigada no vale do Rio São Francisco. Outros locais com baixa segurança hídrica são as regiões metropolitanas do Sudeste, devido ao fato de serem muito populosas, e o pampa gaúcho, devido ao uso intensivo de água na produção agrícola.

4. Pesquise qual é a cidade natal do compositor Chico César e identifique no texto se é uma região de baixo índice de segurança hídrica.

5. Em grupo, discutam como vocês acham que a falta de água potável pode influenciar a vida de uma população em relação à mortalidade infantil, à redução da expectativa de vida, ao desenvolvimento econômico e à oferta de serviços de saúde e educação.

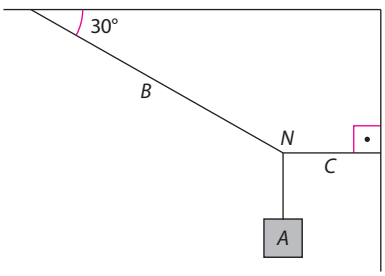
Veja respostas e comentários no Suplemento para o professor.

Aplicando conhecimentos

Registre as respostas em seu caderno.

1. **(IFSUL)** Uma caixa *A*, de peso igual a 300 N, é suspensa por duas cordas *B* e *C* conforme a figura a seguir.
(Dado: sen 30° = 0,5)

1. d

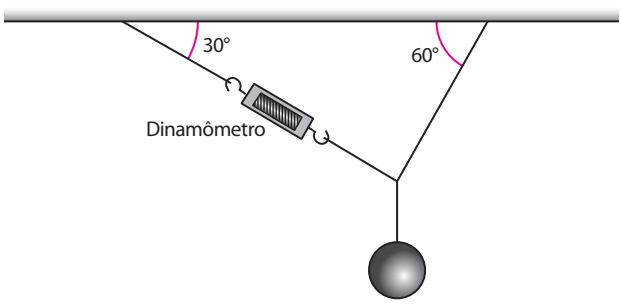


NELSON MATSUDA/ARQUIVO DA EDITORA

A tração na corda *B* é igual a:

a. 150,0 N.
b. 260,0 N.
c. 350,0 N.
d. 600,0 N.

2. Um professor de Física pendurou uma pequena esfera no teto da sala de aula, conforme se vê na figura.



NELSON MATSUDA/ARQUIVO DA EDITORA

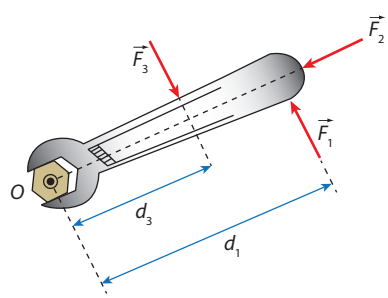
Em um dos cabos que sustentava a esfera ele inseriu um dinamômetro e verificou que, com o sistema em equilíbrio, ele indicava 5,0 N. Determine, em newtons, o módulo do peso da esfera.

3. Momento polar ou torque de uma força

Uma força atuando sobre um ponto material pode apenas deslocá-lo de sua posição original, isto é, a força pode gerar somente um movimento de translação. Entretanto, dependendo do seu ponto de aplicação, uma força atuando sobre um corpo extenso pode provocar movimento de rotação. Neste caso, dizemos que a força exerce momento ou torque sobre esse corpo. Se a ação da força não tende a fazer o corpo girar em torno de um ponto, dizemos que seu momento (ou torque) é nulo em relação a esse ponto.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

A Figura 3 mostra três forças de mesma intensidade aplicadas ao cabo de uma ferramenta. Se a força $\vec{F}_1$ atuasse isoladamente, ela faria o cabo girar, em torno do ponto *O*, no sentido anti-horário. Se a força $\vec{F}_3$ atuasse isoladamente, ela faria o cabo girar, em torno do ponto *O*, no sentido horário. Se a força $\vec{F}_2$ atuasse isoladamente, ela não faria o cabo girar em torno do ponto *O*. Dizemos, então, que as forças $\vec{F}_1$ e $\vec{F}_3$ exercem momento (ou torque) em relação ao ponto *O* e que o momento da força $\vec{F}_2$ em relação ao ponto *O* é nulo. As distâncias d_1 e d_3, medidas perpendicularmente às linhas de ação das forças $\vec{F}_1$ e $\vec{F}_3$, são denominadas **braços** de $\vec{F}_1$ e $\vec{F}_3$, respectivamente. O braço da força $\vec{F}_2$ é nulo, já que o ponto *O* está sobre a linha de ação dessa força.



NELSON MATSUDA/ARQUIVO DA EDITORA

Figura 3. As forças $\vec{F}_1$ e $\vec{F}_3$ produzem um torque em relação ao ponto *O*; já a força $\vec{F}_2$ não produz torque em relação ao ponto *O*.

Empiricamente, é possível concluir que a força $\vec{F}_1$ tende a girar o cabo da ferramenta mais facilmente que a força $\vec{F}_3$. Dizemos que o torque da força $\vec{F}_1$ é maior que o torque da força $\vec{F}_3$, embora as forças tenham mesma intensidade. Isso se deve ao fato de o braço de $\vec{F}_1$ ser maior que o de $\vec{F}_3$ ($d_1 > d_3$). Portanto, para forças de mesma intensidade, quanto maior for o braço da força, maior será seu torque. Neste caso, na ação conjunta das três forças há uma tendência de rotação do cabo da ferramenta no sentido anti-horário, uma vez que o momento de $\vec{F}_1$ é maior que o de $\vec{F}_3$, e o momento de $\vec{F}_2$ é nulo.

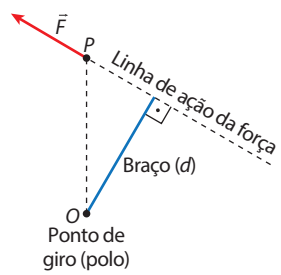
O valor do momento *M* de uma força é o produto da intensidade da força pela medida do seu braço de força. O ponto em relação ao qual se calcula o momento de uma força é denominado **polo**, por esse motivo o momento de uma força também é chamado de **momento polar**. Já o braço da força (*d*) é a distância entre o polo e a linha de ação da força (Fig. 4).

Assim, algebricamente, o valor do momento é definido por:

$$M_{\vec{F}}^{(O)} = \pm F \cdot d$$

Essa notação lê-se: momento da força $\vec{F}$ relativo ao polo *O*. Por esse motivo, o produto $F \cdot d$ é denominado momento polar de $\vec{F}$.

No cálculo do momento polar de uma força, adota-se um dos sentidos de rotação, horário ou anti-horário, como positivo e outro negativo, mesmo que não haja rotação.



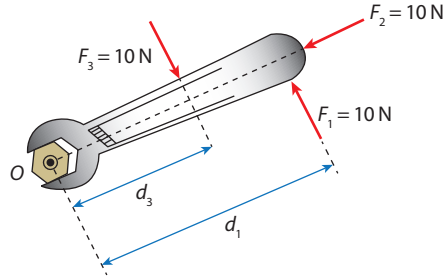
NELSON MATSUDA/ARQUIVO DA EDITORA

Figura 4. O ponto *O* é o ponto de giro, também chamado polo, e a distância perpendicular do polo à linha de ação da força é denominada braço da força.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Exercício resolvido

Na situação da figura a seguir, determine o momento resultante da ação das três forças aplicadas ao cabo da ferramenta, supondo $d_1 = 20$ cm e $d_3 = 10$ cm, em relação ao polo *O*. Adote positivo o sentido anti-horário.



NELSON MATSUDA/ARQUIVO DA EDITORA

Resolução:

Adotando positivo o sentido anti-horário e aplicando a definição do momento polar para cada uma das forças, temos:

$M_{\vec{F}_1}^{(O)} = F_1 \cdot d_1 = 10\ \text{N} \cdot 0{,}20\ \text{m} = 2\ \text{N} \cdot \text{m}$, no sentido anti-horário; portanto, $M_{\vec{F}_1}^{(O)} = +2\ \text{N} \cdot \text{m}$.

$M_{\vec{F}_2}^{(O)} = F_2 \cdot d_2 = 10\ \text{N} \cdot 0\ \text{m} = 0\ \text{N} \cdot \text{m}$ (a linha de ação de F_2 passa pelo polo *O*).

$M_{\vec{F}_3}^{(O)} = F_3 \cdot d_3 = 10\ \text{N} \cdot 0{,}10\ \text{m} = 1\ \text{N} \cdot \text{m}$, no sentido horário; portanto, $M_{\vec{F}_3}^{(O)} = -1\ \text{N} \cdot \text{m}$.

O momento resultante, em relação ao polo *O*, é a soma dos momentos das três forças em relação a esse ponto:

$$M_{\text{resultante}}^{(O)} = M_{\vec{F}_1}^{(O)} + M_{\vec{F}_2}^{(O)} + M_{\vec{F}_3}^{(O)} = +2\ \text{N} \cdot \text{m} + 0 - 1\ \text{N} \cdot \text{m} = +1\ \text{N} \cdot \text{m}$$

Como o resultado é positivo, concluímos que a tendência de rotação é no sentido anti-horário.

Veja comentários sobre essa atividade no Suplemento para o professor.

Em destaque CIDADANIA E CIVISMO ODS 5 ODS 16

Violência contra a mulher e defesa pessoal

GIORGIOMAGINI/SHUTTERSTOCK

Os benefícios das artes marciais vão além do combate físico.

Quando se fala em artes marciais e defesa pessoal, logo vem à mente técnicas de combate que podem ser usadas para se defender em situações de perigo iminente. Entretanto, os benefícios vão além: aumento da autoconfiança e do autocontrole, na melhora do cárdio, dos reflexos e da flexibilidade.

Por esses motivos, a defesa pessoal pode ser considerada uma grande aliada no combate à violência contra a mulher. Isso porque a experiência no tatame dá o poder da autoconfiança. Com a autoestima elevada, ela consegue, muitas vezes, intimidar e, assim, impedir que o agressor pratique os atos. Claro que, em casos extremos, o conhecimento prático de técnicas marciais dá à vítima a chance de se defender.

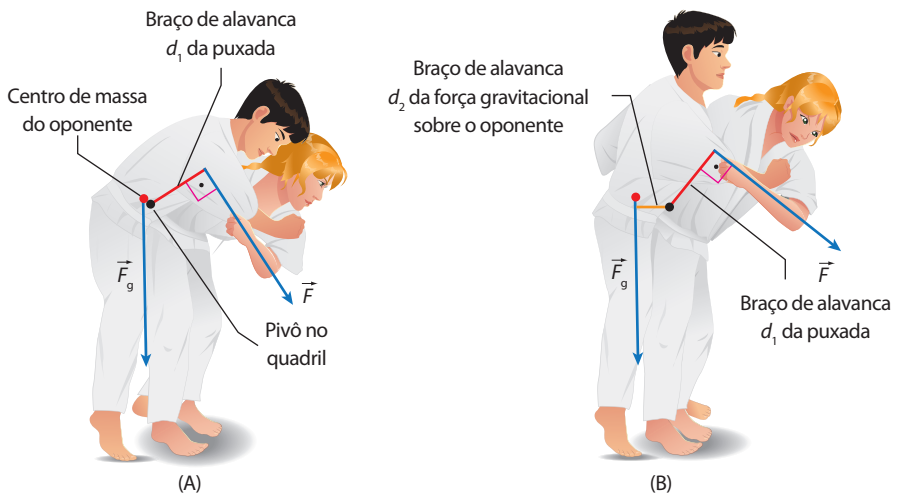
Referência no combate à violência contra a mulher, a juíza aposentada Maria Consentino, que por anos foi titular no Juizado da Violência Doméstica e Familiar de Belo Horizonte, embora não seja uma especialista em artes marciais, identifica nas modalidades de combate pontos cruciais que podem ajudar a prevenir os casos.

[...]

"Abusadores estão por aí aos montes. O importante é a mulher estar fortalecida, segura de si e com os alarmes acionados. E, ratifico: Toda campanha que fortaleça a autoestima, individualidade e a conexão da mulher com seu 'eu' é bem-vinda. Pensem em quantos números de casos de violência a gente pode diminuir", sugere.

Fonte: REFERÊNCIA no combate à violência contra a mulher, Maria Consentino explica como as artes marciais podem ser úteis na prevenção. **Lance!**, Rio de Janeiro, 24 abr. 2022. Disponível em: https://www.lance.com.br/lutas/referencia-no-combate-a-violencia-contra-a-mulher-maria-consentino-explica-como-as-artes-marciais-podem-ser-uteis-na-prevencao-de-casos.html. Acesso em: 21 ago. 2024.

O judô é um exemplo de arte marcial que tem suas raízes no Japão e foi desenvolvido com base na eficiência e no uso inteligente da força. Fundamental para a prática do judô é a noção de equilíbrio físico, que desempenha um papel crucial tanto na defesa quanto no ataque. No contexto do judô, a aplicação eficiente de técnicas de arremesso frequentemente envolve a compreensão dos princípios de momento de uma força.



ILUSTRAÇÕES: NELSON MATSUDA/ARQUIVO DA EDITORA

Na figura A temos o uso correto da técnica de arremesso, já a figura B não mostra a técnica mais eficiente. Com base no que você aprendeu, explique o motivo de a técnica da figura A ser a mais eficiente.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

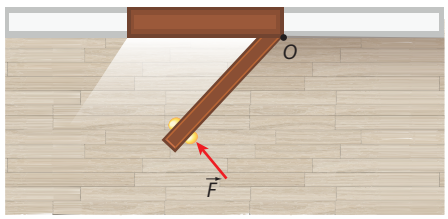
Veja respostas e comentários no Suplemento para o professor.

Aplicando conhecimentos

Registre as respostas em seu caderno.

3. Suponha que, para fechar uma porta de 80 cm de largura, uma pessoa aplique a ela uma força de 3,0 N, perpendicular ao plano dessa porta, como mostra a figura de uma porta em vista superior.

3. b

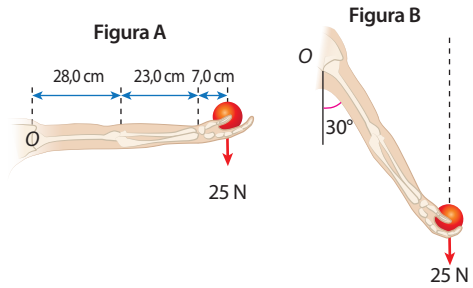


ADILSON SECCO/ARQUIVO DA EDITORA

Determine o momento dessa força em relação ao eixo *O*. Considere o sentido anti-horário como positivo.

a. $M = -3{,}75\ \text{N} \cdot \text{m}$
b. $M = -2{,}40\ \text{N} \cdot \text{m}$
c. $M = -0{,}27\ \text{N} \cdot \text{m}$
d. $M = +3{,}75\ \text{N} \cdot \text{m}$
e. $M = +2{,}40\ \text{N} \cdot \text{m}$

4. As figuras A e B indicam duas posições de um braço humano que tem na mão uma esfera *E* de 25 N. As distâncias entre as articulações estão indicadas na Figura A.



NELSON MATSUDA/ARQUIVO DA EDITORA

a. Calcule o momento da força de 25 N em relação ao polo *O*, na Figura A.
b. Calcule o momento da força de 25 N em relação ao polo *O*, na Figura B.

4. Equilíbrio de um corpo extenso

Um corpo extenso tanto pode se deslocar (movimento de translação), como pode girar (movimento de rotação). Para que o corpo extenso esteja em equilíbrio estático são necessárias duas condições:

1ª: A resultante das forças que agem no corpo deve ser nula:

$$\sum \vec{F} = \vec{0} \quad \text{(equilíbrio de translação)}$$

2ª: O momento resultante que age no corpo, em relação a qualquer polo *O*, deve ser nulo:

$$\sum M_O = 0 \quad \text{(equilíbrio de rotação)}$$

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

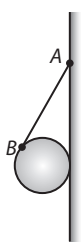
Veja respostas e comentários no Suplemento para o professor.

Aplicando conhecimentos

Registre as respostas em seu caderno.

5. Uma esfera está em equilíbrio estático sob a ação de três forças: seu peso ($\vec{P}$), a força de tração ($\vec{T}$) no cabo *AB* e a força de reação ($\vec{R}$) da parede vertical sobre ela.

Nessa situação, o cabo *AB* é tangente à superfície da esfera no ponto *B*. Pede-se para:



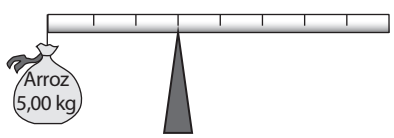
NELSON MATSUDA/ARQUIVO DA EDITORA

a. representar as forças que atuam na esfera, nas condições dadas;
b. refazer o item anterior supondo que a parede seja "perfeitamente lisa".

6. (Enem) Em um experimento, um professor levou para a sala de aula um saco de arroz, um pedaço de madeira triangular, e uma barra de ferro cilíndrica e homogênea.

6. e

Ele propôs que fizessem a medição da massa da barra utilizando esses objetos. Para isso, os alunos fizeram marcações na barra, dividindo-a em oito partes iguais, e em seguida apoiaram-na sobre a base triangular, com o saco de arroz pendurado em uma de suas extremidades, até atingir a situação de equilíbrio.



NELSON MATSUDA/ ARQUIVO DA EDITORA

Nessa situação, qual foi a massa da barra obtida pelos alunos?

a. 3,00 kg.
b. 3,75 kg.
c. 5,00 kg.
d. 6,00 kg.
e. 15,00 kg.

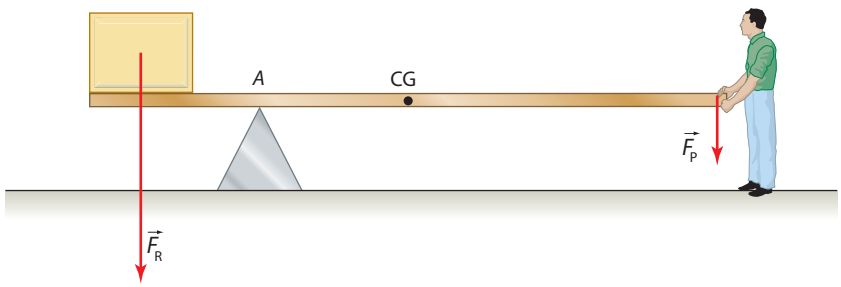
5. Máquinas simples

OBJETO DIGITAL Carrossel de imagens: Máquinas simples no cotidiano

As máquinas simples são dispositivos mecânicos que permitem multiplicar a intensidade de uma força a ela aplicada para facilitar a realização de uma tarefa. Isso significa que, com a aplicação de uma força menos intensa, pode-se equilibrar uma força mais intensa e também aplicar forças em direções e sentidos convenientes. Elas são chamadas de máquinas simples porque são constituídas por uma única peça. Alavancas, polias ou roldanas (fixas e móveis) e planos inclinados são exemplos de máquinas simples.

Alavancas

A alavanca é um sistema geralmente constituído por uma barra rígida apoiada em um ponto *A* sobre um suporte fixo. O ponto de apoio *A* é denominado **fulcro** (Fig. 5).



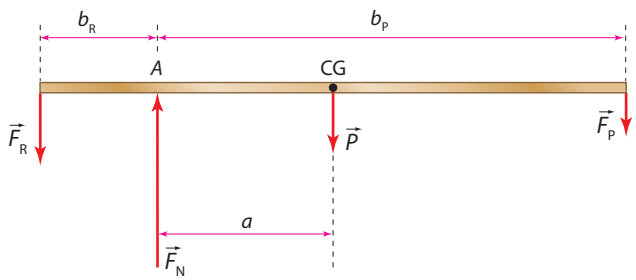
NELSON MATSUDA/ARQUIVO DA EDITORA

Figura 5. A força potente $\vec{F}_P$ tem, nessa alavanca, uma intensidade menor que a da força resistente $\vec{F}_R$.

Vamos analisar um caso genérico, no qual o fulcro *A* não coincide com o centro de gravidade CG da barra. O centro de gravidade CG de um corpo é o ponto de aplicação do peso do corpo. Para os corpos homogêneos que apresentam simetria, o centro de gravidade coincide com o centro geométrico. O peso da carga é a força a ser vencida, denominada força resistente ($\vec{F}_R$). A força aplicada na outra extremidade, que ergue a carga, é a força potente ($\vec{F}_P$). Vamos representar as forças que agem em uma alavanca (Fig. 6). $\vec{F}_R$ é a força resistente, $\vec{F}_P$ é a força potente, $\vec{P}$ é o peso da alavanca, aplicado no centro de gravidade (CG), e $\vec{F}_N$ é a força que o apoio exerce na alavanca. A distância b_P entre o ponto de apoio *A* e a linha de ação da força potente $\vec{F}_P$ chama-se **braço da força potente** (b_P), e a distância b_R entre o ponto de apoio *A* e a linha de ação da força resistente $\vec{F}_R$ é o **braço da força resistente** (b_R).

Informe aos alunos que uma barra é considerada homogênea quando constituída por apenas um material, e uniforme quando sua seção transversal é constante ao longo de todo o seu comprimento. Nessas condições, o centro de massa da barra coincide com o ponto médio do seu comprimento.

Vamos indicar a distância entre o ponto de apoio *A* e a linha de ação do peso *P* da alavanca por *a*.



NELSON MATSUDA/ARQUIVO DA EDITORA

Figura 6. Forças que agem em uma alavanca em equilíbrio.

O momento da força $\vec{F}_R$ em relação ao ponto *A* mede a tendência de a força gerar a rotação da alavanca em torno de *A* no sentido anti-horário. Os momentos de $\vec{P}$ e $\vec{F}_P$ são dados por $P \cdot a$ e $F_P \cdot b_P$ e medem a tendência das forças $\vec{P}$ e $\vec{F}_P$ de produzirem rotação da alavanca em torno de *A* no sentido horário.

Duas condições devem ser impostas para o equilíbrio de uma alavanca: **equilíbrio de rotação** e **equilíbrio de translação**.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Equilíbrio de translação

A resultante das forças que agem na alavanca deve ser nula. Em módulo, temos:

$$F_N = F_R + F_P + P$$

Para entender melhor essas condições, considere o exemplo seguinte.

Equilíbrio de rotação

O torque (ou momento) das forças que tendem a girar a alavanca no sentido horário, em torno do ponto de apoio *A*, deve anular o torque das forças que tendem a girar a alavanca no sentido anti-horário. Em módulo, temos:

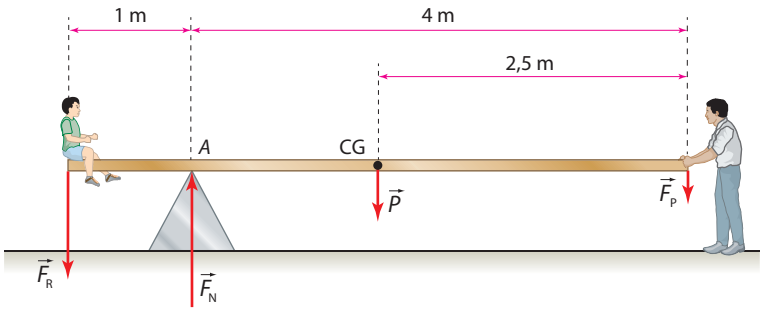
$$F_P \cdot b_P + P \cdot a = F_R \cdot b_R$$

Observe que o torque de $\vec{F}_N$, em relação ao ponto de apoio *A*, é nulo.

Exercício resolvido

ESTRATÉGIA DE ESTUDO

Na alavanca mostrada no esquema a seguir (gangorra), o peso do menino, que é a força resistente, tem intensidade 500 N. Sabendo que a alavanca está em equilíbrio na posição horizontal, determine as intensidades da força potente que age na alavanca. Considere a alavanca como uma barra homogênea, de seção uniforme e peso 200 N.



ADILSON SECCO/ARQUIVO DA EDITORA

Identificar

Trata-se de um problema que envolve equilíbrio de um corpo extenso e, portanto, a resultante das forças que agem na alavanca deve ser nula, bem como a soma dos momentos de todas as forças em relação a qualquer ponto também deve se anular. Ao escolhermos o ponto *A* (o ponto de apoio da gangorra) como polo, facilitamos a análise do problema, pois o momento da força que age exatamente nesse ponto é nulo ($d = 0$); assim, não precisamos determinar a intensidade da força exercida pelo apoio sobre a gangorra nesse ponto.

Preparar

Os braços das forças potente e resistente valem $b_P = 4$ m e $b_R = 1$ m. Do esquema, concluímos que a distância a entre *A* e CG é $a = 1{,}5$ m. Escolhendo o ponto de apoio da gangorra (ponto *A*) como polo e impondo a condição de equilíbrio de rotação, obtemos:

$F_P \cdot b_P + P \cdot a = F_R \cdot b_R$

Executar

Substituindo os valores fornecidos, temos:

$F_P \cdot 4 + 200 \cdot 1{,}5 = 500 \cdot 1\ 4 \cdot FP + 300 = 500 \Rightarrow 4 \cdot F_P = 200 \therefore F_P = 50$ N

Avaliar

Esse exemplo nos mostra como a aplicação de uma força potente de intensidade 50 N foi suficiente para equilibrar a alavanca, submetida à ação de uma força resistente de intensidade 500 N, dez vezes mais intensa do que a força potente. Essa é uma das finalidades das máquinas simples: reduzir a intensidade da força necessária para estabelecer um equilíbrio. Agora, impondo o equilíbrio de translação, podemos determinar a intensidade da força que o apoio exerce na alavanca:

$F_N = F_R + F_P + P \Rightarrow F_N = 500 + 50 + 200 \therefore F_N = 750$ N

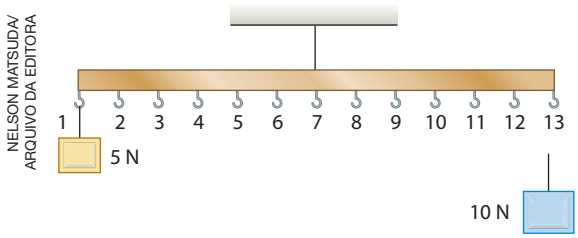
Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Veja respostas e comentários no Suplemento para o professor.

Aplicando conhecimentos

Registre as respostas em seu caderno.

7. Em qual dos ganchos numerados de 1 a 13 você penduraria a caixa de peso 10 N para que a alavanca homogênea e uniforme fique em equilíbrio na posição horizontal? Se o peso da alavanca é igual a 6 N, qual é a intensidade da força de tração no fio que sustenta a alavanca?



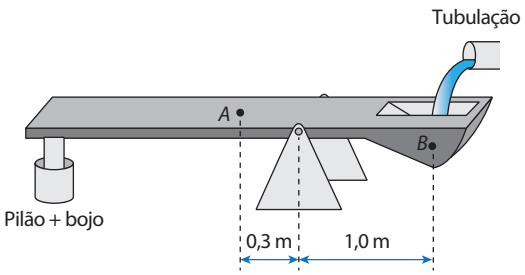
NELSON MATSUDA/ ARQUIVO DA EDITORA

8. O monjolo é uma máquina rudimentar movida pela ação da água e que ainda é utilizada em pequenas propriedades rurais para moer grãos de milho, café, amendoim etc.

8. d

DANIEL CYMBALISTA/PULSAR IMAGENS

Esculpido a partir de um tronco de árvore, o monjolo tem em uma de suas extremidades um triturador (ou pilão) e, na outra extremidade, uma cavidade que recebe água de alguma fonte, conduzida por uma tubulação. Conforme a cavidade se enche com água, o engenho eleva o triturador até o ponto em que, devido à inclinação do conjunto, a água é derramada, permitindo que o pilão desça e macere os grãos dentro do recipiente (bojo).



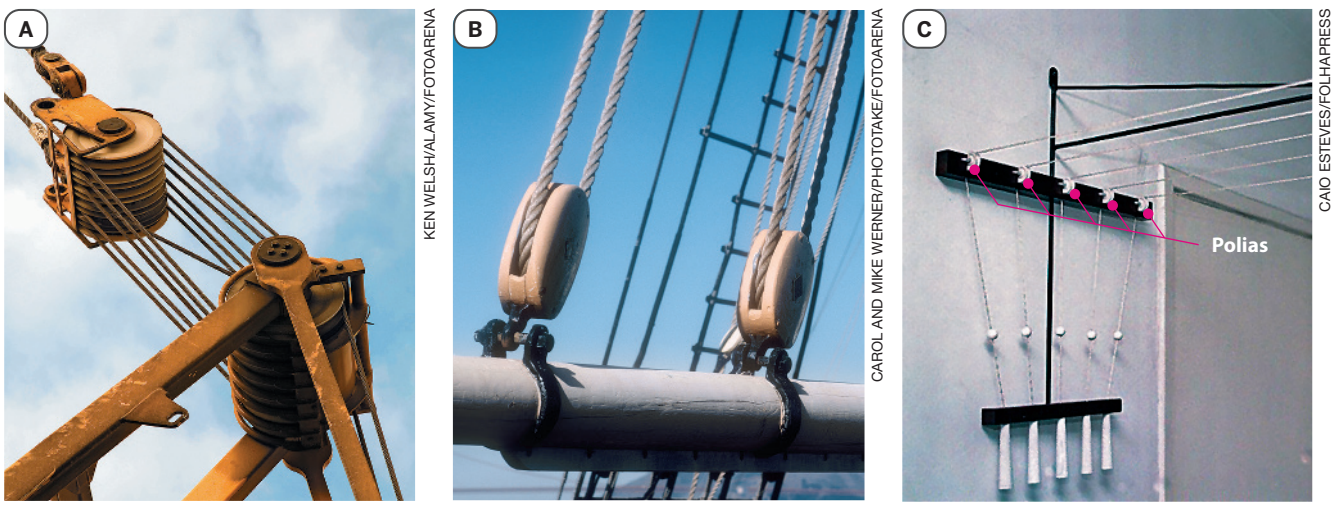
NELSON MATSUDA/ ARQUIVO DA EDITORA

No modelo de monjolo mostrado na figura, o centro de massa de um monjolo de 80 kg, sem água, encontra-se no ponto *A*, deslocado 0,3 m do eixo do mecanismo. O centro de massa da água armazenada na cavidade está localizado no ponto *B*, a 1,0 m do mesmo eixo. Considerando 1,0 kg a massa de 1,0 litro de água, o menor volume de água capaz de iniciar a inclinação do conjunto é, em litros, igual a:

a. 12.
b. 15.
c. 20.
d. 24.
e. 26.

Polias ou roldanas

As polias ou roldanas são utilizadas em muitas atividades do dia a dia. Por exemplo, nas construções de edifícios, elas ajudam a transportar tijolos, concreto e outros materiais para pisos superiores (Fig. 7A). Essas máquinas simples também são utilizadas no içamento das velas de veleiros (Fig. 7B) e em muitas residências, nas quais os varais de roupas são movimentados com o auxílio de polias (Fig. 7C).



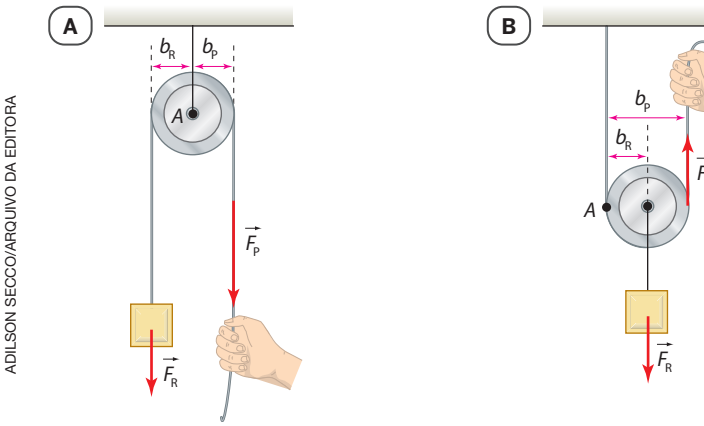
KEN WELSH/ALAMY/FOTOARENA
CAROL AND MIKE WERNER/PHOTOTAKE/FOTOARENA
CAIO ESTEVES/FOLHAPRESS

Figura 7. As polias são muito usadas em máquinas e equipamentos, como: (A) guindastes; (B) barcos a vela; e (C) varais de roupa.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

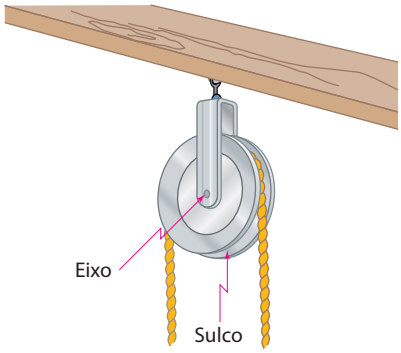
A polia é uma roda que pode girar em torno do eixo que passa por seu centro e possui um sulco no qual se adapta uma corda (Fig. 8).

As polias podem ter eixo fixo (polias fixas) ou ter eixo que se desloque (polias **móveis**). Vamos sempre considerar a polia ideal, isto é, sua massa é nula e não existe atrito entre a polia e seu eixo (Fig. 9).



ADILSON SECCO/ARQUIVO DA EDITORA

Figura 9. Representações de polias. (A) Polia fixa, que possui eixo fixo; (B) polia móvel, cujo eixo pode se deslocar.



ADILSON SECCO/ARQUIVO DA EDITORA

Figura 8. Vista em perspectiva, de uma polia.

Polia fixa

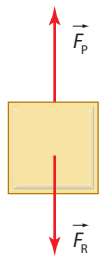
Considere uma polia fixa em equilíbrio. Vamos supor que o fio que a envolve seja ideal, isto é, perfeitamente flexível, inextensível e de massa nula. No fio ideal, a força de tração tem a mesma intensidade em todos os seus pontos. Assim, a carga fica sob a ação da força de intensidade F_R, que é seu peso, e da força de tração do fio, cuja intensidade é igual a F_P (Fig. 10).

Impondo o equilíbrio, obtemos: $F_P = F_R$, isto é, na polia fixa, a força potente tem sempre a mesma intensidade da força resistente.

A **vantagem mecânica** (**VM**) de uma máquina simples é o quociente entre as intensidades das forças resistente (F_R) e potente (F_P):

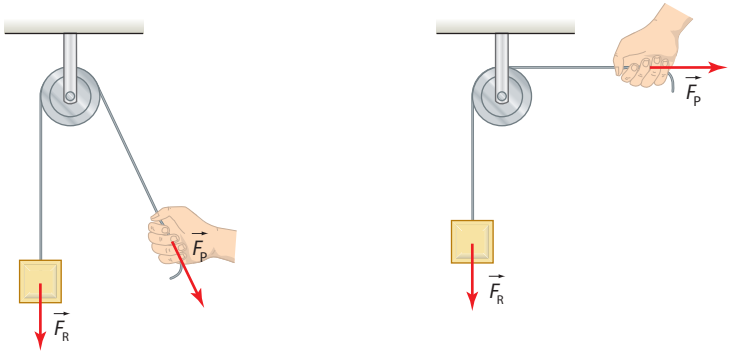
$$VM = \frac{F_R}{F_P}$$

A vantagem mecânica da polia fixa é igual a 1, pois $F_R = F_P$. Isso significa que o uso de uma polia fixa não reduz o valor da força potente. Portanto, a importância da polia fixa está no fato de ela permitir a aplicação de forças em direções e sentidos convenientes (Fig. 11).



ADILSON SECCO/ARQUIVO DA EDITORA

Figura 10. Representação das forças que atuam no bloco (**carga**) com base na figura 9A.



ADILSON SECCO/ARQUIVO DA EDITORA

Figura 11. Representações mostrando que a direção do fio ao qual se aplica a força potente $\vec{F}_P$ pode ser convenientemente alterada por meio de uma polia fixa.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Por exemplo, se quiser erguer uma carga até certa altura, você pode utilizar uma polia fixa. Ela permite aplicar uma força de cima para baixo (Fig. 12A), o que é mais fácil do que aplicar uma força de baixo para cima, sem a ajuda da polia (Fig. 12B).

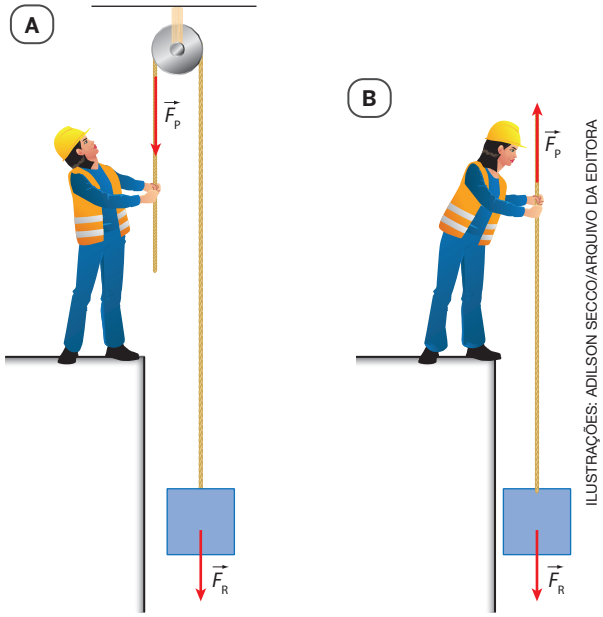


Figura 12. A polia fixa permite mudar a direção e/ou o sentido de aplicação de uma força: (A) de cima para baixo (mais fácil); (B) de baixo para cima (mais difícil).

Polia móvel

Considere uma polia móvel. Vamos admitir que ela e o fio que a envolve sejam ideais. Estando em equilíbrio, a intensidade da força potente é igual à metade da intensidade da força resistente, isto é:

$$F_P = \frac{F_R}{2}$$

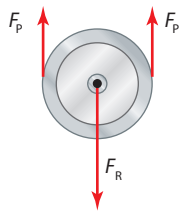


Figura 13. Representação das forças que atuam em uma polia móvel ($F_P + F_P = F_R$).

De fato, isolando a polia e impondo o equilíbrio (Fig. 13), temos:

$$F_P + F_P = F_R \Rightarrow 2 \cdot F_P = F_R \Rightarrow F_P = \frac{F_R}{2}$$

A vantagem mecânica de uma polia móvel é sempre igual a 2:

$$VM = \frac{F_R}{F_P} \Rightarrow VM = \frac{2 \cdot F_P}{F_P} \Rightarrow VM = 2$$

Portanto, a função da polia móvel é reduzir à metade a intensidade da força potente a ser utilizada para equilibrar a força resistente.

Veja respostas e comentários no Suplemento para o professor.

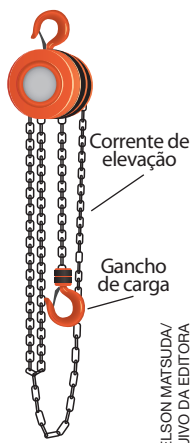
Aplicando conhecimentos

Registre as respostas em seu caderno.

9. 9. d Um cadernal, ou moitão, é uma talha exponencial cujas polias móveis estão montadas em um único eixo. Observe a figura. Um mecânico quer usar um cadernal para erguer lentamente um corpo de massa 640 kg, aplicando uma força de 200 N na corrente de elevação.

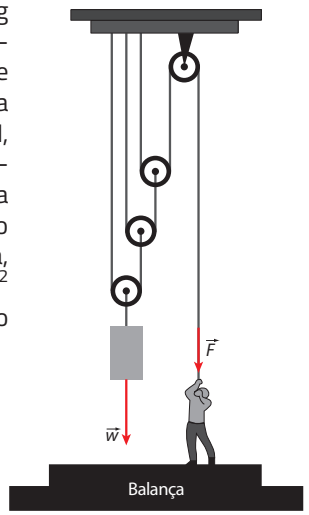
Considerando 10 m/s^2 o módulo da aceleração gravitacional local, o número mínimo de polias móveis que devem ser usadas nessa operação para que essa máquina consiga erguer o corpo é:

a. 2.
b. 3.
c. 4.
d. 5.
e. 7.



10. 10. c Uma pessoa de massa 100 kg aplica uma força de intensidade F na extremidade livre de uma corda que equilibra um corpo de peso $W = 800$ N, por meio de uma talha exponencial. Assim, a indicação da balança, sobre a qual estão apoiados os pés da pessoa, é de: (Adote $g = 10$ m/s^2 para o módulo da aceleração gravitacional).

a. 8,0 kg.
b. 40 kg.
c. 90 kg.
d. 100 kg.
e. 180 kg.



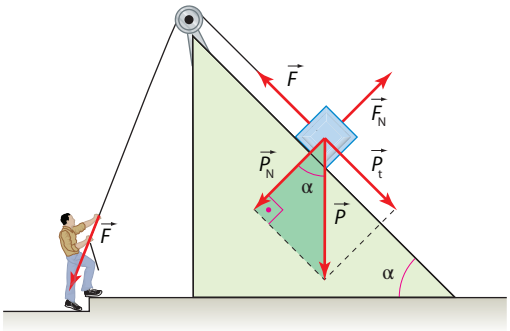
Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Plano inclinado

Pode parecer estranho, mas quando utilizamos uma rampa para sairmos de uma garagem no subsolo de um edifício e acessar o nível da rua estamos utilizando uma máquina simples denominada plano inclinado. Apoiando um bloco sobre um plano inclinado, "perfeitamente liso", a força que você deve aplicar para manter o bloco em equilíbrio terá intensidade F menor que a intensidade P do peso do bloco. Para simular um plano inclinado "perfeitamente liso", podemos colocar rodízios ou roletes na base do corpo que está em contato com a superfície do plano.

Decomponho a força peso $\vec{P}$ nas componentes normal $\vec{P}_N$ e tangencial $\vec{P}_t$ (Fig. 14), obtemos:

ADILSON SECCO/ARQUIVO DA EDITORA



$$\cos\alpha = \frac{P_N}{P} \Rightarrow P_N = P \cdot \cos\alpha$$

$$\text{sen}\,\alpha \Rightarrow \frac{P_t}{P} \Rightarrow P_t = P \cdot \text{sen}\,\alpha$$

Figura 14. Ao usar um plano inclinado, a intensidade da força necessária para manter o bloco em equilíbrio é menor que a intensidade do peso desse bloco.

Estando o bloco em equilíbrio, $\vec{P}_N$ equilibra a reação normal $\vec{F}_N$ e $\vec{F}$ equilibra $\vec{P}_t$. Em módulo, temos:

$$P_N = P \cdot \cos\alpha = F_N$$

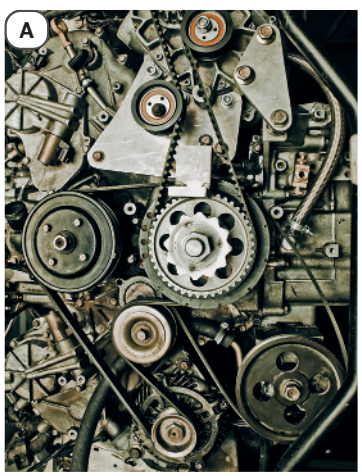
$$P_t = P \cdot \text{sen}\,\alpha = F$$

Como sen $\alpha < 1$, temos $F < P$, isto é, a intensidade da força potente $\vec{F}$ é menor do que a intensidade da força resistente $\vec{P}$.

6. Transmissão de movimentos circulares

O movimento de rotação de uma roda (roldana ou polia) pode ser transmitido para outra por dois modos básicos: por meio de uma correia que conecta as rodas entre si, ou por contato direto entre elas.

Para evitar escorregamentos, as rodas podem ser dentadas, e, nesse caso, são chamadas de engrenagens. Utilizando engrenagens, substitui-se a correia por uma corrente (Fig. 15).



KALABI YAU/SHUTTERSTOCK

CLAUDIO BERTOLONI/SHUTTERSTOCK

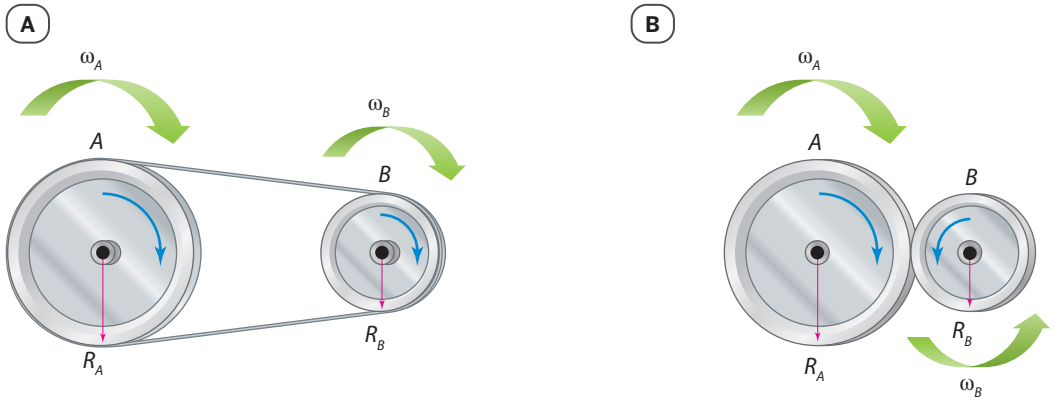
JACKIE BALE/GETTY IMAGES

Figura 15. (A) Transmissão de movimento circular por meio de correia (lisa ou dentada). (B) Transmissão de movimento circular por meio de corrente. (C) Transmissão de movimento circular pelo contato direto entre engrenagens.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Na teoria que vamos desenvolver a seguir chamaremos genericamente de roda qualquer polia, roldana ou engrenagem do sistema.

Considere que a roda (ou a engrenagem) *A* seja colocada em rotação por meio de um motor (Fig. 16A). Considere, ainda, ω_A sua velocidade angular e R_A seu raio. A roda (ou a engrenagem) *B*, de raio R_B, entra em movimento com velocidade angular ω_B. Note que o sentido de rotação de *B* é o mesmo de *A* (Fig. 16A) ou oposto ao de *A* (Fig. 16B).



ILUSTRAÇÕES: ADILSON SECCO/ ARQUIVO DA EDITORA

Figura 16. (A) As rodas *A* e *B* giram no mesmo sentido; (B) a roda *B* gira em sentido oposto ao da roda *A*.

Nas duas situações, a velocidade linear *v* é a mesma para todos os pontos periféricos, pois não há escorregamento. Assim, para a roda *A*, temos $v = \omega_A \cdot R_A$ e, para a roda *B*, temos $v = \omega_B \cdot R_B$. Igualando as velocidades lineares, chega-se a:

$$\omega_A \cdot R_A = \omega_B \cdot R_B \quad (1)$$

O intervalo de tempo que corresponde a uma volta completa de uma engrenagem recebe o nome de **período** e é indicado pela letra ***T***. A razão entre o número *n* de rotações que a engrenagem completa em um intervalo de tempo Δt recebe o nome de **frequência** e é indicada pela letra ***f***:

$$f = \frac{n}{\Delta t}$$

Se considerarmos apenas uma volta, teremos $n = 1$ e $\Delta t = T$. Assim,

$$f = \frac{1}{T} \text{ ou } T = \frac{1}{f}$$

Portanto, a frequência é o inverso do período e o período é o inverso da frequência.

Podemos também obter uma relação entre período *T*, frequência *f* e velocidade angular ω. Considere que, em um intervalo de tempo igual a um período ($\Delta t = T$), cada ponto da engrenagem descreve um ângulo de 2π rad ($\Delta\theta = 2\pi$ rad). Assim, a velocidade angular ω é dada por:

$$\omega = \frac{\Delta\theta}{\Delta t} = \frac{2\pi}{T} \text{ ou } \omega = 2 \cdot \pi \cdot \frac{1}{T} = 2 \cdot \pi \cdot f$$

Sendo f_A e f_B as frequências de rotação das rodas *A* e *B* e lembrando que $\omega_A = 2 \cdot \pi \cdot f_A$ e $\omega_B = 2 \cdot \pi \cdot f_B$, resulta da equação (1):

$$2 \cdot \pi \cdot f_A \cdot R_A = 2 \cdot \pi \cdot f_B \cdot R_B \Rightarrow f_A \cdot R_A = f_B \cdot R_B \quad (2)$$

Das equações (1) e (2), concluímos que a roda de menor raio terá maior velocidade angular e maior frequência. Em outras palavras, as velocidades angulares (ou as frequências) estão na razão inversa dos raios, o que equivale a dizer que estão na razão inversa dos números de dentes que cada engrenagem possui. Ou seja, em um mesmo intervalo de tempo, a engrenagem com menor número de dentes realiza um número maior de voltas do que a engrenagem com maior número de dentes.

Na caixa de transmissão de um automóvel, as engrenagens apresentam raios e números de dentes diferentes para que se possa alterar a velocidade de rotação do eixo mestre dessas engrenagens (vira-brequim), alterando, assim, a velocidade de rotação das rodas do veículo.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

As marchas da bicicleta

OBJETO DIGITAL Infográfico clicável: Sistema de transmissão das bicicletas

Ao efetuarmos uma mudança de marchas em uma bicicleta, estamos alterando a relação torque/velocidade. Considere o sistema de transmissão de uma bicicleta formado por 3 coroas e 6 catracas (Fig. 17). Portanto, essa bicicleta tem 18 marchas, pois cada uma das 3 coroas pode ser ligada a cada uma das 6 catracas (3 coroas × 6 catracas = 18 combinações).

ADILSON SECCO/ARQUIVO DA EDITORA

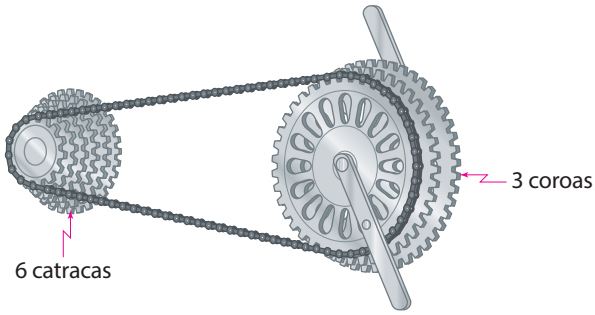


Figura 17. Representação do sistema de transmissão de uma bicicleta formado de 3 coroas e 6 catracas.

Quando a bicicleta está se deslocando em uma marcha de maior velocidade, a corrente está ligando a coroa de maior raio com a catraca de menor raio. De fato, sendo ω_A a velocidade angular da coroa e R_A o raio correspondente, ω_B a velocidade angular da catraca (que é igual à velocidade angular da roda traseira, pois estão no mesmo eixo) e R_B seu raio, tem-se $\omega_A \cdot R_A = \omega_B \cdot R_B$. Portanto:

$$\omega_B = \omega_A \cdot \frac{R_A}{R_B}$$

Observe que o maior valor de ω_B corresponde ao maior valor de R_A e ao menor valor de R_B. Logo, para que a bicicleta desenvolva sua maior velocidade possível, devemos engrenar a maior das coroas com a menor das catracas.

A velocidade angular da roda traseira ω_T é igual à velocidade angular da catraca:

$$\omega_T = \omega_{catraca}$$

Assim, a velocidade de deslocamento da bicicleta é dada por $v_{bicicleta} = \omega_T \cdot R_{roda\ traseira}$.

Em situações nas quais o torque deve ter grande intensidade, como na subida de uma rampa, deve-se engrenar a menor das coroas com a maior das catracas. Isso se justifica, porque a força transmitida pela corrente à catraca gera um torque que provoca a rotação da roda traseira da bicicleta.

Vejamos uma aplicação numérica dessa transmissão de movimentos circulares.

Exercício resolvido

Uma bicicleta com marchas está se deslocando na condição de máxima velocidade, isto é, o ciclista pedala utilizando a maior coroa e a menor catraca. A catraca menor tem diâmetro de 12 cm, a coroa maior tem diâmetro de 30 cm e a roda traseira tem diâmetro de 80 cm. Sabendo que o ciclista executa uma volta completa dos pedais a cada segundo, qual é a velocidade de deslocamento dessa bicicleta?

Resolução

A velocidade de deslocamento v_b da bicicleta é o produto da velocidade angular da roda traseira ω_T pelo raio R_T dessa roda. A velocidade angular da roda traseira é igual à velocidade angular da catraca menor. Da relação deduzida anteriormente, temos:

$$\omega_{catraca} = \frac{R_{coroa}}{R_{catraca}} \cdot \omega_{coroa} \Rightarrow \omega_{catraca} = \frac{R_{coroa}}{R_{catraca}} \cdot 2\pi \cdot f_{coroa} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \omega_{catraca} = \frac{15\ cm}{6{,}0\ cm} \cdot (2\pi \cdot 1)\ rad/s \Rightarrow \omega_{catraca} = 5\pi\ rad/s = \omega_T$$

Portanto, a velocidade de deslocamento da bicicleta será:

$v_b = \omega_T \cdot R_T \Rightarrow v_b = 5\pi\ rad/s \cdot 0{,}40\ m = 2\pi\ m/s \therefore v_b \simeq 6{,}28\ m/s \simeq 22{,}6\ km/h$

Considerando o sistema coroa-catraca como uma máquina simples, a sua vantagem mecânica (VM) será:

$$VM = \frac{\omega_T}{\omega_{coroa}} = \frac{5\pi\ rad/s}{2\pi\ rad/s} \Rightarrow VM = 2{,}5$$

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

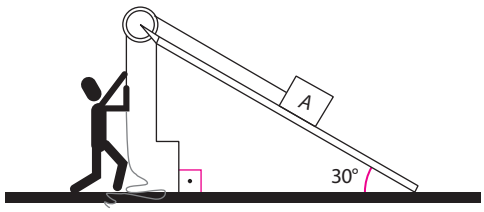
Veja respostas e comentários no Suplemento para o professor.

Aplicando conhecimentos

Registre as respostas em seu caderno.

11. Uma pessoa mantém em equilíbrio estático o bloco *A* sobre um plano inclinado de 30° com a horizontal, "perfeitamente liso", como se vê na figura a seguir.

11. d

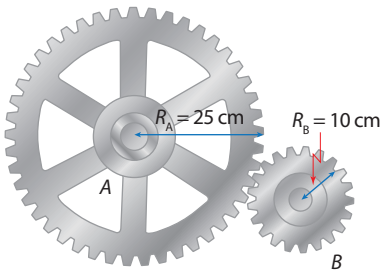


NELSON MATSUDA/ ARQUIVO DA EDITORA

Nessas condições, a vantagem mecânica desse sistema é igual a:

a. $\frac{\sqrt{3}}{2}$.
c. $\sqrt{3}$.
e. $2\sqrt{3}$.
b. 1.
d. 2.

12. Duas engrenagens, *A* e *B*, estão conectadas, como mostra o esquema a seguir.



NELSON MATSUDA/ARQUIVO DA EDITORA

Seus raios são $R_A = 25$ cm e $R_B = 10$ cm. A engrenagem *A* gira no sentido horário com velocidade angular de 12 rad/s. Determine o sentido de rotação e a velocidade angular da engrenagem *B*.

Veja respostas e comentários no Suplemento para o professor.

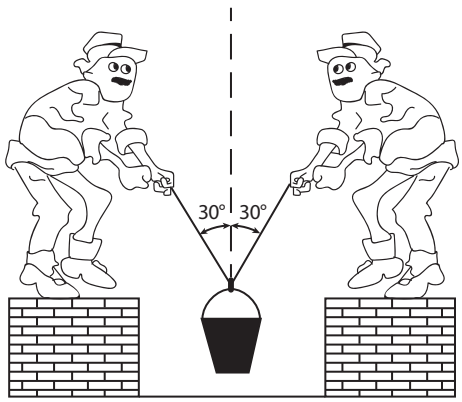
Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Atividades finais

Registre as respostas em seu caderno.

1. (PUC-RS) Dois operários suspendem um balde por meio de cordas, conforme mostra o esquema a seguir.

1. c



NELSON MATSUDA/ARQUIVO DA EDITORA

São dados: sen 30° = cos 60° = $\frac{1}{2}$ e

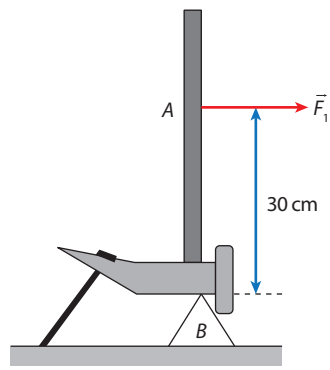
sen 60° = cos 30° = $\frac{\sqrt{3}}{2}$

Sabe-se que o balde, com seu conteúdo, tem peso 50 N, e que o ângulo formado entre as partes da corda no ponto de suspensão é 60°. A corda pode ser considerada como ideal (inextensível e de massa desprezível). Quando o balde está suspenso no ar, em equilíbrio, a força exercida por um operário, medida em newtons, vale:

a. 50.
c. $\frac{50}{\sqrt{3}}$.
e. 0.
b. 25.
d. $25\sqrt{2}$.

2. Há mais de 2.000 anos, na Grécia, Arquiimedes formulou o princípio de transmissão de forças por meio de alavancas. Levando em consideração esse princípio, uma pessoa pode extrair o prego da tábua aplicando perpendicularmente ao cabo do martelo a força $\vec{F}_1$, de intensidade 120 N, como mostra a figura a seguir.

2. c



NELSON MATSUDA/ARQUIVO DA EDITORA

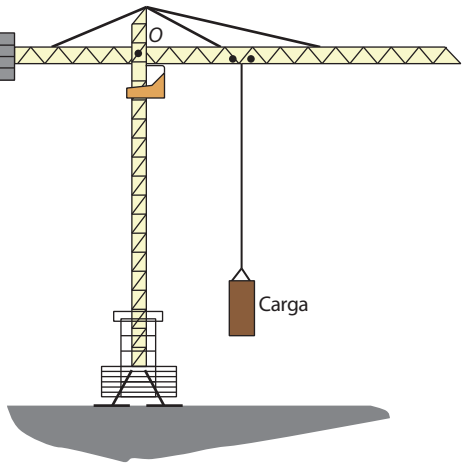
Se ela quiser realizar a mesma tarefa, aplicando perpendicularmente ao cabo do martelo uma força $\vec{F}_2$ de intensidade 80 N, ela deverá ser aplicada:

a. 10 cm acima de $\vec{F}_1$ e no mesmo sentido de $\vec{F}_1$.
b. 10 cm acima de $\vec{F}_1$, mas no sentido oposto ao de $\vec{F}_1$.
c. 15 cm acima de $\vec{F}_1$ e no mesmo sentido de $\vec{F}_1$.
d. 15 cm abaixo de $\vec{F}_1$ e no mesmo sentido sentido de $\vec{F}_1$.

CONTINUA

CONTINUAÇÃO

3. 3. d A figura mostra um guindaste fixo, também chamado de grua, que é um equipamento destinado à elevação e movimentação de cargas pesadas, muito utilizado na construção civil, nas montadoras de veículos, bem como nos portos para carregar e descarregar navios.

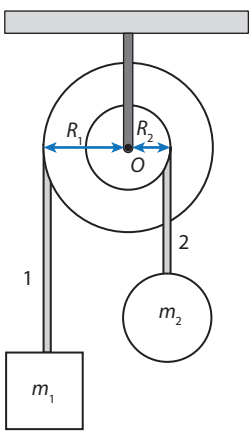


NELSON MATSUDA/ARQUIVO DA EDITORA

Uma estudante de engenharia, utilizando um simulador, projetou uma grua, como apresentada na figura, com as seguintes características: o braço maior da trave horizontal tem comprimento de 16 metros; o contrapeso na extremidade do braço menor da trave horizontal tem uma massa de 0,5 tonelada e está a 4,0 m do ponto *O*. A trave horizontal tem massa de 200 kg, que está uniformemente distribuída ao longo do seu comprimento, e a coluna vertical está rigidamente fixada no solo. De acordo com o projeto, a carga pode ser deslocada desde a extremidade livre da trave horizontal até 1,0 m da ligação desta com a coluna vertical (ponto *O*). Assim, considerando 10 m/s^2 o módulo da aceleração gravitacional, a maior carga que essa grua pode erguer sem tombar deve ter massa igual a:

a. 8.000 kg. **c.** 2.000 kg. **e.** 500 kg.
b. 5.000 kg. **d.** 800 kg.

4. 4. c O sistema de polias mostrado na figura chama-se polia diferencial.

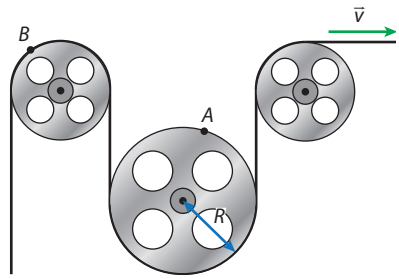


NELSON MATSUDA/ARQUIVO DA EDITORA

Esse sistema estará em equilíbrio estático se for verificada a igualdade:

a. $m_1 = m_2$. **c.** $m_1 \cdot R_1 = m_2 \cdot R_2$.
b. $m_1 \cdot R_2 = m_2 \cdot R_1$. **d.** $m_1 \cdot m_2 = R_1 \cdot R_2$.

5. 5. b A fita magnética de um gravador de vídeo passa, sem escorregar, com velocidade v constante por três polias mostradas na figura a seguir. Os módulos das acelerações vetoriais dos pontos *A* e *B* estão entre si na proporção $\frac{a_A}{a_B} = \frac{2}{3}$.



NELSON MATSUDA/ARQUIVO DA EDITORA

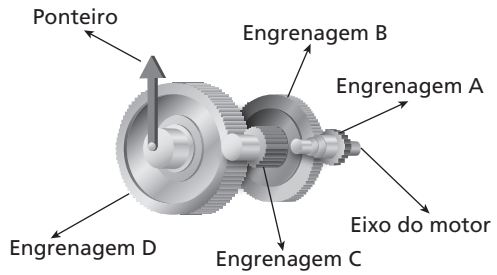
As polias menores têm raios r e a polia maior tem raio $R = n \cdot r$. Nessas condições, podemos afirmar que:

a. $n = \frac{4}{3}$. **c.** $n = \frac{5}{3}$. **e.** $n = 3$.
b. $n = \frac{3}{2}$. **d.** $n = 2$.

6. 6. e No sistema de polias da atividade anterior, sendo $r = 30$ mm e $a_{(A)} = 2{,}0$ m/s^2, podemos afirmar que a velocidade de deslocamento v da fita magnética é igual a:

a. 10 cm/s. **c.** 20 cm/s. **e.** 30 cm/s.
b. 15 cm/s. **d.** 25 cm/s.

7. 7. b **(Enem)** A invenção e o acoplamento entre engrenagens revolucionaram a ciência na época e propiciaram a invenção de várias tecnologias, como os relógios. Ao construir um pequeno cronômetro, um relojoeiro usa o sistema de engrenagens mostrado.



REPRODUÇÃO/ENEM

De acordo com a figura, um motor é ligado ao eixo e movimenta as engrenagens fazendo o ponteiro girar. A frequência do eixo do motor é de 18 rpm (rotações por minuto), e o número de dentes de cada engrenagem está apresentado no quadro.

Engrenagem	Dentes
A	24
B	72
C	36
D	108

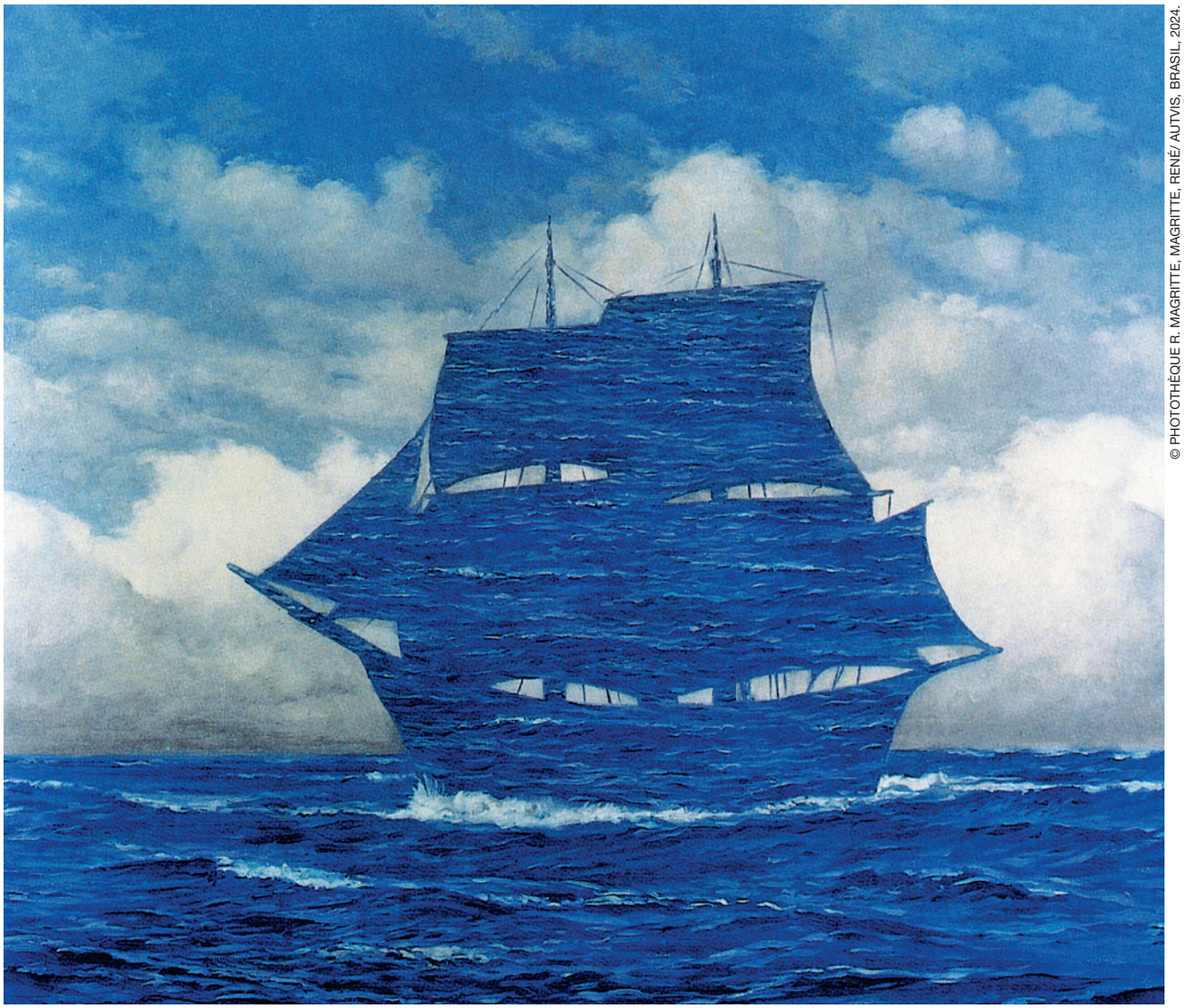
A frequência de giro do ponteiro, em rpm, é igual a

a. 1. **c.** 4. **e.** 162.
b. 2. **d.** 81.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

CAPÍTULO 8

Hidrostática



© PHOTOTHÈQUE R. MAGRITTE, MAGRITTE, RENÉ/ AUTVIS, BRASIL, 2024.
FOTO: AKG-IMAGES/ALBUM/FOTOARENA - COLEÇÃO PARTICULAR

MAGRITTE, René. **O sedutor**. 1953. Óleo sobre tela, 38 cm × 46 cm.

A respeito dessa pintura a óleo do pintor belga René Magritte (1898-1967), disse o crítico Marcel Paquet: "O observador é seduzido por uma ideia que é poética e plausível ao mesmo tempo, a de um objeto assumindo a substância do material em que se sente à vontade". Não erraria o grande mestre surrealista se, em vez de um barco feito de água, pintasse um homem ou uma mulher com os corpos feitos dessa substância. A água sempre exerceu enorme fascínio sobre o ser humano. Além de ser o principal constituinte de nosso organismo, a água é essencial para nossa sobrevivência e sua falta ou restrição nos causa sérios problemas. Ela pode ser agradável, propiciando momentos de lazer, ou assustadora e catastrófica, em enchentes e naufrágios.

Na nossa abordagem da Hidrostática, estudaremos as propriedades apresentadas pelos líquidos em equilíbrio estático, isto é, em repouso, embora todos os conceitos, propriedades e conclusões deste capítulo possam ser relacionados também com os gases.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

1. Conceito de fluido

Gases e líquidos, por terem a propriedade natural de escoar e de se deslocar com certa facilidade, são denominados **fluidos**. Fluidos são materiais fundamentais para a vida. O ar que respiramos, a água que bebemos e o sangue que circula por nosso corpo são fluidos fundamentais para a manutenção da nossa saúde. Os seres vivos, em geral, dependem dos fluidos para sobreviver. Os fluidos também são parte importante de tecnologias que nos proporcionam conforto. Veículos, máquinas em geral, usinas hidroelétricas, refrigeradores e condicionadores de ar operam com diversos tipos de fluidos.

Os fluidos não têm forma própria, adaptando-se à forma do recipiente que os contém. Assim, ao serem confinados, reagem aos esforços que as paredes do recipiente exercem sobre eles, tomando a forma da parte do recipiente que ocupam. Essa reação dos fluidos sobre as paredes do recipiente é resultado da **pressão** exercida pelo fluido. Os fluidos, então, podem mudar características dos ambientes em que atuam. Durante milhões de anos, a ação dos ventos e da água, a abrasão e a erosão, modificaram e moldaram a paisagem da superfície terrestre.

Veja comentários sobre essa atividade no Suplemento para o professor.

Dialogando com o texto

SAÚDE ODS 6

Água potável e saneamento

Nesta atividade, vocês assumirão o papel de investigadores da água e do saneamento, explorando a grande importância da água e seu impacto no Brasil. Em grupos, comecem pesquisando como a água é tratada, distribuída e consumida no país, coletando dados concretos de consumo. Enquanto pesquisam, investiguem também como o Brasil está se preparando para enfrentar os desafios do saneamento, especialmente com relação ao Marco Regulatório do Saneamento.

Preparem apresentações para compartilhar suas descobertas com a turma. Destaquem números e fatos essenciais sobre o consumo de água e os planos do Brasil para melhorar e universalizar o saneamento básico. Finalizem a atividade criando cartazes que ilustrem a importância da água, as metas da ONU sobre saneamento básico e os esforços do Brasil nessa direção. Essa é a chance de entender como a água se relaciona com os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) e como vocês podem contribuir para um futuro mais sustentável.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

2. O que diz a história

Muitos são os relatos de situações ocorridas na vida de Arquimedes de Siracusa (288 a.C.-212 a.C.), astrônomo, matemático, físico e inventor grego. Sua vida está diretamente ligada à história de Siracusa (uma cidade-Estado da Magna Grécia, hoje Sicília), sua cidade natal. Por sua genialidade, tanto prática quanto teórica, seus estudos têm grande influência na Ciência ocidental.

Um dos relatos mais conhecidos envolvendo Arquimedes é o da coroa de ouro que o então rei de Siracusa, Hierão II (275 a.C.-215 a.C.), ofereceu aos deuses em troca de proteção à sua cidade. O rei suspeitava que o ourives responsável pela confecção da coroa havia substituído por prata uma parte do ouro recebido para confeccioná-la, apropriando-se da outra parte do precioso metal. Convocado a ajudar a descobrir se o ourives havia mesmo feito isso, Arquimedes começou a pensar em um modo de esclarecer a questão sem ter de desmanchar a coroa para analisar sua verdadeira composição. Conta-se que, durante um banho de imersão, ao observar o transbordamento da água ao entrar na banheira, surgiu a ideia de como verificar a quantidade de ouro na coroa. Entusiasmado, Arquimedes teria saído pelas ruas de Siracusa gritando *Eureka! Eureka!*, palavra grega que significa "achei" ou "descobri".

Segundo Vitrúvio (80 a.C.-15 a.C.), arquiteto e engenheiro romano, Arquimedes mergulhou completamente em água, em etapas sucessivas, um bloco de prata e um de ouro, ambos com massas iguais à da coroa, e a própria coroa. Depois de medir e comparar os volumes de água derramados pelos três corpos, ele constatou que o volume de água derramado pela coroa era menor que o volume de água derramado pelo bloco de ouro. Ficou assim comprovada a fraude do ourives, pois, tendo massas iguais, a coroa, supostamente feita de ouro puro, e o bloco de ouro deveriam deslocar volumes iguais de água. Como isso não ocorreu, comprovou-se que a coroa não era de ouro puro.

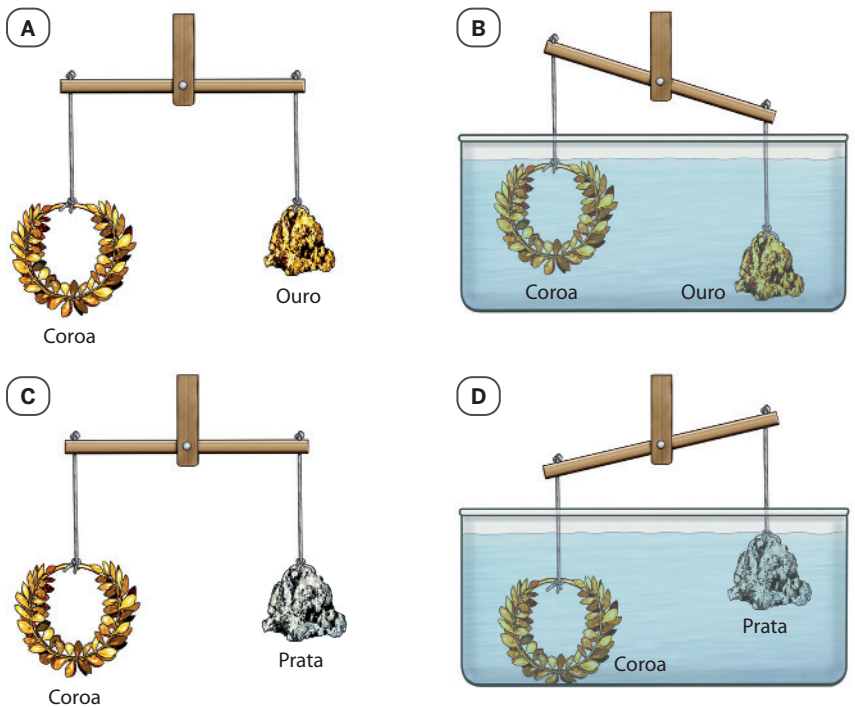
Em 1586, aos 22 anos, o físico e matemático italiano Galileu Galilei (1564-1642) escreveu um pequeno tratado, intitulado *La Bilancetta* (A balancinha), no qual descreveu detalhadamente um instrumento de medição muito prático, a **balança hidrostática**, para determinar com grande precisão o volume e a densidade dos corpos ou sua composição, no caso de uma mistura. Nesse trabalho, Galileu questionou a versão de Vitrúvio sobre o método usado por Arquimedes para descobrir a verdadeira composição da coroa do rei Hierão II. De acordo com Galileu, o método do transbordamento exigiria um altíssimo grau de precisão nas medidas dos volumes de água deslocados, algo bastante improvável para a época de Arquimedes. A balança de Galileu (Fig. 1) utiliza os princípios da alavanca e da flutuação, de autoria do próprio Arquimedes.

Com esse instrumento, e aplicando o conceito de empuxo, Arquimedes poderia comparar o "peso aparente" da coroa e dos blocos de ouro e prata, quando mergulhados em água. Em seu tratado, Galileu afirma que esse teria sido o método mais apropriado para as condições experimentais da época de Arquimedes.

Considerando que o método adotado por Arquimedes para solucionar o problema da coroa do rei Hierão II tenha sido semelhante ao proposto por Galileu em *La Bilancetta*, poderíamos perguntar: como Arquimedes chegou à conclusão de que a coroa do rei não era feita de ouro puro? Seu raciocínio teria sido este: para uma substância pura, massas iguais ocupam volumes iguais e, portanto, deslocam volumes iguais de água quando mergulhados. Assim, tomando-se uma porção de ouro puro e a coroa, de massas iguais, e pendurando-as cada uma em uma das extremidades de uma barra reta, esta ficaria equilibrada na horizontal (Fig. 2A). Se a coroa fosse de ouro puro, seu volume seria igual ao volume do bloco de ouro, preso na outra extremidade, e, quando o sistema fosse mergulhado em água, ambos os corpos deslocariam volumes iguais do líquido, não alterando a posição de equilíbrio da barra. No entanto, não foi isso o que Arquimedes observou. Dentro da água, a coroa teria "pesado" menos que o bloco de ouro, tirando a barra da sua posição inicial de equilíbrio (Fig. 2B) e revelando, assim, que a coroa não era feita de ouro puro. Repetindo o mesmo processo com um bloco de prata (Fig. 2C), Arquimedes notou que, dentro da água, o bloco de prata, de mesma massa que a coroa, "pesava" menos que a coroa (Fig. 2D). Comparando as duas medições, ele concluiu que a coroa não era feita de ouro puro, e sim de uma mistura de ouro e prata, já que seu "peso" dentro da água (peso aparente) era menor que o peso aparente do ouro e maior que o peso aparente da prata.

MUSEU GALILEU, FLORENÇA

Figura 1. Balança hidrostática de Galileu, utilizada para medir densidades e volumes de objetos.



ILUSTRAÇÕES: SELMA CAPARROZ/ARQUIVO DA EDITORA

Figura 2. (A) Coroa e bloco de ouro de massas iguais, em equilíbrio no ar; (B) dentro da água, a coroa tem peso aparente menor que o bloco de ouro; (C) coroa e bloco de prata de massas iguais, em equilíbrio no ar; (D) dentro da água, a coroa tem peso aparente maior que o bloco de prata. (Representação fora de proporção; cores meramente ilustrativas.)

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

3. Conceito de densidade volumétrica

Sobre o episódio da coroa do rei Hierão II, perguntamos: o que havia então de diferente entre os dois blocos metálicos e a coroa? Certamente, o volume, pois as três massas eram iguais. Arquimedes sabia e é fácil verificar que, para massas iguais, o bloco de prata ocupa maior volume que o bloco de ouro. Existe, portanto, alguma propriedade física dos materiais que depende da massa do corpo, do volume que essa massa ocupa e que distingue os materiais entre si. A essa característica dos materiais damos o nome de **densidade volumétrica** (*d*), expressa pela razão entre a massa *m* do objeto e o seu volume *V*. Em notação simbólica, temos:

$$d = \frac{m}{V}$$

Para simplificar, ao nos referirmos à densidade volumétrica, diremos apenas **densidade**.

Assim, se tomarmos massas iguais de substâncias distintas, ao maior volume corresponderá a menor densidade. Disso se conclui que a prata tem densidade menor que o ouro, pois apresenta maior volume para uma mesma massa. Se o bloco utilizado no experimento de Arquimedes fosse de alumínio, em vez de prata, o volume seria ainda maior, indicando que a densidade do alumínio é menor que a da prata.

No Sistema Internacional de Unidades (SI), a unidade de medida da densidade é o quilograma por metro cúbico (kg/m^3). As unidades grama por centímetro cúbico (g/cm^3) e quilograma por litro (kg/L) são usuais e equivalentes.

Quando a densidade se refere à substância pura que constitui um corpo, usa-se o termo **massa específica** em vez de densidade. A massa específica, em geral, é representada pela letra grega μ (lê-se "mi"). Assim, por exemplo, a densidade de uma esfera maciça de chumbo é 11,3 g/cm^3 e coincide com a massa específica do chumbo. Já a densidade de uma esfera de chumbo oca, de mesmo raio, é menor que 11,3 g/cm^3, pois tem menor massa, apesar de os volumes serem iguais. Portanto, uma esfera de chumbo pode até flutuar em água, desde que seja oca.

O exercício resolvido a seguir explora as principais unidades utilizadas para a grandeza densidade.

Exercício resolvido

A massa específica da água é 1,0 g/cm^3. Como se expressa esse valor em:

a. g/mL? (mL = mililitro) **b.** kg/m^3?

Resolução

a. Em 1,0 litro há 1.000 mL ou 1.000 cm^3, isso significa que 1,0 mL = 1,0 cm^3.
Portanto: 1,0 g/cm^3 = 1,0 g/mL.

b. Considerando que $1\ m^3 = 10^6\ cm^3 \Rightarrow 1\ m^3 = 10^3 \cdot \underbrace{10^3\ cm^3}_{1\,L} = 10^3\ L$, temos:

$$1{,}0\ g/cm^3 = 1{,}0\ kg/L = 1{,}0 \cdot \frac{10^3 \cdot kg}{\underbrace{10^3\ L}_{1{,}0\ m^3}} = \frac{10^3\ kg}{1{,}0\ m^3} = 10^3\ kg/m^3$$

Portanto, uma caixa d'água de 1.000 L contém uma tonelada de água.

Veja respostas e comentários no Suplemento para o professor.

Aplicando conhecimentos

Registre as respostas em seu caderno.

1. Suponha que você coloque um cilindro de aço, cuja massa específica é $\mu_{aço} = 8{,}00\ g/cm^3$, em um recipiente com água. Ele flutuaria ou afundaria ao ser colocado nesse recipiente?

Justifique com cálculos a sua resposta.

Considere 1,00 g/cm^3 a densidade da água.

2. Uma joia feita com platina pura ($d_{Pt} = 21{,}5\ g/cm^3$) "pesa" 86,0 g. Determine:

a. o volume de platina que foi usado para confeccionar essa joia.

b. a massa de ouro puro ($d_{Au} = 19{,}5\ g/cm^3$) que seria necessária para confeccionar uma joia idêntica a essa em ouro.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

4. Princípio de Arquimedes

No Livro I de seu trabalho *Sobre os corpos flutuantes*, Arquimedes demonstra que qualquer sólido menos denso que o fluido no qual está inserido ficará mergulhado de modo que o seu peso será equilibrado por uma força de intensidade igual à do peso do fluido deslocado pela parte submersa do corpo. Um sólido mais denso que o fluido, por sua vez, descerá até o fundo e, enquanto estiver mergulhado nesse fluido, pesará menos que seu peso real, sendo a diferença dessas intensidades igual ao peso do fluido deslocado.

Essas duas proposições de Arquimedes nos levam a concluir que, independentemente de o corpo estar total ou parcialmente mergulhado em um fluido em equilíbrio, o fluido exerce sobre esse corpo uma força vertical, de baixo para cima, opondo-se ao peso do corpo e, assim, provocando uma "redução aparente" no seu peso. Essa força que o fluido exerce sobre o corpo é denominada **empuxo**, e sua intensidade é representada pela letra *E*.

Embora, na linguagem de Arquimedes, o termo "fluido" signifique "líquido", os gases também exercem empuxo. A subida de um balão (Fig. 3), por exemplo, deve-se à ação do empuxo que o ar externo exerce sobre ele, assim como a flutuação de um *iceberg* deve-se ao empuxo que a água exerce sobre sua enorme massa de gelo (Fig. 4).

LISA CARTER/SHUTTERSTOCK

Figura 3. Um balão de ar é mantido em equilíbrio pelo empuxo exercido pelo ar (fluido) sobre ele. (Virgínia, EUA, 2023.)

FRANS LANTING/CORBIS/GETTY IMAGES

Figura 4. Um *iceberg* flutua com, aproximadamente, 10% do seu volume acima da superfície da água. A força que sustenta seu enorme peso é o empuxo exercido pela água sobre ele. (Antártida, 2015.)

Esses fatos são explicados pelo **princípio de Arquimedes**.

> Todo corpo sólido mergulhado em um fluido em equilíbrio sofre a ação de uma força vertical de baixo para cima, cuja intensidade é igual à do peso do fluido deslocado pela parte submersa do corpo.

Esse enunciado é válido quando o volume de fluido deslocado pela parte imersa do corpo é desprezível em relação ao volume total do fluido no recipiente.

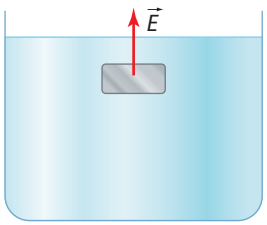
Mas como calculamos a intensidade do empuxo que age sobre um corpo?

Sendo a intensidade *E* do empuxo igual à intensidade do peso P_{FD} do fluido deslocado pela parte submersa (ou imersa) do corpo, podemos relacionar *E* com a densidade d_F desse fluido. Seja m_{FD} a massa de fluido deslocado pela parte submersa do corpo. Essa massa de fluido tem volume igual ao volume submerso do corpo (V_{sub}), isto é, $V_{FD} = V_{sub}$. Assim, sendo $m_{FD} = d_F \cdot V_{FD}$ e $V_{FD} = V_{sub}$, temos:

$$E = P_{FD} \Rightarrow E = d_F \cdot V_{FD} \cdot g \Rightarrow \boxed{E = d_F \cdot V_{sub} \cdot g}$$

Se o corpo estiver totalmente imerso no líquido (Fig. 5), o volume V_{sub} será igual ao volume do corpo.

A situação que discutiremos a seguir mostra como calcular a intensidade do empuxo sobre um corpo totalmente imerso em um líquido em equilíbrio.



ADILSON SECCO/ ARQUIVO DA EDITORA

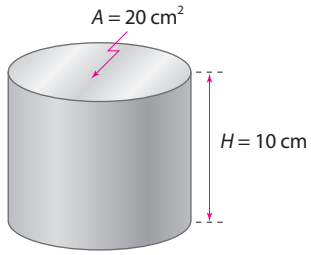
Figura 5. Representação do empuxo sobre um corpo totalmente imerso em um líquido.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Exercício resolvido

ESTRATÉGIA DE ESTUDO

Considere um cilindro de ferro com 10 cm de altura e base com área de 20 cm^2 totalmente imerso em álcool de densidade 0,8 g/cm^3, em um local onde $g = 10\ m/s^2$. Determine a intensidade do empuxo sobre o cilindro.



ADILSON SECCO/ARQUIVO DA EDITORA

Identificar

Para determinar o valor do empuxo ($E = d_F \cdot V_{FD} \cdot g$), temos de calcular o volume de líquido deslocado pelo objeto. A partir do enunciado, sabemos que o cilindro está totalmente imerso no álcool; logo, o volume de álcool deslocado pelo cilindro (V_{FD}) é igual ao volume do cilindro (V_c), de modo que $V_{FD} = V_c = A \cdot H$.

Também precisamos da densidade do líquido em que o objeto foi colocado, no caso, o álcool. No enunciado, a densidade do álcool é dada por $d_{al} = 0{,}8\ g/cm^3$. No entanto, para obtermos o empuxo em newton (N) precisamos converter essa unidade para kg/m^3.

O valor da aceleração da gravidade também foi fornecido no enunciado: $g = 10\ m/s^2$.

Preparar

O volume de álcool deslocado pelo cilindro, em m^3, é dado por:

$V_{LD} = 20\ cm^2 \cdot 10\ cm = 200\ cm^3 = 200 \cdot 10^{-6}\ m^3 = 2 \cdot 10^{-4}\ m^3$

A densidade do álcool, em kg/m^3, é dada por:

$d_{al} = 0{,}8\ g/cm^3 = 0{,}8 \cdot 10^3\ kg/m^3 = 8 \cdot 10^2\ kg/m^3$

Executar

Então, o empuxo do álcool sobre esse cilindro tem intensidade:

$E = d_{al} \cdot V_{FD} \cdot g \Rightarrow E = 8 \cdot 10^2\ kg/m^3 \cdot 2 \cdot 10^{-4}\ m^3 \cdot 10\ m/s^2$

$\therefore E = 16 \cdot 10^{-1}\ N \Rightarrow E = 1{,}6\ N$

Avaliar

Se o cilindro fosse oco, tendo apenas as paredes de ferro, a intensidade do empuxo E se alteraria? A resposta é não, pois o volume de álcool deslocado pelo corpo seria o mesmo.

Lembre-se de que corpos de volumes iguais, totalmente mergulhados em um mesmo líquido, sofrem empuxos de mesma intensidade, pois deslocam a mesma quantidade de líquido.

Veja comentários sobre essa atividade no Suplemento para o professor.

Atividade prática

Investigando o empuxo

Objetivo

Demonstrar a relação entre o volume da garrafa, a força aplicada e o princípio de Arquimedes.

Materiais

- garrafa de plástico
- recipiente com água

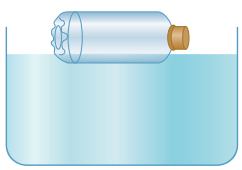
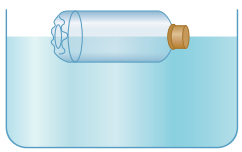


Figura A.



NELSON MATSUDA/ARQUIVO DA EDITORA

Figura B.

Procedimento

Pegue uma garrafa de plástico pequena e vazia, tampe-a bem e force-a em um recipiente com água, até que ela fique completamente mergulhada. Observe que não será muito fácil manter a garrafa totalmente mergulhada. Você precisará aplicar nela uma força considerável. Agora, coloque água até a metade da garrafa, tampe-a bem e repita a tentativa. Foi menos difícil, não? Você não teve de aplicar tanta força para manter a garrafa dentro da água.
Por fim, encha a mesma garrafa completamente com água, tampe-a, e mais uma vez, mergulhe-a. Agora não foi preciso fazer nenhuma força para a garrafa afundar.

Análise do experimento

1. Nas três situações, o empuxo foi o mesmo, já que o volume V de água deslocada pela garrafa, ao ser totalmente mergulhada, não se modificou. Então, o que fez a diferença?

Repita os dois primeiros mergulhos da garrafa deste experimento, sem forçar a garrafa, deixando que ela se acomode naturalmente no líquido. Você perceberá que a garrafa não afundará por completo e que, no segundo caso (Fig. B), a parte mergulhada será maior que no primeiro caso (Fig. A). Nessas duas situações, figuras A e B, a garrafa permanece flutuando em equilíbrio estável no líquido.

2. Por que a garrafa permanece em equilíbrio nessas duas situações?

3. Por que, na segunda situação, a parte submersa da garrafa é maior?

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Veja respostas e comentários no Suplemento para o professor.

Aplicando conhecimentos

Registre as respostas em seu caderno.

3. Um cubo maciço de aresta 4,0 cm tem massa de 32 g. Considerando 10 m/s^2 o módulo da aceleração gravitacional (g), calcule:

a. o volume do cubo, em cm^3;

b. a densidade do cubo, em g/cm^3 e em kg/m^3;

c. o peso aparente do cubo quando totalmente imerso em água, cuja densidade é 1,0 g/cm^3.

4. Estudando propriedades físicas de materiais trazidos da Lua, um pesquisador pendura uma pedra lunar em uma balança de mola (balança 1), que passa a indicar 45 N, estando a pedra imersa no ar. Em seguida, sem tocar o fundo, a pedra é totalmente mergulhada na água de um recipiente que está sobre o prato de outra balança (balança 2), cuja indicação era nula antes da entrada da pedra. Após essa operação, a balança 2 passa a indicar 10 N.

Conhecidas essas informações, determine:

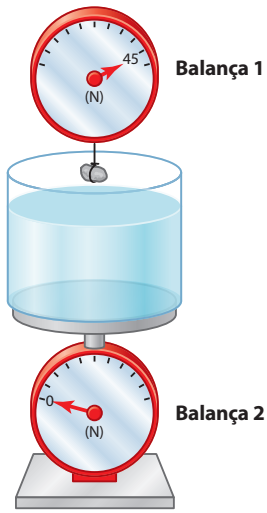
a. a origem da força indicada na balança 2;

b. a nova indicação da balança 1;

c. o volume da pedra, em cm^3;

d. a densidade da pedra lunar, em g/cm^3.

(Dados: $g = 10$ m/s^2; $\mu_{água} = 1{,}0$ g/cm^3.)

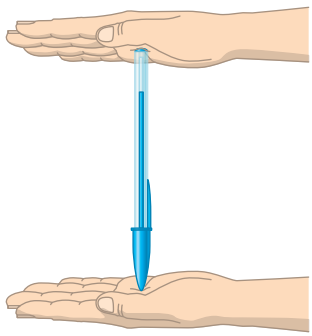


ADILSON SECCO/ARQUIVO DA EDITORA

5. Conceito de pressão

Trabalhar sob pressão, a pressão da vida moderna, pressão alta, pressão baixa… Quantas vezes lemos ou ouvimos a palavra **pressão**? Embora os termos citados tenham significados diferentes, em todos eles o sentido da palavra pressão tem a mesma origem. Vejamos, então, uma noção inicial do que seja pressão, para depois formularmos uma conceituação mais rigorosa.

Segure entre as mãos uma caneta esferográfica, dessas que têm a tampa afunilada, devidamente tampada (Fig. 6). Em seguida, aperte-a levemente entre as mãos. Ao apertar a caneta, você perceberá que a extremidade da tampa afunilada deforma mais a palma da mão com a qual está em contato do que a outra extremidade, mais rombuda. A força que a caneta exerce em cada uma das palmas das mãos é a mesma. Entretanto, na extremidade afunilada essa força se distribui por uma superfície de área menor. Dizemos, então, que, nessa superfície, a pressão é maior que na outra extremidade.



ADILSON SECCO/ARQUIVO DA EDITORA

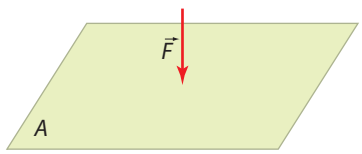
Figura 6. A força exercida pela caneta, quando aplicada em cada uma das palmas das mãos, tem a mesma intensidade.

A **pressão** (p) que uma força $\vec{F}$ exerce sobre uma superfície é uma **grandeza física escalar** definida pela razão entre a intensidade da componente normal $\vec{F}_N$ da força e a área A dessa superfície (Fig. 7):

$$p = \frac{F_N}{A}$$

Portanto, para uma mesma intensidade da componente normal da força, quanto menor for a área da superfície, maior será a pressão exercida. Por isso, objetos cortantes, como facas e lâminas, devem estar afiados para exercer bem sua função. Pregos, tachinhas e alfinetes são pontiagudos para que possam ser cravados com mais facilidade nas superfícies.

Obtida pela razão entre a intensidade de uma força, cuja unidade no SI é o newton (N), e a área de uma superfície, cuja unidade no SI é o metro quadrado (m^2), a pressão tem por unidade de medida no SI o newton por metro quadrado (N/m^2). Essa unidade é também denominada **pascal**, cujo símbolo é **Pa**.



ADILSON SECCO/ARQUIVO DA EDITORA

Figura 7. Representação de uma força $\vec{F}$ aplicada perpendicularmente sobre uma superfície de área A.

Reforce que pressão é uma grandeza física escalar. Não tem significado físico expressões como "pressão de baixo para cima", "pressão da esquerda para a direita" ou outras similares. A pressão atmosférica atua igualmente em todas as direções e os sentidos.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

O exemplo a seguir mostra a influência da área da superfície sobre o valor da pressão exercida por uma mesma força normal aplicada a essa superfície.

Exercício resolvido

Um tijolo tem dimensões 20 cm × 10 cm × 3 cm e massa igual a 600 g. Sendo $g = 10\ m/s^2$ a aceleração local da gravidade, quais pressões esse tijolo pode exercer, quando apoiado sobre uma mesa horizontal?

Resolução

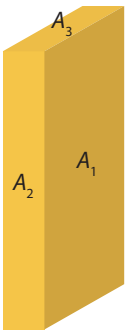
O peso do tijolo é: $P = m \cdot g \Rightarrow P = 0{,}6\ kg \cdot 10\ m/s^2 \Rightarrow P = 6\ N$

Ele pode ser apoiado por qualquer uma de suas três faces, cada uma com sua área dada por:

$A_1 = 20\ cm \cdot 10\ cm \Rightarrow A_1 = 200\ cm^2 = 200 \cdot 10^{-4}\ m^2 = 2 \cdot 10^{-2}\ m^2$

$A_2 = 20\ cm \cdot 3\ cm \Rightarrow A_2 = 60\ cm^2 = 60 \cdot 10^{-4}\ m^2 = 6 \cdot 10^{-3}\ m^2$

$A_3 = 10\ cm \cdot 3\ cm \Rightarrow A_3 = 30\ cm^2 = 30 \cdot 10^{-4}\ m^2 = 3 \cdot 10^{-3}\ m^2$



ADILSON SECCO/ARQUIVO DA EDITORA

Portanto, quando apoiado, dependendo da face, o tijolo pode exercer três valores de pressão, a saber:

$$p_1 = \frac{P}{A_1} \Rightarrow p_1 = \frac{6\ N}{2 \cdot 10^{-2}\ m^2} \Rightarrow p_1 = 3 \cdot 10^2\ N/m^2$$

$$p_2 = \frac{P}{A_2} \Rightarrow p_2 = \frac{6\ N}{6 \cdot 10^{-3}\ m^2} \Rightarrow p_2 = 10^3\ N/m^2$$

$$p_3 = \frac{P}{A_3} \Rightarrow p_3 = \frac{6\ N}{3 \cdot 10^{-3}\ m^2} \Rightarrow p_3 = 2 \cdot 10^3\ N/m^2$$

Observe que, quanto menor a área de apoio, maior é a pressão exercida por uma mesma força.

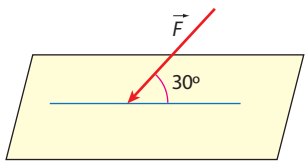
Veja respostas e comentários no Suplemento para o professor.

Aplicando conhecimentos

Registre as respostas em seu caderno.

5. O que machucaria mais o seu pé: um "pisão" de um homem de 100 kg com sapatos normais ou o de uma mulher de 60 kg com sapatos de saltos altos e finos? Justifique sua resposta com cálculos.

6. Uma força de intensidade 98 N está aplicada sobre uma superfície plana de área 5,0 cm^2, formando 30° com ela. Considere 1 kgf = 9,8 N, sendo kgf uma unidade técnica de intensidade de força que se lê "quilograma-força".



NELSON MATSUDA/ ARQUIVO DA EDITORA

Determine a pressão dessa força sobre a superfície:

a. em kgf/cm^2;

b. em pascal (Pa).

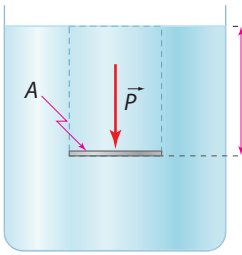
Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

6. Princípio de Stevin

Se você mergulhar em uma piscina, poderá sentir uma leve dor nos tímpanos. Quanto mais fundo você mergulhar, maior será essa dor. Essa dor é devida às forças que atuam sobre as membranas de seus tímpanos como consequência da pressão da coluna de água acima de você. A intensidade dessas forças será tanto maior quanto maior for a profundidade em que você estiver.

Apesar de Arquimedes ser, com muita justiça, considerado o pioneiro no estudo dos fluidos, pode-se dizer que o estudo formal dessa parte da Física começou com o matemático e cientista Simon Stevin (1548-1620). Depois de realizar várias pesquisas, Stevin concluiu que a pressão exercida por uma coluna de líquido em equilíbrio, denominada pressão hidrostática, depende da altura dessa coluna, da densidade do líquido e do módulo da aceleração gravitacional local, estabelecendo, assim, o teorema (ou lei) ao (à) qual foi atribuído seu nome: teorema (ou lei) de Stevin.

Considere, no interior de um líquido, de massa específica μ, em equilíbrio, um "cilindro" desse líquido com altura *h* e base com área *A*. Se, nessa base, for colocada uma placa plana de mesma área, a pressão hidrostática *p* que a coluna cilíndrica de líquido exercerá sobre a placa é dada pela razão entre o peso *P* da coluna líquida e a área *A* da placa (Fig. 8).



ADILSON SECCO/ARQUIVO DA EDITORA

Figura 8. A coluna cilíndrica de líquido exerce pressão sobre a placa.

O peso P da coluna líquida é a força normal que exerce pressão p sobre a placa, de área A. Portanto:

$p = \frac{P}{A}$ (I)

A força peso P é dada por: $P = m \cdot g = \mu \cdot V \cdot g \Rightarrow P = \mu \cdot A \cdot h \cdot g$ (II)

Substituindo (II) em (I), temos:

$$p = \frac{P}{A} = \frac{\mu \cdot A \cdot h \cdot g}{A} \Rightarrow \boxed{p = \mu \cdot g \cdot h}$$

O produto $\mu \cdot g$ é denominado **peso específico** do líquido, usualmente representado por γ, portanto:

$$\boxed{p = \gamma \cdot h}$$

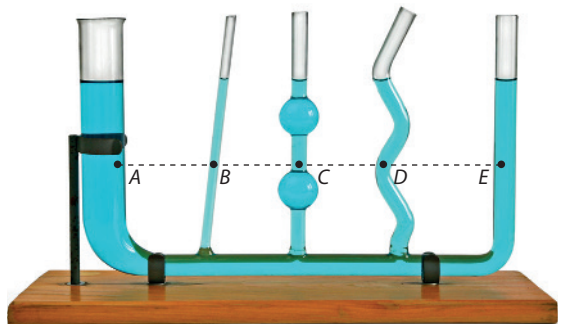
Assim, podemos enunciar o teorema de Stevin do seguinte modo:

A pressão hidrostática p em um ponto no interior de um líquido em equilíbrio é o produto do peso específico γ do líquido pela profundidade h do ponto da massa líquida.

Da lei de Stevin, conclui-se que a pressão exercida sobre uma superfície no interior do líquido não depende da área da superfície, e sim do peso específico do líquido e da profundidade na qual está a superfície. Uma consequência imediata do teorema de Stevin é que pontos situados a uma mesma profundidade, isto é, no mesmo nível de um mesmo líquido em equilíbrio, suportam pressões iguais. A figura 9 mostra isso para os pontos *A*, *B*, *C*, *D* e *E* dos vasos comunicantes.

Nas deduções anteriores, calculamos somente a pressão hidrostática, isto é, a pressão exercida apenas pelo líquido; a pressão total em um ponto no interior do líquido é a soma da pressão hidrostática com a pressão externa exercida sobre a superfície livre do líquido. Muitas vezes, essa pressão externa será a pressão atmosférica local. Falaremos dela mais adiante.

O exemplo a seguir permite avaliar o fato de a pressão exercida no interior de um líquido em equilíbrio depender da profundidade do ponto considerado.



MILANB/SHUTTERSTOCK

Figura 9. Independentemente do formato dos recipientes, o líquido sobe até o mesmo nível em todos eles. As pressões hidrostáticas nos pontos *A*, *B*, *C*, *D* e *E* são iguais, pois esses pontos estão no mesmo nível dessa massa fluida.

Exercício resolvido

Determine, em unidades do SI:

a. a pressão hidrostática p_H exercida sobre um mergulhador que desce a uma profundidade de 50 m na água do mar, cuja densidade é igual a 1,02 g/cm^3, em um local onde a aceleração da gravidade é $g = 10$ m/s^2.

b. a intensidade da força que atua sobre a palma da mão do mergulhador exercida pela coluna de água acima dele, sabendo que a área da palma da mão é igual a 50 cm^2.

Resolução

a. A densidade da água do mar é 1,02 g/cm^3 = 1,02 · 10^3 kg/m^3. Aplicando a equação da lei de Stevin, temos:

$p_H = d_{água} \cdot g \cdot h = 1{,}02 \cdot 10^3 \text{ kg/m}^3 \cdot 10 \text{ m/s}^2 \cdot 50 \text{ m} = 5{,}10 \cdot 10^5 \text{ N/m}^2 \Rightarrow p_H = 5{,}10 \cdot 10^5 \text{ Pa}$

Essa é apenas a pressão hidrostática sobre o mergulhador, pois não foi considerada a ação da pressão atmosférica.

b. A intensidade F da força exercida pela coluna de água acima da mão do mergulhador é o produto da pressão hidrostática p_H pela área A da palma da mão do mergulhador:

$$F = p_H \cdot A = 5{,}10 \cdot 10^5 \frac{\text{N}}{\text{m}^2} \cdot 50 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2 \Rightarrow F = 2.550 \text{ N}$$

A intensidade dessa força equivale ao peso de uma massa de 255 kg sobre a palma da mão do mergulhador! Entretanto, parece que a pessoa "nada sente" estando lá. Pense nisso e discuta com seus colegas e com o professor.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

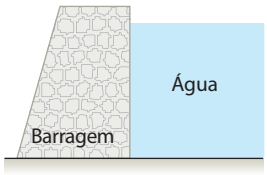
Veja respostas e comentários no Suplemento para o professor.

Aplicando conhecimentos

Registre as respostas em seu caderno.

7. As barragens das represas nas usinas hidroelétricas têm sua base mais "larga", portanto mais reforçada do que a parte superior. Algo parecido com o esquema mostrado na figura a seguir.

Justifique esse fato, citando o princípio usado para explicá-lo.



ADILSON SECCO/ ARQUIVO DA EDITORA

8. Um professor, durante uma aula sobre estática dos fluidos, mostrou aos alunos a ilustração de um corpo com setas aplicadas ao redor dele e perguntou-lhes: qual grandeza física as setas estão representando, pressão ou força?

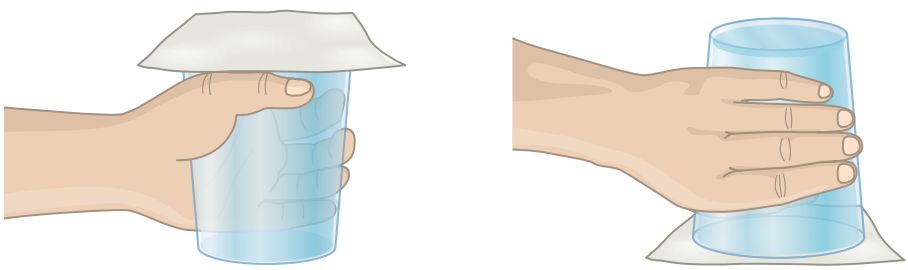
Como você responderia a essa questão? Justifique.

ADILSON SECCO/ARQUIVO DA EDITORA

7. Pressão atmosférica

Do mesmo modo que líquidos exercem pressão, os gases também o fazem. Então, qualquer corpo imerso em um gás está sujeito à pressão e ao empuxo exercidos por esse gás. Como todos sabemos, estamos cercados por ar de todos os lados ou, em linguagem figurativa, vivemos imersos em um "oceano de ar", a **atmosfera terrestre**. A pressão à qual fica sujeito qualquer objeto imerso no ar atmosférico é denominada **pressão atmosférica**. É importante lembrar que a pressão é uma grandeza física escalar e, como tal, é desprovida de direção e sentido. Assim, para caracterizar completamente a pressão, basta escrever seu valor seguido da respectiva unidade.

Há um experimento bem simples para mostrar que, contrariando o que muitos acreditam, não tem significado dizer que a pressão atmosférica age de cima para baixo só porque é consequência do peso da coluna de ar acima do ponto considerado. Na verdade, os efeitos da pressão se fazem sentir independentemente do sentido considerado. Encha um copo com água até a borda. Coloque sobre ele uma folha de papel não absorvente. Com cuidado, segurando o papel, inverta a posição do copo, mantendo-o com a boca para baixo. Retire a mão e observe que a água não cai. Como explicar esse fenômeno? É que a pressão atmosférica está sustentando a coluna de água, agindo na superfície do papel (Fig. 10).



ADILSON SECCO/ARQUIVO DA EDITORA

Figura 10. A pressão atmosférica equilibra a pressão exercida pela coluna de água.

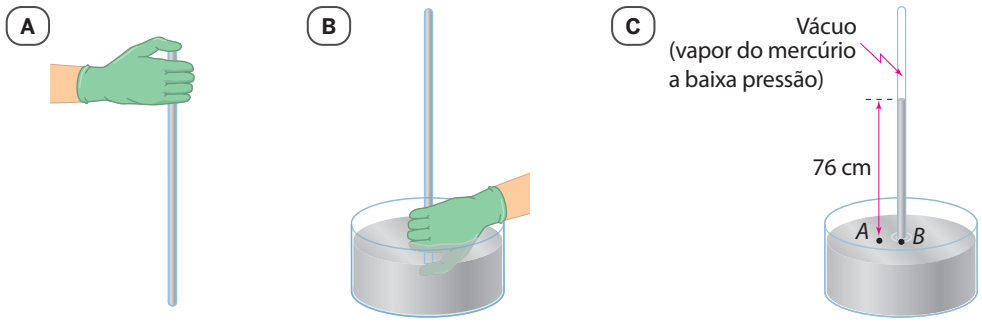
Perceba que essa situação seria inadmissível se considerássemos a pressão atmosférica agindo apenas de cima para baixo. Quem, pela primeira vez, percebeu que o ar exercia pressão e propôs um experimento para medir a pressão atmosférica foi o físico e matemático italiano Evangelista Torricelli (1608-1647).

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Torricelli encheu com mercúrio um tubo de vidro com cerca de 1,0 m de comprimento, tampou com o dedo sua extremidade aberta (Fig. 11A), e inverteu-o no interior de um recipiente contendo mercúrio (Fig. 11B) e verificou que, no local em que fez o experimento, a coluna de mercúrio desceu até estabilizar a, aproximadamente, 76 cm acima do nível do mercúrio no recipiente. Desse experimento, Torricelli concluiu que a pressão exercida pelo ar atmosférico no ponto *A* (p_A), isto é, a pressão atmosférica, equivalia à pressão exercida no ponto *B* (p_B) por uma coluna de mercúrio com 76 cm de altura, aproximadamente (Fig. 11C).

A altura da coluna de mercúrio pode variar um pouco conforme as condições atmosféricas; o valor 76 cm (ou 760 mm) é um padrão adotado por definição.

Podemos dizer, então, que a pressão atmosférica ao nível do mar vale **uma atmosfera** (**1 atm**), ou **76 centímetros de mercúrio** (**76 cmHg**), ou ainda **760 milímetros de mercúrio** (**760 mmHg**).



ILUSTRAÇÕES: ADILSON SECCO/ ARQUIVO DA EDITORA

Figura 11. Passos experimentais de Torricelli: (A) encheu o tubo de vidro; (B) inverteu e mergulhou o tubo de vidro na cuba; (C) ocorreu a estabilização da altura. (Representação fora de proporção; cores meramente ilustrativas.)

Pela equação de Stevin, podemos obter o valor da pressão atmosférica ao nível do mar, em unidades do SI, adotando $133{,}32 \cdot 10^3$ N/m^3 para o peso específico do mercúrio (γ_{Hg}):

$$p_{at} = \gamma_{Hg} \cdot h = 133{,}32 \cdot 10^3 \text{ N/m}^3 \cdot 0{,}76 \text{ m} \Rightarrow P_{at} \simeq 1{,}01325 \cdot 10^5 \text{ Pa}$$

Esse valor é denominado **pressão atmosférica normal** e, para efeito de resolução de exercícios, costuma ser aproximado para $1{,}0 \cdot 10^5$ Pa.

$$1 \text{ atm} = 76 \text{ cmHg} = 760 \text{ mmHg} \simeq 10^5 \text{ Pa}$$

8. Princípio de Pascal

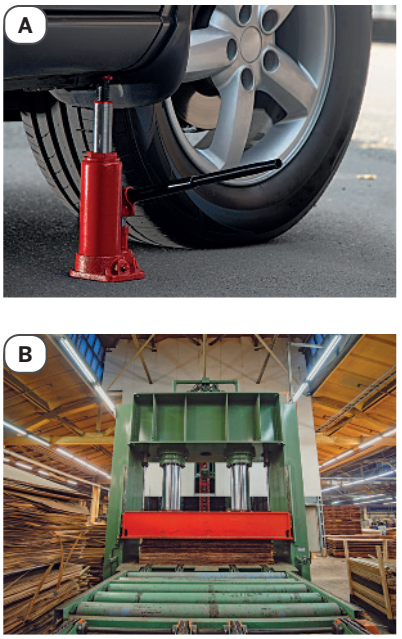
OBJETO DIGITAL Carrossel de imagens: O princípio de Pascal aplicado no cotidiano

Ao fecharmos bruscamente a porta de um automóvel que está com as outras portas e as janelas fechadas, podemos sentir uma certa resistência. O que acontece é o seguinte: ao mover a porta, ela exerce um acréscimo de pressão sobre o ar do interior do veículo, e esse acréscimo de pressão é transmitido a todos os outros pontos do ar interno que reage à compressão. Esse fato é um exemplo prático do princípio de Pascal, que vale não apenas para os gases, mas também para os líquidos, e pode ser enunciado da seguinte forma:

> Qualquer acréscimo de pressão exercido em um ponto de um fluido (gás ou líquido) em equilíbrio se transmite integralmente a todos os pontos desse fluido e às paredes do recipiente que o contém.

Uma aplicação prática desse princípio é o **elevador hidráulico**, muito utilizado em postos de serviços automotivos para lavagem e/ou troca de fluidos operacionais. Em certas situações, o princípio de Pascal é empregado na compactação de objetos, quando então o dispositivo é denominado **prensa hidráulica**.

O funcionamento, tanto do elevador hidráulico (Fig. 12A) quanto da prensa hidráulica (Fig. 12B), fundamenta-se no princípio de Pascal. Ambas as máquinas são constituídas de dois recipientes com diâmetros diferentes, ligados entre si. O sistema de tubos é preenchido com um líquido, em geral óleo sintético, e as extremidades dos tubos são fechadas por êmbolos.



FOBOSVOBOS/SHUTTERSTOCK

OLEKSANDR YAKONIUK/SHUTTERSTOCK

Figura 12. (A) "Macaco" ou elevador hidráulico para erguer objetos pesados; (B) prensa hidráulica industrial.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Embora essas máquinas pareçam muito diferentes entre si, seu funcionamento é, na verdade, muito semelhante. A figura a seguir mostra simplificadamente esquemas que descrevem o funcionamento de um elevador hidráulico (Fig. 13A) e de uma prensa hidráulica (Fig. 13B).

ILUSTRAÇÕES: NELSON MATSUDA/ ARQUIVO DA EDITORA

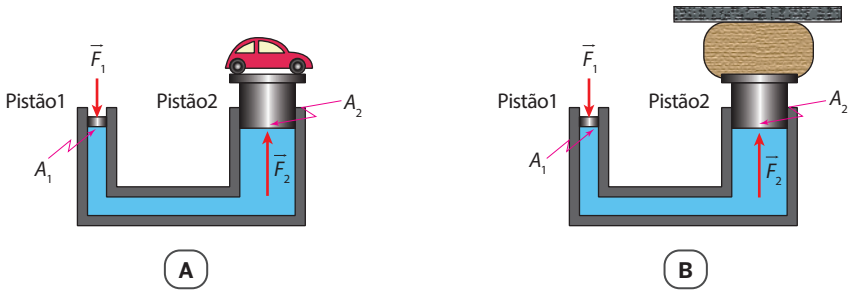


Figura 13. (A) Esquema de um elevador hidráulico; (B) esquema de uma prensa hidráulica.

Sendo A_1 a área do êmbolo menor e A_2 a área do êmbolo maior, ao aplicarmos uma força de intensidade F_1 no êmbolo da esquerda, geraremos um acréscimo de pressão $\frac{F_1}{A_1}$ no ramo esquerdo da tubulação. O fluido que preenche o sistema, suposto incompressível, transmitirá ao outro êmbolo uma força de intensidade F_2, produzindo um acréscimo de pressão $\frac{F_2}{A_2}$ no ramo direito da tubulação.

Pelo princípio de Pascal, esses acréscimos de pressão têm o mesmo valor, isto é, $\Delta p_1 = \Delta p_2$. Portanto:

$$\frac{F_1}{A_1} = \frac{F_2}{A_2}$$

Isolando F_2 nessa igualdade, teremos:

$$F_2 = \frac{A_2}{A_1} \cdot F_1$$

Se A_2 for maior que A_1, a razão $\frac{A_2}{A_1}$ será maior que 1 e teremos $F_2 > F_1$.

A vantagem mecânica dessa máquina é justamente a razão $\frac{A_2}{A_1}$, supondo que a força potente seja aplicada no êmbolo menor, a força resistente (carga) esteja aplicada no êmbolo maior e desconsideremos os pesos dos êmbolos, comparados às intensidades das forças.

Por outro lado, ao deslocarmos o êmbolo de área A_1 para baixo, transferiremos determinado volume líquido para o outro cilindro e, consequentemente, o êmbolo de área A_2 irá se deslocar para cima. Mas os êmbolos terão deslocamentos iguais? Vejamos.

Da igualdade dos volumes transferidos, temos:

$$\Delta V_1 = \Delta V_2 \Rightarrow A_1 \cdot d_1 = A_2 \cdot d_2 \Rightarrow \frac{d_1}{d_2} = \frac{A_2}{A_1}$$

Portanto, os deslocamentos estão entre si na razão inversa da razão entre as áreas dos êmbolos: o êmbolo de menor área tem maior deslocamento e vice-versa.

Assim, podemos escrever:

$$\frac{F_1}{F_2} = \frac{A_1}{A_2} = \frac{d_2}{d_1}$$

que resulta na igualdade dos trabalhos das forças de intensidades F_1 e F_2.

$$F_1 \cdot d_1 = F_2 \cdot d_2 \Rightarrow \tau_1 = \tau_2$$

Os deslocamentos dos êmbolos são inversamente proporcionais às intensidades das forças a eles aplicadas e às suas respectivas áreas. Disso concluímos que, como qualquer máquina, a prensa hidráulica e o elevador hidráulico multiplicam força, porém não multiplicam energia!

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

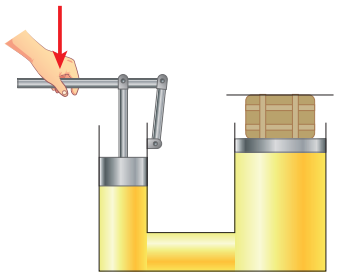
O exemplo a seguir mostra uma aplicação numérica do princípio de Pascal em uma prensa hidráulica.

Exercício resolvido

A figura representa uma prensa hidráulica rudimentar de uma pequena empresa rural, usada para compactar fardos de algodão.
Por meio de uma alavanca, o operador exerce uma força de intensidade 100 N sobre o êmbolo menor da prensa, cuja área é de 400 cm^2. Cada fardo é prensado por meio de um êmbolo de área seis vezes o valor da menor.
Determine para essa máquina:

a. a intensidade da força exercida sobre o fardo na sua prensagem.

b. a variação de pressão transmitida pelo fluido em cada operação.



NELSON MATSUDA/ARQUIVO DA EDITORA

Resolução

a. A intensidade da força no êmbolo menor é $F_1 = 100$ N e a área do segundo êmbolo é $A_2 = 6 \cdot A_1$. Aplicando a relação entre as intensidades das forças e as áreas dos êmbolos, temos:

$$\frac{F_1}{A_1} = \frac{F_2}{A_2} \Rightarrow F_2 = \frac{A_2}{A_1} \cdot F_1 \Rightarrow F_2 = \frac{6 \cdot A_1}{A_1} \cdot 100\ \text{N} \therefore F_2 = 600\ \text{N}$$

Podemos chegar a esse resultado sem aplicar a equação. Se as intensidades das forças e as áreas dos êmbolos são diretamente proporcionais entre si, sendo a área maior 6 vezes a área menor, a intensidade da força F_2 no êmbolo maior também será 6 vezes a intensidade da força F_1 aplicada ao êmbolo menor: $F_2 = 6 \cdot F_1 = 6 \cdot 100\ \text{N} \therefore F_2 = 600\ \text{N}$.

b. A variação de pressão, transmitida por meio da prensa de um êmbolo para o outro, é a razão entre a intensidade da força aplicada e a área do êmbolo sobre o qual se aplica a força. Assim:

$$\Delta p_1 = \frac{F_1}{A_1} = \frac{100\ \text{N}}{400 \cdot 10^{-4}\ \text{m}^2} \therefore \Delta p_1 = 2.500\ \text{N/m}^2.$$

Se usarmos os valores para o êmbolo 2, teremos:

$$\Delta p_2 = \frac{F_2}{A_2} = \frac{600\ \text{N}}{2.400 \cdot 10^{-4}\ \text{m}^2} \therefore \Delta p_2 = 2.500\ \text{N/m}^2, \text{ como era esperado.}$$

Veja respostas e comentários no Suplemento para o professor.

Aplicando conhecimentos

Registre as respostas em seu caderno.

9. A seguir, estão formuladas afirmações sobre fatos relacionados com pressão hidrostática. Determine aquela que **não é** correta.

9. e

a. A pressão que sentimos nos tímpanos, ao bater com força a porta de um automóvel que está com todos os vidros fechados, é um fato que se explica pelo princípio de Pascal.

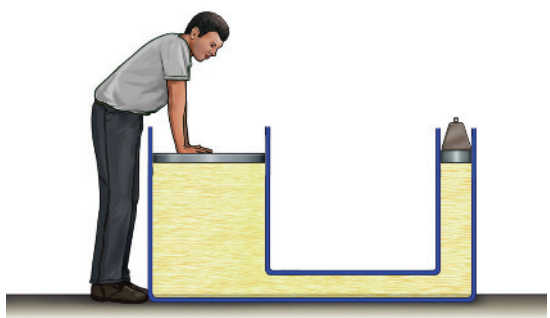
b. Uma bomba de sucção acoplada a uma tubulação, por mais potente que seja, pode sugar água no máximo até aproximadamente 10,33 m ao nível do mar.

c. A intensidade do empuxo não depende da densidade do corpo sobre o qual essa força atua.

d. A intensidade do empuxo sobre um corpo totalmente mergulhado em água é igual ao peso da água que ocupava o volume da parte submersa do corpo.

e. O funcionamento de um elevador hidráulico é uma aplicação prática combinada entre o princípio de Arquimedes e a lei de Stevin.

10. No sistema hidráulico representado na figura, o mecânico, de massa 100 kg e muito forte, tenta equilibrar um bloco de 10 kg, que está sobre o êmbolo da direita, de área A, exercendo uma força normal à superfície do êmbolo da esquerda, de área $20 \cdot A$.



ADILSON SECCO/ARQUIVO DA EDITORA

a. Na sua opinião, o mecânico conseguirá realizar essa tarefa? Justifique sua resposta.

b. Se o mecânico ficasse em pé sobre o êmbolo maior, colocando todo o seu peso sobre ele, seria mais fácil conseguir o equilíbrio? Por quê?

c. Nas condições do item *b*, qual deveria ser o valor máximo da massa do bloco para que houvesse equilíbrio?

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Atividades finais

Registre as respostas em seu caderno.

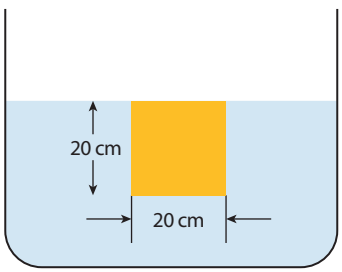
1. Suponhamos que, na história da coroa ofertada pelo rei Hierão II, o ourives tivesse apresentado ao rei uma vistosa coroa de massa 1,0 kg, confeccionada com 62,5 cm^3 de "ouro". Considere 20,0 g/cm^3 a densidade do ouro, 10,0 g/cm^3 a densidade da prata e responda.

a. Nessa versão da história, teria havido ou não fraude do ourives?

b. Em caso afirmativo, qual seria a massa de prata presente na coroa?

2. Um cubo de material sintético, com aresta de 20 cm, flutua em água cujo peso específico é $\gamma_{água} = 1{,}0 \cdot 10^4\ N/m^3$, com a face superior exatamente coincidente com a superfície livre do líquido, como se vê na figura.

NELSON MATSUDA/ARQUIVO DA EDITORA



Nessas condições, determine:

a. a pressão hidrostática na face inferior do cubo;

b. a intensidade da força na face inferior, devido à pressão hidrostática;

c. o peso específico do cubo.

3. No mostrador de um relógio de pulso para mergulho aparece a informação 100 m/330 ft, sendo **ft** uma medida inglesa de comprimento denominada **pé** (ft = *foot*). Sabendo que no mar, a cada 10 metros que descemos, sofremos um acréscimo de 1,0 atm, se um mergulhador descer até 495 ft no mar, ele estará submetido a, aproximadamente:

3. b

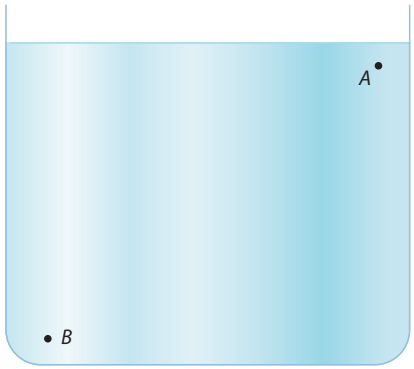
a. 15,0 atm.

b. 16,0 atm.

c. 49,5 atm.

d. 99 atm.

4. O desnível entre dois pontos, *A* e *B*, de uma mesma massa líquida é de 17,0 cm. A densidade do líquido no qual esses pontos estão imersos é 0,80 g/cm^3, e a pressão total no ponto *A* é igual a 770 mmHg.



ADILSON SECCO/ARQUIVO DA EDITORA

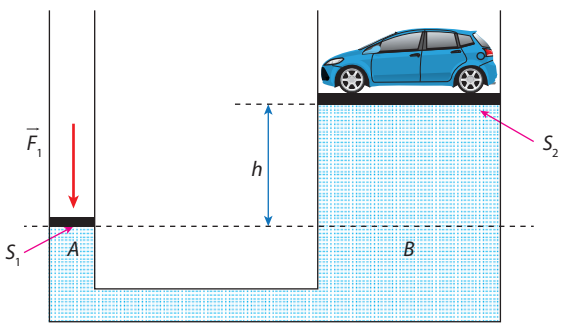
Com essas informações, determine:

a. a altura de mercúrio, em centímetro, equivalente ao desnível entre *A* e *B*, sendo 13,6 g/cm^3 a densidade do mercúrio;

b. a pressão total no ponto *B*, em mmHg.

5. Qual seria o resultado do experimento de Torricelli se ele fosse realizado na Lua?

6. Um elevador hidráulico tem como fluido operante um líquido de peso específico 16.000 N/m^3, considerado incompressível.



ADILSON SECCO/ARQUIVO DA EDITORA

O êmbolo menor tem área de 50 cm^2 e massa 10 kg, o êmbolo maior tem área de 250 cm^2 e massa 40 kg e o carrinho de brinquedo tem massa desprezível. Um técnico exerce sobre o êmbolo menor uma força de intensidade $F_1 = 100$ N, provocando um desnível *h* entre as bases dos êmbolos. Na condição de equilíbrio, determine o valor de *h*.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

CAPÍTULO 9

Termometria e dilatometria

JENNY KAO/SHUTTERSTOCK

As iguanas verdes (*Iguana iguana*) precisam da radiação ultravioleta do Sol para a sua termorregulação e para o metabolismo do cálcio e da vitamina D. (América Central, 2020.)

A temperatura exerce importante papel na vida dos seres vivos. Variações repentinas de temperatura podem resultar na morte de populações inteiras. Animais que não têm algum mecanismo interno que regule a temperatura do seu corpo, como peixes, anfíbios, répteis e invertebrados, são muito sensíveis a mudanças bruscas na temperatura. A variação da temperatura na vida selvagem também influencia a reprodução de alguns répteis; a determinação do sexo dos filhotes das tartarugas marinhas, por exemplo, é influenciada pela temperatura: se os ovos forem mantidos acima de 29 °C, nascerão mais fêmeas; se mantidos abaixo de 29 °C, nascerão mais machos. A sensibilidade aos fatores ambientais e à temperatura corporal também influencia a vida humana. Uma pessoa com febre sente algum mal-estar e, em geral, usa um termômetro para medir sua temperatura corporal. Os termômetros são dotados de uma escala conveniente denominada escala termométrica.

A **Termologia** é a área das Ciências Físicas que estuda a temperatura, seus efeitos, as escalas usadas para medi-la e outros assuntos relacionados à **energia térmica**. Neste capítulo, vamos desenvolver o estudo da **termometria**, estudo da temperatura, e um dos seus efeitos sobre a matéria, a dilatação térmica dos corpos, também denominada **dilatometria**.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

1. Temperatura e suas escalas

Nossa primeira noção de temperatura vem dos nossos sentidos, em especial, do tato. Empiricamente, dizemos que, se um corpo está "quente", ele tem maior temperatura; se um corpo está "frio", ele tem menor temperatura. Entretanto, apenas a sensação térmica não nos fornece uma indicação confiável da temperatura de um corpo, pois ela depende da avaliação subjetiva de cada pessoa e das condições em que a avaliação foi feita. Pode-se perceber esse fato, por exemplo, quando se toca em uma superfície metálica e outra de madeira. Temos a sensação de que a maçaneta está mais fria, embora ela e a porta estejam à temperatura do ambiente. Portanto, para conhecer melhor as propriedades térmicas de um sistema, devemos medir com mais precisão e exatidão sua temperatura em um dado momento.

O movimento das partículas que constituem um sistema físico não é ordenado; pelo contrário, é extremamente caótico e costuma ser denominado movimento de **agitação térmica**. Algumas propriedades macroscópicas de um sistema de partículas estão relacionadas a esse movimento caótico, microscópico e que está associado à grandeza termodinâmica denominada **temperatura**, cujo valor é proporcional à quantidade de **energia térmica** do sistema. A energia térmica de um sistema é, em princípio, a soma da energia cinética de todas as partículas que o compõem. De forma simplificada, podemos conceituar a grandeza temperatura como:

> Temperatura é uma grandeza associada ao grau de agitação das partículas que constituem um sistema.

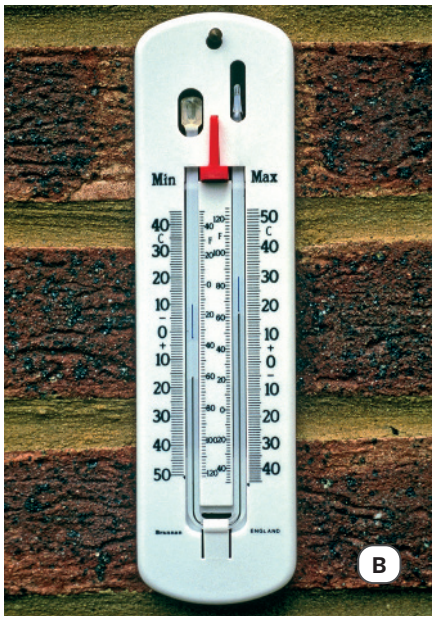
Assim, quanto maior for o grau de agitação das partículas de um sistema, maior será a energia cinética dessas partículas e, portanto, maior será a temperatura do sistema.

A medição da temperatura é feita por instrumentos denominados **termômetros**, que medem a temperatura de um sistema pela variação ocorrida em alguma grandeza física cujo valor se altera quando o sistema troca energia com outro. A substância utilizada no termômetro para a indicação da temperatura é denominada substância termométrica.

A grandeza física cuja variação indica a temperatura chama-se **grandeza termométrica**. Ela pode ser um comprimento, uma pressão, um volume, uma resistência elétrica, entre outras. No termômetro clínico digital (Fig. 1A), a grandeza termométrica é a resistência elétrica de um termistor (*thermal resistor*). No termômetro meteorológico analógico (Fig. 1B), a grandeza termométrica é o comprimento da coluna de um líquido colorido, em geral álcool. Existem diversos tipos de termômetros, para diversas aplicações práticas.

Macroscopicamente, a temperatura é um parâmetro que determina o sentido do fluxo de energia térmica entre sistemas colocados em contato térmico. Verifica-se, na prática, que a energia térmica sempre flui **espontaneamente** do corpo mais quente para o corpo mais frio. Entretanto, é possível **forçar** o fluxo de energia térmica no sentido do corpo mais frio para o corpo mais quente; isso, porém, requer a intervenção de um agente externo e não será, portanto, um processo espontâneo. Se não houver fluxo de energia térmica entre dois sistemas em contato térmico, dizemos que eles têm temperaturas iguais e estão em **equilíbrio térmico** entre si.

FABRIKASIMF/SHUTTERSTOCK



JEERRY MASON/SPL/FOTOARENA

Figura 1. (A) Termômetro clínico digital e (B) termômetro meteorológico analógico de máxima e mínima.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Veja respostas e comentários no Suplemento para o professor.

Em destaque

ODS 3 SAÚDE

Febre

A temperatura do corpo humano é controlada por uma área do cérebro chamada hipotálamo, que age como um termostato, ajustado para manter os órgãos internos a 37 °C. Esse objetivo é alcançado por meio do equilíbrio entre a perda de calor pelos órgãos periféricos (pele, vasos sanguíneos, glândulas sudoríparas etc.) em contato com o ambiente e a produção de calor pelo processo metabólico dos tecidos internos.

Quando o organismo é agredido por um agente externo ou por uma doença dos órgãos internos, o termostato pode elevar a temperatura dois ou três graus acima dos valores habituais, o que caracteriza a febre.

Na verdade, a febre não é uma doença; é uma reação do organismo contra alguma anomalia. Também não é necessariamente um mal. Nas infecções, por exemplo, ajuda o sistema de defesa a livrar-se do agente agressor.

Fonte: BRUNA, Maria Helena Varella. Febre. **Drauzio**, 27 jul. 2023. Disponível em: https://drauziovarella.uol.com.br/doencas-e-sintomas/febre. Acesso em: 16 set. 2024.

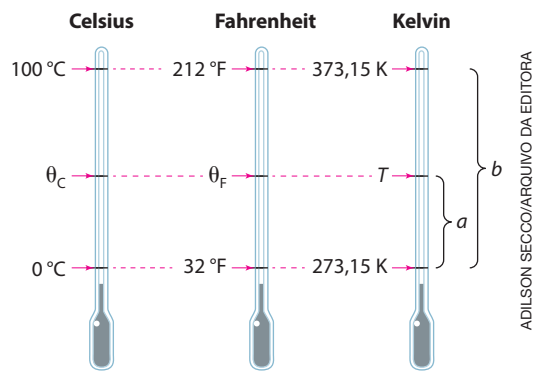
O texto explica, com linguagem acessível, o que é febre. Para desenvolver a linguagem científica e ampliar o conteúdo informativo, pesquise e responda às perguntas a seguir.

1. Qual é a temperatura média do corpo considerada ideal para os seres humanos?
2. Qual é o instrumento indicado para medir a temperatura corporal? Quais são as maneiras corretas de utilizar esse instrumento?
3. O que é um termostato?
4. Por que geralmente suamos quando temos febre?
5. O que são antitérmicos, ou antipiréticos, e qual é sua ação em caso de febre?
6. Os seres humanos são animais termoconformadores ou termorreguladores? Ectotérmicos ou endotérmicos? Justifique sua resposta.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Apesar de os termômetros digitais serem os mais utilizados hoje em dia, os termômetros de tubo de vidro ainda são empregados, e seu funcionamento se baseia na dilatação de um líquido contido em um recipiente, o bulbo, que está ligado a uma finíssima haste, o capilar. Os termômetros de tubo de vidro que empregam mercúrio, metal líquido usado em razão de suas características físicas e químicas, estão sendo gradativamente substituídos, tendo em vista a alta toxicidade desse metal. Assim, os termômetros de tubo de vidro estão passando a utilizar, em vez de mercúrio, álcool colorido artificialmente.

Para a medição da temperatura, assim como para qualquer outra grandeza física, é necessário adotar uma escala de medidas. As escalas de medidas de temperaturas são denominadas **escalas termométricas**. Em um termômetro, a cada valor assumido pela grandeza termométrica, associa-se na escala termométrica um valor numérico arbitrário que será a temperatura correspondente ao estado térmico em questão. Assim, em um termômetro de tubo de vidro, teremos, para cada valor da altura h, um valor correspondente de temperatura θ. Para a calibração de um termômetro, geralmente são utilizados dois estados térmicos bem definidos, denominados **pontos fixos**, como o ponto de fusão do gelo sob pressão atmosférica normal (ponto de gelo) e o ponto de ebulição da água sob pressão atmosférica normal (ponto de vapor). A escolha desses pontos se deu por razões práticas, pois esses estados térmicos são reproduzidos com facilidade. As escalas termométricas podem ser criadas de acordo com a conveniência e/ou necessidade do seu criador. Atualmente, são três as escalas termométricas mais utilizadas: a Celsius (°C), a Fahrenheit (°F) e a escala absoluta Kelvin (K). O esquema da figura 2 compara, lado a lado, as três escalas termométricas mencionadas e as temperaturas correspondentes ao ponto de gelo e ao ponto de vapor.



ADILSON SECCO/ARQUIVO DA EDITORA

Figura 2. Representação das escalas Celsius, Fahrenheit e Kelvin.

Em situações que não exigem precisão científica, é comum considerar, para a escala absoluta Kelvin, o ponto de gelo como 273 K e o ponto de vapor como 373 K.

Observe que existe uma proporcionalidade entre o número de divisões em determinado trecho da escala (intervalo *a*) e o número de divisões no seu intervalo fundamental (intervalo *b*). Assim, podemos estabelecer uma proporção matemática entre esses intervalos de temperatura e obter uma **relação de conversão** entre os valores de determinada temperatura indicados nessas escalas:

$$\frac{a}{b} = \frac{\theta_C - 0}{100 - 0} = \frac{\theta_F - 32}{212 - 32} = \frac{T - 273}{373 - 273}$$

Calculando as diferenças nos denominadores, obtemos:

$$\frac{\theta_C}{100} = \frac{\theta_F - 32}{180} = \frac{T - 273}{100}$$

Podemos, ainda, simplificar os denominadores por 20 e chegar, finalmente, a:

$$\frac{\theta_C}{5} = \frac{\theta_F - 32}{9} = \frac{T - 273}{5}$$

Entre as escalas Celsius e Kelvin há uma relação mais simples:

$$\frac{\theta_C}{5} = \frac{T - 273}{5} \Rightarrow \theta_C = T - 273 \text{ ou } T = \theta_C + 273$$

O zero da escala Kelvin é o **zero absoluto** (0 K), isto é, a menor temperatura teórica possível no universo. Substituindo o valor 0 K (zero kelvin) em uma das relações acima, temos:

$$\theta_{C(\text{zero absoluto})} = 0 - 273 \Rightarrow \theta_{C(\text{zero absoluto})} = -273\ °C$$

2. Escala absoluta Kelvin

O físico britânico William Thomson (1824-1907), mais conhecido pelo título lorde Kelvin, estudou a relação entre calor e trabalho, baseado nos trabalhos de James P. Joule (1818-1889) e nas leis fundamentais da Termodinâmica. Em 1848, propôs uma escala absoluta de temperaturas, que não depende das propriedades físicas da substância termométrica utilizada. Essa escala é denominada escala termodinâmica de temperaturas absolutas ou, simplesmente, escala Kelvin.

O zero dessa escala corresponde, pelo menos em teoria, a um estado térmico, denominado **zero absoluto**, no qual o sistema teria energia térmica igual a zero. Esta seria a temperatura mais baixa que um sistema poderia atingir. Embora seja possível mostrar, pelas leis da Termodinâmica, que esse estado térmico é **inatingível na prática**, experimentalmente já foi possível chegar a alguns bilionésimos de grau acima do zero absoluto, utilizando-se técnicas de criogenia e resfriamento a laser.

Um intervalo unitário na escala Kelvin é denominado 1 kelvin; não se diz "grau kelvin". Um intervalo de 10 unidades nessa escala é um intervalo de 10 kelvins. As temperaturas na escala Kelvin são expressas pelo respectivo valor numérico, seguido do símbolo K. A escala termométrica Kelvin foi adotada como unidade fundamental de temperaturas no Sistema Internacional de Unidades (SI). Assim, a menor temperatura na natureza, o zero absoluto, escreve-se 0 K e lê-se zero kelvin.

A escala Kelvin não é a única escala absoluta. Qualquer escala termométrica cujo zero coincida com o zero absoluto também é uma escala absoluta, mas apenas a escala Kelvin é a escala "oficial" do SI.

Veja respostas e comentários no Suplemento para o professor.

Atividade em grupo

ODS 13 MEIO AMBIENTE

Os principais motivos do aquecimento global são as emissões de gases de efeito estufa, especialmente provenientes de atividades humanas, como a queima de combustíveis fósseis e o desmatamento. As parcerias e os acordos internacionais, como o Acordo de Paris, buscam manter o aumento da temperatura média global abaixo de 2 °C acima dos níveis pré-industriais. Esse acordo enfatiza a necessidade de reduções drásticas nas emissões de gases de efeito estufa e a transição para fontes de energia renovável para combater as mudanças climáticas.

Em grupos de 3 a 5 estudantes, realizem uma pesquisa sobre o aquecimento global. Busquem informações sobre as causas desse fenômeno, suas consequências e seus impactos na vida humana e no meio ambiente. Utilizem fontes confiáveis, como *sites* de organizações ambientais e científicas. Durante a pesquisa, foquem também em identificar ações coletivas e individuais que podem ser adotadas para combater o aquecimento global. Além disso, busquem informações sobre parcerias e acordos internacionais que visam mitigar as mudanças climáticas.

Com base nas informações coletadas, elaborem um cartaz informativo que possa ser exibido para a comunidade escolar. Utilizem materiais como papel, canetas coloridas e imagens impressas para criar um cartaz atrativo e informativo.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Veja respostas e comentários no Suplemento para o professor.

Aplicando conhecimentos

Registre as respostas em seu caderno.

1. Na cidade de Al Aziziyah, na Líbia, os termômetros já registraram a temperatura de 58 °C, em 15 de setembro de 1922. Por outro lado, na estação russa Vostok, na Antártida, os termômetros já registraram uma temperatura de –89 °C. Isso ocorreu em 21 de julho de 1983. Faça a conversão da primeira temperatura para a escala Fahrenheit e da segunda para a escala Kelvin.

2. Um cientista amador afirma ter obtido em seu laboratório particular uma temperatura de –594,4 °F, em um determinado experimento.
Com os seus conhecimentos sobre escalas termométricas, verifique se a afirmação do cientista é verdadeira ou falsa.

3. Dilatação térmica dos sólidos

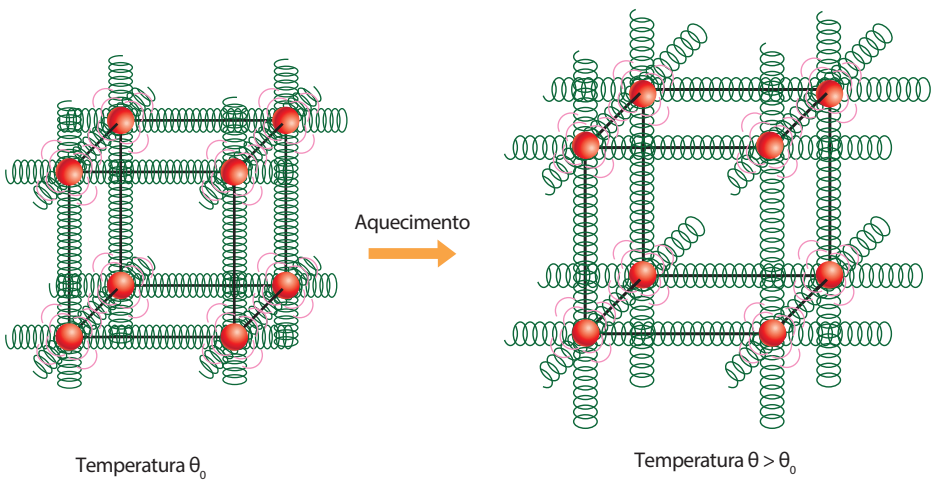
OBJETO DIGITAL Vídeo: Dilatação térmica

Quando aquecemos ou resfriamos um corpo, esteja ele no estado sólido, líquido ou gasoso, a tendência é que suas dimensões se alterem, para mais ou para menos. Em geral, quando as substâncias são aquecidas, suas moléculas vibram mais intensamente, resultando em uma distância média maior entre elas; assim, o aquecimento faz com que todas as dimensões do corpo aumentem. Nesse caso, dizemos que o corpo sofreu uma dilatação térmica.

Por outro lado, o resfriamento provoca a diminuição da agitação das partículas e, consequentemente, a diminuição nas dimensões do corpo. Dizemos, então, que o corpo sofreu uma contração térmica ou uma dilatação térmica negativa.

Algumas substâncias podem se contrair com o aquecimento ou podem se dilatar com o resfriamento; essas situações, no entanto, só ocorrem dentro de certos intervalos de temperatura bem definidos. A solidificação da água a 0 °C é um exemplo disso: o gelo formado na solidificação de certa massa de água ocupa volume maior que a água líquida. Silício, germânio, bismuto e antimônio são outras substâncias que se expandem ao solidificar. Estudaremos esse comportamento da água mais adiante.

Vamos considerar um corpo sólido inicialmente a uma temperatura θ_0. Se a temperatura desse corpo aumentar para um valor $\theta > \theta_0$, a agitação térmica de suas partículas aumentará, e, consequentemente, a distância média entre elas deverá aumentar, pois as partículas passarão a vibrar com maior amplitude. A **figura 3** mostra um modelo de uma rede cristalina de um sólido.



NELSON MATSUDA/ARQUIVO DA EDITORA

Figura 3. O aquecimento provoca dilatação térmica. (Representação fora de proporção; cores meramente ilustrativas.)

Assim, em geral, o **aquecimento** faz com que todas as dimensões do corpo (comprimento, largura e altura) aumentem. Nesse caso, dizemos que o corpo sofreu uma **dilatação térmica**.

Por outro lado, o **resfriamento** provoca a diminuição da agitação das partículas e, por consequência, a diminuição nas dimensões do corpo. Dizemos, então, que o corpo sofreu uma **contração térmica** ou uma **dilatação térmica negativa**.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Tomemos, por exemplo, um corpo metálico de formato cúbico inicialmente a uma temperatura θ_0 e vamos aquecê-lo até uma temperatura final $\theta > \theta_0$. Com esse aquecimento, as dimensões do corpo se alteram (Fig. 4).

NELSON MATSUDA/ARQUIVO DA EDITORA

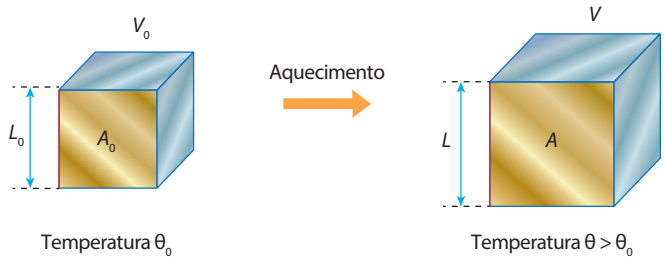


Figura 4. Quando um corpo é aquecido, em geral todas as suas dimensões aumentam.

Suas arestas passam de um valor inicial L_0 para um valor final L; as áreas de suas faces passam de um valor inicial A_0 para um valor final A; e, finalmente, seu volume inicial V_0 altera-se para um valor final V.

Com o aumento da temperatura, um corpo sofre três tipos de dilatação térmica:

- **Dilatação térmica linear (ΔL):** aumento na medida de qualquer comprimento ($\Delta L = L - L_0$).
- **Dilatação térmica superficial (ΔA):** aumento na medida da área de qualquer elemento de superfície ($\Delta A = A - A_0$).
- **Dilatação térmica volumétrica (ΔV):** aumento na medida de qualquer elemento de volume ($\Delta V = V - V_0$).

As três formas de dilatação – linear, superficial e volumétrica – ocorrem simultaneamente. Entretanto, para compreendê-las de forma didática, vamos analisá-las separadamente.

Dilatação térmica linear dos sólidos

Vamos considerar uma viga metálica de comprimento inicial L_0 que passa por um aquecimento, partindo de uma temperatura θ_0 até alcançar uma temperatura final θ (Fig. 5).

Experimentalmente, constata-se que a dilatação térmica linear de um corpo:

- é diretamente proporcional à **variação de temperatura** $\Delta\theta$ experimentada por ele;
- é diretamente proporcional ao seu **comprimento inicial** L_0;
- depende do **material** que o constitui.

Essas constatações empíricas podem ser reunidas em uma expressão relativamente simples:

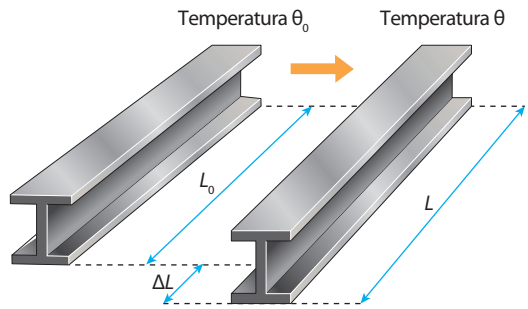


Figura 5. Com o aumento de sua temperatura, a viga sofre uma dilatação linear $\Delta L = L - L_0$.

NELSON MATSUDA/ARQUIVO DA EDITORA

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

$$\Delta L = \alpha \cdot L_0 \cdot \Delta\theta$$

sendo α um coeficiente de proporcionalidade denominado **coeficiente de dilatação térmica linear**. Embora seu valor varie com a temperatura, dentro de certos limites podemos considerar α como uma constante para o material. Escrevendo a relação anterior na forma

$$\frac{\Delta L}{L_0} = \alpha \cdot \Delta\theta$$

em que o primeiro membro da igualdade passa a ser chamado de variação relativa do comprimento, geralmente expresso em porcentagem, e ambos os membros da igualdade ficam adimensionais; portanto, o coeficiente α deve ter dimensão de inverso de temperatura [conhecido também como **grau recíproco** (grau^{-1})]. No SI, a unidade do coeficiente alfa é K^{-1} (lê-se kelvin recíproco).

Manipulando algebricamente a equação anterior, podemos também obter uma expressão para o cálculo valor final L de um dado comprimento, assim:

$$L = L_0 + \Delta L = L_0 + L_0 \cdot \alpha \cdot \Delta\theta \Rightarrow L = L_0 \cdot (1 + \alpha \cdot \Delta\theta)$$

O exercício resolvido a seguir mostra uma aplicação da dilatação linear de um sólido.

Exercício resolvido

O coeficiente de dilatação térmica linear do aço é igual a $12 \cdot 10^{-6}\ °C^{-1}$. Um cabo de aço com 1,0 km de comprimento sofre um aquecimento uniforme que provoca uma variação de temperatura de 1,0 °C. Determine, em milímetros, a dilatação térmica linear desse cabo após esse aquecimento.

Resolução

Temos, $L_0 = 1{,}0\ km = 1{,}0 \cdot 10^3\ m = 1{,}0 \cdot 10^6\ mm$.

Assim:

$\Delta L = \alpha \cdot L_0 \cdot \Delta\theta \Rightarrow \Delta L = 12 \cdot 10^{-6}\ °C^{-1} \cdot 1{,}0 \cdot 10^6\ mm \cdot 1{,}0\ °C \Rightarrow \Delta L = 12\ mm$.

Esse resultado mostra que, para o aço, a cada 1,0 °C de aumento na temperatura, cada quilômetro de comprimento de uma barra ou de um cabo sofrerá um aumento de 12 mm. Portanto, o coeficiente de dilatação térmica linear do aço também pode ser escrito como $\alpha_{aço} = 12\ \frac{mm}{km \cdot °C}$.

Os projetos de grandes estruturas da Engenharia Civil, como pontes e viadutos, devem considerar a dilatação térmica que essas edificações podem sofrer entre dias frios e dias quentes. As pontes têm juntas de dilatação posicionadas ao longo da sua extensão e que permitem a alteração dos comprimentos das seções da ponte sem prejudicar a integridade da estrutura (Fig. 6.)

Os cabos condutores das linhas de transmissão de energia elétrica não devem ficar muito esticados entre uma torre e outra, pois, se houver uma queda muito acentuada na temperatura ambiente, a contração térmica pode causar o rompimento deles.

ANGELA DUKICH/ SHUTTERSTOCK

Figura 6. Juntas de dilatação permitem que a ponte se dilate, ou se contraia, evitando danos à estrutura.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Veja respostas e comentários no Suplemento para o professor.

Aplicando conhecimentos

Registre as respostas em seu caderno.

3. Um mecânico pretende soltar uma porca de Invar (liga de ferro com níquel) de um parafuso de aço. Qual deve ser o procedimento térmico a ser adotado pelo mecânico para soltar a porca se ela estiver emperrada? Dado: $\alpha_{Invar} < \alpha_{aço}$.

4. Duas barras, uma de zinco e outra de ferro, têm comprimentos iguais à temperatura de 0 °C. A 100 °C, seus comprimentos diferem de 9,0 mm. Sendo os coeficientes de dilatação térmica lineares do zinco e do ferro $\alpha_{Zn} = 3{,}0 \cdot 10^{-5}\ °C^{-1}$ e $\alpha_{Fe} = 1{,}2 \cdot 10^{-5}\ °C^{-1}$, responda:

a. Qual das barras tem maior comprimento a 100 °C? Justifique sem cálculos.

b. Qual é o comprimento das barras a 0 °C, em metro?

Dilatação térmica superficial dos sólidos

Considere uma placa retangular de um material qualquer. Seja A_0 o valor da área da sua superfície a uma temperatura θ_0. Quando sua temperatura é aumentada para $\theta > \theta_0$, a área da sua superfície passa a ser $A > A_0$ (Fig. 7).

ADILSON SECCO/ ARQUIVO DA EDITORA

Figura 7. Representação esquemática da dilatação superficial.

A dilatação superficial ΔA da placa é diretamente proporcional ao valor inicial A_0 da área e à variação de temperatura $\Delta\theta$, de modo análogo ao que acontece com a dilatação linear. Assim, a **equação da dilatação térmica superficial**, em notação simbólica, tem aspecto semelhante à lei da dilatação térmica linear:

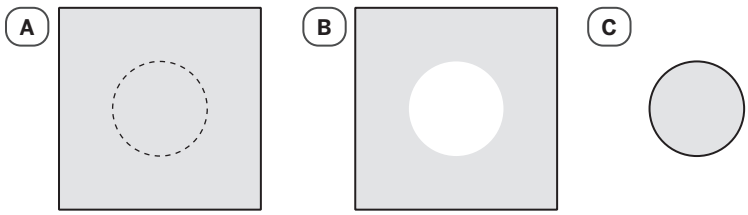
$$\Delta A = \beta \cdot A_0 \cdot \Delta\theta$$

O fator β chama-se **coeficiente de dilatação térmica superficial** do material que constitui a placa. Para a maioria dos materiais sólidos, podemos considerar $\beta = 2\alpha$, com excelente precisão, como veremos no exercício resolvido mais adiante. A unidade de medida de β também é o grau recíproco (grau^{-1}), dependendo da escala de temperaturas adotada.

O valor final da área A, após uma dada variação de temperatura, é dado por:

$$A = A_0 \cdot (1 + \beta \cdot \Delta\theta)$$

No entanto, o que ocorre quando os objetos possuem buracos? Considere uma placa retangular plana da qual vamos recortar um disco circular. Assim, ficaremos com uma placa "furada" e um disco circular com o mesmo diâmetro do furo na placa (Fig. 8).

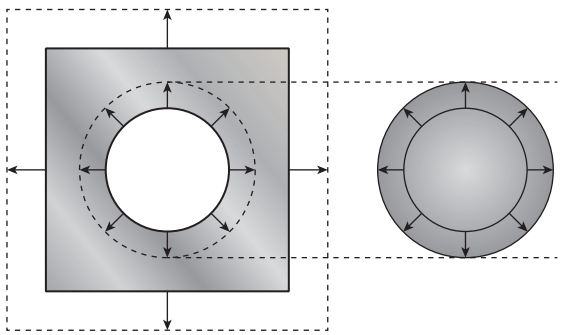


ADILSON SECCO/ ARQUIVO DA EDITORA

Figura 8. (A) Placa com marcação para o recorte do orifício circular; (B) placa com orifício circular e (C) disco circular removido da placa.

Se aquecermos igualmente a placa furada e o disco circular, o que ocorrerá com os diâmetros do furo e do disco?

Constata-se experimentalmente que os diâmetros do furo e do disco sofrerão a mesma dilatação térmica superficial. Isso pode ser comprovado recolocando-se o disco sobre o furo e constatando-se que o disco se ajustará perfeitamente ao furo na nova temperatura (Fig. 9).



NELSON MATSUDA/ARQUIVO DA EDITORA

Figura 9. A dilatação superficial do orifício é igual à do disco circular.

Podemos então dizer que:

O furo "dilata-se" como se fosse feito do mesmo material da placa!

No exercício resolvido a seguir, vamos demonstrar a relação $\beta = 2\alpha$.

Exercício resolvido

Uma placa metálica retangular tem lados com medidas a_0 e b_0, inicialmente. O coeficiente de dilatação térmica linear do metal é α e a placa é uniformemente aquecida, sofrendo uma variação de temperatura $\Delta\theta$. Determine o coeficiente de dilatação térmica superficial β desse metal.

Resolução

A área inicial da placa é $A_0 = a_0 \cdot b_0$ e, após o aquecimento, a nova área será $A = A_0 \cdot (1 + \beta \cdot \Delta\theta)$.

Após o aquecimento, os lados da placa terão medidas $a = a_0 \cdot (1 + \alpha \cdot \Delta\theta)$ e $b = b_0 \cdot (1 + \alpha \cdot \Delta\theta)$.

Assim, a nova área será:

$A = a \cdot b = a_0 \cdot (1 + \alpha \cdot \Delta\theta) \cdot b_0 \cdot (1 + \alpha \cdot \Delta\theta) \Rightarrow$

$\Rightarrow A = a_0 \cdot b_0 \cdot (1 + \alpha \cdot \Delta\theta)^2 \Rightarrow$

$\Rightarrow A = A_0 \cdot [1 + 2\alpha \cdot \Delta\theta + \alpha^2 \cdot (\Delta\theta)^2]$

Os coeficientes α são da ordem de $10^{-7}\ °C^{-1}$ até $10^{-4}\ °C^{-1}$, assim, α^2 terá valores variando entre $10^{-14}\ °C^{-1}$ e $10^{-8}\ °C^{-1}$, que são desprezíveis em comparação com α.

Com isso, podemos escrever:

$A = A_0 \cdot [1 + 2\alpha \cdot \Delta\theta] \Rightarrow A = A_0 \cdot (1 + \beta \cdot \Delta\theta)$

Logo: $\beta \simeq 2\alpha$

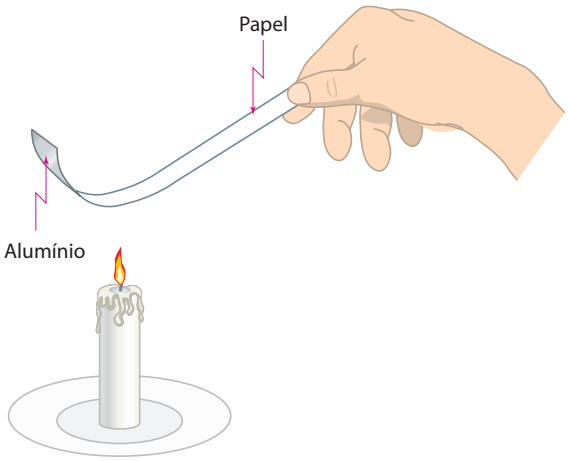
Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Veja respostas e comentários no Suplemento para o professor.

Atividade prática

Lâmina bimetálica

Na montagem mostrada na figura a seguir, você poderá comprovar o que ocorre quando aquecemos uma tira feita de materiais diferentes, também chamada lâmina bimetálica.



ILUSTRAÇÕES: ADILSON SECCO/ARQUIVO DA EDITORA

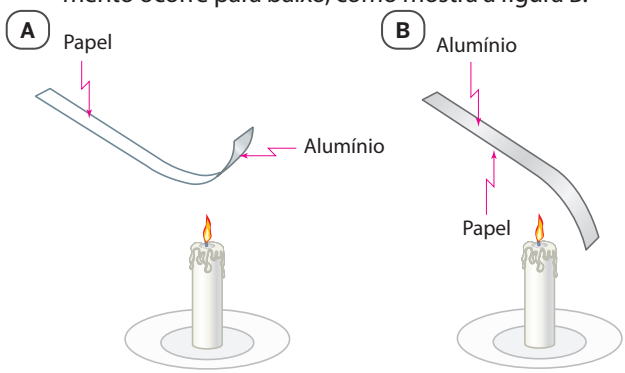
Materiais

- uma folha que tenha uma face de alumínio e a outra de papel, como a de embalagem de bombons, ou mesmo de uma embalagem longa vida;
- uma vela, devidamente fixada a um apoio (castiçal ou pires).

Tome muito cuidado ao manipular a vela acesa para não se queimar com a chama ou com a parafina derretida.

Procedimento

1. Recorte uma tira retangular da folha com dimensões de 3 cm por 15 cm, aproximadamente. Alise-a bem, para que fique plana.
2. Segure a tira na posição horizontal, de modo que a face de alumínio fique para baixo, e aproxime-a, com ajuda do professor, da chama de uma vela, como mostra a figura A, porém, não aproxime muito, para não incendiar o papel. Você verá que a tira se encurva para cima. Mas, se inverter, mantendo a tira com o alumínio na parte superior, notará que o encurvamento ocorre para baixo, como mostra a figura B.



Análise do experimento

1. Levando em consideração que isso acontece por causa da diferença entre os coeficientes de dilatação dos materiais que constituem a tira, explique o curvamento observado durante o experimento.
2. Pesquise as utilizações práticas das lâminas bimetálicas.

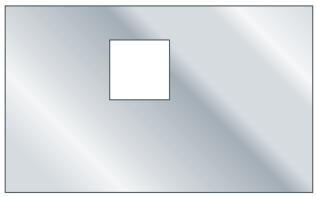
Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Veja respostas e comentários no Suplemento para o professor.

Aplicando conhecimentos

Registre as respostas em seu caderno.

5. Determinado metal tem coeficiente de dilatação térmica linear igual a $2{,}5 \cdot 10^{-5}\ °C^{-1}$. Uma chapa retangular desse metal, de lados 45 cm e 30 cm, apresenta um furo quadrado de lado $\ell_0 = 2{,}00$ cm, como se vê na figura, sem escala.



ADILSON SECCO/ARQUIVO DA EDITORA

A chapa encontra-se inicialmente a 25 °C e é aquecida até a temperatura de 425 °C. Com essas informações, responda:

a. Qual é a medida ℓ do lado do furo a 425 °C?

b. Usando os valores inicial e final da área do furo, determine o valor do coeficiente de dilatação térmica superficial experimental β_e do material da placa.

6. Um espelho de vidro de área 2,00 m^2 sofre um aumento de temperatura de 50 °C. Calcule, em cm^2, a dilatação superficial considerando $16 \cdot 10^{-6}\ °C^{-1}$ o coeficiente de dilatação térmica linear do vidro que compõe o espelho.

Dilatação térmica volumétrica dos sólidos

Consideremos um paralelepípedo reto retângulo, como se vê na figura 10.

Seja V_0 seu volume a uma temperatura inicial θ_0. Quando a temperatura aumenta para $\theta > \theta_0$, o volume assume o valor $V > V_0$. A variação de volume do sólido, isto é, sua dilatação térmica volumétrica ΔV, é diretamente proporcional ao volume inicial V_0 e à variação de temperatura $\Delta\theta$, de modo análogo ao que acontece com as dilatações linear e superficial.

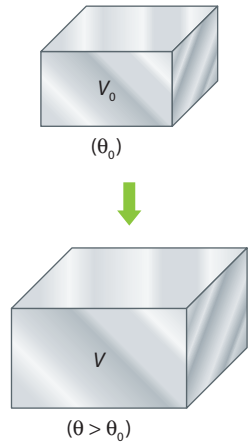
Assim, a **equação da dilatação térmica volumétrica**, em notação simbólica, tem aspecto semelhante às equações das dilatações térmicas linear e superficial:

$$\Delta V = \gamma \cdot V_0 \cdot \Delta\theta$$

O fator γ chama-se **coeficiente de dilatação térmica volumétrica** do material de que é feito o corpo. Para a maioria dos materiais sólidos, podemos considerar $\gamma = 3\alpha$, com excelente precisão. A unidade do coeficiente γ é a mesma dos coeficientes α e β, isto é, grau^{-1}, conforme a escala de temperaturas adotada.

O volume final de um corpo que experimenta uma variação de temperatura $\Delta\theta$ será:

$$V = V_0 \cdot (1 + \gamma \cdot \Delta\theta)$$



ADILSON SECCO/ARQUIVO DA EDITORA

Figura 10. Representação esquemática da dilatação volumétrica.

A demonstração de $\gamma = 3\alpha$ é semelhante à demonstração $\beta = 2\alpha$, porém um pouco mais trabalhosa. Se quiser demonstrá-la, lembre-se de que:

$$(1 + \alpha \cdot \Delta\theta)^3 = 1^3 + 3 \cdot 1^2 \cdot \alpha \cdot \Delta\theta + 3 \cdot 1 \cdot \alpha^2 \cdot (\Delta\theta)^2 + \alpha^3 \cdot (\Delta\theta)^3 \simeq 1 + 3 \cdot \alpha \cdot \Delta\theta$$

Essa aproximação é possível porque α^2 e α^3 são desprezíveis em comparação com α.

Veja respostas e comentários no Suplemento para o professor.

Aplicando conhecimentos

Registre as respostas em seu caderno.

7. Um cubo metálico de aresta 20 cm a 0 °C, após um aquecimento uniforme, tem sua temperatura elevada em 200 °C e a medida da sua aresta aumentada em 0,4%. Com essas informações, determine:

a. o coeficiente de dilatação térmica linear (α) do material do cubo;

b. a dilatação térmica volumétrica sofrida pelo cubo, em cm^3, usando a aproximação $\gamma = 3\alpha$;

c. a variação percentual do volume do cubo, ΔV%, nesse aquecimento, em relação ao valor inicial.

8. Suponha que um sólido, de volume V_0 e coeficiente de dilatação térmica volumétrica γ, sofra uma variação de temperatura $\Delta\theta = -\frac{1}{\gamma}$.

a. Determine o volume V desse sólido, na nova temperatura.

b. Dê uma explicação física para o resultado do item (*a*).

4. Comportamento térmico dos líquidos

Líquidos não têm forma própria. Por esse motivo, quando estudamos suas propriedades físicas, devemos considerar nos experimentos a influência dos recipientes que os contêm. No caso específico da dilatação térmica, ao aquecer ou resfriar um líquido, também estamos aquecendo ou resfriando o recipiente. Assim, para determinar o valor exato da dilatação térmica sofrida pelo líquido, temos de levar em conta a dilatação térmica do recipiente que o contém.

A dilatação térmica volumétrica de um líquido obedece à mesma lei estabelecida para os sólidos. Considere V_0 o volume de um líquido em uma temperatura θ_0. Ao ocorrer uma variação de temperatura $\Delta\theta$, o volume do líquido sofre uma variação ΔV. Essa dilatação térmica volumétrica ΔV é diretamente proporcional ao volume inicial V_0 e à variação de temperatura $\Delta\theta$. Assim:

$$\Delta V = \gamma \cdot V_0 \cdot \Delta\theta$$

O fator γ é o **coeficiente de dilatação térmica volumétrica** do líquido, expresso em K^{-1} (Kelvin recíproco) no SI. Como já vimos, os coeficientes γ têm valores iguais quando expressos nas escalas Celsius e Kelvin.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Os valores dos coeficientes de dilatação térmica dos líquidos são bem maiores que os dos sólidos; por isso, nas medições, muitas vezes não se leva em conta a dilatação térmica do recipiente que contém o líquido. O erro que se comete, em geral, é muito pequeno. Vamos analisar isso com um exemplo numérico.

Exercício resolvido

ESTRATÉGIA DE ESTUDO

Consideremos um recipiente de vidro, cujo coeficiente de dilatação térmica linear é igual a $\alpha_V = 4{,}0 \cdot 10^{-6}\ °C^{-1}$. Esse recipiente tem capacidade de 250 mL a 20 °C e está totalmente preenchido com um líquido cujo coeficiente de dilatação térmica volumétrica é $\gamma_L = 1{,}32 \cdot 10^{-3}\ °C^{-1}$. Vamos determinar a dilatação térmica sofrida pelo líquido e o volume de líquido transbordado, quando o conjunto é aquecido a 220 °C.

Identificar

O exercício envolve o cálculo da dilatação térmica de um sólido (recipiente de vidro) e da dilatação térmica de um líquido. Portanto, convém calcular separadamente as dilatações volumétricas de cada um deles.

Preparar

Para o cálculo da dilatação térmica volumétrica do líquido, temos:

$$\Delta V_L = \gamma_L \cdot V_0 \cdot \Delta\theta$$

Já para o cálculo da dilatação térmica volumétrica do recipiente:

$$\Delta V_R = \gamma_V \cdot V_0 \cdot \Delta\theta$$

Aplicar

Substituindo os valores fornecidos no enunciado e lembrando que $\gamma_V = 3 \cdot \alpha_V$, temos:

$$\Delta V_L = 1{,}32 \cdot 10^{-3}\ °C^{-1} \cdot 250\ mL \cdot (220 - 20)\ °C = 66\ mL$$

$$\Delta V_R = 3 \cdot 4{,}0 \cdot 10^{-6}\ °C^{-1} \cdot 250\ mL \cdot (220 - 20)\ °C = 0{,}6\ mL$$

Portanto, o volume que transborda é dado por:

$$V_{transbordado} = \Delta V_L - \Delta V_R = 66\ mL - 0{,}6\ mL = 65{,}4\ mL$$

Avaliar

Esse valor é apenas 0,91% menor que a dilatação térmica volumétrica real do líquido. Por isso, em muitas atividades científicas que envolvem recipientes de vidro, podemos desconsiderar a dilatação térmica destes e considerar o volume transbordado como a dilatação térmica volumétrica "real" do líquido.

5. Comportamento anômalo da água

Quanto aos processos de resfriamento e aquecimento, a água não se comporta termicamente como a maioria dos líquidos. Isso causa consequências muito importantes na natureza, em virtude da abundância dessa substância em nosso planeta. Para analisar o comportamento anômalo ou irregular da água, vamos imaginar o experimento a seguir, realizado com água pura.

Certa quantidade de água a 0 °C é colocada em um recipiente cuja dilatação pode ser considerada desprezível. Aumentando-se a temperatura do sistema, o nível da água desce, atingindo seu valor mínimo na temperatura de 4 °C, indicando uma redução no volume durante o aquecimento até essa temperatura, isto é, um coeficiente de dilatação térmica volumétrica **negativo**. A partir daí, prosseguindo com o aquecimento gradativo, o nível da água se eleva, indicando uma dilatação do volume devido ao aquecimento; portanto, um coeficiente de dilatação térmica volumétrica **positivo** (Fig. 11).

ADILSON SECCO/ ARQUIVO DA EDITORA

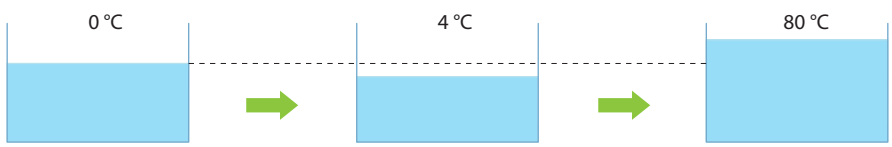


Figura 11. Representação esquemática do comportamento anômalo da água no aquecimento. (Representação fora de proporção; cores meramente ilustrativas.)

Tal anomalia também acontece com silício, bismuto e germânio. Se esse experimento fosse realizado com água do mar, a temperatura correspondente ao volume mínimo seria de 3 °C. Os gráficos a seguir mostram como varia, de acordo com a temperatura (θ maior ou igual a zero), o volume da água (Fig. 12A) e a densidade da água (Fig. 12B) nos estados sólido e líquido.

ADILSON SECCO/ ARQUIVO DA EDITORA

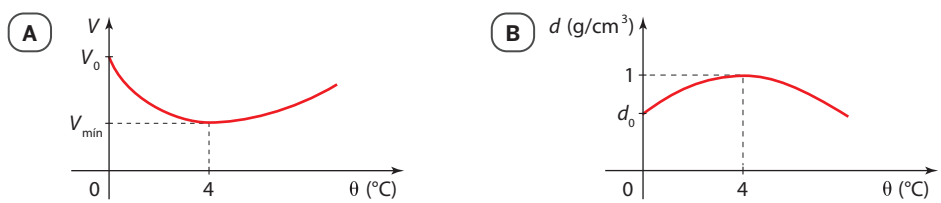
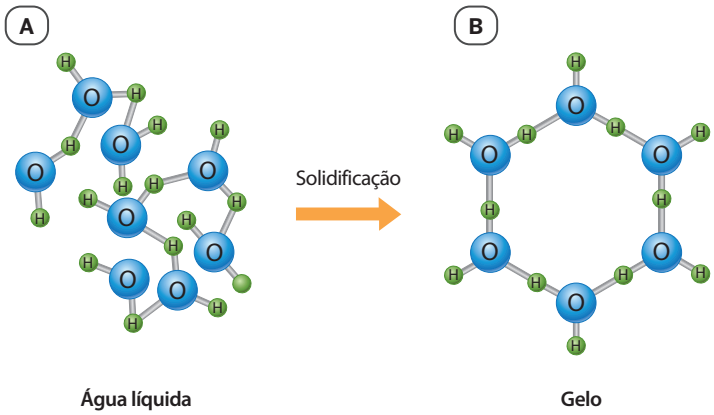


Figura 12. Diagramas da variação do volume (*V*) e da densidade (*d*) da água com a temperatura (θ).

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Quando a água líquida solidifica (ou "congela"), suas moléculas formam pontes de hidrogênio estáveis em uma estrutura hexagonal, afastando-as umas das outras, aumentando o espaço intermolecular, o que resulta em um aumento no volume e uma consequente diminuição na densidade (Fig. 13A e B).



ILUSTRAÇÕES: NELSON MATSUDA/ARQUIVO DA EDITORA

Figura 13. Pontes de hidrogênio irregulares e instáveis na água líquida (A) e regulares e estáveis no gelo (B). (Representação fora de proporção; cores meramente ilustrativas.)

Quando a temperatura de certa quantidade de água aumenta a partir de 0 °C, ocorrem dois efeitos que se opõem quanto à sua manifestação macroscópica:

1º) algumas ligações de hidrogênio se rompem, diminuindo a distância média entre as moléculas, o que se traduz por uma diminuição de volume (contração);

2º) a maior agitação térmica molecular produz um aumento na distância média entre as moléculas, o que se traduz por um aumento de volume (dilatação).

Ambos os efeitos estão sempre ocorrendo. A predominância de um ou outro efeito é que vai acarretar a dilatação ou a contração do volume de água. Assim, entre 0 °C e 4 °C, predomina o primeiro efeito (rompimento das ligações de hidrogênio), acarretando uma contração no volume. Para temperaturas acima de 4 °C, o efeito predominante passa a ser o segundo (aumento da distância média entre as moléculas), com o consequente aumento do volume.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Veja respostas e comentários no Suplemento para o professor.

Aplicando conhecimentos

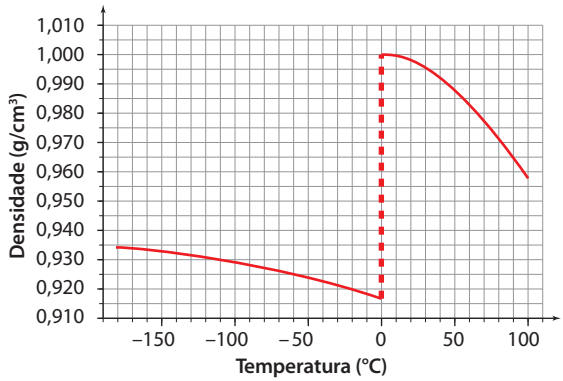
Registre as respostas em seu caderno.

9. Um motorista acabou de colocar 50 litros de gasolina, completando o tanque do seu veículo à temperatura de 20 °C. Tendo deixado o carro estacionado ao sol, onde a temperatura chegou a 30 °C no decorrer do dia, o motorista constatou, ao voltar, que uma parte da gasolina do tanque transbordara. Sendo $2{,}0 \cdot 10^{-5}\ °C^{-1}$ o coeficiente de dilatação térmica linear do material de que é feito o tanque e $1{,}2 \cdot 10^{-3}\ °C^{-1}$ o coeficiente de dilatação térmica volumétrica da gasolina, determine o volume de gasolina que transbordou em cm^3.

10. O gráfico mostra a variação da densidade da água nos estados sólido (gelo) e líquido, como função da temperatura, para 100 g de água. Com base na leitura do gráfico, estime:

a. o volume ocupado por essa massa de água a –60 °C;

b. a temperatura dessa massa de água quando seu volume for 103,627 cm^3.



ADILSON SECCO/ARQUIVO DA EDITORA

Veja respostas e comentários no Suplemento para o professor.

MUNDO DO TRABALHO

Trabalho, emprego, carreira

Quando estudamos, esperamos que o conhecimento adquirido durante os anos escolares se traduza em competências e capacidade para desenvolver uma atividade profissional. Como o trabalho exige um bom tempo de dedicação, é importante escolher uma atividade com a qual se identifique, seja pela natureza dos conceitos que ela mobiliza ou pela importância social, representando mais do que uma fonte de renda. É possível desenvolver um trabalho que atenda a preferências, como trabalhar em conjunto ou isoladamente, em ambientes fechados ou abertos, com ou sem horários fixos.

BEARFOTOS/SHUTTERSTOCK

Pessoas envolvidas em atividades agropecuárias podem trabalhar grande parte da jornada diária em áreas abertas. (Barcelona, Espanha, 2020.)

Quando uma atividade profissional atende nossas preferências, nos possibilita realizar objetivos e exige características que acreditamos ter, somos capazes de desenvolvê-la bem e executá-la com prazer. Essas decisões podem levar um tempo e podem até mudar durante a vida. Lembre-se: as escolhas não são definitivas e podem ser modificadas ao longo do percurso! Indivíduos com carreiras sólidas podem passar por muitos empregos, de naturezas diferentes, e isso enriquece suas experiências.

1. Algumas atividades são típicas de determinada área de conhecimento estudada na escola, enquanto há outras atividades que englobam mais de uma área. Você já identificou se tem mais afinidade com a área de Linguagens, Matemática, Ciências Humanas ou Ciências da Natureza? Você acha que tem afinidade com mais de uma área? Compartilhe suas impressões.

2. Pensar em suas potencialidades, preferências, limitações, tudo isso faz parte do autoconhecimento. Com essas informações preciosas sobre si mesmo, reflita: como você gostaria de desenvolver uma atividade profissional?

3. Na sua opinião, qual é a distinção entre os conceitos de emprego, trabalho e carreira?

4. Você já considerou conversar sobre carreira com algum parente próximo, com seus professores ou com alguém cuja trajetória você admira? Se já fez isso, como essa conversa ajudou você a pensar sobre seu projeto de vida? Se não fez, o que você perguntaria quanto à rotina dos profissionais da área, sobre as condições de trabalho e a remuneração?

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

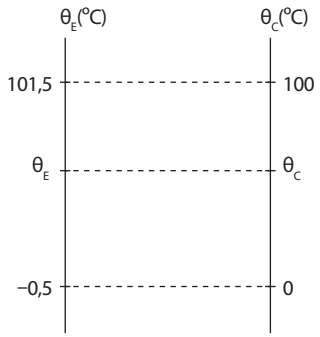
Veja respostas e comentários no Suplemento para o professor.

Atividades finais

Registre as respostas em seu caderno.

1. Consideremos que, em um dado verão, a temperatura máxima atingida na cidade de Fortaleza, no Ceará, foi de 40 °C. Quais são as correspondentes indicações dessa temperatura nas escalas Fahrenheit e Kelvin?

2. Um termômetro mal graduado na escala Celsius assinala −0,5 °C para o ponto de gelo e 101,5 °C para o ponto de vapor, sob pressão normal.



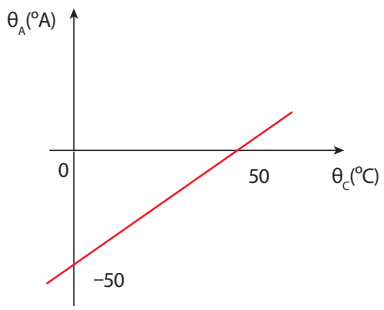
NELSON MATSUDA/ARQUIVO DA EDITORA

Com essas informações, determine:

a. a equação de correção para esse termômetro, na escala Celsius;

b. a temperatura na qual a indicação desse termômetro é correta.

3. 3. b Uma escala termométrica A relaciona-se com a escala Celsius como representado no gráfico a seguir.



NELSON MATSUDA/ARQUIVO DA EDITORA

Portanto, quando um termômetro indica 95 °F, a escala A indica:

a. −15 °C.

b. −15 °A.

c. 15 °C.

d. 15 °A.

4. Uma barra constituída por um material com coeficiente de dilatação linear $5{,}0 \cdot 10^{-6}\ °C^{-1}$, tem comprimento L_0 a 20 °C. Determine até qual temperatura essa barra deve ser aquecida para que seu comprimento aumente 0,1% do seu valor a 20 °C.

5. 5. d O diâmetro de uma chapa circular aumenta 0,1% do seu valor inicial quando a chapa sofre uma variação de temperatura $\Delta\theta$, após um aquecimento uniforme. Assim, podemos afirmar que, após o aquecimento, a área da chapa sofreu um aumento percentual de:

a. 0,01%.

b. 0,02%.

c. 0,1%.

d. 0,2%.

e. um valor que não pode ser determinado sem o conhecimento do valor do coeficiente de dilatação térmica linear do material da chapa.

6. 6. a Em razão de um resfriamento uniforme, uma esfera metálica sofre decréscimo de 1% na medida do seu diâmetro. Assim, as variações observadas no volume e na densidade da esfera são, em valores aproximados:

a. volume: decréscimo de 3%; densidade: acréscimo de 3%.

b. volume: acréscimo de 3%; densidade: decréscimo de 3%.

c. volume: decréscimo de 3%; densidade: decréscimo de 1%.

d. volume: acréscimo de 1%; densidade: acréscimo de 3%.

e. volume: decréscimo de 1%; densidade: acréscimo de 1%.

7. 7. e **(Enem)** A gasolina é vendida por litro, mas, em sua utilização como combustível, a massa é o que importa. Um aumento na temperatura do ambiente leva a um aumento no volume da gasolina. Para diminuir os efeitos práticos dessa variação, os tanques dos postos de gasolina são subterrâneos.

Se os tanques não fossem subterrâneos:

I. Você levaria vantagem ao abastecer o carro na hora mais quente do dia, pois estaria comprando mais massa por litro de combustível.

II. Abastecendo na temperatura mais baixa, você estaria comprando mais massa de combustível para cada litro.

III. O problema comercial decorrente da dilatação da gasolina estaria resolvido se a gasolina fosse vendida "por kg" em vez de "por litro".

Destas considerações, somente:

a. I é correta.

b. II é correta.

c. III é correta.

d. I e II são corretas.

e. II e III são corretas.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

CAPÍTULO 10

Energia térmica

O assunto deste capítulo também é trabalhado no capítulo 13 de Química e no capítulo 22 de Biologia desta coleção.

ANDRE_MA/SHUTTERSTOCK

Dia ensolarado na praia de Ipanema (Rio de Janeiro, RJ, 2018).

A palavra calor faz parte do vocabulário da maioria das pessoas, pois falamos em calor praticamente todos os dias. Mas o que é calor?

Alguns dicionários definem calor como a qualidade, o estado ou a condição do que é quente ou está aquecido; temperatura (relativamente) alta. Entretanto, o conceito de calor só foi plenamente explicado e entendido a partir do século XIX, com os experimentos do físico britânico James Prescott Joule (1818-1889), demonstrando que calor é uma forma de energia.

Com esse tipo de energia podemos nos aquecer e preparar nossos alimentos, assim como fundir metais e construir máquinas e ferramentas que facilitam diversos tipos de trabalho. O calor também pode ser utilizado para movimentar veículos. Além disso, ele influencia o clima, a formação dos ventos e as correntes marítimas.

A vida em nosso planeta seria inviável sem o calor e a luz que recebemos do Sol, pois a energia transmitida pelo Sol ao nosso planeta é absorvida pelas plantas, das quais nós e outros seres vivos nos alimentamos. A energia dos alimentos, por sua vez, é metabolizada em nosso organismo e nos permite crescer e nos movimentar. Desse modo, podemos afirmar que todos nós somos movidos a energia solar.

Neste capítulo, vamos analisar mais detalhadamente a natureza do calor, como ele se transmite de um corpo para outro, como pode ser quantificado e de que maneira afeta os materiais.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

1. Calor: energia térmica em trânsito

Os seres humanos fazem uso do calor desde antes do início das civilizações. Nossos primeiros ancestrais empregavam o fogo como fonte de luz e calor, para se manter aquecidos e cozinhar os alimentos. Mas, apesar da importância do calor, sua natureza só começou a ser objeto de estudos mais detalhados com a invenção do termômetro no século XVIII.

Teoria do calórico

Usando termômetros em experimentos, o físico e químico escocês Joseph Black (1728-1799) relatou que, quando se colocavam em uma caixa fechada diferentes objetos, alguns quentes e outros frios, eles acabavam atingindo a mesma temperatura. Black acreditava que isso acontecia porque o calor era um tipo de fluido que passava dos corpos quentes para os corpos frios. Na tentativa de quantificar esse fluido, Black criou a unidade de medida **caloria** (**cal**), usada até hoje.

O calor já havia sido denominado **flogisto**, palavra de origem grega que significa "que arde". Foi o químico e físico alemão George Ernest Stahl (1659-1734) quem desenvolveu a teoria do flogisto, afirmando que todo corpo combustível continha um componente, o flogístico, que era liberado durante a combustão e produzia o fogo, o aquecimento, a chama e a luz.

Mais tarde, o químico francês Antoine Lavoisier (1743-1794) deu o nome de **calórico** a esse suposto fluido trocado entre corpos a temperaturas diferentes e responsável por algumas reações químicas.

O experimento de Joule

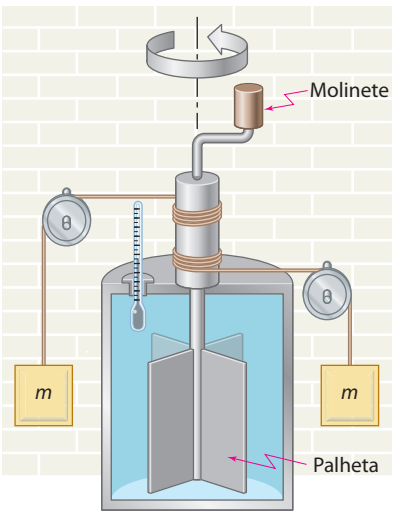
O físico inglês James Prescott Joule demonstrou que o calor era uma forma de energia em movimento realizando um experimento que consistia em dispor verticalmente uma roda de palhetas em uma cuba com água. O movimento das palhetas da roda era provocado por um molinete que girava devido à queda de duas massas *m* de quatro libras cada uma (1,8144 kg). Essas massas caíam de uma altura de 12 jardas (10,97 m) com velocidade relativamente baixa de 1 pé (30,48 cm) por segundo (Fig. 1).

O atrito das palhetas contra a água da cuba deveria aquecê-la, uma vez que ela oferecia certa resistência ao movimento das palhetas. A operação foi repetida 16 vezes, e, em seguida, a temperatura da água foi medida com o auxílio de um termômetro muito sensível, capaz de detectar diferenças de temperatura de 0,01 °F.

Depois de efetuar uma série de experimentos como a descrita anteriormente com diversos testes e ajustes, Joule concluiu que havia uma relação de equivalência entre o calor e as formas comuns de energia mecânica. Em outras palavras, a energia mecânica estava sendo transformada em energia térmica.

Joule obteve resultados muito próximos dos valores aceitos atualmente para o equivalente mecânico do calor, que considera a relação constante entre a energia mecânica despendida e a quantidade de calor gerada e, mais importante, forneceu a primeira visão convincente do princípio da conservação da energia, uma das leis fundamentais da Física.

O valor aceito atualmente para o equivalente mecânico de calor é:



ADILSON SECCO/ARQUIVO DA EDITORA

Figura 1. Esquema do experimento idealizado por Joule para a determinação do equivalente mecânico do calor. (Representação fora de proporção; cores meramente ilustrativas.)

$$1\ \text{cal} = 4{,}186\ \text{J}$$

É preciso destacar que o termo "calor" só pode ser usado para indicar a energia térmica em trânsito, isto é, a energia térmica que está sendo transferida em razão de uma diferença de temperatura entre os corpos envolvidos. Ou seja:

> Calor é a energia térmica em trânsito entre corpos com temperaturas diferentes.

Portanto, não faz sentido falar em "calor contido em um corpo". Para designar a energia que um corpo tem em decorrência da agitação de suas partículas constituintes, usa-se o termo "energia térmica".

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

As unidades de medida de calor

Pelo fato de ser uma forma de energia, a unidade oficial de calor no SI é o joule (J). Entretanto, na resolução de problemas de trocas de calor, por razões históricas, dá-se preferência à unidade caloria (cal). Quando ainda não se conhecia a real natureza do calor, caloria era definida da seguinte maneira:

> 1 caloria é a quantidade de calor que produz a variação de temperatura de 1 °C (rigorosamente de 14,5 °C a 15,5 °C) em 1 grama de água sob pressão normal (1 atm).

A unidade múltipla **quilocaloria** (**kcal**) também é muito usada para exprimir da quantidades de calor:

$$1 \text{ kcal} = 1.000 \text{ cal} = 10^3 \text{ cal}$$

Observe que, nas considerações anteriores, falamos em **quantidade de calor**.

A quantidade de calor, representada pela letra *Q*, é a medida da quantidade de energia térmica trocada entre os corpos.

Outra unidade de quantidade de calor bastante utilizada em manuais técnicos para exprimir as características de equipamentos e máquinas que envolvem a energia térmica, como aparelhos de ar-condicionado, fornos industriais etc., é a **BTU** (**British Thermal Unit)**, que equivale a, aproximadamente, 252,04 calorias ou 1.055 joules.

$$1 \text{ BTU} = 252{,}04 \text{ cal} = 1.055 \text{ J}$$

Veja respostas e comentários no Suplemento para o professor.

Aplicando conhecimentos

Registre as respostas em seu caderno.

1. O que está errado na frase a seguir: "Dados dois corpos quaisquer, aquele com maior temperatura contém mais calor."?

2. Determine a afirmação correta sobre o sentido do fluxo do calor.

2. e

a. O calor flui sempre do corpo de maior massa para o corpo de menor massa.

b. O calor flui sempre do corpo com maior número de partículas para o corpo com menor número de partículas.

c. O calor flui sempre do corpo de maior densidade para o corpo de menor densidade.

d. O calor flui sempre do corpo de maior volume para o corpo de menor volume.

e. O calor flui espontaneamente do corpo de maior temperatura para o corpo de menor temperatura, independentemente de quaisquer outras características desses corpos, desde que estejam em contato térmico.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

2. Energia para a vida e energia dos alimentos

Entre os vários tipos de alimento que precisamos ingerir para nos manter vivos e saudáveis, destacam-se os alimentos energéticos, que garantem a reposição da energia consumida em nossas atividades diárias. Os alimentos mais energéticos pertencem ao grupo dos carboidratos, genericamente chamados de açúcares. Se eles faltam na alimentação, o organismo passa a utilizar os lipídios, ou seja, as gorduras, e as proteínas, nessa ordem, para suprir as necessidades energéticas. Em condições normais, proteínas são empregadas basicamente para reparar partes desgastadas do organismo, sendo por isso denominadas alimentos plásticos. Sua utilização contínua para produzir energia compromete seriamente o organismo, podendo provocar graves problemas de saúde.

A "queima" do alimento para produzir energia ocorre nas células por meio da chamada respiração celular, processo no qual as moléculas orgânicas são oxidadas em várias etapas bioquímicas. Na respiração celular, 1 g de carboidrato libera, em média, 4 kcal, mesmo valor liberado por 1 g de proteína; já a massa correspondente a 1 g de gordura libera, em média, 9 kcal.

Denomina-se dieta protetora a que permite a uma pessoa sobreviver sem ficar desnutrida, correspondendo a aproximadamente 1.300 kcal/dia. A dieta balanceada é a que garante energia suficiente para repor a energia gasta nas atividades diárias. Para uma pessoa considerada moderadamente ativa (que não realiza muitas atividades físicas, mas não tem uma vida totalmente sedentária), essa dieta corresponde, em média, a uma necessidade energética que varia entre 2.200 kcal/dia e 2.800 kcal/dia.

Veja respostas e comentários sobre essa atividade no Suplemento para o professor.

Atividade em grupo

ODS 1 ODS 2 CIDADANIA E CIVISMO SAÚDE

O relatório de 2023 sobre Alimentação, Agricultura e Nutrição da Organização das Nações Unidas (ONU) indica que 735 milhões de pessoas passam fome no mundo e que, no Brasil, 21 milhões estão sofrendo com a falta de alimentos. Nesta atividade, vamos nos aprofundar na questão da fome ao redor do mundo. Em grupos de 3 a 4 estudantes, pesquisem diferentes aspectos desse problema. Inicialmente, analisem a situação global da fome, buscando entender a sua extensão e os desafios enfrentados em diversas regiões do mundo. Em seguida, direcionem sua pesquisa para o Brasil, investigando quais grupos da população correm maior risco de deficiência alimentar e nutricional. Além disso, explorem algumas parcerias internacionais e programas de combate à fome e à desigualdade social. O grupo deve desenvolver um texto, em um *blog* ou um material escrito em um mural da escola, com informações, tabelas e gráficos ilustrativos sobre o tema. O objetivo é sensibilizar os colegas e a comunidade escolar sobre a importância de enfrentar esses desafios e trabalhar juntos para combater a fome e a desigualdade social.

3. Curvas de aquecimento e de resfriamento

É comum representar o processo completo de aquecimento de um material, desde o estado sólido até a completa transformação em vapor, em um gráfico no qual se registram a temperatura no eixo das ordenadas e o tempo de aquecimento no eixo das abscissas.

Obtém-se, assim, a chamada **curva de aquecimento** do material. Os trechos em que a temperatura não varia são representados, nesse gráfico, por segmentos de reta paralelos ao eixo do tempo, denominados **patamares**.

Assim, no gráfico apresentado (Fig. 2), o trecho inclinado *A* corresponde ao aquecimento do sólido; o patamar *B* corresponde à fusão, ou seja, coexistência de sólido e líquido, que no caso ocorre a 50 °C; o trecho inclinado *C* corresponde ao aquecimento do líquido; o patamar *D*, à vaporização, ou seja, coexistência de líquido e vapor, que no caso ocorre a 90 °C; e o trecho inclinado *E* corresponde ao aquecimento do vapor.

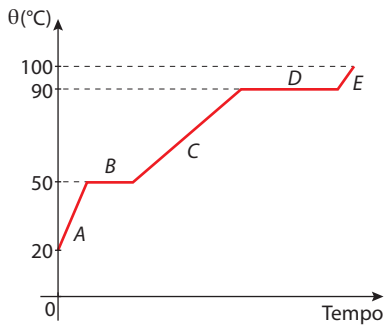


Figura 2. Curva de aquecimento de um material.

Se considerarmos o vapor desse mesmo material sob pressão normal, em temperatura inicial de 100 °C, e o submetermos a um resfriamento, retirando energia térmica sob a mesma condição de pressão, ocorrerá o processo inverso ao descrito anteriormente. Assim, quando a temperatura chegar a 90 °C, começará a ocorrer a condensação, ou liquefação, isto é, o vapor se transformará gradativamente em líquido, com temperatura constante durante o processo. Ao terminar essa mudança de estado, continuando o resfriamento, a temperatura do líquido diminuirá. Essa queda cessará ao ser atingida a temperatura de 50 °C, quando então terá início a solidificação, com a transformação gradativa do líquido em sólido. Somente ao fim dessa mudança de estado é que voltará a ocorrer queda de temperatura, ficando o material completamente no estado sólido.

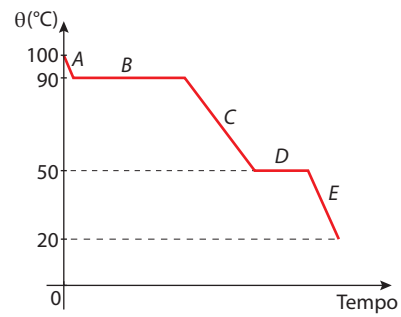


Figura 3. Curva de resfriamento de um material.

Graficamente, o processo descrito é representado pela **curva de resfriamento**, na qual os trechos inclinados *A*, *C* e *E* correspondem às etapas de resfriamento, e os patamares *B* e *D*, respectivamente, à condensação (liquefação), isto é, coexistência de vapor e líquido, e à solidificação, ou seja, coexistência de líquido e sólido (Fig. 3).

Observe que a condensação é a transformação inversa da vaporização e que a solidificação é a transformação inversa da fusão. Assim, enquanto a condensação e a solidificação exigem retirada de energia térmica do material, a vaporização e a fusão exigem fornecimento de energia térmica ao material. Portanto, solidificação e condensação são processos **exotérmicos**, uma vez que liberam energia para o meio externo; fusão e vaporização são processos **endotérmicos**, pois absorvem energia do meio externo.

É importante ressaltar que as curvas apresentadas, contendo dois patamares, **são válidas para as substâncias puras**, ou seja, substâncias constituídas por somente um tipo de molécula, cuja composição química é homogênea e invariável.

ILUSTRAÇÕES: ADILSON SECCO/ARQUIVO DA EDITORA

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Veja comentários sobre essa atividade no Suplemento para o professor.

Dialogando com o texto

Para complementar o estudo sobre a curva de aquecimento e resfriamento das substâncias puras, há um simulador interativo disponível em português no endereço https://phet.colorado.edu/sims/html/states-of-matter/latest/states-of-matter_pt_BR.html (acesso em: 19 set. 2024). Esse recurso oferece uma oportunidade de simular a situação de uma substância, entre quatro possibilidades, dentro de uma câmara fechada, sendo possível aquecê-la e resfriá-la. Assim, podemos alterar a temperatura interna à câmara e verificar como as moléculas da substância se comportam.

Acesse o *link* indicado e clique na opção "Estados".

Em seguida, efetue as operações a seguir e responda à questão em seu caderno.

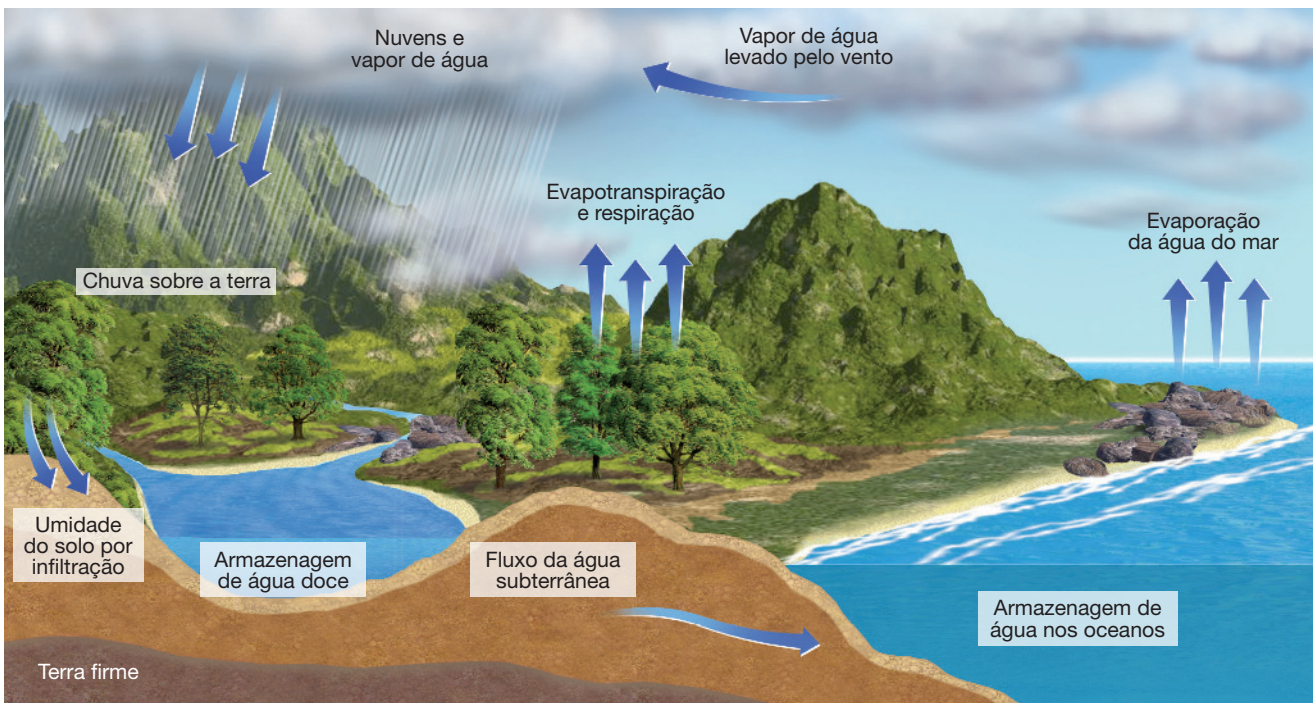
Selecione a opção "água". Observe que as moléculas de H_2O estão a uma temperatura de 146 K. Você pode alterar o valor para escala Celsius (−127 °C) no botão próximo ao termômetro. Utilizando a alavanca na fonte de calor, escolha "Aquecer". O que acontece com as partículas quando ocorre o aumento da temperatura? Utilizando os botões "sólido", "líquido" e "gás", anote o que ocorre com as moléculas das substâncias "neônio", "argônio" e "oxigênio", quando estão em cada estado físico.

4. Ciclo da água

Nos tópicos anteriores, tratamos das mudanças de estado físico de alguns materiais como a água, que é essencial para a vida. Essas mudanças, que acontecem constantemente na natureza, são fundamentais para o equilíbrio do planeta. As condições climáticas e de vida na Terra estão diretamente ligadas à água ou às transformações físicas que ela sofre.

A água dos oceanos, dos lagos e dos rios, assim como a proveniente do metabolismo de seres vivos, evapora-se continuamente pela ação da radiação solar. Na atmosfera, essa água sobe, na forma de vapor, e, encontrando temperaturas mais baixas nas camadas superiores, volta para o estado líquido, isto é, condensa-se e origina as gotículas que formam as nuvens.

As gotículas das nuvens, em condições apropriadas, caem na forma de chuva. As chuvas que caem sobre os continentes, originadas das nuvens que se movimentam pela ação dos ventos, abastecem rios, mares, lagos e lençóis subterrâneos. A maior parte dessa água retorna aos oceanos, e o ciclo recomeça. A evaporação e a condensação da água repetem-se indefinidamente e constituem o denominado ciclo da água (Fig. 4). Durante esse ciclo, parte da água é absorvida por animais e vegetais.



OSVALDO SEQUETIN/ARQUIVO DA EDITORA

Figura 4. Representação artística do ciclo da água, ou ciclo hidrológico, mostrando a dinâmica dos processos que envolvem as várias mudanças de estados físicos da água entre a atmosfera e a superfície terrestres. (Representação fora de proporção; cores meramente ilustrativas.)

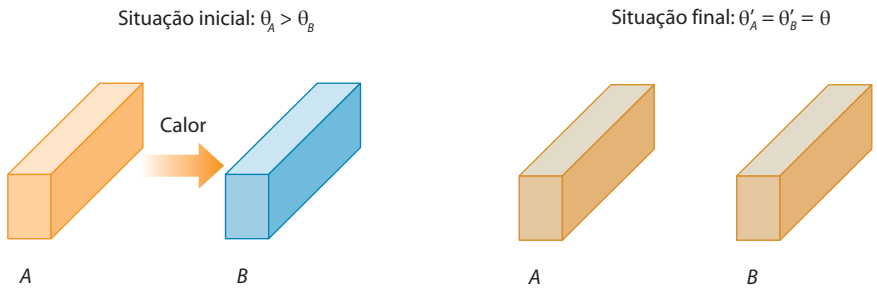
Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Como complementação ao ciclo da água, pode haver a formação de neblina ou cerração, quando o vapor se condensa no ar próximo à superfície da Terra ou quando a temperatura sofre um decréscimo; formação de orvalho, quando o vapor se condensa em superfícies que estão em temperatura inferior à do ar, como a das folhas e a das flores; formação de neve, quando ocorre o congelamento das gotículas de água dispersas no ar atmosférico ou quando a temperatura cai acentuadamente; formação de geada, quando ocorre solidificação das gotas de orvalho; formação de granizo, ou seja, pequenas pedras de gelo que caem de nuvens cujas gotículas se solidificaram; entre outros fenômenos.

5. Trocas de calor

A troca de calor é um fenômeno que vivenciamos no dia a dia. Ao medir a temperatura de uma pessoa com um termômetro clínico, por exemplo, esse dispositivo troca calor com o corpo até atingir a mesma temperatura que ele. O forno, convencional ou de micro-ondas, o fogão e a geladeira são equipamentos que trocam calor com os alimentos, aquecendo-os ou resfriando-os. Nesses exemplos, tanto o corpo humano como o forno, o fogão e a geladeira têm meios para trocar calor e manter invariáveis suas temperaturas. Nas considerações a seguir, vamos admitir casos em que os corpos, quando trocam calor, têm sua temperatura alterada ou sofrem mudança de estado físico, durante a qual, vimos, a temperatura não se altera.

Considere dois corpos, *A* e *B*, com temperaturas θ_A e θ_B, sendo $\theta_A > \theta_B$ (Fig. 5). Se eles forem colocados próximos um do outro ou em contato direto entre si, constituindo um sistema isolado do meio externo, a temperatura do corpo *A* começará a diminuir, e a temperatura do corpo *B* começará a aumentar, supondo que nenhum dos corpos esteja na iminência de mudar de estado. Passado certo tempo, as temperaturas se estabilizarão nos valores θ'_A e θ'_B, de modo que $\theta'_A = \theta'_B = \theta$. Ao valor comum θ da temperatura, damos o nome **temperatura de equilíbrio térmico**.



ADILSON SECCO/ ARQUIVO DA EDITORA

Figura 5. Representação esquemática da troca de calor entre dois corpos até atingirem o equilíbrio térmico. (Representação fora de proporção; cores meramente ilustrativas.)

Equilíbrio térmico é o estado no qual dois ou mais corpos de um mesmo sistema mantêm a temperatura inalterada e em um mesmo valor comum.

Durante o intervalo de tempo em que as temperaturas variam, há troca de calor entre os corpos. O corpo inicialmente mais quente cede uma quantidade de calor Q_A, enquanto o corpo inicialmente mais frio recebe uma quantidade de calor Q_B.

Para indicar o sentido em que ocorre troca de calor, estabelecemos que a quantidade de calor é uma grandeza algébrica. Seu sinal será positivo se a quantidade de calor for recebida pelo corpo e será negativo se a quantidade de calor for cedida, ou perdida, pelo corpo. Por exemplo, na situação descrita, vamos admitir que, até chegarem ao equilíbrio térmico, 30 calorias foram trocadas entre os corpos *A* e *B*. Assim, temos:

$Q_A = -30$ cal (O corpo *A* cedeu 30 calorias para o corpo *B*.)

$Q_B = +30$ cal (O corpo *B* recebeu 30 calorias do corpo *A*.)

Capacidade térmica de um corpo

Considerando a situação descrita no item anterior, vamos supor que as temperaturas iniciais dos corpos *A* e *B* fossem, respectivamente, $\theta_A = 50$ °C e $\theta_B = 10$ °C, e que a temperatura de equilíbrio térmico tenha sido $\theta = 20$ °C.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Nesse caso, as respectivas variações de temperatura valem:

$\Delta\theta_A = \theta - \theta_A = 20\ °C - 50\ °C = -30\ °C$ e $\Delta\theta_B = \theta - \theta_B = 20\ °C - 10\ °C = 10\ °C$

Observe que o corpo *A* perdeu 30 calorias no processo e sua temperatura caiu 30 °C. Isso significa que, para cada caloria perdida, sua temperatura caiu 1 °C. O corpo *B*, por sua vez, recebeu 30 calorias e sua temperatura subiu 10 °C, isto é, sua temperatura subiu 1 °C para cada 3 calorias que recebia. Note que, embora as quantidades de calor trocadas entre os corpos sejam iguais, eles sofrem diferentes variações de temperatura. Para caracterizar essa diferença de comportamento térmico, dizemos que os dois corpos têm diferentes **capacidades térmicas**.

Define-se a **capacidade térmica (*C*)** de um corpo pela razão entre a quantidade de calor *Q* que ele troca e a consequente variação de temperatura $\Delta\theta$ sofrida por ele.

$$C = \frac{Q}{\Delta\theta}$$

A capacidade térmica de um corpo pode ser medida em J/K, no SI, ou em cal/°C.

No caso descrito, para os corpos *A* e *B*, temos:

$$C_A = \frac{Q_A}{\Delta\theta_A} = \frac{-30}{-30} \therefore C_A = 1\ \text{cal/°C}\ \text{e}\ C_B = \frac{Q_B}{\Delta\theta_B} = \frac{30}{10} \therefore C_B = 3\ \text{cal/°C}$$

Esses valores indicam que, para uma variação de temperatura de 1°C, o corpo *B* necessita ceder ou receber o triplo da quantidade de calor que o corpo *A*.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

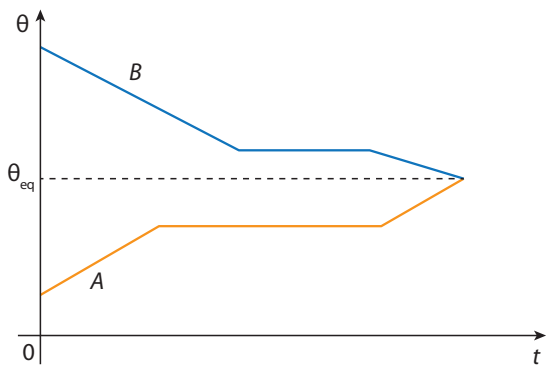
Veja respostas e comentários no Suplemento para o professor.

Aplicando conhecimentos

Registre as respostas em seu caderno.

3. Duas substâncias, *A* e *B*, inicialmente no estado líquido, são postas em contato dentro de um recipiente termicamente isolado. Desprezando o calor trocado com o recipiente, observe o diagrama que mostra a variação da temperatura em função do tempo para as duas substâncias.

3. d



ADILSON SECCO/ARQUIVO DA EDITORA

É correto afirmar que, ao ser atingido o equilíbrio térmico, na temperatura θ_{eq}, tem-se:

a. a substância *A* no estado sólido e a substância *B* também no estado sólido.

b. a substância *A* no estado líquido e a substância *B* no estado sólido.

c. a substância *A* no estado líquido e a substância *B* também no estado líquido.

d. a substância *A* no estado gasoso e a substância *B* no estado sólido.

e. a substância *A* no estado gasoso e a substância *B* no estado líquido.

4. Uma fonte de calor fornece 100 cal a cada minuto. Certa quantidade de líquido é aquecida por essa fonte de calor durante 16 min e sua temperatura aumenta 80 °C. Qual é a capacidade térmica dessa quantidade de líquido?

Calor específico sensível de um material

Suponha que uma refeição foi servida à mesa com alimentos recém-saídos do forno. Ao colocá-los no prato, percebe-se que alguns podem ser ingeridos imediatamente, enquanto outros precisam de mais tempo para esfriar antes de serem ingeridos. Por exemplo, ao comer um pastel, pode-se queimar a boca com o recheio, mesmo que a crosta externa já esteja em temperatura adequada para ingestão. Por que há essas diferenças?

A razão é que o resfriamento (ou o aquecimento) de diversos materiais não se dá com a mesma rapidez. Para sofrer a mesma redução (ou aumento) de temperatura, alguns materiais têm de perder (ou ganhar) mais energia do que outros. Logicamente, isso significa um tempo mais longo até alcançar o equilíbrio térmico. Para caracterizar essa diferença de comportamento, ao perder (ou ganhar) calor, definimos uma grandeza chamada **calor específico sensível** (***c***) do material.

Calor específico sensível (*c*) de um material é a quantidade de calor necessária para elevar ou baixar em 1 °C a temperatura de 1 grama desse material.

A unidade usual de calor específico é cal/(g · °C). Entretanto, também podem ser usadas as unidades kcal/(kg · °C) e J/(kg · °C). Como as variações de temperatura nas escalas Celsius ou Kelvin têm valores iguais, essas unidades também podem ser indicadas por cal/(g · K), kcal/(kg · K) e J/(kg · K).

A água líquida tem um dos maiores calores específicos da natureza: 1,0 cal/(g · °C). Por isso, comparativamente, ela necessita receber ou ceder calor em quantidades maiores para aquecer ou esfriar. Esse fato faz com que tanto a presença quanto a ausência de água em uma região influenciem de modo direto a definição do clima. Regiões desérticas, onde a água é escassa, apresentam grandes oscilações de temperatura em um período de 24 horas: os dias são muito quentes e as noites, muito frias.

A água, portanto, em virtude de seu elevado calor específico, funciona como regulador climático. No local em que ela existe em abundância, como nas regiões litorâneas, insulares e lacustres, a tendência é não ocorrerem variações muito acentuadas na temperatura ambiente: não há diferença muito grande entre a temperatura máxima e a mínima em um mesmo dia.

Para cada material, o calor específico depende de seu estado físico. Por exemplo, para a água, os valores para o calor específico sensível, sob pressão normal, são os seguintes:

- água no estado sólido (gelo): $c \simeq 0{,}490$ cal/(g · °C) $\simeq 0{,}50$ cal/(g · °C);
- água no estado líquido (a 15 °C): $c = 1{,}0$ cal/(g · °C);
- água no estado gasoso (vapor): $c \simeq 0{,}485$ cal/(g · °C).

Quantidade de calor trocada e quantidade de calor sensível

Se tivermos uma massa *m* de certa quantidade de um material, cujo calor específico é *c*, sofrendo uma variação de temperatura $\Delta\theta$, a quantidade de calor *Q* trocada no processo pode ser calculada pela relação conhecida como **equação fundamental da Calorimetria**:

$$Q = m \cdot c \cdot \Delta\theta$$

Se o calor específico sensível de uma substância representa a quantidade de calor trocada por 1 grama desse material ao sofrer a variação de temperatura de 1 grau Celsius. Para obtermos a quantidade total *Q* de calor trocado no processo, basta multiplicarmos o valor do calor específico sensível pela quantidade de gramas, que representa a massa *m*, e pelo total de graus Celsius (°C), que representa a variação de temperatura $\Delta\theta$.

Observe que $\Delta\theta = \theta_f - \theta_i$, em que θ_f é a temperatura final e θ_i é a temperatura inicial.

De acordo com a fórmula, o sinal da quantidade de calor *Q* será determinado pelo sinal da variação de temperatura $\Delta\theta$. Assim:

$$\Delta\theta > 0 \Rightarrow Q > 0$$

A temperatura aumenta porque o corpo recebe calor.

$$\Delta\theta < 0 \Rightarrow Q < 0$$

A temperatura diminui porque o corpo perde calor.

Reiteramos que nas considerações já feitas, o corpo não sofreu mudança de estado. O calor trocado que só acarreta variação de temperatura é habitualmente chamado de **calor sensível**.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Vejamos como se relacionam a capacidade térmica de um corpo homogêneo e o calor específico do material que o constitui.

Da definição de capacidade térmica C, temos: $C = \frac{Q}{\Delta\theta} \Rightarrow C = \frac{m \cdot c \cdot \Delta\theta}{\Delta\theta} \Rightarrow \boxed{C = m \cdot c}$

Portanto, a capacidade térmica C de um corpo homogêneo é diretamente proporcional à sua massa m, sendo o calor específico **c** do material que constitui o corpo o **coeficiente de proporcionalidade**.

Observe que a capacidade térmica C refere-se a um corpo, enquanto o calor específico c caracteriza um material.

Vamos aplicar a equação fundamental da Calorimetria na resolução de um exemplo.

Exercício resolvido

Consideremos uma amostra de alumínio, cujo calor específico é $c = 0{,}217$ cal/(g · °C). Se a massa da amostra é $m = 50$ g, qual é a quantidade de calor que ela deve trocar para que sua temperatura:

a. aumente de 10 °C para 50 °C?

b. diminua de 80 °C para 20 °C?

Resolução

a. Para aumentar a temperatura de $\theta_i = 10$ °C para $\theta_f = 50$ °C, a amostra deve **receber calor**, sendo a variação de temperatura $\Delta\theta = \theta_f - \theta_i = 50\ °C - 10\ °C = 40\ °C$.

Utilizando a equação fundamental da Calorimetria, obtemos:

$$Q = m \cdot c \cdot \Delta\theta \Rightarrow Q = 50\ g \cdot 0{,}217\ \frac{cal}{g \cdot °C} \cdot 40\ °C \Rightarrow Q = 434\ cal$$

b. Para que a temperatura diminua de $\theta_i = 80°C$ para $\theta_f = 20$ °C, a amostra deve **perder calor**, sendo a variação de temperatura $\Delta\theta = \theta_f - \theta_i = 20\ °C - 80\ °C = -60\ °C$.

Aplicando novamente a equação fundamental da Calorimetria, obtemos:

$$Q = m \cdot c \cdot \Delta\theta \Rightarrow Q = 50\ g \cdot 0{,}217\ \frac{cal}{g \cdot °C} \cdot (-60\ °C) \Rightarrow Q = -651\ cal$$

Veja respostas e comentários no Suplemento para o professor.

Aplicando conhecimentos

Registre as respostas em seu caderno.

5. Um corpo de massa 3 kg é colocado na presença de uma fonte térmica que fornece 60 cal/s e sofre, em 5 min, um aumento de temperatura de 30 °C.

Determine:

a. a capacidade térmica do corpo;

b. o calor específico do material de que o corpo é feito.

6. Um refrigerador retira calor do seu interior à razão de 20 cal/min. Um corpo de capacidade térmica 5 cal/°C e massa 50 g é colocado nesse refrigerador e permanece nele durante 40 minutos, sendo retirado ao atingir a temperatura de 20 °C. Sabendo que, nesse processo, o corpo não muda de estado físico, determine:

a. a variação de temperatura sofrida pelo corpo;

b. a temperatura do corpo ao ser colocado no refrigerador.

Trocas de calor nas mudanças de estado: calor latente

Durante uma mudança de estado, como a ebulição da água, a temperatura se mantém constante (θ_E); no entanto, há troca de calor, no caso, fornecido pela fonte.

A quantidade de calor trocado durante a mudança de estado e, portanto, sem variação de temperatura, é denominado **calor latente (*Q*)**.

A quantidade de calor necessária para mudar de estado uma massa unitária (1 g, em geral) de um material denomina-se **calor específico latente** (***L***).

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Para as mudanças de estado da água, sob condições normais, os valores do calor específico latente são os seguintes:

- fusão do gelo: $L_f = 80$ cal/g;
- vaporização da água: $L_v = 540$ cal/g;
- solidificação da água: $L_s = -80$ cal/g;
- condensação do vapor: $L_c = -540$ cal/g.

Observe que, para as mudanças entre dois estados quaisquer, sólido e líquido, por exemplo, o calor específico latente tem o mesmo valor absoluto, mas é positivo para a mudança que ocorre com ganho de calor ($L_f = +80$ cal/g) e negativo para a mudança que ocorre com perda de calor ($L_s = -80$ cal/g).

Como o calor específico latente é expresso para 1 grama de material, no cálculo da quantidade total Q de calor latente calor latente Q envolvida em uma mudança de estado, é necessário multiplicar o calor específico latente L pela massa m do material que efetivamente muda de estado:

$$Q = m \cdot L$$

Vamos aplicar o que estudamos até aqui para resolver um exemplo prático.

Exercício resolvido

ESTRATÉGIA DE ESTUDO

Qual é a quantidade de calor necessária para transformar 50 gramas de gelo a −20 °C em 50 gramas de água a 40 °C, sabendo que o calor específico do gelo é 0,50 cal/(g · °C), o calor específico da água é 1 cal/(g · °C) e o calor específico latente de fusão do gelo é 80 cal/g?

Identificar

Devemos dividir esse processo em três etapas: o aquecimento do gelo de −20 °C a 0 °C ($\Delta\theta = 20$ °C), a fusão de todo o gelo a 0 °C e o aquecimento da água resultante da fusão de 0 °C a 40 °C ($\Delta\theta = 40$ °C).

Preparar

Teremos, então, três quantidades de calor a considerar:

$Q_1 = m \cdot c_g \cdot \Delta\theta$ (aquecimento do gelo)

$Q_2 = m \cdot L_f$ (fusão total do gelo)

$Q_3 = m \cdot c_a \cdot \Delta\theta$ (aquecimento da água proveniente da fusão do gelo)

Aplicar

Substituindo os valores do enunciado nas três expressões acima, temos:

$Q_1 = m \cdot c_g \cdot \Delta\theta = 50 \cdot 0{,}50 \cdot 20 \therefore Q_1 = 500$ cal

$Q_2 = m \cdot L_f = 50 \cdot 80 \therefore Q_2 = 4.000$ cal

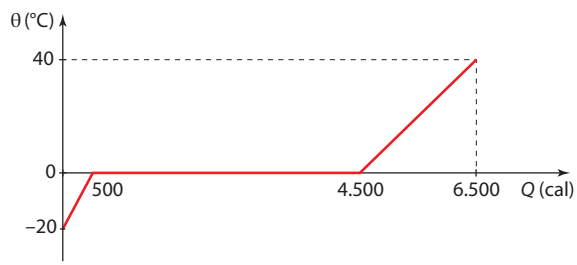
$Q_3 = m \cdot c_a \cdot \Delta\theta = 50 \cdot 1 \cdot 40 \therefore Q_3 = 2.000$ cal

A quantidade total de calor utilizada nesse processo será dada pela soma dessas três parcelas, ou seja:

$Q = Q_1 + Q_2 + Q_3 \Rightarrow Q = 500 \text{ cal} + 4.000 \text{ cal} + 2.000 \text{ cal} \therefore Q = 6.500$ cal

Analisar

Para compreender o processo calorimétrico de aquecimento, podemos utilizar o gráfico a seguir.



ADILSON SECCO/ ARQUIVO DA EDITORA

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Veja respostas e comentários no Suplemento para o professor.

Aplicando conhecimentos

Registre as respostas em seu caderno.

7. Determine a quantidade de calor necessária para fundir totalmente um bloco de gelo de 500 g a 0 °C.
(Dado: $L_{f(gelo)} = 80$ cal/g)

8. Um bloco de chumbo, cujo calor latente de fusão vale 94,5 cal/g e o calor específico, 0,031 cal/(g · °C), é aquecido por uma fonte de calor que fornece 100,0 cal/min. Ao ser atingida a temperatura de fusão, correspondente a 327,0 °C, o bloco demora 5,0 minutos para fundir completamente. Determine a massa desse bloco de chumbo.

6. Princípio geral das trocas de calor

Considere um processo calorimétrico em que dois corpos, *A* e *B*, trocam entre si 70 calorias desde o instante em que um foi colocado perto do outro até ambos terem atingido o equilíbrio térmico. Admitindo que não ocorram perdas de calor para o ambiente, ou seja, que temos um sistema termicamente isolado, e considerando o princípio da conservação da energia, se o corpo *A* tiver perdido calor e o corpo *B* tiver recebido, de acordo com a convenção já estabelecida, podemos escrever:

$Q_A = -70$ cal e $Q_B = 70$ cal

Portanto, o corpo *A* perdeu 70 calorias, e o corpo *B* recebeu 70 calorias. Perceba que as quantidades de calor, Q_A perdida pelo corpo *A* e Q_B recebida pelo corpo *B*, são iguais em módulo, mas apresentam sinais opostos. Então:

$Q_A = -Q_B$ ou $Q_A + Q_B = 0$

Essa conclusão é válida para qualquer número de corpos que troquem calor entre si em um sistema termicamente isolado até que cheguem ao o equilíbrio térmico. Podemos, então, enunciar o **princípio geral das trocas de calor**:

> Em um sistema termicamente isolado, quando dois ou mais corpos trocam calor entre si até atingirem o equilíbrio térmico, a soma algébrica das quantidades de calor trocadas por esses corpos é nula.

A generalização para qualquer número de corpos permite escrever:

$$Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 + \ldots = 0 \text{ ou } \sum Q = 0 \text{ (}\Sigma\text{ é o símbolo de somatório.)}$$

A maioria dos problemas de calorimetria é resolvida pela aplicação do princípio geral das trocas de calor, que só pode ser aplicado em corpos que trocam calor entre si em um sistema termicamente isolado.

Veja respostas e comentários no Suplemento para o professor.

Aplicando conhecimentos

Registre as respostas em seu caderno.

9. Um bloco metálico de massa 100 g, a 100 °C, é mergulhado completamente em um recipiente termicamente isolado contendo 300 g de água a 20 °C. No equilíbrio térmico o sistema água + bloco está a 25 °C. Considere desprezível a capacidade térmica do recipiente e determine o calor específico sensível desse metal.

10. Um recipiente termicamente isolado e de capacidade térmica desprezível contém 500 g de água a 80 °C. Nele, é colocado um bloco de gelo a 0 °C. Se o equilíbrio térmico da mistura é alcançado a 20 °C, qual é a massa *m* do bloco de gelo? (Dados: $c_{água} = 1$ cal/(g · °C) e $L_{f(gelo)} = 80$ cal/g)

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Veja respostas e comentários no Suplemento para o professor.

Atividades finais

Registre as respostas em seu caderno.

1. Uma garrafa térmica contém, em equilíbrio e sob pressão de 1 atm, 0,5 litro de água e 400 g de gelo. Sabendo que entra calor na garrafa a uma taxa de 0,2 kcal por minuto, determine, em minuto, intervalo de tempo necessário para que o gelo derreta totalmente. (Dado: $L_{f(gelo)} = 80$ cal/g)

2. Uma fonte térmica fornece calor à razão de 20 cal/min. Um corpo é aquecido nessa fonte durante meia hora, e sua temperatura, então, sobe de 50 °C para 130 °C. Desprezando as perdas de calor para o ambiente, determine a quantidade de calor recebida pelo corpo e sua capacidade térmica.

3. **(Enem)** Em uma aula experimental de Calorimetria, uma professora queimou 2,5 g de castanha-de-caju crua para aquecer 350 g de água, em um recipiente apropriado para diminuir as perdas de calor. Com base na leitura do quadro nutricional a seguir e da medida da temperatura da água, após a queima total do combustível, ela concluiu que 50% da energia disponível foi aproveitada. O calor específico da água é 1 cal · g^{-1} · $°C^{-1}$, e sua temperatura inicial era de 20 °C.

3. c

Quantidade por porção de 10 g (2 castanhas)	
Valor energético	70 kcal
Carboidratos	0,8 g
Proteínas	3,5 g
Gorduras totais	3,5 g

Qual foi a temperatura da água, em grau Celsius, medida ao final do experimento?

a. 25. **c.** 45. **e.** 70.
b. 27. **d.** 50.

4. **(Enem)** O carro *flex* é uma realidade no Brasil. Estes veículos estão equipados com motor que tem a capacidade de funcionar com mais de um tipo de combustível. No entanto, as pessoas que têm esse tipo de veículo, na hora do abastecimento, têm sempre a dúvida: álcool ou gasolina? Para avaliar o consumo desses combustíveis, realizou-se um percurso com um veículo *flex*, consumindo 40 litros de gasolina e no percurso de volta utilizou-se etanol. Foi considerado o mesmo consumo de energia tanto no percurso de ida quanto no de volta.

4. d

O quadro resume alguns dados aproximados sobre esses combustíveis.

Combustível	Densidade (g · mL^{-1})	Calor de combustão (kcal · g^{-1})
Etanol	0,8	−6
Gasolina	0,7	−10

O volume de etanol combustível, em litro, consumido no percurso de volta é mais próximo de:

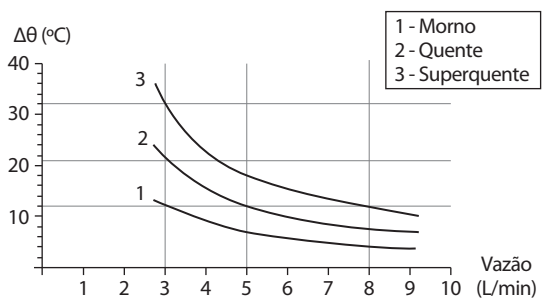
a. 27. **c.** 37. **e.** 67.
b. 32. **d.** 58.

5. **(Enem)** No manual fornecido pelo fabricante de uma ducha elétrica de 220 V é apresentado um gráfico com a variação da temperatura da água em função da vazão para três condições (morno, quente e superquente). Na condição superquente, a potência dissipada é de 6.500 W.

5. d

Considere o calor específico da água igual a 4.200 J/(kg · °C) e densidade da água igual a 1 kg/L.

Elevação de temperatura × Curva vazão



ADILSON SECCO/ARQUIVO DA EDITORA

Com base nas informações dadas, a potência na condição morno corresponde a que fração da potência na condição superquente?

a. $\frac{1}{3}$. **c.** $\frac{3}{5}$. **e.** $\frac{5}{8}$.
b. $\frac{1}{5}$. **d.** $\frac{3}{8}$.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

CAPÍTULO 11

Transmissão de calor

A transmissão de calor é um fenômeno que desempenha um papel essencial em diversos aspectos da nossa vida cotidiana e em várias áreas da Ciência e da Engenharia. Ela refere-se à troca de energia térmica entre diferentes corpos ou regiões que estão em diferentes temperaturas.

Em muitas situações do cotidiano, presenciamos a troca de calor entre corpos ou entre sistemas de corpos. Ao colocar água para ferver em uma panela, por exemplo, poderíamos nos perguntar: como o calor flui da chama para a panela e desta para a água?

ROMAN SIGAEV/SHUTTERSTOCK

Ao colocarmos uma panela com água para aquecer, presenciamos os três tipos de transmissão de calor: condução, convecção e irradiação.

O calor pode ser transmitido de um corpo ou de um sistema para outro por três processos distintos: condução, convecção e irradiação.

Na maioria das situações do dia a dia, a transmissão de calor ocorre por meio de dois ou até dos três processos simultaneamente, mas com a predominância de um deles.

Cada um desses processos acontece de maneira distinta, mas eles frequentemente estão interligados, resultando em complexos fluxos de calor que influenciam desde o equilíbrio térmico de edifícios até os padrões climáticos da Terra, a formação dos ventos e as correntes marítimas. Neste capítulo, vamos estudar os conceitos básicos desses processos de transferência de calor e entender como eles moldam o mundo ao nosso redor.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

1. Fluxo de calor

Em muitas situações práticas, é importante conhecer a "rapidez" com que o calor é transferido de um corpo para outro. A razão entre a quantidade de calor Q e o intervalo de tempo Δt para a sua transferência é denominada **fluxo médio de calor**, representada pela letra grega maiúscula Φ (fi). Portanto:

$$\Phi = \frac{Q}{\Delta t}$$

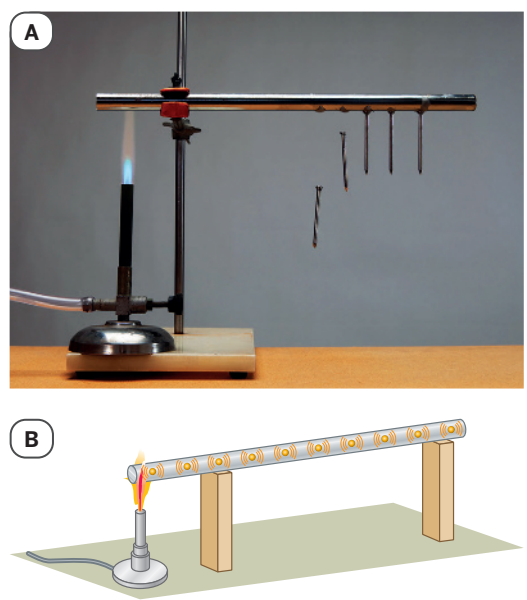
A unidade de medida do fluxo de calor no SI é o watt (1 W = 1 J/s); entretanto, outras unidades usuais do fluxo de calor podem ser usadas, tais como cal/s, cal/min, kcal/h.

O fluxo de calor assume grande importância em diversas situações. Vamos conhecer algumas delas:

- **Isolamento térmico de edifícios**: ao projetar edifícios, é crucial considerar o fluxo de calor através de paredes, janelas e telhados. Materiais isolantes são usados para reduzir o fluxo de calor indesejado, mantendo o interior do edifício aquecido no inverno e resfriado no verão;
- **Eletrodomésticos**: o funcionamento de eletrodomésticos como geladeiras, fornos e aquecedores de água está relacionado ao fluxo de calor. A eficiência energética desses aparelhos depende de como eles controlam o fluxo de calor para manter as temperaturas internas desejadas;
- **Roupas de inverno**: são projetadas para minimizar o fluxo de calor do corpo humano para o ambiente frio. Materiais isolantes, como o algodão, a lã e as fibras sintéticas, ajudam a reduzir essa troca de calor;
- **Eletrônica**: a dissipação de calor em dispositivos eletrônicos, como *laptops* e *smartphones*, é um desafio importante. O calor deve ser drenado do interior desses dispositivos para evitar o superaquecimento, que poderia danificar componentes;
- **Reações químicas**: em reações exotérmicas, aquelas nas quais há liberação de calor, o fluxo de calor afeta a velocidade da reação;
- **Sistemas de refrigeração de veículos**: o sistema de ar-condicionado de um carro, por exemplo, controla o fluxo de calor, removendo o calor do interior e liberando-o no ambiente externo. É o mesmo processo dos condicionadores de ar domésticos;
- **Sistemas de aquecimento**: aquecedores elétricos, radiadores e sistemas de aquecimento central regulam o fluxo de calor para manter ambientes confortáveis durante o clima frio.

2. Condução térmica

Condução térmica é o processo de transmissão do calor em que a energia térmica se propaga de uma partícula para outra do meio material. Podemos verificar isso na prática com um experimento bem simples. Ao longo de um bastão de metal, fixe alguns pregos ou algumas tachinhas com parafina, mantendo certa distância entre eles. Ao colocar uma das extremidades do bastão em contato com uma fonte de calor (chama), percebemos que a parafina vai derreter gradativamente a partir dessa extremidade, fazendo com que os pregos ou as tachinhas caiam uma a uma. O que ocorre é que as partículas do bastão em contato com a chama passam a vibrar com mais intensidade, e essa vibração mais intensa se transfere de uma partícula para outra ao longo do comprimento do bastão (Fig. 1). Esse experimento mostra que o calor é conduzido através do material do bastão.



DOTTA 2/ARQUIVO DA EDITORA

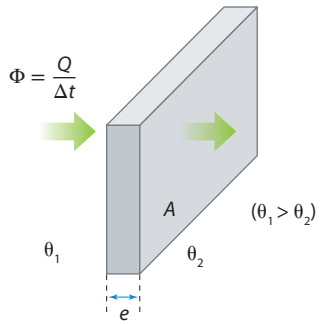
ADILSON SECCO/ ARQUIVO DA EDITORA

Figura 1. (A) A parafina derrete à medida que a energia térmica se propaga por condução ao longo do bastão metálico; (B) a energia térmica se propaga de uma partícula para outra ao longo do comprimento do bastão. (Representação fora de proporção; cores meramente ilustrativas.)

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Os materiais em que esse processo de transmissão do calor ocorre de forma mais acentuada são chamados de **condutores térmicos**, por exemplo, os metais. Já aqueles em que tal processo praticamente não ocorre são chamados de **isolantes térmicos**, por exemplo, a madeira e o isopor.

A lei que define esse processo de transmissão de calor foi determinada experimentalmente pelo matemático francês Jean-Baptiste Fourier (1768-1830). De acordo com a **lei de Fourier**, a quantidade de calor Q que atravessa um material, com uma diferença de temperatura constante, é diretamente proporcional à área A da seção transversal atravessada pelo fluxo de calor, à diferença de temperatura entre as regiões separadas pelo material ($\Delta\theta = \theta_1 - \theta_2$, sendo $\theta_1 > \theta_2$) e ao intervalo de tempo de transmissão Δt, sendo inversamente proporcional à espessura e atravessada (Fig. 2).



ADILSON SECCO/ARQUIVO DA EDITORA

Figura 2. O calor flui espontaneamente da face de maior temperatura para a de menor temperatura.

A expressão matemática da lei de Fourier é a seguinte:

$$\Phi = K \cdot \frac{A \cdot (\theta_1 - \theta_2)}{e}$$

onde K é uma característica física do material denominada **coeficiente de condutibilidade térmica**. Seu valor é maior para os bons condutores térmicos e menor para os isolantes térmicos. No SI, a unidade de K é $\frac{J}{m \cdot s \cdot °C}$; entretanto, a unidade $\frac{cal}{cm \cdot s \cdot °C}$ é mais prática para efeito de cálculos.

O exemplo seguinte mostra uma aplicação da lei de Fourier.

Exercício resolvido

Uma pessoa, trajando um macacão de lã, de espessura 5 mm e área 2 m^2, encontra-se em um local onde a temperatura ambiente é –4,0 °C. Sabendo que o coeficiente de condutibilidade térmica da lã é $1 \cdot 10^{-4}$ cal/(s · cm · °C) e que a temperatura corporal da pessoa é de 36 °C:

a. determine o fluxo de calor, em cal/s, que se estabelece através do macacão;

b. calcule a quantidade de calor que a pessoa perde em meia hora;

c. esboce um gráfico da temperatura ao longo da espessura do macacão (atravessada pelo calor), considerando que as temperaturas em ambos os lados do macacão não variem no decorrer do tempo.

Resolução

a. O enunciado nos fornece alguns dados:

$(\theta_1 - \theta_2) = 36\ °C - (-4\ °C) = 40\ °C$; $A = 2\ m^2 = 2 \cdot 10^4\ cm^2$; $e = 5\ mm = 0{,}5\ cm$ e

$K = 1 \cdot 10^{-4}$ cal/(s · cm · °C)

De acordo com a lei de Fourier, calculamos o fluxo de calor:

$$\Phi = K \cdot \frac{A \cdot (\theta_1 - \theta_2)}{e} \Rightarrow \Phi = 1 \cdot 10^{-4} \cdot \frac{2 \cdot 10^4 \cdot 40}{0{,}5} \therefore$$

$\therefore \Phi = 160$ cal/s

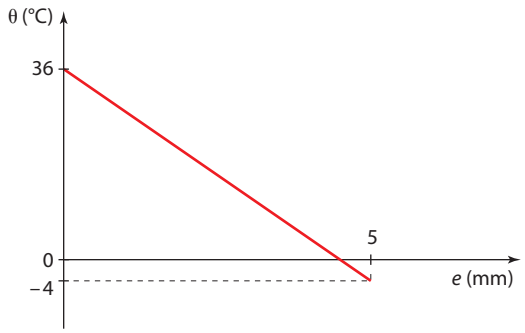
Portanto, a cada segundo, 160 cal atravessam o tecido do macacão e vão para o ambiente.

b. A partir da definição de fluxo de calor, sendo $\Delta t = 0{,}5\ h = 30\ min = 1.800\ s$, podemos calcular a quantidade de calor perdida pela pessoa:

$$\Phi = \frac{Q}{\Delta t} \Rightarrow 160 = \frac{Q}{1.800} \therefore$$

$\therefore Q = 288 \cdot 10^3$ cal $= 288$ kcal

c. Considerando que o calor se transfere sem que as temperaturas em ambos os lados do macacão se modifiquem, o mesmo ocorrendo com a temperatura em cada seção (regime estacionário de condução), então a temperatura varia linearmente ao longo da camada de lã que separa os dois lados do macacão, de acordo com o gráfico a seguir.



ADILSON SECCO/ARQUIVO DA EDITORA

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Veja comentários sobre essa atividade no Suplemento para o professor.

Dialogando com o texto

Em países com invernos rigorosos, o uso de janelas com vidro duplo, tendo uma camada de ar entre as placas, é comum. Considerando o que estudamos até aqui, explique como esse tipo de janela afeta o ambiente interno das casas.

Veja comentários sobre essa atividade no Suplemento para o professor.

Atividade em grupo

Esquimós e beduínos utilizam o conhecimento sobre termologia em seu dia a dia. Os esquimós constroem iglus de gelo para manter o interior aquecido apesar das temperaturas externas de até –50 °C. Beduínos usam roupas grossas de lã no deserto para se proteger do calor externo, que pode superar os 45 °C. Em grupos de no máximo 4 estudantes, investiguem como o conhecimento sobre propagação de calor é aplicado por habitantes de regiões polares e desertos, influenciando diretamente suas escolhas de construção de habitações e vestimentas. Encontrem vídeos e artigos que demonstrem o cotidiano desses povos. Escrevam um artigo de 1 a 2 páginas resumindo o conteúdo da sua pesquisa e incluam imagens que ilustrem as construções e vestimentas.

Veja respostas e comentários no Suplemento para o professor.

Aplicando conhecimentos

Registre as respostas em seu caderno.

1. Por que a serragem (raspas de madeira) é um isolante térmico melhor do que a madeira compacta?

2. Uma porta de madeira com maçaneta metálica está exposta ao Sol. Tocando simultaneamente a madeira com uma das mãos e a maçaneta com a outra, a maçaneta nos parecerá mais quente. Explique essa sensação utilizando argumentos físicos.

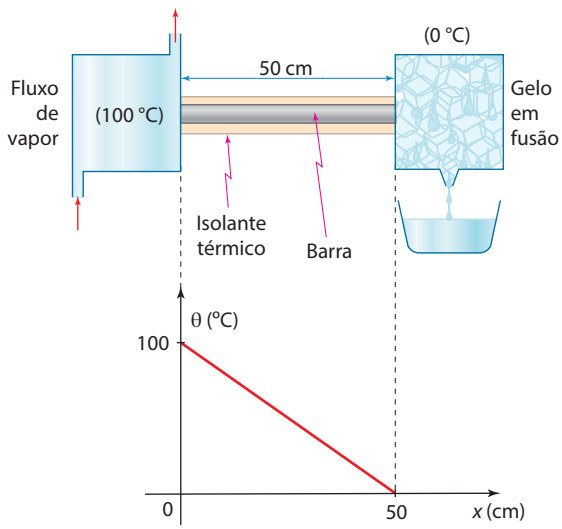
3. Uma barra de alumínio de 50 cm de comprimento e seção transversal de área 5,0 cm^2 tem uma de suas extremidades em contato com gelo em fusão (0 °C) e a outra em contato com vapor de água em ebulição (100 °C), ambos sob pressão normal.

Ao longo do seu comprimento, a barra é isolada termicamente, conforme esquema apresentado. Após certo tempo, estabelece-se, ao longo da barra, um fluxo de calor em regime estacionário e a temperatura, ao longo da barra, varia como indica o gráfico.

Sendo 0,50 cal/(s · cm · °C) o coeficiente de condutibilidade térmica do alumínio, determine:

a. o fluxo de calor ao longo da barra em regime estacionário;

b. a temperatura em uma seção transversal da barra situada a 10 cm da extremidade em contato com o gelo em fusão.



ADILSON SECCO/ARQUIVO DA EDITORA

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

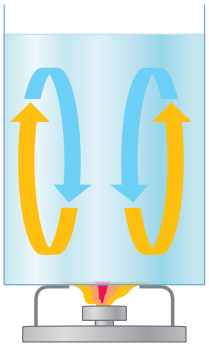
3. Convecção térmica

Convecção térmica é o processo de transmissão do calor no qual a energia térmica se propaga pelo deslocamento de massas líquidas ou gasosas, que alternam suas posições relativas devido à diferença de densidade. Por exemplo, quando você aquece um líquido em uma chama, as camadas inferiores, à medida que se aquecem, ficam menos densas e sobem, enquanto as camadas superiores, menos quentes, descem, pois têm maior densidade. É desse modo que ocorre a mistura das partes mais aquecidas com as menos aquecidas, e o conjunto acaba por esquentar como um todo.

Se você colocar pequenas partículas dispersas no líquido, por exemplo, macarrão do tipo argolinha, poderá ver as partículas, ou seja, as argolinhas, movimentando-se, acompanhando as correntes de convecção que se formam durante o aquecimento (Fig. 3). Vale lembrar que esse processo de transferência de calor não ocorre nos sólidos. Ele é exclusivo dos líquidos e gases, genericamente denominados fluidos. É também por meio desse processo que ventos e furacões são formados na atmosfera terrestre.

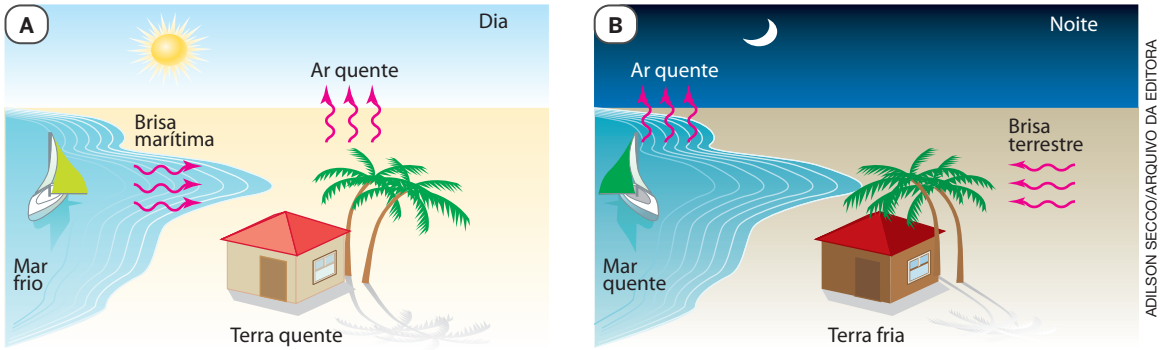
As brisas que ocorrem nas regiões litorâneas podem ser explicadas pela existência de correntes de convecção, associadas à diferença de aquecimento da terra e do mar no decorrer do dia. Durante o dia, a terra está mais quente que o mar, pois a água é um material que precisa absorver grandes quantidades de calor para ser aquecida, isto é, possui um grande calor específico sensível. Então, o ar mais quente, em contato com a terra, sobe por convecção e produz uma região de baixa pressão, "aspirando" o ar que está sobre o oceano. Sopra, então, a **brisa marítima**, isto é, do mar para a praia (Fig. 4A).

À noite, o processo se inverte, e agora a água, sem o aquecimento do Sol, demora mais para esfriar, mantendo-se mais quente que a terra. Então, o ar sobre o mar sobe por convecção, produzindo uma região de baixa pressão, "aspirando" o ar que está sobre a terra. Sopra, assim, a **brisa terrestre**, isto é, da praia para o mar (Fig. 4B).



ADILSON SECCO/ARQUIVO DA EDITORA

Figura 3. Representação esquemática de convecção térmica. As setas azuis indicam a água menos quente descendo. As setas amarelas indicam a água mais quente subindo.



ADILSON SECCO/ARQUIVO DA EDITORA

Figura 4. Representação esquemática: (A) brisa marítima; (B) brisa terrestre. (Representações fora de proporção; cores meramente ilustrativas.)

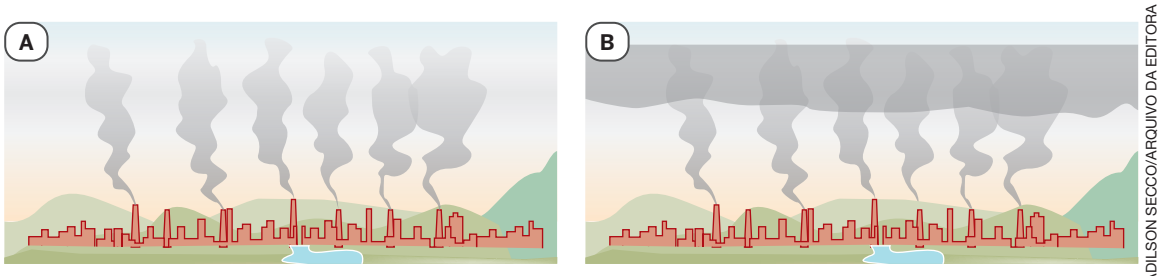
Os jangadeiros do Nordeste do Brasil sabem aproveitar muito bem essas brisas, saindo para pescar em alto-mar à noite, levados pela brisa terrestre, e voltando pela manhã, trazidos pela brisa marítima.

As correntes de convecção também explicam a sustentação de planadores, asas-delta e outros veículos aéreos sem propulsão. Os pássaros, por instinto, também utilizam as correntes de convecção durante o voo.

Inversão térmica

Se subirmos a 15 km ou 20 km de altitude na atmosfera terrestre, observaremos que o ar se resfria à medida que nos distanciamos da superfície da Terra.

Assim, o ar mais próximo à superfície, que é mais quente (portanto, menos denso), pode ascender levando resíduos poluentes, principalmente das emissões dos automóveis e das indústrias, favorecendo a sua dispersão nas camadas mais altas (Fig. 5A). Esse processo, simples e desejável, é denominado **convecção atmosférica**. Entretanto, em condições atmosféricas peculiares e atípicas, esse processo é dificultado (Fig. 5B). Quando uma camada de ar quente estaciona, por longo tempo, sobre uma massa de ar frio, ocorre o fenômeno denominado **inversão térmica**, que impede a convecção.



ADILSON SECCO/ARQUIVO DA EDITORA

Figura 5. (A) A distribuição regular de temperaturas na atmosfera facilita a dispersão de poluentes; (B) a inversão térmica dificulta a dispersão de poluentes. (Representações fora de proporção; cores meramente ilustrativas.)

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

A inversão térmica é uma condição meteorológica que pode ocorrer em qualquer altitude e em qualquer época do ano, porém, no inverno, ela acontece principalmente nas camadas mais baixas da atmosfera. Baixas temperaturas, céu limpo, ventos fracos e noites longas favorecem a ocorrência da inversão térmica.

Em um ambiente com muitas indústrias e circulação intensa de veículos, como nas grandes cidades, a inversão térmica pode levar a altas concentrações de poluentes, mantendo resíduos muito próximos da superfície. A presença de poluentes pode provocar nas pessoas sintomas fisiológicos leves, como ardor nos olhos, além de doenças respiratórias crônicas (bronquite e enfisema) e doenças cardíacas.

Veja respostas e comentários no Suplemento para o professor.

Aplicando conhecimentos

Registre as respostas em seu caderno.

4. Para enfrentar uma noite muito fria, antes de se deitar, Juvêncio, pensando em aplicar seus conhecimentos de Física, resolveu colocar o aquecedor no alto do guarda-roupa. Você acha que a decisão de Juvêncio foi correta ou ele obteria melhores resultados se colocasse o aquecedor no nível do chão? Justifique sua resposta.

5. Em supermercados e mercearias, os produtos perecíveis são colocados em *freezers* horizontais, expostos ao ambiente. Apesar disso, os alimentos mantêm-se em baixa temperatura e não se deterioram. Explique por que não ocorre o aquecimento desses produtos.

6. Em certos dias, verifica-se o fenômeno da inversão térmica, que causa um aumento da poluição do ar pelo fato de a atmosfera apresentar maior estabilidade térmica, isto é, pouca convecção. Essa ocorrência deve-se ao seguinte fato:

6. e

a. A temperatura das camadas inferiores do ar atmosférico permanece superior à das camadas superiores.

b. A convecção força as camadas carregadas de poluentes a circular.

c. A temperatura do ar se uniformiza.

d. A condutibilidade térmica do ar diminui.

e. As camadas superiores do ar atmosférico têm temperatura superior à das camadas inferiores.

4. Irradiação térmica

A transmissão de energia pelas ondas eletromagnéticas, como ondas de rádio, micro-ondas, raios infravermelhos, luz visível, raios ultravioleta, raios X e raios gama, é denominada genericamente irradiação ou radiação. A **irradiação térmica** ou **radiação térmica** é o processo de transmissão de calor em que a energia térmica se propaga por meio de raios infravermelhos. Ao contrário da condução e da convecção térmicas, a irradiação não precisa de um meio material para ocorrer. Por exemplo, a radiação solar chega até nós por meio das ondas eletromagnéticas emitidas pelo Sol, que atravessam o vácuo existente entre ele e a Terra. Ao absorver a energia proveniente dessas radiações, o grau de agitação das partículas dos corpos aumenta e eles sofrem aumento de temperatura.

A absorção dessa energia está diretamente relacionada à cor e ao grau de polimento da superfície do corpo que a recebe. Pode-se dizer genericamente que os corpos foscos, pouco polidos e de cor escura absorvem maior quantidade de calor em um mesmo ambiente que os corpos polidos e de cor clara.

Veja comentários sobre essa atividade no Suplemento para o professor.

Em destaque

ODS 15

Uso do fogo pelos povos indígenas do Cerrado

Populações que viveram no Cerrado há mais de 10 mil anos usavam o fogo ativamente para o preparo dos alimentos e em cerimônias fúnebres, como é o caso dos povos de Lagoa Santa, MG. Essa prática de manejo do fogo foi transmitida aos descendentes e, com o tempo, aperfeiçoada. Assim, a maioria dos grupos indígenas habitantes do Cerrado (Xavante, Krahô, Kayapó, Xerente, Karajá, dentre outros) utilizam o fogo para limpar caminhos e os arredores das habitações, abrir áreas de cultivo, praticar a cultura itinerante (ou de corte e queima), matar ou expulsar cobras e pragas, atrair e conduzir animais durante a caçada, estimular a rebrota, a floração e a frutificação de algumas plantas, coletar mel, para sinalizar a distância e em suas guerras e rituais.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

CONTINUA

CONTINUAÇÃO

Os indígenas, e tradicionais como os quilombolas, têm grande conhecimento dos efeitos do fogo na natureza e possuem métodos refinados para utilizá-lo. Os Kayapó, por exemplo, reconheciam mais de 40 tipos de florestas, savanas e campos e usavam o fogo para criar "pomares", onde plantam várias árvores frutíferas e outras plantas úteis; queimam a vegetação em volta desses pomares para protegê-los de fogos acidentais; sabem as épocas específicas de queimar para estimular a produção de frutos comestíveis ou para controlar doenças das plantas.

Na prática da cultura itinerante, pequenas manchas de vegetação são queimadas após as primeiras chuvas da primavera, de forma branda, num sistema rotativo. As cinzas fertilizam o solo e mantêm alta a produtividade das plantas durante 2-3 anos. Depois, a área é abandonada durante vários anos para se recuperar. Com este sofisticado sistema agroflorestal, os povos indígenas e comunidades tradicionais manejam a vegetação nativa conforme suas necessidades, evitando que o fogo saia de controle, se torne um incêndio florestal, e tenha efeitos negativos para o solo, água, clima, fauna e flora.

Seja qual for a razão, os povos indígenas usam o fogo de maneira cuidadosa e precisa. Os objetivos da queima, o local e o comportamento do fogo são bem definidos. Decidem quando e como queimar com base em indicadores naturais, como nuvens, direção do vento, nível dos rios, ciclos das principais espécies vegetais e animais. Dessa forma sustentável, mantêm os seus recursos.

Fonte: PIVELLO, Vânia. Uso do fogo pelos povos indígenas do Cerrado. **Museu do Fogo**, São Paulo, 14 dez. 2022. Disponível em: https://www.museudofogo.com.br/blog/uso-do-fogo-pelos-povos-ind%C3%ADgenas-do-cerrado. Acesso em: 20 maio 2024.

Ao acendermos uma fogueira, encontramos os três processos de transmissão de calor. Observamos a convecção em ação, em que o ar aquecido próximo ao fogo se expande, torna-se menos denso e sobe, enquanto o ar mais frio desce para ocupar seu lugar. A condução, por sua vez, ocorre quando o calor é transferido diretamente entre as partículas de um material, como quando o fogo aquece a grelha de uma churrasqueira e essa temperatura é transmitida para os alimentos em contato. Além disso, há a irradiação térmica, responsável por transmitir calor através das ondas eletromagnéticas emitidas pelo fogo, aquecendo objetos ou corpos que absorvem essa energia. Esses processos são essenciais para entendermos como o fogo é utilizado para cozinhar alimentos, aquecer ambientes e realizar diversas atividades no dia a dia.

1. Explique como os grupos indígenas e quilombolas utilizam o fogo de maneira sustentável no Cerrado.

2. Quais são os métodos e os objetivos que esses grupos perseguem ao utilizar o fogo?

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

A estufa de plantas e o efeito estufa

OBJETO DIGITAL Vídeo: Mudanças climáticas

A **estufa** é um recinto onde plantas são mantidas em um ambiente aquecido. Para isso, o teto e as paredes da estufa são feitos de materiais transparentes à energia radiante do Sol, como vidro ou plástico, mas que impedem a passagem da energia reemitida pelos objetos em seu interior. Dessa maneira, o ambiente da estufa se mantém quente, mesmo no período noturno, durante o qual não há incidência direta dos raios solares (Fig. 6).

BARMALINI/SHUTTERSTOCK

Figura 6. Estufa de plantas (Países Baixos, 2018).

O **efeito estufa**, que ocorre na atmosfera terrestre, tem explicação semelhante. A presença de vapor de água e gás carbônico faz a atmosfera reter grande parte das radiações infravermelhas emitidas pelos corpos da superfície terrestre, impedindo que sejam enviadas ao espaço. Esse efeito é fundamental para que a Terra mantenha uma temperatura média adequada, que, nos últimos 5.000 anos, ficou entre 19 °C e 27 °C. Se o efeito estufa não ocorresse, a energia radiante recebida do Sol durante o dia seria reemitida para o espaço durante a noite, reduzindo a temperatura terrestre a níveis insuportáveis.

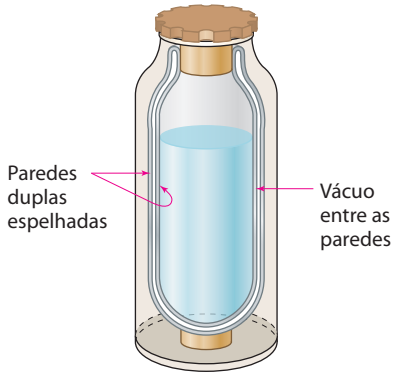
Cientistas, ambientalistas, autoridades e demais estudiosos das mudanças climáticas no planeta vêm percebendo que as atividades humanas estão aumentando muito a quantidade de gás carbônico na atmosfera, de modo a intensificar o efeito estufa. A temperatura média do planeta está se aproximando perigosamente de 27 °C. Por isso, o efeito estufa poderá deixar de ser um fenômeno benéfico e essencial para se tornar desastroso, causando derretimento das calotas polares, alterações climáticas muito acentuadas, inundações, entre outras catástrofes, como já estamos vivenciando.

Garrafa térmica

A **garrafa térmica** é um dispositivo de larga aplicação prática. Tem como função manter seu conteúdo em temperatura praticamente inalterada durante longo intervalo de tempo. Logo após sua invenção, em 1892, ela era conhecida como **vaso de Dewar**, em homenagem ao químico escocês Sir James Dewar (1842-1923), que, um ano antes, havia descoberto um método para produzir grandes quantidades de oxigênio líquido. No entanto, para utilizá-lo, era preciso mantê-lo a baixas temperaturas. Em função dessa necessidade, Dewar inventou a garrafa térmica.

Para minimizar as trocas de calor e manter a temperatura aproximadamente constante, a garrafa térmica é feita com parede dupla de vidro espelhado, no interior da qual se faz "vácuo" (na verdade, ar rarefeito). O fato de o material ser o vidro, que é um isolante térmico, reduz a condução. O vácuo entre as faces da parede dupla só permite a irradiação, mas esta é dificultada pelo espelhamento interno, que reduz a perda de calor pelo líquido no interior da garrafa quando quente, e o espelhamento externo, que reduz a absorção de calor pelo conteúdo da garrafa quando frio (Fig. 7).

A tampa da garrafa é feita de material isolante térmico e, por isso, também ajuda a manter a temperatura interna. Além disso, ela impede as trocas de calor por convecção do ar sobre o líquido no interior da garrafa.



ADILSON SECCO/ARQUIVO DA EDITORA

Figura 7. Representação esquemática de uma garrafa térmica.

Aquecimento da água por energia solar

Com a escassez dos combustíveis fósseis, há uma contínua procura por fontes alternativas de energia. A maior fonte de energia disponível que temos é o Sol, e, por esse motivo, estão sendo desenvolvidos muitos projetos visando ao seu aproveitamento. Os aquecedores solares seguem essa tendência, sendo utilizados no aquecimento da água de residências, piscinas, hotéis, indústrias, edifícios, propriedades rurais, entre outros.

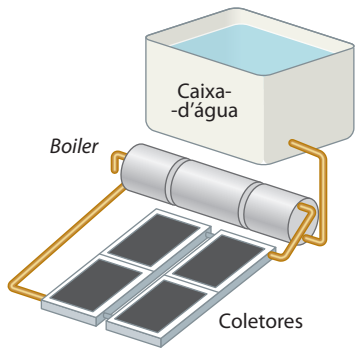
Um sistema básico de aquecimento de água por energia solar é composto de placas metálicas coletoras de energia solar, de cor escura, para otimizar a absorção da irradiação térmica, e recobertas por placas de vidro transparente, para criar um efeito estufa. Utilizam-se também reservatórios, denominados boilers, que armazenam a água aquecida (Fig. 8).

AQUATARKUS/SHUTTERSTOCK

Figura 8. Coletor solar e reservatório térmico (*boiler*) no telhado de uma casa (Kemer, Turquia, 2022).

A figura 9 mostra o esquema de um sistema de aquecimento solar. A energia térmica absorvida pelas placas é transmitida para a água que circula no interior das tubulações de cobre. Os *boilers* são cilindros de cobre ou aço inoxidável, isolados termicamente com poliuretano expandido sem CFC (clorofluorcarbonetos) para diminuir as perdas de calor por condução. Dessa forma, a água permanece aquecida e pronta para consumo a qualquer hora do dia ou da noite. A caixa de água fria alimenta o *boiler*, mantendo-o sempre cheio.

A circulação da água entre os coletores e o reservatório é garantida por um mecanismo natural chamado **termossifão**. Nesse sistema, a água dos coletores, por estar mais quente, é menos densa que a água do *boiler*. Então, a água fria, mais densa, "empurra" a água quente para o *boiler*, gerando a circulação. Em sistemas mais sofisticados, em que o volume de água é muito grande, como em piscinas, por exemplo, a circulação da água é feita por meio de motobombas.



ADILSON SECCO/ARQUIVO DA EDITORA

Figura 9. Representação esquemática de um aquecedor solar acoplado a uma caixa-d'água. (Representação fora de proporção; cores meramente ilustrativas.)

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Veja respostas e comentários no Suplemento para o professor.

Aplicando conhecimentos

Registre as respostas em seu caderno.

7. Ao aproximar sua mão de uma lâmpada incandescente acesa, você poderá sentir o calor transmitido por ela. Prove, com argumentos fisicamente corretos, que o calor é transmitido à sua mão predominantemente pelo processo de irradiação.

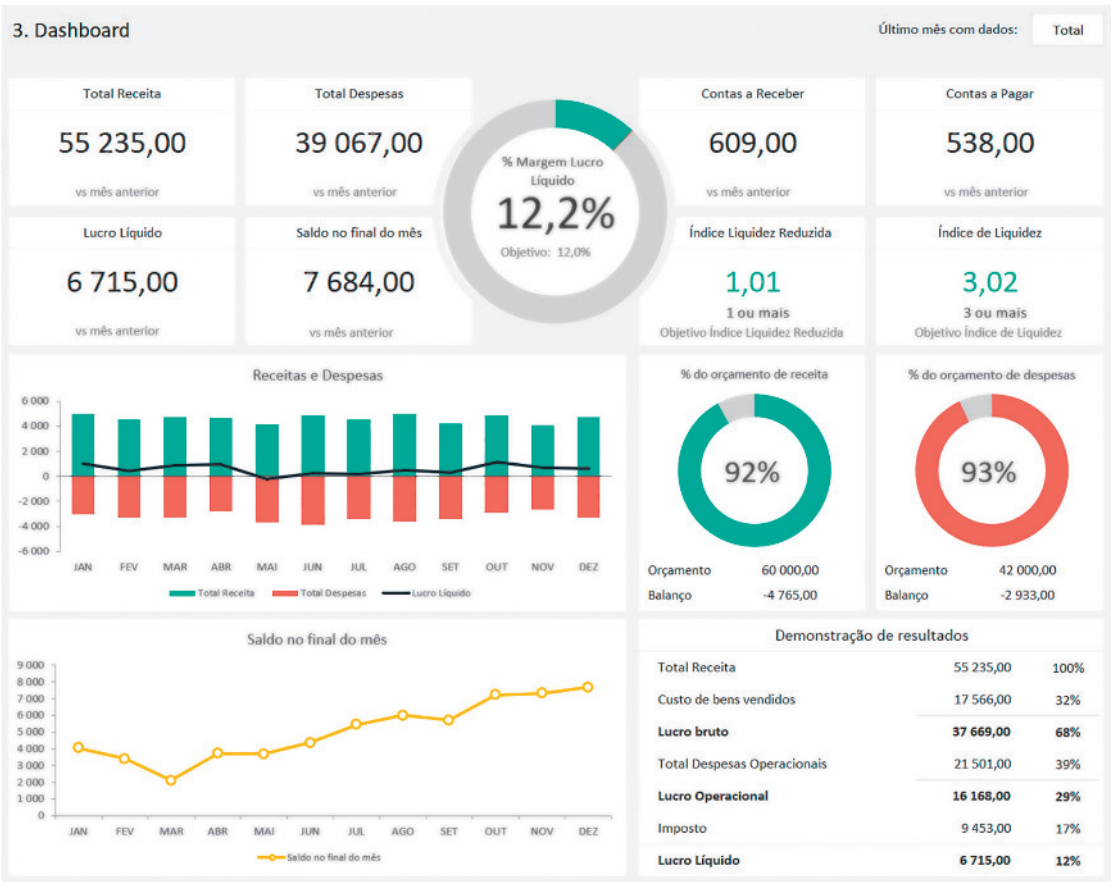
8. Por que as regiões polares da Terra têm temperaturas médias bem menores que as encontradas nas regiões próximas à linha do Equador?

9. Em sua opinião, em uma noite estrelada, a temperatura do ar atmosférico é maior ou menor que a temperatura dessa massa de ar em uma noite sem estrelas visíveis, no mesmo local? Justifique com argumentos físicos.

EDUCAÇÃO MIDIÁTICA

Visualização de dados: criação e leitura de gráficos

O acesso aos computadores popularizou a criação de apresentações digitais, que permitem usar textos, imagens, vídeos e outros recursos para transmitir informações de forma atraente. Essas apresentações, especialmente com o uso de gráficos, são muito valorizadas em ambientes empresariais, por possibilitar a exposição de dados estratégicos e a tomada de decisões. Foram desenvolvidos os *dashboards*, ferramentas digitais de visualização de dados capazes de relacionar informações de forma dinâmica e em tempo real.



REPRODUÇÃO/ADNIA

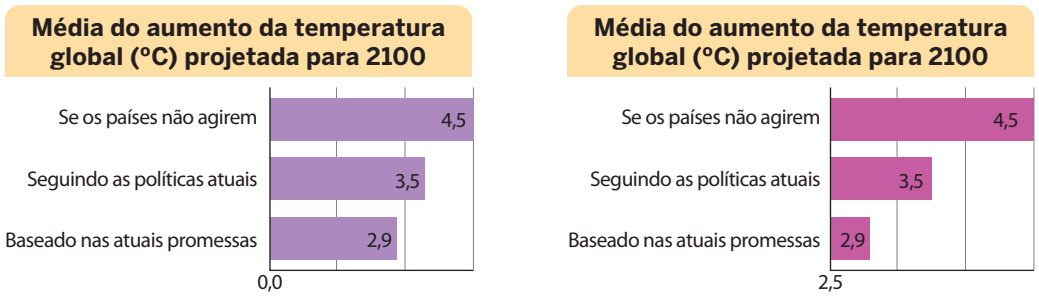
Exemplo de *dashboard*.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

CONTINUA

Pelas possibilidades que trazem, os *dashboards* também são chamados de "painéis de controle". Embora ferramentas de inteligência artificial sejam capazes de lidar com um volume grande de informações de maneira muito rápida, as decisões mais importantes ainda são de competência dos humanos. Assim, a objetividade e a clareza das informações são características essenciais nos *dashboards*.

Escolher o gráfico mais adequado para os dados é fundamental para que ele seja compreendido com mais facilidade. Escolhas erradas, por falta de habilidade ou intencionalmente, podem gerar gráficos enganosos, que distorcem as informações ou levam a conclusões incorretas. Veja um exemplo a seguir e, na sequência, responda às questões.



NELSON MATSUDA/ARQUIVO DA EDITORA

Fonte dos dados: STYLIANOU, N. *et al*. Aquecimento global: 7 gráficos que mostram em que ponto estamos. **BBC News Brasil**, 6 dez. 2018. Disponível em: https://www.bbc.com/portuguese/geral-46424720. Acesso em: 24 out. 2024.

1. Quais informações esses gráficos trazem?

2. Quais são as diferenças e semelhanças entre os dois gráficos?

Os dois gráficos representam os mesmos dados. No gráfico da direita, a diferença entre as temperaturas em cada cenário parece maior, o que se deve ao eixo *x* ter início no valor 2,5, não em zero. Isso amplia os intervalos da escala entre os valores. Perceba como a diferença entre as barras parece menor no gráfico da esquerda.

3. Qual dos dois gráficos seria mais eficaz como argumento para convencer alguém de que é importante os países agirem para a redução do aquecimento global? Por quê?

Qual é o melhor tipo de gráfico?

O melhor gráfico é aquele que apresenta as informações nele contidas da maneira mais completa e de fácil identificação pelo leitor.

Escolher o gráfico adequado vai fazer a diferença para quem terá que entender o que você quer mostrar. Algumas opções comuns são gráficos de linhas, gráficos de barras e histogramas.

4. Organizem-se em grupos e sigam as instruções:

a. Escolham três questões relevantes para você e seus colegas buscarem por dados numéricos (que não estejam apresentados em gráficos), por exemplo: o investimento de países no combate ao aquecimento global; o percentual de mulheres candidatas a determinado cargo em cada partido político nas últimas eleições; o aumento de denúncias de crime de racismo nos últimos dez anos etc.

b. Com base na quantidade e confiabilidade dos dados obtidos, selecionem um desses temas para representar as informações em um gráfico.

c. Avaliem e discutam os critérios utilizados na escolha do tipo de gráfico e produzam o gráfico, em papel.

5. Organizem uma mostra, na sala de aula, dos gráficos produzidos. Depois de observar todos os gráficos produzidos, cada grupo escolhe um gráfico de outro grupo para explicar à turma o que entendeu de sua leitura. Os colegas que produziram o gráfico devem analisar se a explicação está de acordo com a intenção deles. Se preciso, façam as correções necessárias.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

ESTRATÉGIA DE ESTUDO

Para auxiliá-lo em seus estudos, você pode conectar palavras-chave por meio de frases e refletir sobre o que aprendeu.

Relacionar palavras-chave

Após selecionar palavras-chave que representem os principais assuntos estudados em cada tópico, crie frases que relacionem essas palavras com base no texto do capítulo.

No tópico *Calor: energia térmica em trânsito*, se você selecionou temperatura, calor, energia térmica e propagação de calor, agora pode explorar como dois ou três desses termos se conectam por meio de uma frase curta. Por exemplo: **temperatura** é uma medida da **energia térmica** média das partículas em um objeto.

Compartilhe e discuta com seus colegas as relações que você estabeleceu. Verifique se eles encontraram conexões diferentes das suas para repensar a inclusão ou a exclusão de algum termo. Essas anotações podem ser consultadas quando necessário como uma ferramenta de estudo.

Verificar o que aprendeu

1. Avalie seu nível de compreensão dos assuntos apresentados no capítulo utilizando a escala:

- Entendi completamente.
- Entendi a maior parte, mas alguns itens estão confusos.
- Não entendi a maior parte.
- Não entendi.

2. Avalie suas habilidades para:

- resolver os problemas apresentados;
- relacionar o conteúdo com situações do cotidiano;
- identificar conexões entre os assuntos tratados.

Veja respostas e comentários no Suplemento para o professor.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Atividades finais

Registre as respostas em seu caderno.

1. b

1. (Enem) O objetivo de recipientes isolantes térmicos é minimizar as trocas de calor com o ambiente externo. Essa troca de calor é proporcional à condutividade térmica k e à área interna das faces do recipiente, bem como à diferença de temperatura entre o ambiente externo e o interior do recipiente, além de ser inversamente proporcional à espessura das faces.

A fim de avaliar a qualidade de dois recipientes A (40 cm × 40 cm × 40 cm) e B (60 cm × 40 cm × 40 cm) de faces de mesma espessura, uma estudante compara suas condutividades térmicas k_a e k_b. Para isso suspende, dentro de cada recipiente, blocos idênticos de gelo a 0 °C, de modo que suas superfícies estejam em contato apenas com o ar. Após um intervalo de tempo, ela abre os recipientes enquanto ambos ainda contêm um pouco de gelo e verifica que a massa de gelo que se fundiu no recipiente B foi o dobro da que se fundiu no recipiente A.

A razão $\frac{k_a}{k_b}$ é mais próxima de

a. 0,50.
b. 0,67.
c. 0,75.
d. 1,33.
e. 2,00.

2. a

2. (Enem) Num experimento, um professor deixa duas bandejas de mesma massa, uma de plástico e outra de alumínio, sobre a mesa do laboratório. Após algumas horas, ele pede aos alunos que avaliem a temperatura das duas bandejas, usando para isso o tato. Seus alunos afirmam, categoricamente, que a bandeja de alumínio encontra-se numa temperatura mais baixa. Intrigado, ele propõe uma segunda atividade, em que coloca um cubo de gelo sobre cada uma das bandejas, que estão em equilíbrio térmico com o ambiente, e os questiona em qual delas a taxa de derretimento do gelo será maior.

O aluno que responder corretamente ao questionamento do professor dirá que o derretimento ocorrerá

a. mais rapidamente na bandeja de alumínio, pois ela tem uma maior condutividade térmica que a de plástico.
b. mais rapidamente na bandeja de plástico, pois ela tem inicialmente uma temperatura mais alta que a de alumínio.
c. mais rapidamente na bandeja de plástico, pois ela tem uma maior capacidade térmica que a de alumínio.
d. mais rapidamente na bandeja de alumínio, pois ela tem um calor específico menor que a de plástico.
e. com a mesma rapidez nas duas bandejas, pois apresentarão a mesma variação de temperatura.

CONTINUA

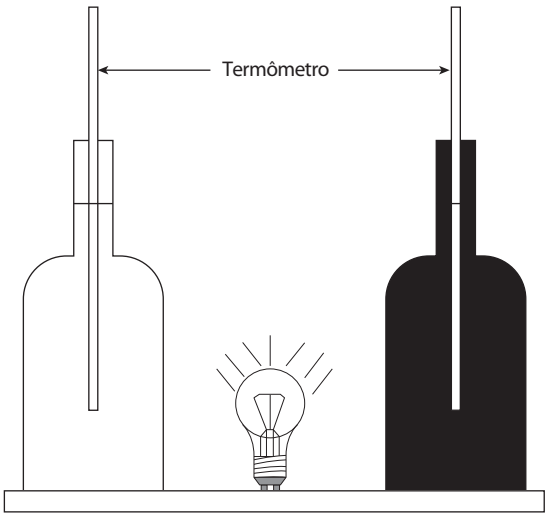
3. Uma pessoa, trajando um macacão de lã, de espessura 5 mm e área 2 m², encontra-se num local em que a temperatura ambiente é 24,0 °C. Sabendo que o coeficiente de condutibilidade térmica da lã é $1 \cdot 10^{-4}$ cal/(s · cm · °C) e que a temperatura corporal da pessoa é 36 °C:

a. determine o fluxo de calor, em cal/s, que se estabelece através do macacão;

b. calcule a quantidade de calor que a pessoa perde em meia hora.

4. **(Enem)** Em um experimento, foram utilizadas duas garrafas PET, uma pintada de branco e a outra de preto, acopladas cada uma a um termômetro. No ponto médio da distância entre as garrafas, foi mantida acesa, durante alguns minutos, uma lâmpada incandescente. Em seguida, a lâmpada foi desligada. Durante o experimento, foram monitoradas as temperaturas das garrafas: a) enquanto a lâmpada permaneceu acesa e b) após a lâmpada ser desligada e atingirem equilíbrio térmico com o ambiente.

4. e



NELSON MATSUDA/ARQUIVO DA EDITORA

A taxa de variação da temperatura da garrafa preta, em comparação à da branca, durante todo experimento, foi

a. igual no aquecimento e igual no resfriamento.

b. maior no aquecimento e igual no resfriamento.

c. menor no aquecimento e igual no resfriamento.

d. maior no aquecimento e menor no resfriamento.

e. maior no aquecimento e maior no resfriamento.

5. O calor é transmitido principalmente por irradiação em qual das situações apresentadas?

5. b

a. Aquecimento da água que sai de uma torneira elétrica ligada.

b. Queima de um pedaço de papel com uma lente que concentra os raios solares.

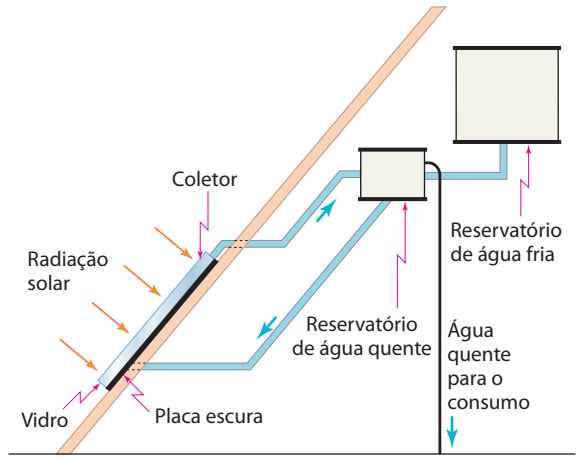
c. Fumaça que sobe pela chaminé de uma lareira.

d. Aquecimento da água contida em uma panela colocada sobre a chama de um fogão.

e. Aquecimento de uma caneca com chocolate quente em seu interior.

6. **(Enem)** O resultado da conversão direta de energia solar é uma das várias formas de energia alternativa de que se dispõe. O aquecimento solar é obtido por uma placa escura coberta por vidro, pela qual passa um tubo contendo água. A água circula conforme mostra o esquema.

6. e



ADILSON SECCO/ARQUIVO DA EDITORA

São feitas as seguintes afirmações quanto aos materiais utilizados no aquecedor solar:

I. O reservatório de água quente deve ser metálico, para conduzir melhor o calor.

II. A cobertura de vidro tem como função reter melhor o calor, de forma semelhante à que ocorre em uma estufa.

III. A placa utilizada é escura para absorver melhor a energia radiante do Sol, aquecendo a água com maior eficiência.

Dentre as afirmações acima, pode-se dizer que apenas está(ão) correta(s):

a. I. **c.** II. **e.** II e III.

b. I e II. **d.** I e III.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

CAPÍTULO 12

Estudo dos gases ideais

ADRIANO KIRIHARA/PULSAR IMAGENS

Mergulhar exige conhecimento tanto sobre o ambiente aquático quanto sobre a fisiologia do corpo humano. (Maragogi, AL, 2023.)

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

O mergulho oferece a seus praticantes a possibilidade de contemplar ambientes submersos e observar a dinâmica da vida subaquática. Sua prática requer a consciência de que o corpo humano não é adaptado ao ambiente subaquático, e portanto, são necessários cuidados especiais para explorá-lo, sobretudo no que se refere à respiração.

No mergulho livre em apneia, a oxigenação do corpo está limitada à quantidade de ar que conseguimos reter nos pulmões e ao período de tempo em que se consegue prender a respiração. Máscaras que tenham um tubo de auxílio para a respiração (*snorkel*) aumentam o tempo de mergulho dentro da água, mas não permitem mergulhar em profundidade.

Atualmente, uma das formas de mergulho que oferecem maior autonomia é a que emprega um conjunto de equipamentos conhecidos como *scuba* (da sigla em inglês para "equipamento autônomo para respiração subaquática"). O mergulhador carrega um cilindro de ar comprimido acoplado a um regulador que controla a pressão do ar. A mistura de gases a ser utilizada é determinada pela profundidade e pelo tempo de mergulho. Durante a subida, quando a pressão externa diminui, o mergulhador precisa controlar o tempo de subida para que a descompressão dos gases difundidos no corpo seja lenta, evitando danos aos órgãos, às articulações, à corrente sanguínea e ao sistema nervoso.

O estudo do comportamento dos gases ajuda a compreender os efeitos da alta pressão sobre o corpo do mergulhador, a capacidade de mergulhar até grandes profundidades e as implicações físicas em ambientes de alta ou baixa pressão. Neste capítulo, vamos aprofundar os conhecimentos sobre o comportamento dos gases quando experimentam certas transformações, conceituar gases ideais, definir variáveis de estado de um gás, apresentar a equação de estado dos gases perfeitos e a lei geral das transformações gasosas.

Este assunto também é trabalhado no capítulo 15 de Biologia desta coleção.

1. Comportamento térmico dos gases ideais

OBJETO DIGITAL Carrossel de imagens: Gases em situações de emergência

Gases são fluidos que não têm forma nem volume próprios, portanto, sempre ocupam todo o volume do recipiente que os contém, assumindo assim sua forma interna. Os gases são extremamente **expansíveis** e **compressíveis**, isto é, o volume de um gás pode mudar muito com as variações de pressão e de temperatura.

Para facilitar o estudo do comportamento dos gases em uma primeira abordagem, criou-se um modelo simplificado denominado **gás perfeito** ou **gás ideal**. Praticamente todos os gases reais, nitrogênio, oxigênio, hidrogênio, metano e até mesmo o ar, que é uma mistura de gases, têm comportamentos muito próximos desse modelo em baixas densidades, isto é, quando submetidos a **baixas pressões** e **altas temperaturas**. Esse modelo fundamenta-se em certas hipóteses, que são a base da Teoria Cinética dos Gases. Essas hipóteses são apresentadas a seguir. As partículas que constituem o gás ideal:

- são átomos ou moléculas considerados pontos materiais – isto é, sem dimensões apreciáveis – e todos com a mesma massa e sempre presentes em quantidades tipicamente da ordem de 10^{23} partículas;
- têm movimentos caóticos, regidos pelas leis da Mecânica newtoniana;
- interagem apenas durante as colisões, que são consideradas perfeitamente elásticas e de curtíssima duração, que ocorrem entre as próprias partículas e entre estas e as paredes do recipiente.

Como consequência da primeira hipótese, o volume ocupado pelo gás é o volume do recipiente e, não havendo interações moleculares que não sejam as colisões elásticas, o sistema denominado gás ideal permanece no estado gasoso dentro de uma faixa de temperatura e pressão.

2. Mol, número de mols e massa molar

No SI, a grandeza que caracteriza uma dada quantidade de matéria é o **número de mols**, representado por *n*. Para compreender melhor o significado físico dessa grandeza, é necessário conceituarmos **mol** e **massa molar**.

Em 2019, o **mol** foi oficialmente definido como uma constante cujo valor é $\mathbf{6{,}0221415 \cdot 10^{23}}$. Essa constante é denominada **número de Avogadro** ou **constante de Avogadro (N_A)**, em homenagem ao físico italiano Amedeo Avogadro (1776-1856). Em geral, para cálculos simples, adota-se $N_A = 6{,}022 \cdot 10^{23}$.

Assim, um mol de moléculas corresponde a $6{,}022 \cdot 10^{23}$ moléculas; um mol de grãos de areia, a $6{,}022 \cdot 10^{23}$ grãos de areia etc. Um mol de milímetros corresponde a $6{,}022 \cdot 10^{23}$ milímetros. Portanto, um mol define uma quantidade de $6{,}022 \cdot 10^{23}$ elementos de um dado conjunto, independentemente da natureza desses elementos. Mol, então, é uma grandeza **adimensional**, é um número, enorme, mas é somente um número. A massa correspondente a um mol de uma determinada amostra é denominada **massa molar** (M) dessa amostra. A massa de ***n*** mols do gás ideal é ***m***.

Assim:

$$1 \text{ mol} \longrightarrow M$$
$$n \text{ mols} \longrightarrow m$$

Portanto:

$$n = \frac{m}{M}$$

O número de mols *n* também pode ser determinado pela razão entre o número *N* de moléculas de gás no recipiente e o número de Avogadro (N_A):

$$1 \text{ mol} \longrightarrow N_A \text{ moléculas}$$
$$n \text{ mols} \longrightarrow N \text{ moléculas}$$

Portanto:

$$n = \frac{N}{N_A}$$

Vejamos uma aplicação interessante do conceito de mol.

Exercício resolvido

Considere verdadeiras as afirmações a seguir.

I. Uma colher (de sopa) contém, aproximadamente, 18 g de água, que corresponde a 1 mol de H_2O.

II. O volume total de água nos oceanos da Terra é estimado em $126 \cdot 10^{22}$ cm^3.

Com essas informações, avalie a veracidade da seguinte afirmação: "Há mais moléculas de água em uma colher (de sopa) cheia de água do que colheres (de sopa) de água nos oceanos da Terra!".

Resolução

Dezoito gramas de água são 1 mol de H_2O; portanto, temos $N_A = 6{,}022 \cdot 10^{23}$ moléculas de H_2O em 1 colher de sopa cheia de água.

Como para a água 1 cm^3 equivale a 1 g, em $12{,}6 \cdot 10^{23}$ cm^3 temos $12{,}6 \cdot 10^{23}$ g de H_2O.

Assim,

$$\begin{cases} 18 \text{ g de } H_2O \rightarrow 1 \text{ mol (1 "colher")} \\ 126 \cdot 10^{22} \text{ g de } H_2O \rightarrow n \text{ mols } (n \text{ "colheres"}) \end{cases}$$

Resolvendo, temos $n = 126 \cdot 10^{22} \div 18 = 7{,}0 \cdot 10^{22}$ "colheres" de H_2O nos oceanos. Portanto, a afirmação é verdadeira: $\underbrace{6{,}022 \cdot 10^{23}}_{\text{moléculas}} > \underbrace{7{,}0 \cdot 10^{22}}_{\substack{\text{colheres} \\ \text{de sopa}}}$. O número de moléculas de água em uma colher é quase 9 vezes o número de colheres de água nos oceanos.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Veja respostas e comentários no Suplemento para o professor.

Aplicando conhecimentos

Registre as respostas em seu caderno.

1. Um mol é, realmente, um número gigantesco! Uma distância equivalente a **um mol** de milímetros tem um valor próximo:
1. e

a. ao da distância da Terra à Lua (≃ 384.000 km).
b. ao da distância da Terra ao Sol (≃ $150 \cdot 10^6$ km).
c. de 1 ano-luz (1 ano-luz ≃ $9{,}5 \cdot 10^{12}$ km).
d. de 4,23 anos-luz (distância do exoplaneta mais próximo à Terra).
e. de 63.400 anos-luz (maior que o diâmetro da órbita solar em torno do centro da Via Láctea).

2. Um grão de areia de praia tem massa aproximadamente igual a 2,0 μg.
2. e

Portanto, a massa de 1 mol de grãos dessa areia terá um valor próximo de:

a. 12 toneladas.
b. 12 mil toneladas.
c. 1,2 milhão de toneladas.
d. 1,2 bilhão de toneladas.
e. 1,2 trilhão de toneladas.

3. Variáveis de estado de um gás ideal

Damos o nome de **variáveis de estado** a um dado conjunto de grandezas macroscópicas que caracteriza uma condição de equilíbrio de um sistema de átomos e moléculas. Se o sistema em estudo é considerado um gás ideal, as variáveis que determinam seu estado são, em geral, a **pressão** (***p***), o **volume** (***V***), a **temperatura absoluta** (***T***) e o **número de mols** (***n***). Outras variáveis de estado, como a **densidade** (***d***), a **energia interna** (***U***) e **entropia** (***S***), serão utilizadas oportunamente.

Dizemos que o gás está no **estado normal** quando sua temperatura ***T*** for 0 °C (ou 273,15 K), e sua pressão ***p*** for 1,0 atm (ou 760 mmHg). Esses valores de temperatura e pressão costumam ser chamados, respectivamente, de **temperatura normal** e **pressão normal** ou **TPN** (**T**emperatura e **P**ressão **N**ormais). Para indicar o estado normal é comum usar a sigla **CNTP**, que significa **C**ondições **N**ormais de **T**emperatura e **P**ressão.

4. Equação de estado de um gás perfeito

A relação entre a quantidade de um gás ideal, representada pelo seu número de mols ***n***, e as variáveis de estado pressão ***p***, volume ***V*** e temperatura absoluta ***T*** é denominada **equação de estado** do gás ideal, também conhecida como **equação de Clapeyron**, em homenagem ao físico francês Paul-Emile Clapeyron (1799-1864). Em linguagem simbólica, ela é expressa por:

$$p \cdot V = n \cdot R \cdot T \quad \text{ou} \quad p \cdot V = \frac{m}{M} \cdot R \cdot T$$

A constante R é denominada constante universal dos gases ideais e seus valores mais usados são $R = 8{,}2057 \frac{\text{atm} \cdot \text{L}}{\text{K} \cdot \text{mol}}$ e $R = \frac{8{,}3144\ \text{J}}{\text{K} \cdot \text{mol}}$, valores usualmente aproximados para $0{,}082 \frac{\text{atm} \cdot \text{L}}{\text{K} \cdot \text{mol}}$ e $8{,}31 \frac{\text{J}}{\text{K} \cdot \text{mol}}$. Na equação de Clapeyron, a temperatura sempre deve estar na escala Kelvin.

Vamos fazer uma aplicação da equação de Clapeyron em uma situação importante.

Exercício resolvido

O volume ocupado por um mol de um gás ideal, nas CNPT, é denominado **volume molar** (V_m) do gás. Qual é o valor desse volume em litro (L)?

Resolução

Nas CNTP, temos: $p = 1{,}0$ atm e $T = 0$ °C $= 273{,}15$ K. Substituindo esses valores na equação de Clapeyron, temos:

$$p \cdot V_m = n \cdot R \cdot T \Rightarrow 1 \cdot V_m = 1 \cdot 8{,}2057 \cdot 10^{-2} \cdot 273{,}15 \therefore V_m \simeq 22{,}414\ \text{L}$$

Esse valor **independe** da natureza do gás ideal e, nos cálculos mais simples, costuma ser aproximado para 22,4 L.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Veja respostas e comentários no Suplemento para o professor.

Aplicando conhecimentos

Registre as respostas em seu caderno.

3. A Lua tem uma atmosfera muito rarefeita, composta principalmente de argônio, hélio e neônio. Na sua superfície, a pressão atmosférica vale aproximadamente $3{,}0 \cdot 10^{-10}$ Pa, a uma temperatura mínima de −130 °C. Nessas condições, qual é o número N de moléculas que há em 1,0 mm^3 dessa atmosfera?

Dados: constante universal dos gases perfeitos = = 8,31 J/(mol · K); número de Avogadro = $6{,}02 \cdot 10^{23}$ mol^{-1}.

4. 4. e Considere que, ao inspirar, um quarto de mol de ar entre nos pulmões de um ser humano adulto à pressão de 1,0 atm e a 37 °C. Nessas condições, o volume pulmonar total dessa pessoa é um valor próximo de:

a. 2,4 L. **c.** 4,4 L. **e.** 6,4 L.
b. 3,4 L. **d.** 5,4 L.

Considere $R = 8{,}2 \cdot 10^{-2} \frac{atm \cdot L}{K \cdot mol}$.

5. 5. d **(Unicamp)** O CO_2 dissolvido em bebidas carbonatadas, como refrigerantes e cervejas, é o responsável pela formação da espuma nessas bebidas e pelo aumento da pressão interna das garrafas, tornando-a superior à pressão atmosférica. O volume de gás no "pescoço" de uma garrafa com uma bebida carbonatada a 7 °C é igual a 24 mL e a pressão no interior da garrafa é de $2{,}8 \cdot 10^5$ Pa. Trate o gás do "pescoço" da garrafa como um gás perfeito. Considere que a constante universal dos gases seja igual a 8,0 J/(mol · K), aproximadamente, e que as temperaturas nas escalas Kelvin e Celsius relacionam-se da forma T(K) = T(°C) + 273. O número de mols de gás no "pescoço" da garrafa é igual a:

a. $1{,}2 \cdot 10^5$.
b. $3{,}0 \cdot 10^3$.
c. $1{,}2 \cdot 10^{-1}$.
d. $3{,}0 \cdot 10^{-3}$.

5. Lei geral dos gases perfeitos

Considere que n mols de um gás perfeito estejam em um estado inicial caracterizado pelos valores V_1, p_1 e T_1 das variáveis de estado. Aplicando a equação de estado, temos:

$$p_1 \cdot V_1 = n \cdot R \cdot T_1 \qquad \text{(I)}$$

Alterando os valores das variáveis de estado para V_2, p_2 e T_2, o gás passa para um novo estado, descrito pela equação:

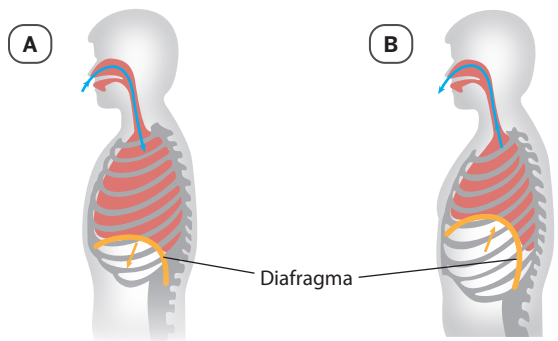
$$p_2 \cdot V_2 = n \cdot R \cdot T_2 \qquad \text{(II)}$$

Dividindo-se as igualdades (I) e (II), temos:

$$\frac{p_1 \cdot V_1}{p_2 \cdot V_2} = \frac{T_1}{T_2} \text{ ou } \frac{p_1 \cdot V_1}{T_1} = \frac{p_2 \cdot V_2}{T_2}$$

Essa equação, que relaciona dois estados quaisquer de dada quantidade de gás, representa a **lei geral dos gases perfeitos**.

A respiração humana é um exemplo que ilustra como as variáveis de estado se comportam segundo essa lei. A inspiração (Fig. 1A) acontece com a contração do músculo do diafragma: o volume da caixa torácica aumenta, diminuindo a pressão interna. Assim, os pulmões se expandem e se enchem de ar.



NELSON MATSUDA/ARQUIVO DA EDITORA

Figura 1. (A) Na inspiração, o diafragma se contrai; os pulmões se expandem. (B) Na expiração, o diafragma relaxa; os pulmões se contraem. (Representação fora de escala com cores meramente ilustrativas.)

No processo inverso, ocorre a expiração (Fig. 1B) com o relaxamento do diafragma: o volume da caixa torácica diminui, aumentando a pressão interna. O ar, então, é expelido dos pulmões.

Em destaque

SAÚDE

Respirar para relaxar

Alguns estudos científicos demonstram que a respiração profunda e lenta, como as propostas em práticas meditativas e de relaxamento, pode ter efeito calmante sobre as emoções. No bulbo neural, encontra-se um aglomerado de neurônios, chamado pré-Bötzinger, que parece estar relacionado à geração do ritmo respiratório e se comunica com uma outra região do cérebro, chamada *locus*

CONTINUA

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

coeruleus, responsável por regular o nível de estresse. A hipótese é que a respiração lenta e profunda aciona o complexo pré-Bötzinger, que transmite sinais ao *locus coeruleus*, resultando em uma sensação de maior calma. Essas pesquisas abrem caminho para o desenvolvimento de tratamentos de distúrbios de pânico e ansiedade desencadeados pela respiração rápida (ou hiperventilação), pois podem indicar a localização e o tipo de célula que deve ser alvo de intervenção medicamentosa.

Reconhecer nossos estados emocionais e nossas ferramentas de autorregulação de emoções pode tornar mais saudável a forma como pensamos e interagimos com o mundo. Você conhece ou usa outras ferramentas de autorregulação de emoções? Forme pequenos grupos com seus colegas para que compartilhem seus conhecimentos

O exemplo numérico a seguir ajudará a fixar alguns dos conceitos estudados até aqui.

Exercício resolvido

ESTRATÉGIA DE ESTUDO

Sabemos que, nas CNTP, um mol de um gás perfeito ocupa um volume de 22,414 L (volume molar). Assim, mantida a pressão, qual será o volume ocupado por um mol de gás perfeito a uma temperatura de 27 °C?

Identificar

Trata-se de uma mudança de estado em que a pressão é mantida constante: $p_1 = p_2 = p$.

Preparar

Podemos usar a equação geral dos gases perfeitos comparando os estados 1 e 2 à pressão constante. Lembrando que, em CNTP, $T_1 = 273{,}15$ K.

Executar

$$\frac{p \cdot V_1}{T_1} = \frac{p \cdot V_2}{T_2} \Rightarrow \frac{22{,}414\ \text{L}}{273{,}15\ \text{K}} = \frac{V_2}{300\ \text{K}} \Rightarrow V_2 \simeq 24{,}62\ \text{L}$$

Analisar

O aumento da temperatura do gás, de 0 °C para 27 °C, ocasiona maior agitação das moléculas do gás, o que faria a pressão aumentar. Como a pressão permanece constante, o gás se expande.

Uma forma de analisar o resultado obtido é utilizar outro meio para chegar ao mesmo valor. Podemos calcular V_2 pela equação de Clapeyron no estado final do gás:

$$p \cdot V_2 = n \cdot R \cdot T_2 \Rightarrow (1\ \text{atm}) \cdot V_2 = (1\ \text{mol}) \cdot \cdot \left(0{,}082057 \cdot \frac{\text{atm} \cdot \text{L}}{\text{K} \cdot \text{mol}}\right) \cdot (300\ \text{K}) \Rightarrow V_2 \simeq 24{,}62\ \text{L}$$

A equação de Clapeyron, $p \cdot V = n \cdot R \cdot T$, pode ser escrita na forma $\frac{p \cdot V}{n \cdot T} = R$, mostrando que o quociente $\frac{p \cdot V}{n \cdot T}$ é uma constante universal, independentemente da natureza do gás ideal. Assim, quando comparamos diferentes quantidades de um mesmo sistema gasoso ou diferentes estados de massas gasosas distintas, a equação geral dos gases perfeitos pode ser escrita na forma:

$$\frac{p_1 \cdot V_1}{n_1 \cdot T_1} = \frac{p_2 \cdot V_2}{n_2 \cdot T_2} = \ldots = R$$

Veja respostas e comentários no Suplemento para o professor.

Aplicando conhecimentos

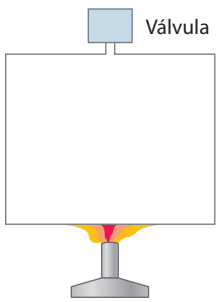
Registre as respostas em seu caderno.

6. Uma pessoa calibrou os pneus de um automóvel em 30 libra-força/polegada^2 (psi), na temperatura de 27 °C. Medindo a pressão nos pneus após ter percorrido certa distância, a pessoa encontrou o valor de 33 psi. Admitindo que o ar se comporte como gás perfeito e que o volume interno dos pneus tenha aumentado 5%, a temperatura atingida por eles, após o percurso, foi de:

6. e

a. 18,7 °C. **b.** 31,2 °C. **c.** 46,3 °C. **d.** 58,2 °C. **e.** 73,5 °C.

7. Observe o esquema, que representa o aquecimento de um recipiente dotado de uma válvula de escape, semelhante às que temos nas panelas de pressão.



ADILSON SECCO/ARQUIVO DA EDITORA

Esse recipiente, de volume 5 litros e praticamente indilatável, contém inicialmente n mols de um gás perfeito a 27 °C e 1,0 atm ($1{,}0 \cdot 10^5$ Pa). Aquecendo o sistema a uma temperatura θ (°C), a válvula se abre, permitindo que 25% da massa do gás escape. Sendo 100 g a massa da válvula, 1,0 cm^2 a área da sua seção transversal e 1,0 atm a pressão atmosférica local, determine, no instante da abertura da válvula:

a. a pressão no interior do recipiente, em Pa;

b. a temperatura θ.

Adote 10 m/s^2 para o módulo da aceleração gravitacional local.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Em destaque

Descompressão na ficção científica

A ficção científica é um gênero literário que se destaca por seu mergulho em cenários especulativos, frequentemente ultrapassando os limites da Ciência conhecida e propondo situações futuristas. Para isso, muitas vezes são usados conceitos científicos como base para explorar realidades alternativas, chegando a abordar até mesmo questões filosóficas. A trama e os elementos científicos são entrelaçados para criar mundos que questionam a compreensão do Universo.

Ann Leckie é uma autora estadunidense contemporânea que explora temas como inteligência artificial. Em seu livro *Justiça ancilar*, a protagonista Breq é uma inteligência artificial em um corpo humano que controla uma nave espacial. Após um evento devastador, em busca de vingança e justiça, Breq enfrenta questões complexas sobre identidade e poder em um universo futurista. O trecho a seguir descreve a situação em que Breq sofre uma súbita descompressão no espaço, destacando questões sobre o comportamento dos gases em seu corpo:

> Minha língua formigou, a saliva fervendo no vácuo, e eu não conseguia respirar. Eu devia ter mais dez, talvez quinze segundos de consciência e em dois minutos eu estaria morta. Eu sentia dor no corpo todo, uma queimadura?
>
> [...]
>
> Gases dissolvidos no meu sangue teriam se transformado, de forma súbita e violenta. Provavelmente com violência o bastante para me matar, mesmo sem a falta total de ar. Mas um aumento na pressão, digamos ao ser levada de volta para a atmosfera, teria levado essas bolhas de volta para a forma de solução. A diferença de pressão entre meus pulmões e o vácuo poderia ter me ferido.

NASA

Câmara de vácuo na qual Jim LeBlanc fez o experimento de se expor a uma condição de baixíssima pressão.

Fonte: LECKIE, A. **Justiça ancilar**. São Paulo: Aleph, 2013. p. 362-364.

Após uma semana de recuperação, Breq sobrevive à descompressão sem maiores sequelas.

Em 1965, o astronauta Jim LeBlanc participou de um teste na Terra, em um ambiente controlado para se parecer com o espaço, em uma câmara de vácuo. Devido a um vazamento em seu traje espacial, ele desmaiou por alguns segundos, mas foi rapidamente reanimado pela equipe médica que estava a postos. LeBlanc relatou que, antes de perder a consciência, sentiu a saliva de sua língua fervendo.

Formem grupos e respondam:

1. Na ficção científica, a descrição e o detalhamento de situações podem ser dramatizados. No livro citado, por exemplo, a descompressão da personagem é descrita de forma a criar uma sensação de urgência e perigo.
   a. Quais palavras ou termos do texto indicam dramatização?
   b. Com qual intuito a literatura ficcional pode usar descrições dramatizadas?
2. A descompressão pode acontecer com pessoas no espaço assim como ocorre durante a ascensão rápida após um mergulho profundo. Uma das possíveis consequências da descompressão no corpo humano é a chamada embolia gasosa. Pesquise o que ocorre com os gases no sangue na embolia gasosa.
3. Discuta com os colegas como a dramatização pode impactar o público em relação à percepção sobre a Ciência e ao interesse por conceitos científicos.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

6. Transformações gasosas

Quando uma ou mais variáveis de estado de um gás sofrem alguma alteração no seu valor, dizemos que o gás sofreu uma **transformação**. As principais transformações gasosas, que serão estudadas a seguir, são a transformação **isobárica**, quando a pressão *p* permanece constante, a transformação **isométrica** (ou isocórica), quando o volume *V* permanece constante, e a transformação **isotérmica**, quando a temperatura absoluta *T* permanece constante. A transformação **adiabática**, que ocorre **sem troca de calor** com o ambiente, será estudada no capítulo de Termodinâmica.

Transformação isobárica ou isopiézica (pressão constante)

Mantendo-se constante a pressão de certa massa de um gás ideal, o volume ocupado por ele dependerá apenas da sua temperatura absoluta. Da equação de Clapeyron, temos:

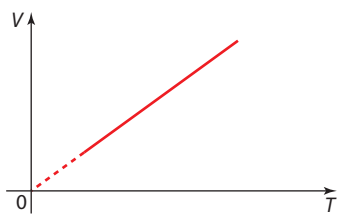
$$V = \left(\frac{n \cdot R}{p}\right) \cdot T$$

Como a pressão e a quantidade de gás são constantes, o quociente $\frac{n \cdot R}{p}$ também é uma constante que depende apenas da quantidade de gás e da pressão. Assim, *V* e *T* estão entre si em uma proporção direta, isto é:

$$\frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2} = \frac{V_3}{T_3} = \ldots = \underbrace{\left(\frac{n \cdot R}{p}\right)}_{\text{constante}}$$

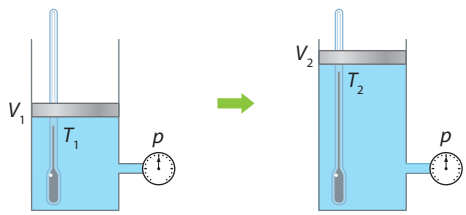
Essa relação de proporção é denominada **lei de Charles e Gay–Lussac**, em homenagem aos cientistas que estudaram este tipo de transformação.

Se representarmos graficamente *V* como função de *T*, teremos o gráfico representado na figura 2. Dizemos, então, que *V* e *T* variam linearmente entre si quando a pressão é mantida constante (Fig. 3).



ERICSON GUILHERME LUCIANO/ ARQUIVO DA EDITORA

Figura 2. Representação gráfica da função *V* = f(*T*). *V* e *T* variam linearmente entre si quando a pressão é mantida constante.



ADILSON SECCO/ ARQUIVO DA EDITORA

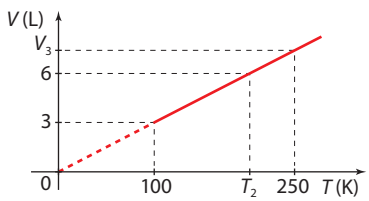
Figura 3. Esquema da transformação isobárica (pressão constante). (Representação fora de escala com cores meramente ilustrativas.)

Apresentamos uma aplicação quantitativa usando as propriedades da transformação isobárica.

Exercício resolvido

Enfatize que essa proporção direta só é válida quando a temperatura está em Kelvin. Se a escala de temperatura não for absoluta a reta do gráfico não passa pela origem dos eixos.

O volume de certa massa de gás perfeito varia com a temperatura, como indica o gráfico.



ADILSON SECCO/ ARQUIVO DA EDITORA

a. Qual é a transformação à qual o gás está submetido? Por quê?

b. Determine os valores V_3 e T_2 de volume e temperatura indicados no gráfico.

Resolução

a. É uma transformação isobárica, pois o volume e a temperatura absoluta são diretamente proporcionais entre si (a reta do gráfico passa pela origem).

b. Do gráfico, temos: $T_1 = 100$ K, $V_1 = 3$ L, $V_2 = 6$ L e $T_3 = 250$ K. Vamos relacionar os estados *1* e *2*:

$$\frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2} \Rightarrow \frac{3\text{ L}}{100\text{ K}} = \frac{6\text{ L}}{T_2} \Rightarrow T_2 = 200\text{ K}$$

Agora, vamos relacionar os estados 1 e 3:

$$\frac{V_1}{T_1} = \frac{V_3}{T_3} \Rightarrow \frac{3\text{ L}}{100\text{ K}} = \frac{V_3}{250\text{ K}} \Rightarrow V_3 = 7{,}5\text{ L}$$

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Atividade prática

Amassar sem apertar

Objetivo

Verificar o comportamento do gás atmosférico, confinado em uma garrafa, quando submetido a uma mudança brusca de temperatura.

Materiais

- uma garrafa PET de 500 ml (ou menor), vazia e limpa
- dois potes de plástico, com capacidade de cerca de 1 L cada um, que comporte a garrafa quase totalmente imersa
- aproximadamente 1,5 L de água de torneira
- aparelho de micro-ondas
- 10 a 12 cubos de gelo de água da torneira
- cronômetro

Procedimento

1. Coloque aproximadamente 700 mL de água à temperatura ambiente em cada um dos potes.
2. Aqueça um dos potes no micro-ondas até que a água fique mais do que morna, mas sem chegar ao ponto de ferver.
3. Coloque os cubos de gelo na água do segundo pote e misture para que a água fique fria de forma homogênea.
4. Posicione os 2 potes à sua frente em uma mesa.
5. Segure a garrafa PET vazia destampada imersa na água quente sem deixar entrar água. Após 30 segundos, com a garrafa nessa situação, tampe-a.
6. Imediatamente a seguir, mergulhe a garrafa na água fria, segurando-a pela tampa.

Use luvas apropriadas ou um pano ao manipular o pote com água quente.

Analise o experimento e responda:

1. O que ocorre com o volume da garrafa ao fim do experimento?
2. Qual variável de estado do gás se mantém constante?
3. Explique o resultado do experimento a partir da lei geral dos gases ideais.

Veja respostas e comentários no Suplemento para o professor.

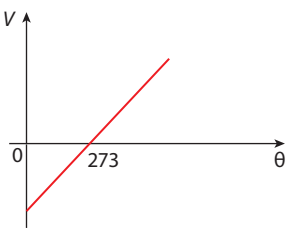
Aplicando conhecimentos

Registre as respostas em seu caderno.

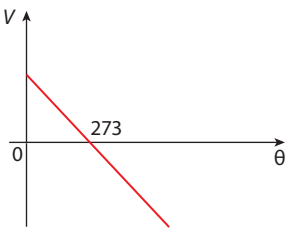
8. Qual dos gráficos representa corretamente o volume V de um gás ideal como função de sua temperatura θ (em graus Celsius), quando sua pressão é mantida constante?

8. c

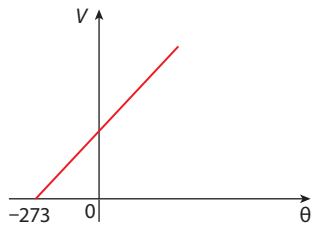
a.



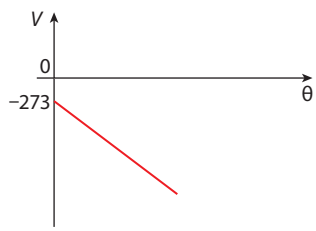
b.



c.



d.



ILUSTRAÇÕES: NELSON MATSUDA/ARQUIVO DA EDITORA

9. A temperatura e o volume iniciais de certa massa de gás perfeito valem, respectivamente, 27 °C e 2 litros. O gás é aquecido isobaricamente até que seu volume aumente 50%. Responda:

a. Determine, em grau Celsius, a temperatura final desse gás.

b. Trace o gráfico volume *versus* temperatura absoluta para essa transformação.

c. Trace o gráfico volume *versus* temperatura Celsius para essa transformação.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Transformação isométrica ou isovolumétrica (volume constante)

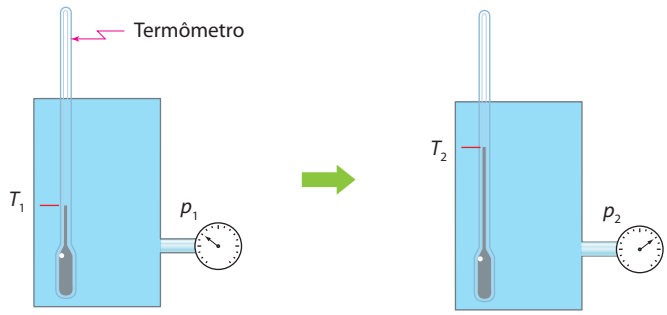
Transformações gasosas que ocorrem a volume constante são denominadas **isométricas**, **isovolumétricas** ou **isocóricas**.

Quando o volume de certa quantidade de um gás ideal se mantém constante, isto é, quando o volume do recipiente que contém o gás não varia, alterando-se a temperatura, a pressão varia na mesma proporção. Assim, se o valor da temperatura absoluta, registrada por um termômetro, varia do valor inicial T_1 para o valor final T_2, um manômetro registra a pressão variando do valor inicial p_1 para o valor final p_2 (Fig. 4), tal que as pressões e as temperaturas absolutas estão relacionadas pela equação:

$$\frac{p_1}{T_1} = \frac{p_2}{T_2}$$

A relação de proporcionalidade direta entre as grandezas p e T nas transformações isométricas é chamada **lei de Charles**, em homenagem ao cientista Jacques Alexandre Charles. Assim:

Mantendo-se constante o volume de dada massa de gás perfeito, a pressão p será diretamente proporcional à temperatura absoluta T, isto é, $p = k \cdot T$, sendo k uma constante.



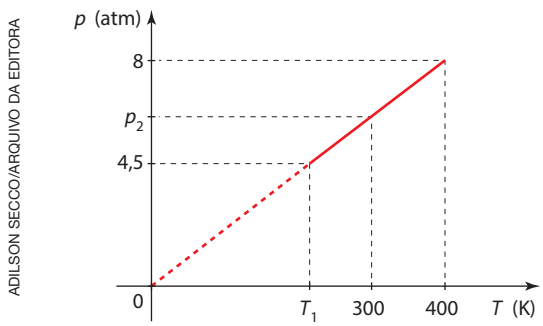
ADILSON SECCO/ ARQUIVO DA EDITORA

Figura 4. Esquema da transformação isocórica (volume constante). (Representação fora de escala com cores meramente ilustrativas.)

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Exercício resolvido

Para uma dada massa de gás considerado ideal, a pressão p varia com a temperatura absoluta, como indica o gráfico.



ADILSON SECCO/ARQUIVO DA EDITORA

a. De que transformação se trata? Justifique.

b. Calcule os valores p_2 e T_1 indicados no gráfico.

Resolução

a. O gráfico mostra que a pressão é diretamente proporcional à temperatura absoluta; então, podemos concluir que se trata de uma transformação isométrica, isto é, transformação realizada a volume constante.

b. Do gráfico, obtemos $p_3 = 8$ atm, $T_3 = 400$ K e $T_2 = 300$ K.

Aplicando a lei de Charles, temos:

$$\frac{p_3}{T_3} = \frac{p_2}{T_2} \Rightarrow \frac{8}{400} = \frac{p_2}{300} \therefore p_2 = 6 \text{ atm}$$

Ainda do gráfico, obtemos $p_1 = 4{,}5$ atm.

Aplicando novamente a lei de Charles, temos:

$$\frac{p_3}{T_3} = \frac{p_1}{T_1} \Rightarrow \frac{8}{400} = \frac{4{,}5}{T_1} \therefore T_1 = 225 \text{ K}$$

Veja respostas e comentários no Suplemento para o professor.

Aplicando conhecimentos

Registre as respostas em seu caderno.

10. As transformações isométricas de um gás ideal são descritas pela lei de Charles, que pode ser escrita na forma $p = k_V \cdot T$, como vimos. Assim, podemos afirmar que a constante k_V é igual a:

10. a

a. $k_V = \frac{n \cdot R}{V}$.

b. $k_V = \frac{n \cdot V}{R}$.

c. $k_V = \frac{R \cdot V}{n}$.

d. $k_V = n \cdot R \cdot V$.

e. $k_V = (R \cdot V)^n$.

11. Os pneus de um automóvel foram "calibrados" com 30 libras-força de ar, em uma manhã de inverno. Após uma longa viagem, a motorista parou em um posto de serviços automotivos e mediu novamente a pressão dos pneus, encontrando 33 libras-força. Considere que o volume interno dos pneus variou em quantidade desprezível.

a. Que tipo de transformação ocorreu com o ar interno dos pneus?

b. Como você explica o aumento da pressão interna dos pneus?

c. Qual foi a variação percentual ocorrida na temperatura absoluta do gás?

Transformação isotérmica (temperatura constante)

Transformações em que a temperatura de um gás permanece constante são denominadas **transformações isotérmicas**. Se a pressão e o volume de uma dada massa de gás ideal variam de tal modo que o gás se mantenha sempre em equilíbrio térmico com o ambiente, essa massa de gás está sofrendo uma transformação isotérmica, isto é, a pressão e o volume variam **sem que a temperatura se altere**.

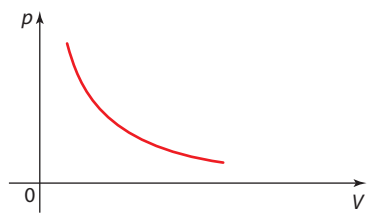
Consideremos uma dada massa de gás ideal que experimenta uma transformação na qual sua pressão e seu volume variem, sem, contudo, haver variação na temperatura do gás. Da equação de Clapeyron, vem:

$$p \cdot V = \underbrace{n \cdot R \cdot T}_{k_T} \text{ ou } p = \frac{k_T}{V}$$

Temos que k_T é uma constante que depende da quantidade de gás e da sua temperatura absoluta. Da última igualdade, conclui-se que, em uma transformação isotérmica, p e V variam na proporção inversa entre si. Esse é o enunciado da **lei de Boyle**, algumas vezes também denominada **lei de Boyle-Mariotte**. A história dessa lei é um bom exemplo de como os resultados científicos são provenientes dos esforços de toda uma comunidade de profissionais. Isso porque a relação da lei hoje conhecida por Boyle-Mariotte foi proposta por Henry Power (1623-1668) e Richard Townelet (1629-1707) em 1660. Em 1661, Robert Hooke (1635-1703) fez uma verificação precisa dessa relação por meio de experimentos. Em 1662, Robert Boyle (1627-1691) fez mais testes experimentais, considerando a montagem de Hooke, e publicou seus resultados. Somente em 1684, Edme Mariotte (1620-1684) propôs uma formulação matemática relacionando essas variáveis.

A publicação em livros e revistas especializadas é o meio que os cientistas usam para registrar suas contribuições. Cientistas mais influentes e mais atuantes em suas comunidades, têm mais condições de publicar seus resultados e, assim, ganham mais notoriedade na sociedade.

Se, em uma transformação isotérmica, representarmos os valores de p e V em um sistema de eixos cartesianos, obteremos a curva mostrada na figura 5, denominada isoterma. Essa curva pertence a uma "família" de curvas denominadas matematicamente **hipérboles**.



ADILSON SECCO/ ARQUIVO DA EDITORA

Figura 5. Uma isoterma, no diagrama $p \times V$, é representada por uma hipérbole equilátera.

Veja resposta no Suplemento para o professor.

Dialogando com o texto

Registre as respostas em seu caderno.

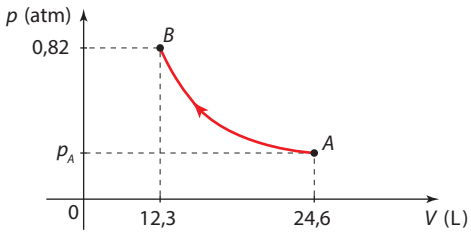
Vamos retomar a situação da abertura do capítulo sobre o mergulho. A partir da lei de Boyle, responda: considerando a temperatura constante, se o mergulhador estiver submetido a uma pressão que é o dobro da pressão ao nível do mar, qual será o volume de sua caixa torácica?

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Agora, vamos fazer uma aplicação numérica da lei de Boyle.

Exercício resolvido

Observe o gráfico, que mostra uma compressão isotérmica de um mol de um gás ideal, entre os estados representados pelos pontos *A* e *B*.



ADILSON SECCO/ARQUIVO DA EDITORA

Com os dados do gráfico, determine:

a. o valor de p_A, em atm;

b. a temperatura do gás, em graus Celsius.

Resolução

a. Vamos adotar $V_A = 24{,}6$ L, $V_B = 12{,}3$ L e $p_B = 0{,}82$ atm. Sendo a transformação *AB* isotérmica, temos:

$p_A \cdot V_A = p_B \cdot V_B \Rightarrow p_A \cdot 24{,}6 = 0{,}82 \cdot 12{,}3 \therefore p_A = 0{,}41$ atm

b. Vamos aplicar a equação de Clapeyron ao estado *B* (poderia ser o *A*).

$p_B \cdot V_B = n \cdot R \cdot T \Rightarrow 0{,}82 \cdot 12{,}3 = 1 \cdot 0{,}082 \cdot T \therefore T = 123$ K

Logo:

$T = (123 - 273)$ °C $= -150$ °C

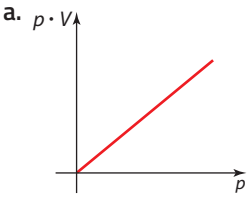
Veja respostas e comentários no Suplemento para o professor.

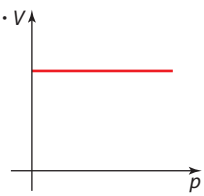
Aplicando conhecimentos

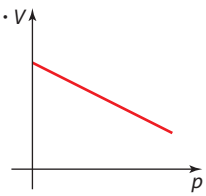
Registre as respostas em seu caderno.

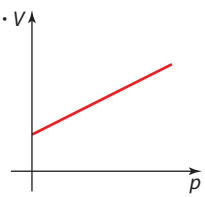
12. Qual dos gráficos a seguir melhor representa a variação do produto $p \cdot V$, como função de p, em uma transformação isotérmica de um gás ideal, sendo p a pressão e V o volume do gás?

12. b

a.


b.


c.


d.


ERICSON GUILHERME LUCIANO/ARQUIVO DA EDITORA

13. Em uma expansão isotérmica de uma dada massa de gás perfeito, o volume sofre um aumento de 25%. Assim, a pressão desse gás, relativamente ao seu valor inicial,

13. d

a. diminui para 20%.

b. diminui de 80%.

c. aumenta 25%.

d. diminui 20%.

e. aumenta 2,5%.

Dialogando com o texto

Para complementar o estudo, há um simulador disponível na internet, no endereço https://phet.colorado.edu/sims/html/gases-intro/latest/gases-intro_all.html?locale=pt_BR (acesso em: 7 maio 2024). Caso seja possível acessá-lo, no modo "Leis", analise o que ocorre em três situações:

- movendo-se a parede do recipiente sem alterar a quantidade de partículas;
- liberando-se partículas de dentro do recipiente sob pressão constante ("Pressão V");
- resfriando-se o recipiente a volume constante.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Veja respostas e comentários no Suplemento para o professor.

Atividades finais

Registre as respostas em seu caderno.

1. Um botijão de gás de cozinha contém 13 kg de "gás" liquefeito (GLP), envasado sob alta pressão. Admita que um mol desse gás tenha, aproximadamente, 52 g de massa e que ele se comporte como um gás ideal. Responda às perguntas formuladas a seguir.

a. No enunciado, por que a palavra *gás* está entre aspas?

b. Se o conteúdo desse botijão fosse utilizado para encher um balão, à pressão de 1 atm e a uma temperatura de 27 °C, qual seria o volume final desse balão, medido em litros (L)?

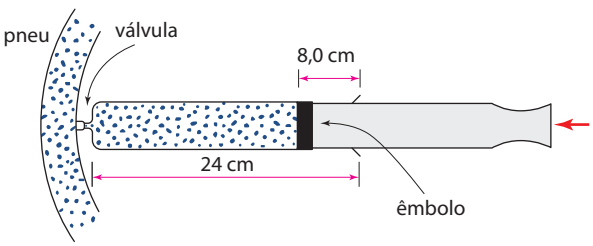
Dados:

$R = 8{,}3$ J/(mol · K), constante universal dos gases perfeitos.

$1 \text{ atm} = 1 \cdot 10^5 \text{ N/m}^2$.

$1 \text{ m}^3 = 1.000$ L.

2. **(Uece)** Uma bomba de ar tem um comprimento de 24 cm e está acoplada ao pneu de uma bicicleta. 2. a



ERICSON GUILHERME LUCIANO/ ARQUIVO DA EDITORA

Inicialmente, o pistão está recuado e a pressão do ar no interior da bomba é 1,0 atm. É preciso avançar o pistão 8,0 cm, para que a válvula do pneu abra. Quando isso ocorrer, supondo que a temperatura do sistema fique constante, a pressão dentro da câmara de ar será igual a:

a. 1,5 atm.

b. 2,0 atm.

c. 2,5 atm.

d. 3,0 atm.

3. **(UPM-SP)** Um gás ideal ocupa um volume *V*, exercendo uma pressão *p*, a uma temperatura Celsius θ. Reduzindo-se o volume do gás à metade do valor inicial, para que a pressão triplique, a temperatura Celsius dessa massa de gás deverá dobrar. Assim, podemos afirmar que a temperatura inicial dessa massa de gás, na escala Kelvin, era: 3. d

a. −273 K.

b. zero.

c. 273 K.

d. 546 K.

e. 819 K.

4. **(Fuvest-SP)** Um balão de vidro indilatável contém 10 g de oxigênio a 77 °C. Esse balão poderá suportar, no máximo, uma pressão interna três vezes superior à que está submetido. Se a temperatura do gás for reduzida a 27 °C, a máxima quantidade de oxigênio que ainda pode ser introduzida no balão, nessa temperatura, é de: 4. b

a. 60 g.

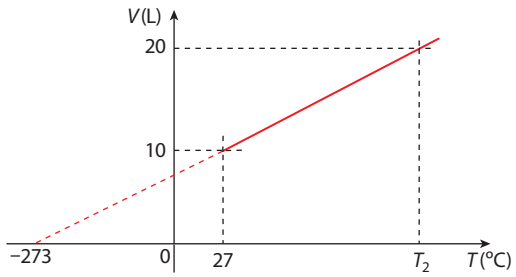
b. 25 g.

c. 40 g.

d. 30 g.

e. 90 g.

5. O gráfico mostra a variação do volume de 10 mols de um gás perfeito como função da sua temperatura Celsius, para uma pressão constante.



ADILSON SECCO/ARQUIVO DA EDITORA

Sendo $8{,}2 \cdot 10^{-2}$ atm · L/(mol · K) a constante universal dos gases perfeitos, determine:

a. a pressão exercida por essa massa gasosa;

b. a temperatura θ_T;

c. o volume V_0 do gás a 0 °C.

6. Como vimos na dilatometria, o coeficiente de dilatação térmica volumétrica γ é determinado pela relação $\gamma = \frac{1}{V} \cdot \frac{\Delta V}{\Delta T}$. Com essa relação, em conjunto com a equação de Clapeyron, o coeficiente de dilatação térmica volumétrica para um gás perfeito, à pressão constante (*p*), é igual a: 6. b

a. T.

b. $\frac{1}{T}$.

c. $p \cdot T$.

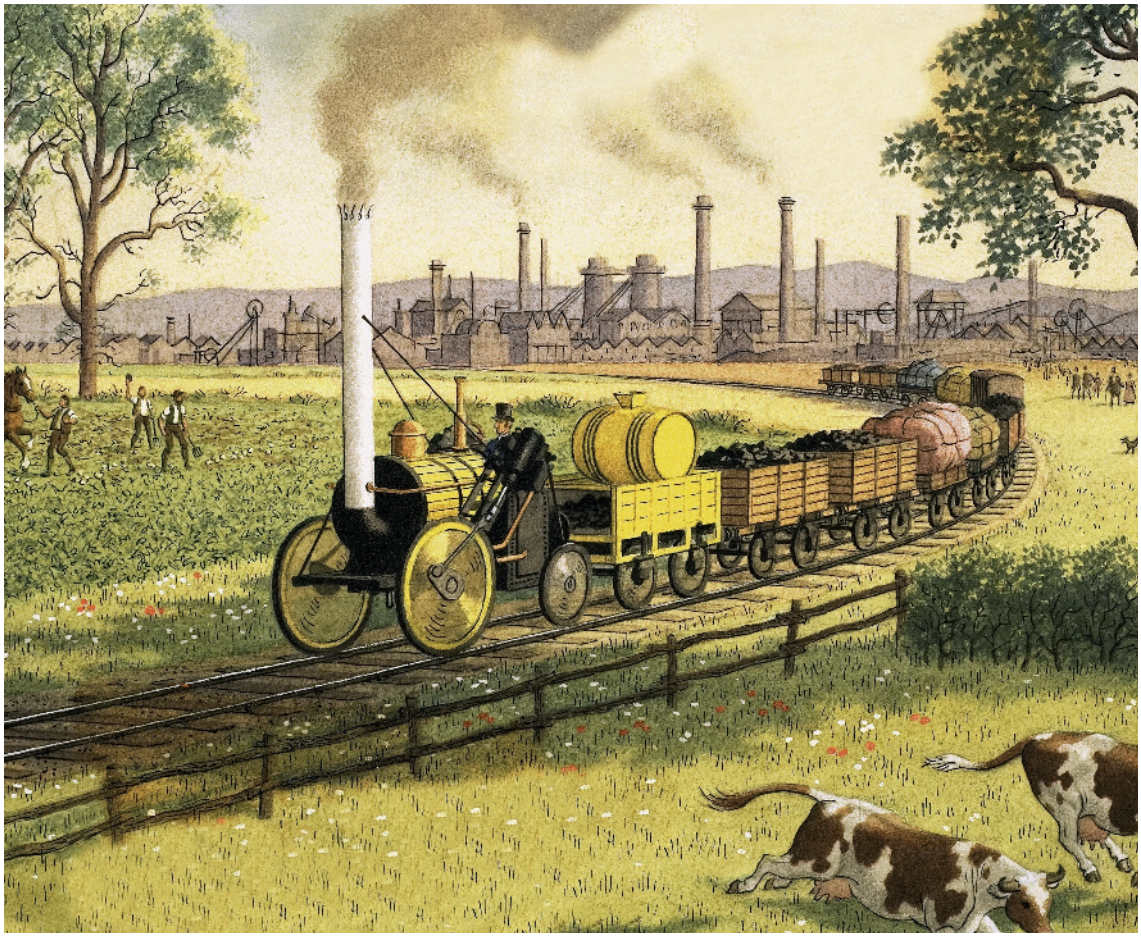
d. $\frac{1}{p \cdot T}$.

e. $\frac{1}{p \cdot V}$.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

CAPÍTULO 13

Termodinâmica



LOOK AND LEARN/BRIDGEMAN IMAGES/FOTOARENA

A Revolução Industrial. Ronald Lampitt, 1974. Guache sobre papel. Coleção particular.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

O estudo mais formal sobre a transformação de calor em trabalho e de trabalho em calor, hoje denominado Termodinâmica, teve início durante a Revolução Industrial, que ocorreu entre os séculos XVIII e XIX, na Inglaterra. A necessidade crescente de matéria-prima impulsionou o desmatamento de grandes áreas florestais para a produção de carvão vegetal, a principal matriz energética do país na época. Com o esgotamento desse recurso, intensificou-se a exploração de carvão mineral. As minas de carvão, muitas vezes, atingiam grande profundidade e cortavam cursos de água subterrâneos, o que provocava o acúmulo de água nas galerias de escavação. Para solucionar esse problema, foi necessário o aprimoramento de máquinas que retirassem a água acumulada. Boa parte do conhecimento adquirido com esses aprimoramentos e, depois, com a criação de máquinas para o processo industrial continua sendo usado até os dias atuais.

A conversão de energia mecânica em energia térmica é bem comum e ocorre, por exemplo, quando um carro em movimento é freado; nesse caso, a energia cinética do movimento se converte em energia térmica, que aquece os freios e os pneus. Já a transformação inversa, de energia térmica para energia mecânica, foi fundamental para o desenvolvimento de nossa sociedade e ela só começou a ser largamente praticada durante a Revolução Industrial.

Neste capítulo veremos os conceitos fundamentais que formam a base para a compreensão das máquinas a vapor, turbinas, motores de combustão e máquinas frigoríficas que são o princípio de conservação da energia (primeira lei da Termodinâmica) e o conceito de entropia (segunda lei da Termodinâmica).

1. Origem da Termodinâmica

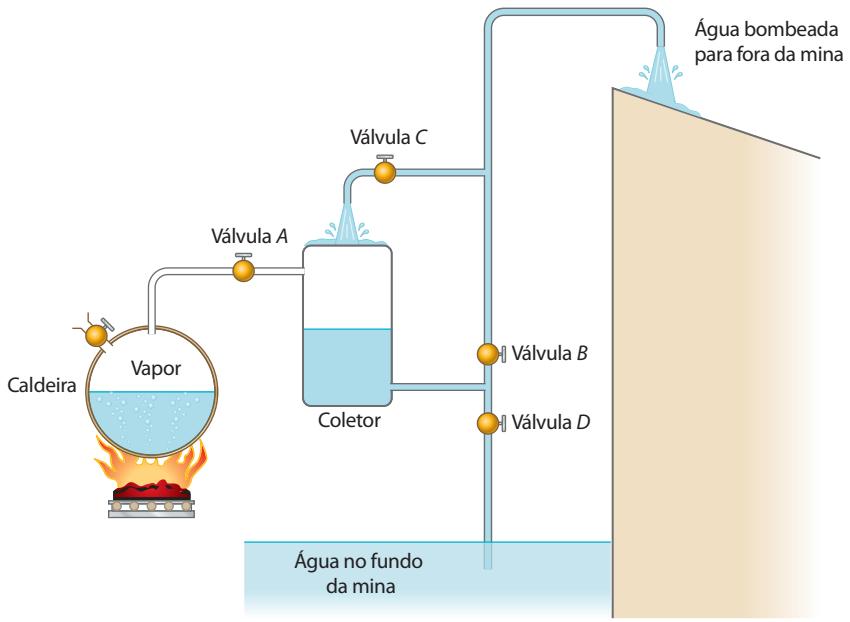
Desde a Antiguidade, os seres humanos sempre se preocuparam em criar meios de facilitar a realização de tarefas rotineiras, como transportar cargas pesadas, moer grãos ou bombear água. Para isso, utilizavam a força de animais de tração ou a força da água corrente para mover rodas-d'água em moinhos. Atribui-se ao geômetra e engenheiro grego Heron de Alexandria, que viveu na segunda metade do século I d.C., a invenção da eolípila, do grego *éolo* + *pila*, a bola de Éolo, deus do vento – uma esfera metálica oca montada sobre eixos conectados a uma câmara com água que adquire movimento de rotação ao expelir o vapor de água resultante do aquecimento da câmara (Fig. 1). Embora não tenha nenhuma utilidade prática, é considerado o primeiro motor a vapor documentado.

SCIENCE SOCIETY PICTURE LIBRARY/GETTY IMAGES

Figura 1. Modelo de uma eolípila, inventada por Heron de Alexandria.

Na Europa, no final do século XVII e início do século XVIII, a demanda por carvão mineral aumentava rapidamente e, por isso, as minas de carvão tornavam-se cada vez mais profundas. Com o acúmulo de água no interior das galerias, a retirada de carvão passava a ser muito difícil e perigosa, fato que levou o inglês Thomas Savery (1650-1715) a construir um mecanismo movido a vapor para retirar essa água.

Com base em princípios estabelecidos pelo físico francês Denis Papin (1647-1712) e outros, Savery patenteou, em 1698, um "mecanismo para elevar a água por meio do fogo", ao qual deu o nome de "amigo do mineiro", mas o equipamento era perigoso e pouco eficaz, pois, por utilizar vapor em alta pressão, muitas vezes provocava explosões e acidentes graves (Fig. 2).



ADILSON SECCOARQUIVO DA EDITORA

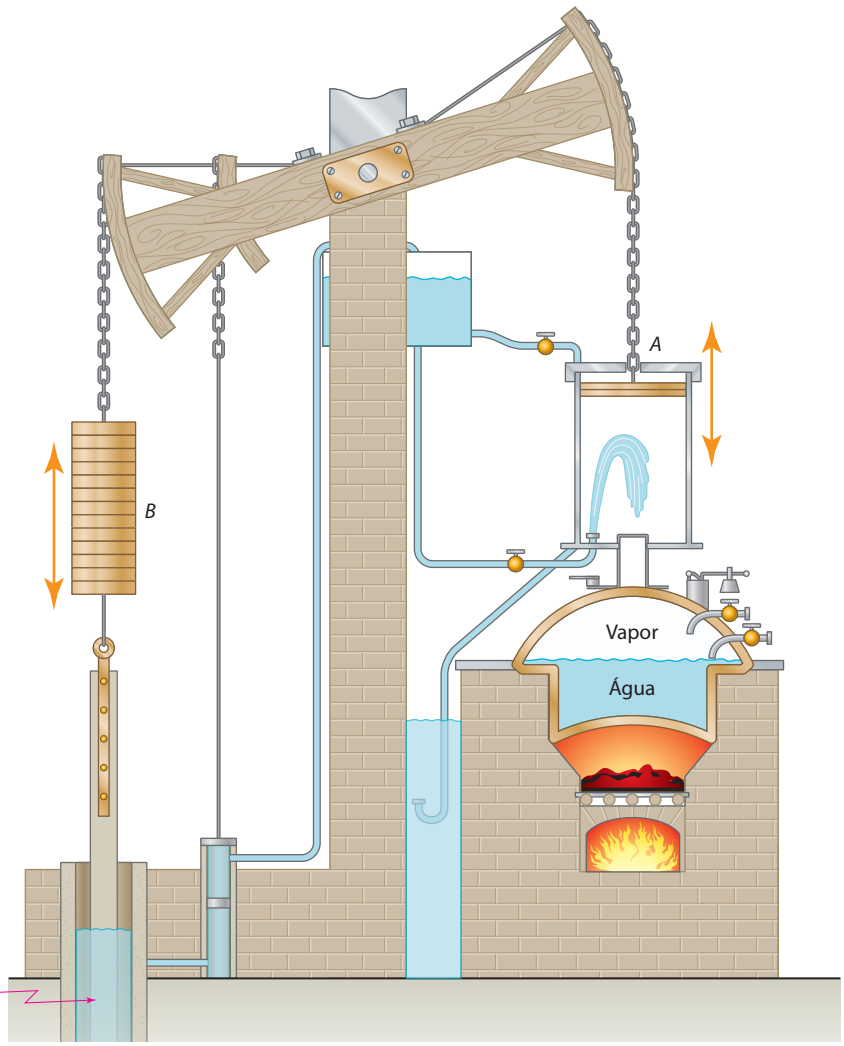
Fonte: elaborado com base em BRAGA, M.; GUERRA, A.; REIS, J. C. **Breve história da ciência moderna**: v. 3: das luzes ao sonho do Doctor Frankenstein (séc. XVIII). Rio de Janeiro: Jorge Zahar Editor, 2005.

Figura 2. Esquema da bomba a vapor de Thomas Savery, também chamada de "amigo do mineiro". (Representação fora de proporção; cores meramente ilustrativas.)

Anos mais tarde, em 1712, o mecânico inglês Thomas Newcomen (1663-1729) projetou um motor a vapor que utilizava um pistão para retirar a água acumulada no interior das minas. Savery auxiliou-o em seu desenvolvimento, mas não compartilhou com ele a patente do seu antigo mecanismo.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

A máquina de Newcomen é considerada o primeiro dispositivo prático capaz de aproveitar o poder do vapor na produção de trabalho mecânico. Nessa máquina, um pistão *A* e um contrapeso *B* eram conectados a uma viga horizontal que podia balançar como uma gangorra em torno de um ponto fixo (Fig. 3). O pistão *A* era mantido em um cilindro, no qual o vapor podia ser injetado, e o contrapeso *B* ligava-se a uma bomba no interior da mina. Quando o vapor era injetado no cilindro, o aumento da pressão provocava a subida do pistão *A* e o abaixamento do contrapeso *B*. Ao borrifar água fria sobre o cilindro, a redução da pressão dentro do cilindro provocava o abaixamento do pistão *A* e a subida do contrapeso *B*. Esse movimento de sobe e desce era usado para bombear a água das minas.



ADILSON SECCO/ARQUIVO DA EDITORA

Fonte: elaborado com base em BRAGA, M.; GUERRA, A.; REIS, J. C. **Breve história da ciência moderna**: v. 3: das luzes ao sonho do Doctor Frankenstein (séc. XVIII). Rio de Janeiro: Jorge Zahar Editor, 2005.

Figura 3. Esquema da máquina de Newcomen, a primeira máquina a vapor a funcionar com partes móveis. (Representação fora de proporção; cores meramente ilustrativas.)

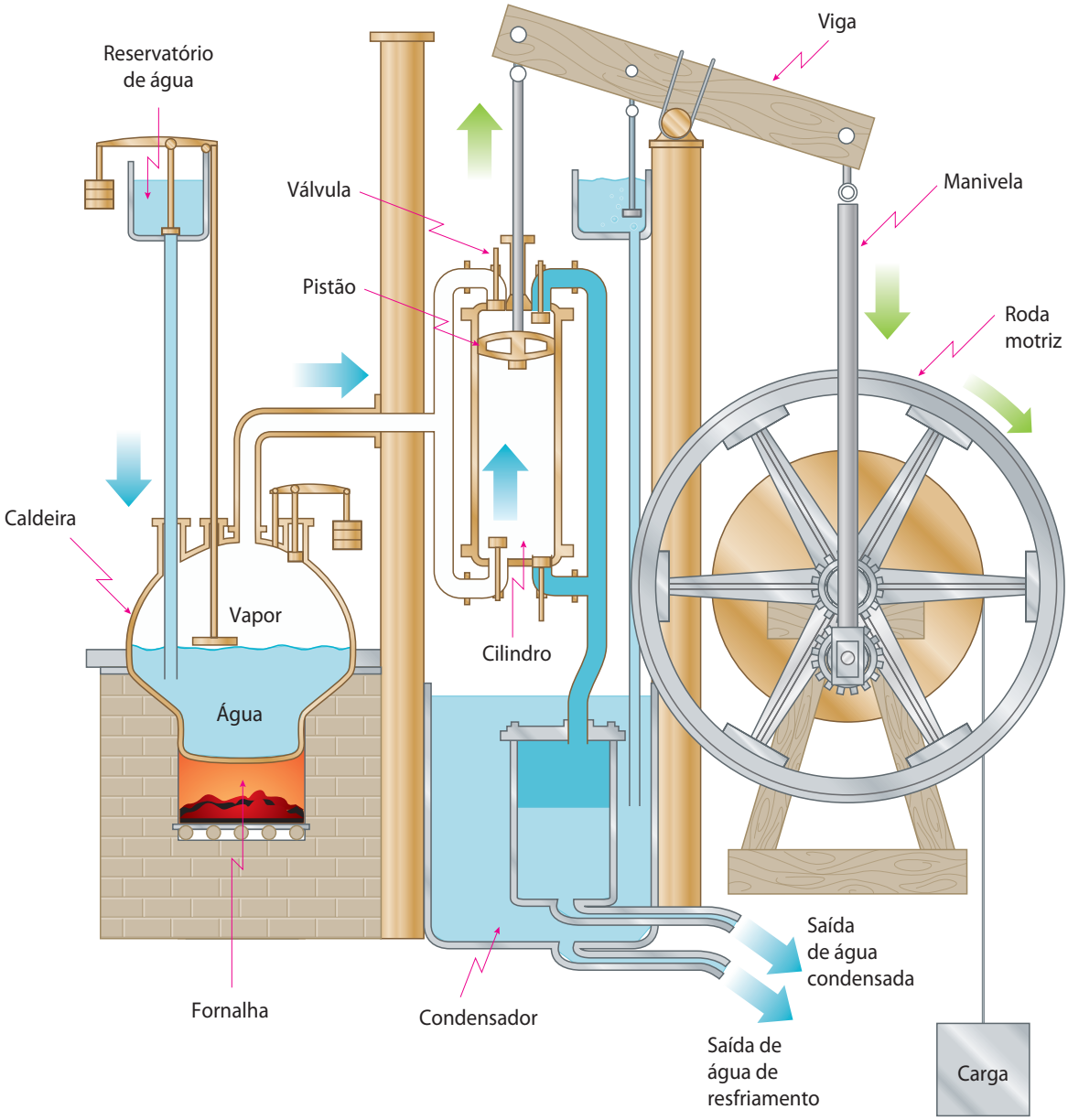
Em 1763, o engenheiro, mecânico e inventor escocês James Watt (1736-1819) recebeu para conserto uma máquina a vapor do tipo Newcomen, a mais avançada da época, e observou que o desperdício de grandes quantidades de energia era o defeito mais grave da máquina, pois o cilindro principal precisava ser resfriado para que o vapor condensasse, criando um "vácuo" a cada movimento do êmbolo. Em 1764, Watt criou um dispositivo, o condensador, que melhorou o rendimento da máquina, tornando-a 75% mais eficiente, o que representava uma grande economia para os donos de minas.

Em 1769, Watt obteve a primeira patente do invento e de vários aperfeiçoamentos por ele projetados. O ápice das invenções de Watt ocorreu com a invenção da manivela, que permitiu a conversão do movimento alternante do pistão em um movimento de rotação, produzindo uma grande força rotacional (Fig. 4).

Em 1784, Watt desenhou a locomotiva a vapor e utilizou pela primeira vez o termo cavalo de força (*horsepower* ou, simplesmente, HP). Em 1790, completou os aperfeiçoamentos da máquina a vapor, que recebeu seu nome, e se tornou fundamental para a criação e o desenvolvimento das indústrias.

Essa máquina também passou a ser empregada no bombeamento de água das minas, no aquecimento de máquinas nos moinhos de farinha, em fiações, tecelagens e na fabricação de papel.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.



ADILSON SECCO/ARQUIVO DA EDITORA

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Fonte: elaborado com base em BRAGA, M.; GUERRA, A.; REIS, J. C. **Breve história da ciência moderna**: v. 3: das luzes ao sonho do Doctor Frankenstein (séc. XVIII). Rio de Janeiro: Jorge Zahar Editor, 2005.

Figura 4. Esquema da máquina a vapor aperfeiçoada por Watt. (Representação fora de proporção; cores meramente ilustrativas.)

A máquina a vapor representou um enorme estímulo ao crescimento da indústria na Europa e nas Américas e permitiu o avanço da Revolução Industrial.

Todos esses inventos e a evolução das máquinas térmicas foram fruto de uma engenharia de tentativas e erros, de testes empíricos ou da concorrência comercial, muitas vezes desleal. A teoria era praticamente inexistente.

No início do século XIX, o mundo entrava em um novo período, a era do vapor. Nas fábricas, campos e moinhos, o vapor aumentava a produtividade, pois as pessoas não precisavam mais depender da força dos ventos ou das rodas-d'água. Os trens e os barcos a vapor tornaram-se o principal meio de transporte de carga e passageiros.

Foi nesse ambiente que, na primeira metade do século XIX, a teoria que explicava o funcionamento das máquinas a vapor passou a ser consolidada de acordo com os estudos dos engenheiros experimentalistas, que já sabiam explorar a força do vapor.

Veja comentários sobre essa atividade no Suplemento para o professor.

Atividade em grupo

Apresentamos há pouco uma breve história do desenvolvimento da Termodinâmica, que está muito ligada ao aperfeiçoamento de máquinas para extração de água das minas de carvão mineral. Além disso, a criação da máquina a vapor foi um marco importante para a Revolução Industrial, por impulsionar a indústria têxtil, considerada um exemplo clássico do desenvolvimento fabril na época.

Forme grupos com os colegas e sorteiem um desses temas de pesquisa para cada grupo: mudanças na indústria têxtil com a 1ª Revolução Industrial, evolução dos teares desde a 1ª Revolução Industrial até os dias atuais, condições de trabalho na produção têxtil durante a 1ª Revolução Industrial, evolução dos tipos de fibras têxteis das primeiras produções até os dias atuais, situação da produção têxtil no Brasil.

Organizem um momento para que cada grupo apresente seus resultados à turma.

2. Troca de trabalho entre um gás e o meio

Considere determinada massa de um gás perfeito contido em um cilindro dotado de um êmbolo que pode se mover para a direita e para a esquerda sem nenhum atrito (Fig. 5). Vamos identificar a região delimitada pelo gás como **sistema termodinâmico**. Esse sistema é móvel, devido à presença do êmbolo, e fechado, pois a troca de energia com o meio só pode ocorrer se houver troca de calor ou realização de trabalho.

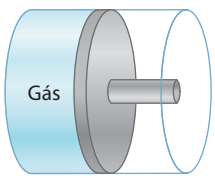


Figura 5. A região delimitada pelo gás contido no cilindro pelo êmbolo é o sistema termodinâmico em estudo.

Considere que certa massa de gás ideal sofre uma **transformação isobárica**, isto é, a pressão p é mantida constante. Assim, entre o início e o fim do processo, o gás atua com uma força de intensidade F constante sobre o êmbolo de área A, produzindo nesse êmbolo um deslocamento d (Fig. 6).

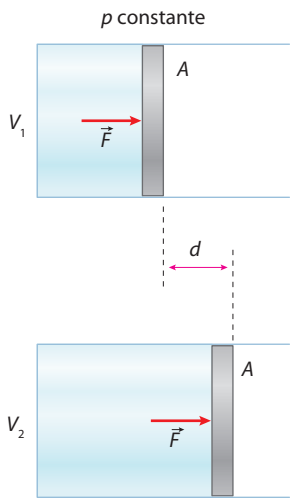


Figura 6. A força de intensidade F aplicada pelo gás ao êmbolo provoca o deslocamento d, e o volume do gás varia de V_1 para V_2.

O trabalho realizado pelo gás ao deslocar o êmbolo é calculado pelo produto da intensidade F da força pelo deslocamento d, ou seja: $\tau = F \cdot d$ (I)

No entanto, sabemos que a pressão p do gás pode ser calculada pela relação entre a intensidade da força F e a área A do êmbolo sobre a qual a força atua; logo:

$p = \frac{F}{A} \Rightarrow F = p \cdot A$ (II)

Substituindo a equação (II) na equação (I), obtemos:

$\tau = p \cdot A \cdot d$

Porém, o produto $A \cdot d$ corresponde ao aumento ΔV do volume do gás. Portanto, em uma transformação isobárica, o trabalho realizado é calculado pelas relações:

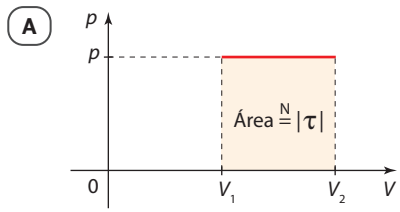
$$\tau = p \cdot \Delta V \quad \text{ou} \quad \tau = p \cdot (V_2 - V_1)$$

A representação de uma transformação gasosa no diagrama cartesiano de pressão *versus* volume é denominada **diagrama de Clapeyron**. No caso da transformação isobárica, esse diagrama é um segmento de reta horizontal com extremidades nos valores dos volumes (V_1 e V_2) (Fig. 7A). A área delimitada entre esse segmento e o eixo dos volumes é dada por:

$$\text{área do retângulo} = \text{base} \times \text{altura} \overset{N}{=} p \cdot |\Delta V| \overset{N}{=} |\tau|$$

O sinal $\overset{N}{=}$ indica que o trabalho é "numericamente igual" à área sob a curva da transformação correspondente, e o módulo do trabalho é usado porque, se o processo fosse uma compressão ($V_2 < V_1 \Rightarrow \Delta V < 0$), o trabalho realizado seria negativo ($\tau < 0$).

Essa propriedade gráfica para o cálculo do trabalho realizado pode ser generalizada. Mesmo que a transformação não seja isobárica, pois a pressão pode variar de p_1 para p_2, a área da figura definida entre a curva representativa da transformação e o eixo das abscissas é o valor absoluto do trabalho realizado (Fig. 7B).



ILUSTRAÇÕES: ERICSON GUILHERME LUCIANO/ARQUIVO DA EDITORA

ERICSON GUILHERME LUCIANO/ARQUIVO DA EDITORA

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

ERICSON GUILHERME LUCIANO/ ARQUIVO DA EDITORA

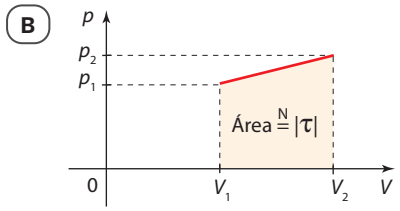


Figura 7. (A) Transformação isobárica (pressão constante); (B) a pressão varia linearmente com o volume. Independentemente da transformação, num diagrama de pressão *versus* volume, a área sob a curva da transformação corresponde numericamente ao módulo do trabalho realizado.

Assim, podemos descrever as seguintes situações:

- O gás se expande.

  Nesse caso, em que o volume do gás aumenta, dizemos que o gás realizou trabalho sobre o meio. Por convenção, consideramos esse trabalho **positivo**.

  Se o volume do gás aumenta, o gás realiza trabalho e $\tau > 0$.

- O gás é comprimido.

  Nesse caso, em que o volume do gás diminui, dizemos que o meio realizou trabalho sobre o gás ou que o gás recebeu trabalho do meio. Por convenção, consideramos esse trabalho **negativo**.

  Se o volume do gás diminui, o gás recebe trabalho e $\tau < 0$.

- O volume do gás não varia.

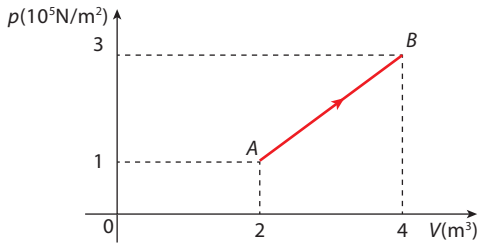
  A realização de trabalho está ligada à variação de volume. Então, se ocorre um processo termodinâmico em que o gás não sofre compressão nem expansão, isto é, se o volume permanece constante, não há realização de trabalho.

  Se o volume do gás permanece constante, o gás não troca trabalho com o meio e $\tau = 0$.

Observe o exemplo resolvido a seguir.

Exercício resolvido

O diagrama a seguir representa a transformação de uma dada massa de gás ideal ao passar do estado *A* para o estado *B*.

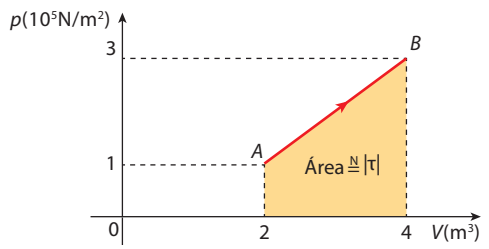


Determine o trabalho realizado pelo gás na transformação $A \rightarrow B$.

Resolução

O módulo do trabalho na transformação *AB* é dado pela área sob a curva; nesse caso, a área de um trapézio. Lembre-se de que a área *S* de um trapézio é dada por:

$$S = \frac{(\text{base maior} + \text{base menor})}{2} \cdot \text{altura}$$



ILUSTRAÇÕES: ADILSON SECCO/ARQUIVO DA EDITORA

Então: $|\tau| = \frac{(3 \cdot 10^5 + 1 \cdot 10^5)}{2} \cdot 2 \therefore |\tau| = 4 \cdot 10^5$ J

Na transformação *AB*, o gás sofreu uma expansão (seu volume aumentou, passando de 2 m^3 para 4 m^3) e realizou trabalho. Portanto, o trabalho é positivo. Assim, o trabalho na transformação é: $\tau = +4 \cdot 10^5$ J.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Veja respostas e comentários no Suplemento para o professor.

Aplicando conhecimentos

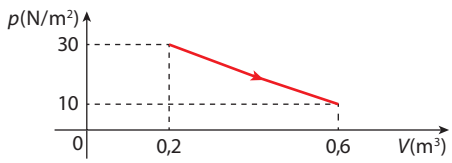
Registre as respostas em seu caderno.

1. Em um aquecimento isobárico, 10 mols de um gás ideal passam por uma expansão e seu volume aumenta de 2 m^3 para 3 m^3. Sabendo que no início do processo o gás estava a 500 K e sendo $R = 8{,}31$ J/(mol · K), determine:

a. a pressão exercida pelo gás sobre as paredes do recipiente onde está contido;

b. o trabalho realizado pelo gás durante a transformação.

2. Um gás ideal sofre a transformação mostrada a seguir no diagrama de Clapeyron.



Qual é o trabalho, em joule, realizado pelo gás durante a transformação?

NELSON MATSUDA/ARQUIVO DA EDITORA

3. Calor trocado entre um gás e o meio

Para estudar as trocas de calor entre o gás e o meio, vamos retomar as convenções já estabelecidas. A quantidade de calor é positiva ($Q > 0$) quando recebida pelo gás (Fig. 8A) e negativa ($Q < 0$) quando cedida pelo gás (Fig. 8B).

Se, durante uma transformação gasosa, o gás não recebe nem cede calor ($Q = 0$), então a transformação é denominada **transformação adiabática**.

ILUSTRAÇÕES: ADILSON SECCO/ ARQUIVO DA EDITORA

Figura 8. (A) Gás recebe calor do meio ($Q > 0$); (B) gás cede calor para o meio ($Q < 0$).

4. Energia interna de um gás ideal

A temperatura de um corpo está diretamente associada ao grau de agitação de suas partículas. Por isso, quanto maior for o grau de agitação das partículas de um sistema, maior será sua energia térmica e, portanto, maior será a temperatura desse sistema. Assim, a **energia térmica** é associada à energia cinética de translação das moléculas e não inclui a energia cinética de rotação nem a energia de vibração intramolecular.

Podemos, ainda, definir a **energia interna** (***U***) de um sistema como a soma da energia térmica com todas as outras formas de energia associadas às moléculas do sistema, como energia cinética de rotação, energia de vibrações intramoleculares, energia de vibrações intra-atômicas e energia potencial de configuração.

No caso do gás ideal monoatômico, essa energia interna é constituída exclusivamente pela energia cinética de translação de suas moléculas.

A energia interna de um gás ideal depende, fundamentalmente, do número de moléculas do gás e da velocidade dessas moléculas. Assim, quanto maior o número de moléculas do gás e quanto maior a velocidade delas, maior será, também, a energia interna do gás. Portanto, a energia interna U de um gás ideal depende apenas da quantidade desse gás e de sua temperatura.

Sendo n a quantidade em mols do gás, suposto ideal e monoatômico, T sua temperatura absoluta medida em kelvin e $R = 8{,}31$ J/(mol · K) a constante universal dos gases perfeitos, pode-se deduzir, a partir das leis da Mecânica Clássica e da equação de Clapeyron, que:

$$U = \frac{3}{2} \cdot n \cdot R \cdot T$$

Com base nessas considerações, podemos enunciar a **lei de Joule** para os gases perfeitos:

> A energia interna de determinada quantidade de mols de gás ideal é diretamente proporcional à sua temperatura absoluta.

Nos processos termodinâmicos sofridos por um gás, é mais comum fazer referência à variação de energia interna (ΔU) dos estados envolvidos do que à energia interna de cada estado envolvido. Então, sendo ΔT a variação de temperatura do gás no processo, sua variação de energia interna será expressa por:

$$\Delta U = \frac{3}{2} \cdot n \cdot R \cdot \Delta T$$

Assim, dependendo da variação de temperatura que o gás sofre no processo, temos as seguintes situações:

- O gás se aquece.

  Nesse caso, a temperatura aumenta, portanto, a variação de temperatura ΔT é positiva ($\Delta T > 0$), e a variação de energia interna ΔU também é positiva ($\Delta U > 0$).

  > Se a temperatura do gás aumenta, o gás aumenta sua energia interna e $\Delta U > 0$.

- O gás se resfria.

  Nesse caso, a temperatura diminui, portanto, a variação de temperatura ΔT é negativa ($\Delta T < 0$), e a variação de energia interna ΔU também é negativa ($\Delta U < 0$).

  > Se a temperatura do gás diminui, o gás diminui sua energia interna e $\Delta U < 0$.

- A temperatura do gás não varia.

  Como a energia interna de uma dada massa de gás ideal é função exclusiva da temperatura, só haverá variação da energia interna se houver variação de temperatura. Portanto, se a temperatura do gás se mantiver constante ($\Delta T = 0$), sua energia interna também se manterá invariável ($\Delta U = 0$).

  > Se a temperatura final do gás for igual à sua temperatura inicial, a variação de energia interna do gás será nula, ou seja, $\Delta U = 0$.

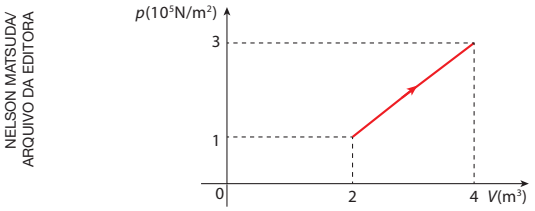
Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Veja respostas e comentários no Suplemento para o professor.

Aplicando conhecimentos

Registre as respostas em seu caderno.

3. O diagrama abaixo representa uma transformação sofrida por uma dada massa de gás ideal.



NELSON MATSUDA/ ARQUIVO DA EDITORA

A temperatura inicial do gás é de 100 K. Dado que $R = 8{,}31$ J/(mol · K), determine:

a. o número de mols do gás;

b. a temperatura ao final da transformação;

c. a variação da energia interna do gás;

d. o trabalho envolvido na transformação.

4. Certa quantidade de gás ideal monoatômico, à temperatura absoluta T, tem energia interna U. Qual será o novo valor da energia interna U' se a quantidade de gás for reduzida à terça parte e sua temperatura absoluta for duplicada?

5. Primeira lei da Termodinâmica

No início do século XIX, vários físicos, entre os quais James Prescott Joule (1818-1889), Hermann Ludwig Ferdinand von Helmholtz (1821-1894) e Julius Robert von Mayer (1814-1878), contribuíram para o desenvolvimento da **primeira lei da Termodinâmica**. No entanto, os primeiros a escrever enunciados formais para essa lei foram Rudolf Julius Emanuel Clausius (1822-1888), em 1850, e William Thomson (Lorde Kelvin) (1824-1907), um ano depois.

A primeira lei da Termodinâmica é a aplicação do princípio da conservação da energia aos processos termodinâmicos (Fig. 9).

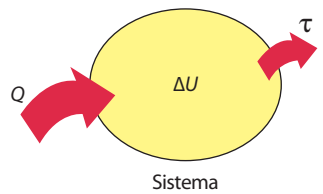
Pode, então, ser enunciada do seguinte modo:

A variação de energia interna ΔU de um gás ideal, em um processo termodinâmico, é dada pela diferença entre a quantidade de calor Q trocada com o meio e o trabalho τ envolvido no processo.

Analiticamente, a primeira lei da Termodinâmica pode ser expressa por:

$$\Delta U = Q - \tau$$

Vamos aplicar a lei da conservação da energia ao exemplo a seguir.



NELSON MATSUDA/ ARQUIVO DA EDITORA

Figura 9. Trocas energéticas em um sistema termodinâmico.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Exercício resolvido

ESTRATÉGIA DE ESTUDO

Considere uma transformação em que dada massa de gás ideal recebe uma quantidade de calor $Q = +2.000$ J (calor recebido é positivo) e realiza, no processo, um trabalho $\tau = +1.200$ J (trabalho realizado pelo gás sobre o meio é positivo). Qual foi a variação de energia interna ΔU dessa massa gasosa na transformação?

Analisar

Observe que o gás trocou energia de duas formas com o meio externo: recebeu 2.000 joules na forma de calor e perdeu 1.200 joules na forma de trabalho realizado.

Preparar

Para analisar o balanço energético, podemos aplicar a primeira lei da Termodinâmica. Logo:

$\Delta U = Q - \tau$

Executar

Assim, obtemos:

$\Delta U = (+2.000) - (+1.200) \therefore \Delta U = +800$ J

Analisar

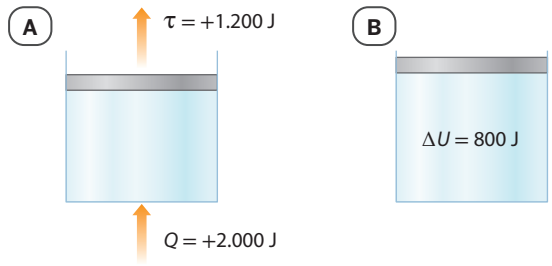
Do balanço energético entre o calor recebido e o trabalho realizado pelo gás, notamos que a energia interna

CONTINUA

CONTINUAÇÃO

do gás aumentou 800 joules, caracterizando, então, um aumento em sua temperatura.

Na figura A, a seguir, representamos esquematicamente a quantidade de calor e o trabalho trocados. Na figura B, é mostrado que, na verdade, o gás "ficou" apenas com 800 joules, que representam a variação de energia interna sofrida por ele. Assim, podemos concluir que a temperatura do gás aumentou.



ADILSON SECCO/ARQUIVO DA EDITORA

Veja respostas e comentários no Suplemento para o professor.

Aplicando conhecimentos

Registre as respostas em seu caderno.

5. É possível fornecer calor a um gás e sua temperatura diminuir? Justifique sua resposta.

6. Durante um processo termodinâmico, um agente externo comprime certa massa de gás perfeito, realizando um trabalho de 1.500 joules. Simultaneamente, o gás recebe 2.000 joules de calor de uma fonte térmica. Determine a variação da energia interna do gás no processo.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

6. Trocas de energias nas transformações gasosas particulares

Transformação isocórica

Não havendo variação de volume ($\Delta V = 0$), não há realização de trabalho na transformação isocórica. O gás não realiza trabalho sobre o meio nem recebe trabalho deste. Portanto, $\tau = 0$.

A quantidade de calor Q_V trocada no processo isocórico, para uma variação de temperatura ΔT, é dada por:

$$Q_V = m \cdot c_V \cdot \Delta T$$

Nessa expressão, m é massa gasosa e c_V é o **calor específico a volume constante** do gás.

Da primeira lei da Termodinâmica, obtemos:

$$\Delta U = Q - \tau \Rightarrow \Delta U = Q_V - 0 \Rightarrow \Delta U = Q_V$$

Transformação isobárica

Durante uma transformação isobárica (p = constante), como já vimos, o trabalho é dado por:

$$\tau = p \cdot \Delta V$$

A quantidade de calor Q_p trocada no processo isobárico, para uma variação de temperatura ΔT, é dada por:

$$Q_p = m \cdot c_p \cdot \Delta T$$

Nessa expressão, m é massa gasosa e c_p é o **calor específico à pressão constante** do gás.

Da primeira lei da Termodinâmica, obtemos:

$$\Delta U = Q - \tau \Rightarrow \Delta U = Q_p - p \cdot \Delta V$$

Transformação isotérmica

Como na transformação isotérmica a temperatura permanece constante, a variação de temperatura é nula; consequentemente, a variação de energia interna do gás também é nula: $\Delta U = 0$

Aplicando a primeira lei da Termodinâmica, obtemos:

$$\Delta U = Q - \tau \Rightarrow 0 = Q - \tau \Rightarrow \tau = Q$$

Portanto, em uma transformação isotérmica de um gás ideal, o trabalho realizado no processo é igual à quantidade de calor trocada com o meio externo.

Transformação adiabática

Há processos termodinâmicos em que o gás sofre expansões e compressões tão rápidas que as trocas de calor com o meio externo são desprezíveis. Esses processos são denominados **adiabáticos**.

Então, diz-se que o gás ideal sofre uma **transformação adiabática** quando a quantidade de calor trocada com o meio é nula: $Q = 0$

Aplicando a primeira lei da Termodinâmica, temos:

$$\Delta U = Q - \tau \Rightarrow \Delta U = 0 - \tau \Rightarrow \Delta U = -\tau$$

Portanto, em uma transformação adiabática, a variação de energia interna ΔU do gás ideal é igual, em valor absoluto, mas de sinal oposto, ao trabalho τ envolvido no processo.

Veja respostas e comentários no Suplemento para o professor.

Aplicando conhecimentos

Registre as respostas em seu caderno.

7. Determinada quantidade de gás sofre uma transformação isocórica e, ao final da transformação, sua energia interna sofre um aumento ΔU. O que se pode afirmar a respeito da pressão do gás durante essa transformação? Justifique sua resposta.

8. Determine, para uma expansão isobárica de um gás perfeito monoatômico, a relação entre o trabalho τ realizado pelo gás e sua correspondente variação de energia interna ΔU.

9. Uma amostra de substância pura, no estado sólido ou no estado líquido, pode absorver calor de uma fonte sem sofrer alteração em sua temperatura. Isso ocorre durante uma mudança de estado físico dessa substância, sob pressão externa constante. Para uma amostra de um gás ideal, o fato descrito:

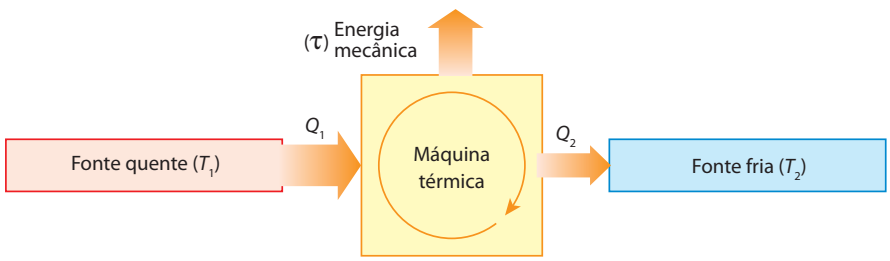
9. d

a. jamais poderia ocorrer, pois há variação na energia interna do gás em qualquer processo termodinâmico.
b. pode ocorrer, desde que não haja realização de trabalho.
c. pode ocorrer, desde que todo o calor se transforme em energia interna do gás.
d. pode ocorrer, desde que todo o calor seja convertido em trabalho do gás sobre o meio externo.
e. nunca ocorre, pois é impossível transformar integralmente calor em trabalho em um processo termodinâmico de um gás ideal.

10. Em uma expansão adiabática, uma amostra de gás perfeito realiza um trabalho de 520 J.
a. Qual é a quantidade de calor trocada com o ambiente?
b. Qual é a variação de energia interna sofrida pelo gás?
c. Como variam a temperatura, o volume e a pressão do gás durante o processo?

7. Máquinas térmicas

Em uma **máquina térmica**, ocorre a conversão da energia térmica (calor) em energia mecânica (trabalho). Em alguns casos, a energia térmica provém da queima de algum tipo de combustível, como ocorre nos veículos automotores (gasolina, diesel ou álcool) ou nas caldeiras (madeira ou carvão). O princípio de funcionamento das máquinas térmicas foi estabelecido por Nicolas Léonard Sadi Carnot (1796-1832). Estudando essas máquinas, ele comprovou a necessidade de elas trabalharem entre duas fontes de calor mantidas em temperaturas diferentes. Essas fontes de calor são denominadas **fonte quente** (temperatura maior) e **fonte fria** (temperatura menor). Em um motor de automóvel, a fonte quente é a câmara do pistão, onde ocorre a queima do combustível. A fonte fria é o meio ambiente, onde são descarregados os resíduos da combustão, inclusive parte do calor não aproveitado. Portanto, uma máquina térmica retira uma quantidade Q_1 de calor da fonte quente, realiza certa quantidade de trabalho e rejeita uma quantidade Q_2 de calor para a fonte fria (Fig. 10).



ERICSON GUILHERME LUCIANO/ ARQUIVO DA EDITORA

Figura 10. Representação esquemática do funcionamento de uma máquina térmica.

A diferença entre os valores absolutos das duas quantidades de calor é o trabalho τ realizado pela máquina térmica:

$$\tau = |Q_1| - |Q_2|$$

Os veículos automotores convencionais (não elétricos) são movidos por um **motor de combustão interna**, isto é, o combustível é queimado em câmaras de compressão que ficam dentro do próprio motor. Os tipos mais comuns desses motores são os motores **Otto** e **Diesel**, nomes dados em homenagem aos seus criadores, Nicolaus August Otto (1832-1891) e Rudolf Karl Diesel (1858-1913), ambos engenheiros mecânicos alemães.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

8. Segunda lei da Termodinâmica

A primeira lei da Termodinâmica estabelece que a energia é conservada nos processos termodinâmicos. Entretanto, a experiência mostra que, em alguns processos, a conversão de um tipo de energia em outro nem sempre é possível, apesar de esses processos não violarem a primeira lei da Termodinâmica. A viabilidade ou não de tais processos é determinada pela **segunda lei da Termodinâmica**. De certo modo, a segunda lei da Termodinâmica determina o sentido preferencial (ou natural) de ocorrência de determinados processos. Se um processo não pode ocorrer no sentido inverso ao que ele ocorre naturalmente, dizemos que esse processo é **irreversível**.

Um processo é **reversível** quando, ao ocorrer no sentido inverso, todos os corpos envolvidos no processo retornam rigorosamente aos seus estados iniciais. Por exemplo, se desconsiderarmos a influência do ar (uma idealização) e lançarmos verticalmente um objeto nas proximidades da superfície da Terra, ele retornará ao ponto de lançamento nas mesmas condições de quando foi lançado. Esse seria um processo reversível. Se, entretanto, considerarmos a influência do ar (situação real), o corpo retornará tendo uma temperatura maior do que quando foi lançado. Esse é, portanto, um processo irreversível.

Ao deslocarmos um objeto sobre uma superfície "perfeitamente lisa" (uma idealização) e o fizermos retornar à sua posição inicial, ele retornará exatamente nas mesmas condições físicas do início. Ao deslocarmos o corpo sobre uma superfície áspera (situação real), parte do trabalho realizado sobre ele é convertida em calor devido ao atrito. Ao fazermos o corpo voltar à sua posição inicial pela mesma trajetória, não vamos recuperar a quantidade de energia térmica gerada no deslocamento inicial e o corpo chegará com uma temperatura maior que a sua temperatura inicial. Esse é, portanto, um processo irreversível.

Outro exemplo de processo irreversível é a transferência de calor de um corpo mais frio para outro mais quente. Sim, podemos fazer o calor fluir no sentido inverso ao natural, do corpo mais frio para o mais quente, porém com a intervenção de algum agente externo que faça o calor fluir nesse sentido. Nesse caso, o agente externo é uma **bomba de calor** (compressor da geladeira). Portanto, esse também é um processo irreversível, isto é, não ocorre espontaneamente.

Na natureza, a rigor, **não existem** processos reversíveis, **todos** são irreversíveis. Os processos reversíveis são idealizações ou modelos aproximados da realidade.

A segunda lei da Termodinâmica pode ser enunciada de vários modos aparentemente diferentes, porém todos equivalentes entre si. Vamos apresentar dois desses enunciados: o primeiro foi proposto pelos físicos Lorde Kelvin e Max Planck; o segundo enunciado foi proposto por Rudolf Clausius, o criador do termo "**entropia**", conceito que estudaremos logo mais adiante.

De acordo com o enunciado de Kelvin-Planck:

> Nenhum processo cíclico é possível se o único resultado for transformar integralmente calor em trabalho.

Essencialmente, o enunciado de Kelvin determina que **não existe** máquina térmica ideal, isto é, que possa converter toda a energia retirada da fonte quente em trabalho.

De acordo com o enunciado de Clausius:

> Nenhum processo cíclico é possível se o resultado for unicamente transferir calor de um corpo mais frio para outro mais quente.

O enunciado de Clausius determina que **não podemos** inverter o sentido natural do fluxo de calor sem intervenção externa, isto é, para que possamos transferir calor de um corpo frio para outro corpo mais quente, é necessária a atuação de um agente externo.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

9. Rendimento de uma máquina térmica

Vimos, do enunciado de Kelvin-Planck, que uma máquina térmica converte em trabalho apenas uma parte da energia térmica retirada da fonte quente, a razão entre o trabalho realizado pela máquina, e a quantidade de calor Q_1 retirada da fonte quente dá uma ideia do "aproveitamento" da energia. Essa razão é denominada **rendimento** da máquina térmica, representado pela letra grega eta (η):

$$\eta = \frac{\tau}{Q_1} = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1} = 1 - \frac{Q_2}{Q_1}$$

É comum o rendimento ser expresso em porcentagem e, sendo τ sempre menor que Q_1, sempre teremos $0 \leqslant \eta < 1$ ou $0 \leqslant \eta < 100\%$ para qualquer máquina. As grandezas Q_1 e Q_2 são os valores absolutos das quantidades de calor trocadas com as fontes quente e fria, respectivamente.

Observação: não existe máquina térmica com rendimento de 100%. Se assim fosse, deveríamos ter $Q_2 = 0$ e $\tau = Q_1$, o que estaria em contradição com o enunciado de Kelvin -Planck da segunda lei da Termodinâmica.

No exemplo seguinte, vamos aplicar quantitativamente o conceito de rendimento de uma máquina térmica.

Exercício resolvido

Uma máquina térmica funciona recebendo, em cada ciclo do fluido de trabalho, 200 calorias da fonte quente e rejeitando 160 calorias para a fonte fria. Supondo que a máquina realize os ciclos com a frequência de 8 hertz, determine:

a. o trabalho útil, em joule, obtido dessa máquina em cada ciclo (adote 1 cal = 4,2 J);

b. o rendimento dessa máquina térmica;

c. a potência útil dessa máquina.

Resolução

a. O trabalho útil obtido por ciclo corresponde à diferença entre as duas quantidades de calor. Sendo $Q_1 = 200$ cal e $Q_2 = 160$ cal, temos:

$\tau = Q_1 - Q_2 = 200 \text{ cal} - 160 \text{ cal} = 40 \text{ cal} = 40 \cdot 4{,}2 \text{ J} = 168 \text{ J}$

b. O rendimento dessa máquina térmica é dado pela relação:

$$\eta = \frac{\tau}{Q_1} = \frac{40}{200} \Rightarrow \eta = 0{,}20 = 20\%$$

c. Sendo a frequência igual a 8 hertz, concluímos que são realizados 8 ciclos por segundo. Então, em $\Delta t = 1$ s, o trabalho total realizado vale:

$\tau_T = 8 \cdot \tau = 8 \cdot 168 \text{ J} = 1.344 \text{ J}$

A potência útil será: $P = \frac{\tau}{\Delta t} = \frac{1.344 \text{ J}}{1 \text{ s}} \Rightarrow P = 1.344 \text{ W}$

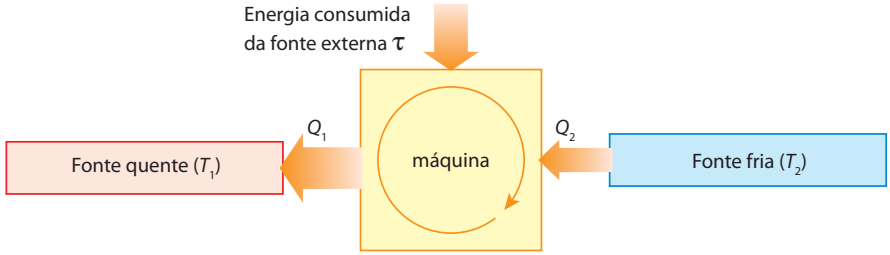
10. Máquina frigorífica ou refrigerador

Uma máquina frigorífica, ou refrigerador térmico, transfere calor de um local mais frio para outro mais quente, isto é, atua no sentido inverso ao que ocorre de maneira espontânea. Portanto, seu funcionamento é exatamente oposto ao da máquina térmica. Vimos, no enunciado de Clausius, que esse funcionamento exige a participação de algum agente externo que forneça energia a essa máquina.

Nos refrigeradores comuns, o calor é retirado do congelador e transferido para o meio externo através do trabalho realizado pelo compressor, que consome energia de alguma fonte externa. Genericamente, a máquina frigorífica retira uma quantidade de calor Q_2 da fonte fria (congelador) e entrega à fonte quente (meio ambiente) uma quantidade de calor Q_1, correspondente à soma dos valores absolutos da quantidade de calor Q_2 e do trabalho externo τ, que é convertido em calor no processo ($Q_1 = Q_2 + \tau$).

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

A figura a seguir (Fig. 11) mostra de forma esquemática o funcionamento de uma máquina frigorífica.



ERICSON GUILHERME LUCIANO/
ARQUIVO DA EDITORA

Figura 11. Representação esquemática de um refrigerador térmico.

Para uma máquina frigorífica, definimos a grandeza denominada **eficiência** (*e*), dada pela razão entre a quantidade de calor Q_2, retirada da fonte fria, e o trabalho τ, recebido do exterior. Algebricamente, temos:

$$e = \frac{Q_2}{\tau}$$

Portanto, um bom refrigerador deve retirar uma grande quantidade de calor Q_2 "consumindo" pouco trabalho τ. Ao contrário do que ocorre para o rendimento de uma máquina térmica, a eficiência do refrigerador térmico é superior a 1. Quanto maior for esse valor, mais eficiente dizemos que é o refrigerador.

No exemplo seguinte, vamos aplicar quantitativamente o conceito de eficiência para um refrigerador térmico.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Exercício resolvido

Um refrigerador opera de modo que as quantidades de calor trocadas com as fontes sejam diretamente proporcionais às temperaturas absolutas dessas fontes. Para cada joule de calor (Q_2) retirado do congelador, a uma temperatura $T_2 = -23$ °C (250 K), essa máquina entrega uma quantidade de calor Q_1 ao meio ambiente, que está a uma temperatura $T_1 = 77$ °C (350 K). Determine:

a. a eficiência *e* dessa máquina;

b. o valor de Q_1.

Resolução

a. Como as quantidades de calor trocadas com as fontes são diretamente proporcionais às temperaturas absolutas dessas fontes, temos:

$Q_1 = k \cdot T_1$ e $Q_2 = k \cdot T_2$

Portanto:

$T = Q_1 - Q_2 = k \cdot (T_1 - T_2)$

Assim, a eficiência dessa máquina é:

$$e = \frac{Q_2}{W} \Rightarrow e = \frac{k \cdot T_2}{k \cdot (T_1 - T_2)} \Rightarrow e = \frac{T_2}{(T_1 - T_2)} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow e = \frac{250}{(350 - 250)} \Rightarrow e = 2{,}5$$

b. Usando novamente a proporção entre calor trocado e temperatura, temos:

$$\frac{Q_1}{T_1} = \frac{Q_2}{T_2} \Rightarrow \frac{Q_1}{350} = \frac{1}{250} \therefore Q_1 = 1{,}4 \text{ J}$$

Observação: veremos adiante que esse tipo de máquina, em que o calor trocado é diretamente proporcional à temperatura, é conhecido como máquina de Carnot.

Veja respostas e comentários no Suplemento para o professor.

Aplicando conhecimentos

Registre as respostas em seu caderno.

11. Um engenheiro está projetando uma máquina térmica que realizará 6 ciclos por segundo, durante sua operação. Em cada ciclo, a máquina irá retirar de um reservatório quente uma quantidade de calor $Q_1 = 60$ calorias e rejeita para o reservatório frio uma quantidade $Q_2 = 45$ calorias. Adote 1 cal = 4,2 J e determine:

a. o trabalho realizado por essa máquina, em joule, a cada segundo.

b. a potência útil dessa máquina, em watt;

c. o rendimento dessa máquina térmica.

12. Em um refrigerador doméstico, o compressor realiza um trabalho de 483 J em cada ciclo do fluido refrigerante. Com isso, são retiradas 375 calorias de calor do congelador, por ciclo.

Adote 1,0 cal = 4,2 J e determine:

a. a quantidade de calor Q_1, em calorias, transferida para o meio externo pelo sistema dissipador de calor (irradiador):

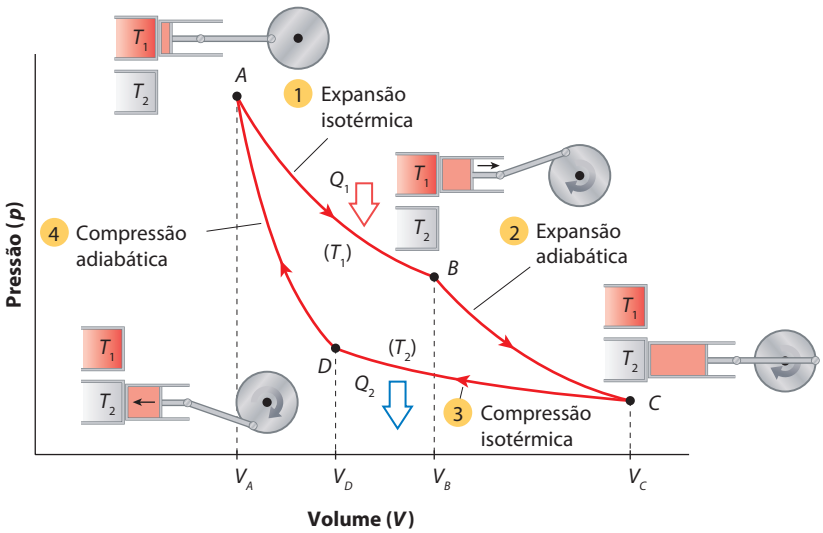
b. a eficiência *e* desse refrigerador.

11. Máquina de Carnot

Uma máquina de Carnot não é uma máquina real, é um modelo teórico que descreve uma máquina térmica capaz de obter o maior rendimento possível operando entre duas temperaturas. Para isso, Carnot idealizou um ciclo termodinâmico que leva seu nome, o **ciclo de Carnot**. Conforme veremos mais adiante, esse modelo teórico serve de parâmetro para a avaliação do desempenho de máquinas térmicas reais.

O ciclo de Carnot é constituído de quatro etapas, partindo do ponto *A* (Fig. 12):

1. Uma expansão isotérmica (*AB*) na temperatura T_1, na qual a máquina retira uma quantidade de calor Q_1 da fonte quente.
2. Uma expansão adiabática (*BC*), na qual a temperatura diminui de T_1 para T_2.
3. Uma compressão isotérmica (*CD*) na temperatura T_2, na qual a máquina cede uma quantidade de calor Q_2 à fonte fria.
4. Uma compressão adiabática (*DA*), na qual a temperatura se eleva de T_2 para T_1.



ERICSON GUILHERME LUCIANO/ARQUIVO DA EDITORA

Figura 12. Ciclo de Carnot. Ciclo de máximo rendimento entre as temperaturas T_1 (maior) para T_2 (menor).

Carnot demonstrou que numa máquina térmica que realizasse esse ciclo entre as temperaturas absolutas T_1, da fonte quente, e T_2, da fonte fria, o calor trocado seria diretamente proporcional à temperatura absoluta, e, portanto, seu **rendimento** é **máximo** e dado por:

$$\eta_{máx} = 1 - \frac{T_2}{T_1}$$

Qualquer máquina térmica que opere entre essas mesmas temperaturas, realizando outro ciclo termodinâmico, terá rendimento menor que esse.

Vamos explorar o conceito de máquina de Carnot por meio de um exemplo.

Exercício resolvido

Um inventor, procurando melhorar o aproveitamento de energia, alega ter projetado uma máquina térmica que, a cada ciclo, retira 250 cal de uma fonte de calor a uma temperatura constante de 227 °C, realiza um trabalho de 630 J e rejeita 100 cal ao meio ambiente, que é mantido a uma temperatura de 27 °C. Usando seus conhecimentos sobre máquinas térmicas, avalie se a alegação do inventor é verdadeira ou não.

Resolução

O rendimento da máquina térmica descrita pelo inventor é:

$$\eta = \frac{\tau}{Q_1} = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1} = \frac{(250 - 100)\ \text{cal}}{250\ \text{cal}} = \frac{150}{250} = 0{,}6 = 60\%$$

No entanto, o rendimento máximo "possível" entre as temperaturas T_1 e T_2 é dado por uma máquina de Carnot operando entre essas mesmas temperaturas, logo:

$$\eta_{máx} = 1 - \frac{T_2}{T_1} = 1 - \frac{300\ \text{K}}{500\ \text{K}} = 1 - \frac{3}{5} = \frac{2}{5} = 0{,}4 = 40\%$$

Comparando os resultados, concluímos que a alegação do inventor **não é** verdadeira. Nenhuma máquina térmica pode ter rendimento superior ao de uma máquina de Carnot operando entre as mesmas temperaturas.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

12. Irreversibilidade dos processos naturais

Suponha que você entre em casa em um dia muito frio e envolva com suas mãos uma generosa caneca de chocolate bem quente. Com o passar do tempo, as palmas de suas mãos vão se aquecer e a superfície da caneca vai esfriar um pouco. Ninguém esperaria que se desse o oposto, isto é, que suas mãos ficassem ainda mais frias, aquecendo ainda mais a caneca quente. Esse processo tem um sentido **preferencial** ou **natural** para ocorrer.

Abrir um frasco de perfume em uma sala fechada, permitindo que um pouco do seu conteúdo evapore, é também um processo de "mão única". As moléculas de perfume que escaparam não vão espontaneamente se juntar e voltar para o interior do frasco.

Processos que têm uma tendência preferencial para ocorrer em dado sentido são chamados de **irreversíveis**, isto é, eles não revertem espontaneamente o sentido em que ocorreram.

Clausius elaborou um conceito físico para explicar o sentido preferencial de ocorrência desses processos, chamando-o de **entropia**, do grego *en-* (dentro, conteúdo) e *tropos* (transformação, tendência), algo como "conteúdo de transformação" ou "tendência de transformação interna".

A entropia indica o grau de transformação do sistema ao passar de um estado para outro.

Ao contrário da energia, a entropia não está associada a uma lei de conservação. A entropia de um sistema isolado tem uma tendência natural de aumentar. Quando um sistema evolui, tendendo a um estado de equilíbrio termodinâmico, sua entropia tende ao valor máximo.

Nas máquinas de Carnot, que são máquinas térmicas reversíveis, a razão $\frac{Q}{T}$ para a quantidade de calor absorvida da fonte quente e para a quantidade de calor descartada para a fonte fria é a mesma, isto é, $\frac{|Q_1|}{T_1} = \frac{|Q_2|}{T_2}$. À razão $\frac{Q}{T}$, Clausius deu o nome de **entropia** e adotou a letra S para representá-la. No Sistema Internacional de Unidades (SI), a unidade da entropia é joule/kelvin (J/K).

Portanto, podemos afirmar que:

Nos processos reversíveis, a variação da entropia do sistema é nula.

Em processos isotérmicos, a variação de entropia ΔS é definida algebricamente, pela razão da quantidade de calor (ΔQ) transferida entre duas porções de um sistema termicamente isolado, em joule (J), por sua temperatura absoluta, em kelvin (K), portanto:

$$\Delta S = \frac{\Delta Q}{T}$$

Veja respostas e comentários no Suplemento para o professor.

Aplicando conhecimentos

Registre as respostas em seu caderno.

13. Uma máquina térmica real opera entre uma fonte quente a 327 °C e uma fonte fria a 27 °C. Portanto, podemos afirmar que o rendimento térmico dessa máquina:

13. d

a. é igual a 50%.
b. está entre 95% e 100%.
c. é muito próximo de 92%.
d. certamente é menor que 50%.

14. A entropia, entre outras características, está associada à "seta do tempo" porque estabelece o sentido em que um processo natural ocorre. Imagine-se assistindo a um filme que mostra diversos processos que acontecem no dia a dia e que são apresentados no sentido que realmente aconteceram e no sentido inverso.

a. Cite dois (ou três) processos que denunciariam, sem a menor dúvida, que o filme está sendo projetado "de trás para a frente".
b. Como são chamados os processos citados no item (a)?
c. Cite dois processos que não permitem saber se o filme está sendo projetado no sentido em que os processos ocorreram ou no sentido inverso.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

ESTRATÉGIA DE ESTUDO

Para auxiliá-lo em seus estudos, você pode adotar algumas estratégias.

Selecionar e relacionar palavras-chave

Após selecionar palavras-chave que representam os principais assuntos estudados em cada tópico, crie frases que relacionem essas palavras com base no texto do capítulo.

No tópico *Máquinas térmicas*, se você selecionou máquinas térmicas, eficiência, segunda lei da Termodinâmica e entropia, agora pode explorar como dois ou três desses termos se conectam por meio de uma frase curta. Por exemplo: **Máquinas térmicas** convertem calor em trabalho, e sua **eficiência** é limitada pela **segunda lei da Termodinâmica**.

Compartilhe e discuta com seus colegas as relações que você estabeleceu. Verifique se eles encontraram conexões diferentes das suas para repensar a inclusão ou a exclusão de algum termo. Essas anotações podem ser consultadas quando necessário como uma ferramenta de estudo.

Verificar o que aprendeu

1. Avalie seu nível de compreensão dos assuntos apresentados no capítulo utilizando a escala:

- Entendi completamente.
- Entendi a maior parte, mas alguns itens estão confusos.
- Não entendi a maior parte.
- Não entendi.

2. Avalie suas habilidades para:

- resolver os problemas apresentados;
- relacionar o conteúdo com situações do cotidiano;
- identificar conexões entre os assuntos tratados.

Veja respostas e comentários no Suplemento para o professor.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Atividades finais

Registre as respostas em seu caderno.

1. Dois recipientes indeformáveis contêm massas diferentes de um mesmo gás ideal, à mesma temperatura inicial T. Fornecendo a cada um dos gases quantidades iguais de calor, constata-se que suas temperaturas passam a ser T_1 e T_2, diferentes entre si e diferentes de T. Nessas circunstâncias, pode-se dizer que, após o fornecimento de calor:

1. e

a. as energias internas dos gases, que eram inicialmente iguais, continuam iguais.

b. as energias internas dos gases, que eram inicialmente diferentes, continuam diferentes.

c. as energias internas dos gases, que eram inicialmente iguais, agora são diferentes.

d. as energias internas dos gases, que eram inicialmente diferentes, agora são iguais.

e. as energias internas dos gases variam.

2. Em um experimento de laboratório, determinada massa de gás monoatômico, considerado ideal, passa por duas transformações isobáricas. Na primeira das transformações, sob pressão de 2 atm, o volume da massa gasosa passa de 2 L para 5 L; na segunda transformação, sob pressão de 1,5 atm, o volume do gás passa de 4 L para 8 L.

Para cada uma das transformações, determine:

a. o trabalho τ realizado pelo gás;

b. a variação da energia interna ΔU;

c. a quantidade de calor Q trocada pelo gás.

3. Durante uma compressão adiabática, dada quantidade de gás ideal recebe um trabalho de 2.500 J.

a. Qual é a quantidade de calor trocada com o ambiente?

b. Qual é a variação de energia interna sofrida pelo gás?

c. Como variam a temperatura, o volume e a pressão do gás durante o processo?

CONTINUA

4. **(UEFS-BA)** A primeira lei da termodinâmica para sistemas fechados foi originalmente comprovada pela observação empírica, no entanto é hoje considerada como a definição de calor através da lei da conservação da energia e da definição de trabalho em termos de mudanças nos parâmetros externos de um sistema.

4. e

Com base nos conhecimentos sobre a Termodinâmica, é correto afirmar:

a. A energia interna de uma amostra de um gás ideal é função da pressão e da temperatura absoluta.

b. Ao receber uma quantidade de calor *Q* igual a 48,0 J, um gás realiza um trabalho igual a 16,0 J, tendo uma variação da energia interna do sistema igual 64,0 J.

c. A energia interna, o trabalho realizado e a quantidade de calor recebida ou cedida independem do processo que leva o sistema do estado inicial *A* até um estado final *B*.

d. Quando se fornece a um sistema certa quantidade de energia *Q*, esta energia pode ser usada apenas para o sistema realizar trabalho.

e. Nos processos cíclicos, a energia interna não varia, pois volume, pressão e temperatura são iguais no estado inicial e final.

5. **(UFRGS)** Um projeto propõe a construção de três máquinas térmicas, M_1, M_2 e M_3, que devem operar entre as temperaturas de 250 K e 500 K, ou seja, que tenham rendimento ideal igual a 50%. Em cada ciclo de funcionamento, o calor absorvido por todas é o mesmo: $Q = 20$ kJ, mas espera-se que cada uma delas realize o trabalho *W* mostrado na tabela a seguir.

5. e

Máquina	*W*
M_1	20 kJ
M_2	12 kJ
M_3	8 kJ

De acordo com a segunda lei da Termodinâmica, verifica-se que somente é possível a construção da(s) máquina(s):

a. M_1.
b. M_2.
c. M_3.
d. M_1 e M_2.
e. M_2 e M_3.

6. Para fazer gelo, um *freezer* extrai, a cada ciclo, $Q_2 = 42$ kcal do "congelador" que está a −15 °C e entrega ao meio externo uma quantidade de calor Q_1, a uma temperatura de 27 °C. Sendo 5,6 a eficiência térmica desse *freezer*, determine para cada ciclo do compressor:

a. a quantidade de energia *E* consumida do meio externo, necessária ao funcionamento do sistema, em joule;

b. a quantidade Q_1 de calorias irradiada para o ambiente;

c. se ele é ou não uma máquina térmica reversível.

Adote 1 cal = 4,2 J.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

CAPÍTULO 14

Ondas e energia

TONY STOCK/SHUTTERSTOCK

Antenas de comunicação de telefones celulares.

Vivemos em um mundo quase totalmente conectado. Hoje, fatos que ocorrem em diferentes pontos do planeta podem ser rapidamente conhecidos por meio de um simples aparelho de telefonia celular. Boa parte dessa tecnologia fundamenta-se na propagação de ondas eletromagnéticas, assunto que será estudado neste capítulo.

O aparelho de telefonia celular, por exemplo, funciona por meio de ondas de rádio na faixa das ondas curtas, que são transmitidas a uma central que identifica o número chamado e encaminha a ligação ou a mensagem a outro número. À medida que esses usuários desses aparelhos se deslocam, esse sinal é geralmente transmitido entre antenas de transmissão, conhecidas como células, possibilitando uma comunicação ininterrupta, dependendo somente da qualidade do sinal e da cobertura geográfica da operadora.

As telecomunicações e a imensa quantidade de informações mudaram nosso mundo e são, atualmente, alvo de intensos debates sobre como isso está afetando nossa vida, nossa privacidade, nossos estudos, a política, a saúde e a sociedade como um todo.

A aplicação e as implicações dos fenômenos ondulatórios estão presentes em diversos ramos da Física, como a Mecânica Clássica, o Eletromagnetismo e a Física Quântica.

Neste capítulo, vamos estudar os fundamentos da propagação das ondas e a energia transportada durante a propagação de uma perturbação ondulatória.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

1. Conceito de onda

Entre os fenômenos físicos que nos rodeiam, destacam-se os movimentos e as ondas. Em praticamente qualquer situação, por mais simples que seja, estamos experimentando algum tipo de movimento e recebendo ou emitindo algum tipo de onda. Acionar o interruptor para acender uma lâmpada é uma forma de gerar ondas luminosas. O ruído dos automóveis na rua é uma forma de constatarmos a propagação de ondas sonoras.

Assim como objetos em movimento transportam e transferem energia, o movimento ondulatório também é uma forma de transferência de energia. No entanto, **as ondas transferem energia sem transporte de matéria**.

Percebemos que as ondas transportam energia quando estamos próximos de uma fonte sonora que emite sons de grande intensidade. De fato, podemos sentir as vibrações transmitidas por essas ondas por meio dos nossos tímpanos. Observamos também a energia das ondas quando vemos um barco ancorado oscilar ao ser atingido por sucessivas ondas que se propagam na superfície da água.

Veja respostas e comentários no Suplemento para o professor.

Dialogando com o texto

CIÊNCIA E TECNOLOGIA | CIDADANIA E CIVISMO

Na abertura do capítulo, tratamos da quantidade enorme de informações que recebemos, sejam elas vindas por meio de mensagens ou pelas redes sociais.

No entanto, nem todas as informações que recebemos são verdadeiras. Muitas delas são *fake news*, ou seja, são falsas, e muitas vezes foram criadas apenas para confundir ou manipular a opinião das pessoas.

Atualmente, existem canais *on-line* que fazem a checagem de boatos e de notícias falsas, com o objetivo de minimizar o impacto delas na sociedade. Você conhece algum desses canais de checagem?

Pesquise alguns desses canais e verifique se você já foi vítima desse tipo de notícia. Depois, converse com seus familiares e com seus amigos sobre essas ferramentas e discutam por que devemos checar uma mensagem ou notícia antes de compartilhá-las.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

2. Ondas e energia

Gotas de água, quando caem em uma superfície líquida em repouso, geram perturbações que se propagam por essa superfície, atingindo outros pontos (Fig. 1).

Essas perturbações se propagam pela superfície em todas as direções, e os pontos atingidos passam a oscilar em torno de uma posição de equilíbrio. Portanto, a onda transfere energia para as partículas da superfície da água. Se houver um corpo flutuando nessa superfície – uma folha de árvore, por exemplo –, ao ser atingido pela perturbação, ele oscilará durante determinado intervalo de tempo em torno da sua posição de equilíbrio (Fig. 2).

DANIIL RYBKIN/SHUTTERSTOCK

Figura 1. Perturbações na superfície da água causadas pela queda de uma gota.

COMPA_92/SHUTTERSTOCK

Figura 2. A onda transmite energia para a folha, que oscila na superfície da água.

O espaço através do qual a energia se propaga é denominado **meio de propagação**, que pode ser algum tipo de matéria ou mesmo o vácuo. Mas, o que oscila no vácuo? Mais adiante, vamos responder a essa pergunta.

Quando apenas uma única perturbação é gerada, damos a ela o nome de **pulso de onda**. Um conjunto de perturbações sucessivas que se propagam transportando energia é chamado de **trem de ondas** ou **pacote de ondas**.

Sobre as ondas, podemos afirmar o seguinte:

> Onda, ou pulso de onda, é qualquer perturbação que se propaga através de um meio, transmitindo energia aos pontos desse meio durante a propagação, **sem transportar matéria**.

Vamos examinar como isso ocorre considerando um exemplo bem comum. Uma corda, com uma das extremidades presa a uma parede, é mantida esticada por uma pessoa (Fig. 3).

ADILSON SECCO/ ARQUIVO DA EDITORA

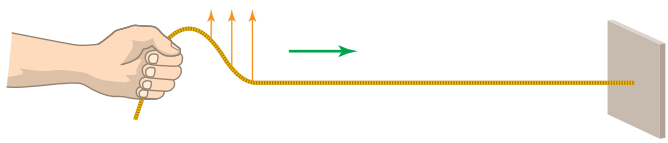


Figura 3. Ao movimentar verticalmente a mão, a pessoa transfere energia aos pontos da corda. (Representação fora de proporção; cores meramente ilustrativas.)

Em seguida, a pessoa faz um rápido movimento de vai e vem vertical, gerando um pulso que se propaga pela corda. É importante destacar o fato de que cada ponto da corda repete, com certo atraso, o movimento da mão. Em outras palavras, cada ponto da corda realiza apenas o movimento oscilatório vertical, retornando à posição inicial. O que se desloca pela corda é a energia transmitida pela mão aos pontos da corda. Não há transporte de matéria (Fig. 4).

ADILSON SECCO/ ARQUIVO DA EDITORA

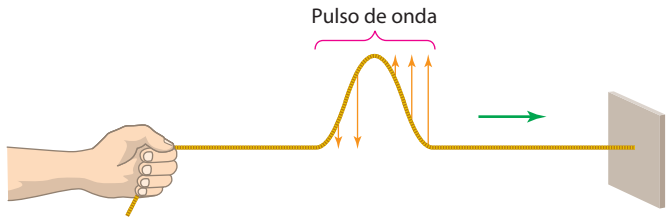


Figura 4. O pulso de onda propaga-se ao longo da corda. (Representação fora de proporção; cores meramente ilustrativas.)

Os pontos da corda que estão deslocados da posição de equilíbrio têm, em dado instante, energia cinética e energia potencial elástica, que, a princípio, foram fornecidas pela fonte que gerou o pulso de onda, isto é, a mão da pessoa que movimenta a extremidade da corda. O agente físico responsável pela transmissão dessa energia aos pontos da corda foi o pulso de onda. A corda é o meio através do qual a energia é transmitida.

Esse fenômeno é semelhante ao que ocorre quando golpeamos uma das extremidades de uma barra de ferro com um martelo e percebemos, na outra extremidade, a vibração provocada pela martelada. A energia de vibração é transferida de um ponto para outro ao longo da barra, sem que haja transporte de matéria (Fig. 5).

ADILSON SECCO/ ARQUIVO DA EDITORA

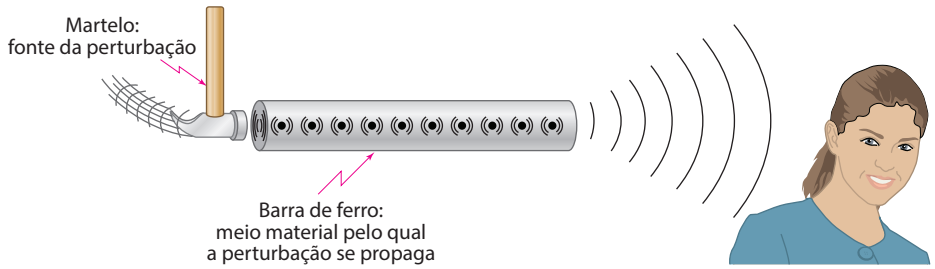


Figura 5. A energia de vibração é transmitida ao longo da barra pela oscilação longitudinal das partículas da barra (átomos). (Representação fora de proporção; cores meramente ilustrativas.)

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Veja respostas e comentários no Suplemento para o professor.

Aplicando conhecimentos

Registre as respostas em seu caderno.

1. Como você pode provar experimentalmente que uma onda transporta energia e não transporta matéria?

2. Bia e Gabi, duas amiguinhas inseparáveis, fazem um telefone de brinquedo usando um pedaço de barbante bem esticado e duas latas vazias, cada uma presa pelo fundo a uma das extremidades do barbante. Descreva como é possível a comunicação entre as crianças.

3. Classificação das ondas quanto à sua natureza

As ondas podem ser classificadas em duas grandes categorias: **ondas mecânicas** e **ondas eletromagnéticas**.

Ondas mecânicas

Para se propagar, as ondas mecânicas necessitam de um meio material elástico, que pode ser sólido, líquido ou gasoso. Portanto, as ondas mecânicas não podem se propagar no vácuo.

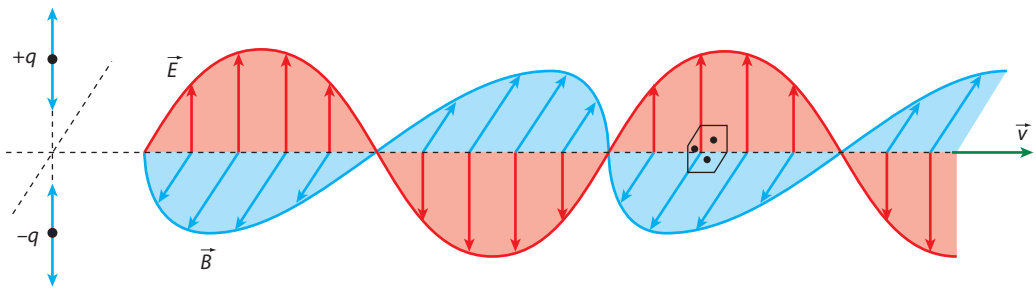
Quando perturbamos o equilíbrio dos pontos em uma região de determinado meio, afastando esses pontos da posição de equilíbrio, oscilações são geradas e transmitidas ponto a ponto através desse meio, fazendo com que outros pontos também oscilem.

São exemplos de ondas mecânicas:

- **ondas em cordas**: são as ondas produzidas pela percussão das cordas de um violão, de um violino ou de um piano;
- **ondas na superfície de um líquido**: são produzidas pela queda de algum objeto sobre a água de um lago ou pelo vento que gera ondas na superfície da água em uma represa, um lago, um rio ou em alto-mar;
- **ondas de pressão em um gás**: são provocadas por algum movimento vibratório que, ao atingir nossos tímpanos, é interpretado como som. Os sons são estudados pelo ramo da Física conhecido como Acústica.

Ondas eletromagnéticas

As ondas eletromagnéticas **não necessitam** de um meio material para se propagar e, portanto, podem se propagar no vácuo. Essas ondas são formadas por campos elétricos e magnéticos variáveis com o tempo que viajam pelo espaço transportando energia. A figura 6 mostra o modelo usado para representar a propagação de uma onda eletromagnética gerada pela oscilação de duas cargas elétricas, uma positiva, $+q$, e outra negativa, $-q$ (dipolo elétrico oscilante).



ERICSON GUILHERME LUCIANO/ ARQUIVO DA EDITORA

Figura 6. Modelo de propagação de uma onda eletromagnética.

Os vetores em vermelho representam a variação da intensidade do campo elétrico $\vec{E}$. Os vetores em azul representam a variação da intensidade do campo magnético $\vec{B}$. O vetor $\vec{v}$ representa a direção e o sentido de propagação dessa onda. Esses três vetores são ortogonais entre si.

São exemplos de ondas eletromagnéticas:

- a **luz**: que é estudada pelo ramo da Física denominado Óptica;
- as **ondas de rádio**: nome genérico dado às ondas empregadas em telecomunicações;
- as **micro-ondas**: utilizadas em telefonia e em certos eletrodomésticos;
- a radiação **infravermelha**: também conhecida como radiação térmica;
- a radiação **ultravioleta**: a que mais atinge a superfície terrestre. Apesar de benéfica aos seres vivos, pode ser danosa, dependendo do horário e do tempo de exposição;
- os **raios X**: utilizados, por exemplo, na Medicina, em diagnósticos por imagem;
- os **raios gama (γ)**: radiações de altíssima energia, em geral produzidas pela desintegração de núcleos atômicos. São as radiações eletromagnéticas mais energéticas que conhecemos.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Veja respostas e comentários no Suplemento para o professor.

Dialogando com o texto

ODS 9 CIÊNCIA E TECNOLOGIA CIDADANIA E CIVISMO

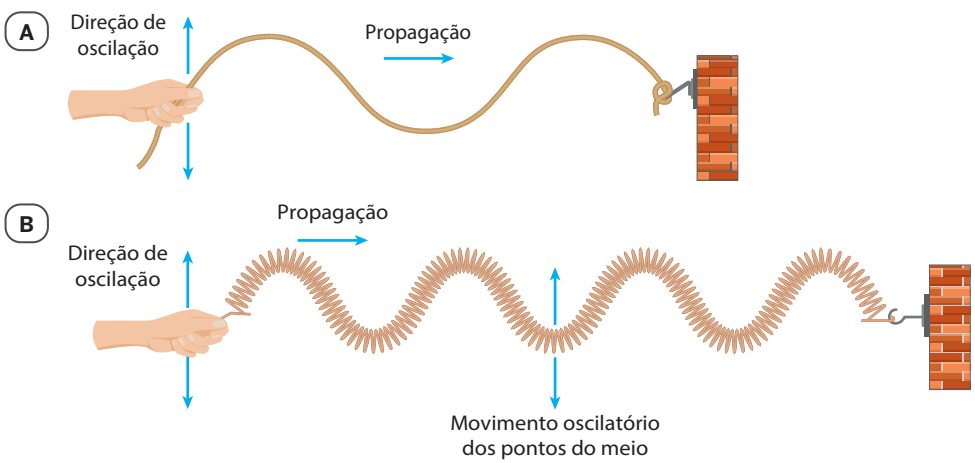
A tecnologia 5G é conhecida como a quinta geração das redes móveis. Ela representa um avanço significativo em relação à rede 4G que usávamos anteriormente. O 5G já está em uso em muitos lugares ao redor do mundo, trazendo diversas inovações e melhorias em diferentes áreas. Investigue como o 5G melhora a velocidade de conexão, a latência e a capacidade de dispositivos conectados simultaneamente. Pesquise como o 5G está sendo utilizado em diferentes setores, por exemplo: operação de robôs e máquinas conectadas, carros autônomos, gestão de tráfego em tempo real ou até mesmo mudanças em jogos de tempo real e realidade virtual (VR). Por fim, pesquise sobre as políticas públicas implantadas no Brasil para o aumento do acesso à tecnologia 5G.

4. Classificação das ondas quanto aos modos de vibração

Quanto aos modos de vibração, as ondas são classificadas em ondas transversais, longitudinais e mistas.

Ondas transversais

São aquelas cujos pontos do meio de propagação oscilam perpendicularmente à direção de propagação da onda. Ondas em cordas tensas, ondas em molas e todas as ondas eletromagnéticas são ondas transversais (Fig. 7).

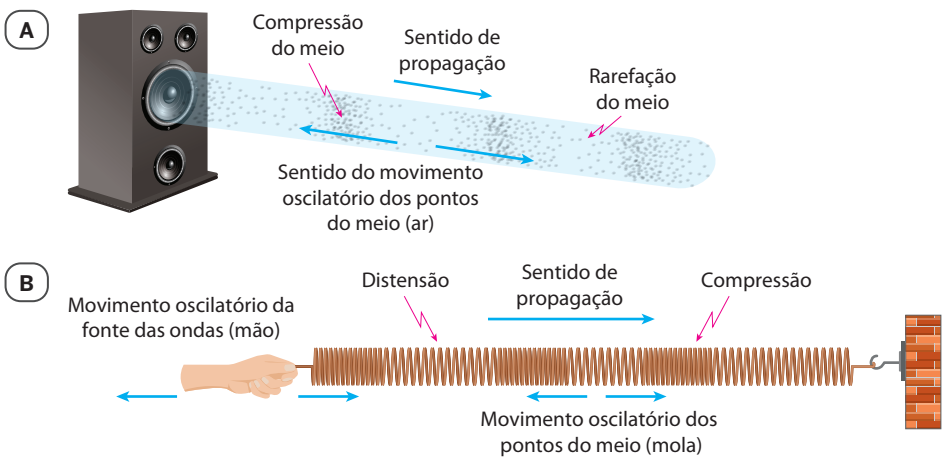


ADILSON SECCO/ARQUIVO DA EDITORA

Figura 7. Modelos de ondas transversais. (A) Onda transversal em uma corda; (B) onda transversal em uma mola helicoidal. (Representação fora de proporção; cores meramente ilustrativas.)

Ondas longitudinais

São aquelas cujos pontos do meio de propagação oscilam paralelamente à direção de propagação da onda. As ondas sonoras no ar e as ondas de compressão e distensão em uma mola helicoidal são longitudinais (Fig. 8).



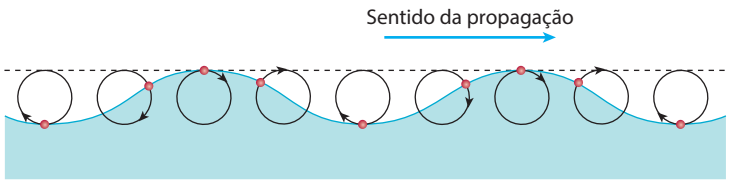
ERICSON GUILHERME LUCIANO/ARQUIVO DA EDITORA

Figura 8. Modelos de ondas longitudinais. (A) Onda sonora no ar; (B) onda longitudinal em uma mola helicoidal. (Representação fora de proporção; cores meramente ilustrativas.)

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Ondas mistas

Como o nome diz, são ondas que produzem simultaneamente oscilações transversais e longitudinais nos pontos do meio de propagação. Ondas que se propagam na superfície de águas profundas são um exemplo de ondas mistas (Fig. 9).



ERICSON GUILHERME LUCIANO/ ARQUIVO DA EDITORA

Figura 9. Modelo de ondas mistas na superfície de águas profundas. (Representação fora de proporção; cores meramente ilustrativas.)

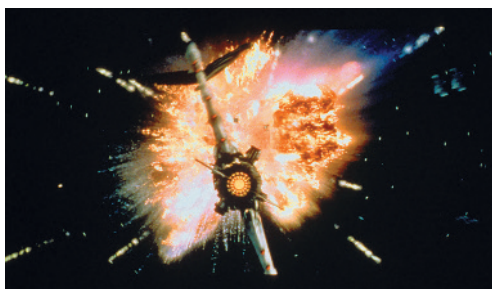
Veja respostas e comentários no Suplemento para o professor.

Aplicando conhecimentos

Registre as respostas em seu caderno.

3. Durante uma tempestade, muitas vezes vemos ao longe um relâmpago e só depois de algum tempo ouvimos o trovão. Você sabe por que isso ocorre?

4. Filmes de ficção científica são, em geral, muito interessantes, e alguns têm base científica verdadeira. Entretanto, em benefício do entretenimento, muitos filmes desse gênero cometem erros relacionados a conceitos físicos básicos. Uma cena comum em filmes que se passam no espaço é a batalha entre naves inimigas. Uma desafortunada nave, ao ser atingida por outra, explode, em um evento com emissão de luz e de som.



CINEMATIC/ALAMY/FOTOARENA

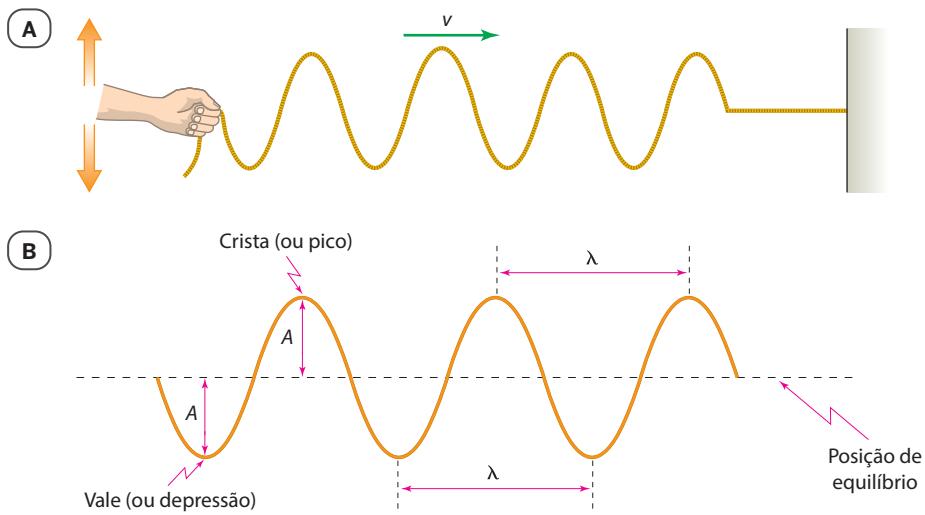
No entanto, essa cena passa uma informação conceitualmente errada para a plateia. Qual é esse erro conceitual?

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

5. Características físicas de uma onda

Uma determinada porção de matéria pode ser caracterizada pela sua massa, pelo seu volume ou por outra propriedade física ou química. Entretanto, o estudo de uma onda exige um conjunto de variáveis específicas do movimento ondulatório. Vamos analisar um trem de ondas periódicas gerado em uma corda esticada.

A figura 10 representa esquematicamente o aspecto da corda após algumas oscilações verticais da mão de uma pessoa.



ADILSON SECCO/ARQUIVO DA EDITORA

Figura 10. (A) A pessoa movimenta a mão verticalmente gerando pulsos sucessivos, que se propagam com velocidade *v*; (B) Representação da amplitude (*A*) e do comprimento de onda (λ) do trem de ondas. (Representação fora de proporção; cores meramente ilustrativas.)

O máximo de afastamento dos pontos da corda em relação à sua posição de equilíbrio é a **amplitude** (***A***) da onda (Fig. 10B). A quantidade de energia transportada por uma onda é diretamente proporcional ao quadrado da sua amplitude. Os pontos mais afastados, acima da posição de equilíbrio, recebem o nome de **crista** (ou **pico**), e os pontos mais baixos recebem o nome de **vale** (ou **depressão**).

A distância horizontal entre duas cristas ou dois vales adjacentes chama-se **comprimento de onda** (λ) (Fig. 10B). Essa é a distância percorrida pela onda durante uma oscilação completa da fonte das ondas. O intervalo de tempo decorrido durante uma oscilação completa é denominado **período da onda** (***T***). Mantendo-se constantes as condições físicas do meio de propagação da onda, a velocidade de propagação ***v*** da onda será constante nesse meio. Assim, podemos escrever:

$$\lambda = v \cdot T$$

Outra grandeza fundamental no estudo das ondas é a **frequência** (***f***), definida como a razão entre o número n de ondas completas que passam por um dado ponto do meio e o intervalo de tempo Δt decorrido durante a passagem dessas ondas. Algebricamente, temos:

$$f = \frac{n}{\Delta t}$$

O número n também é o número de oscilações completas da fonte de ondas no intervalo de tempo Δt. Portanto, a frequência de uma onda é igual à frequência da fonte que a gerou. Se considerarmos apenas uma oscilação completa, teremos $n = 1$ e $\Delta t = T$, que é o período da onda; então, podemos escrever:

$$f = \frac{1}{T}$$

Portanto, a frequência de uma onda é o inverso do seu período.

No Sistema Internacional de Unidades (SI), a unidade de medida do período é o segundo (**s**), e a da frequência é $\mathbf{s^{-1}}$, denominada **hertz** (**Hz**). Também podemos encontrar as nomenclaturas ciclos por segundo (cps) e oscilações por segundo (ops), atualmente pouco usadas.

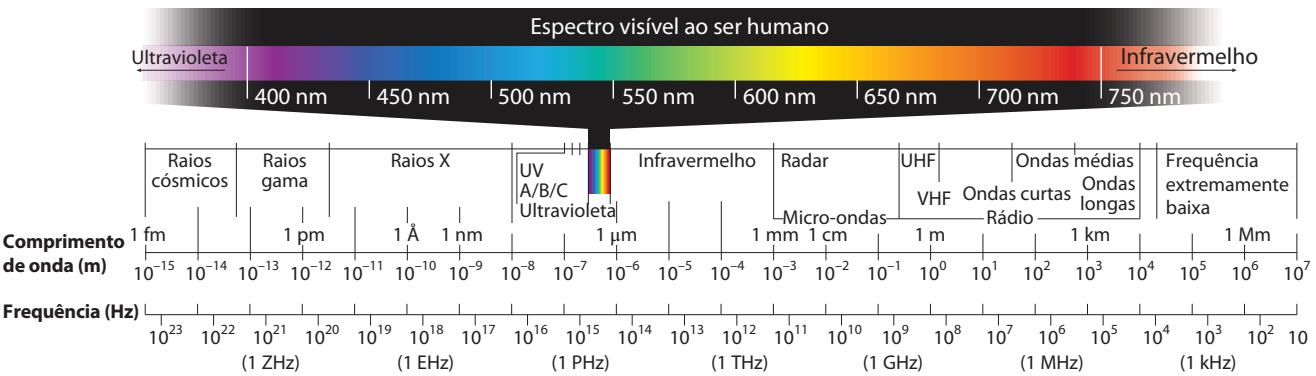
Como $f = \frac{1}{T} \Rightarrow T = \frac{1}{f}$, temos $\lambda = v \cdot T \Rightarrow \lambda = v \cdot \frac{1}{f}$. Portanto, concluimos que:

$$v = \lambda \cdot f$$

Essa equação é denominada **equação fundamental da propagação ondulatória**.

A figura 11 mostra os comprimentos de onda e as frequências das várias radiações de ondas eletromagnéticas que compõem o chamado espectro eletromagnético.

Espectro eletromagnético



ERICSON GUILHERME LUCIANO/ ARQUIVO DA EDITORA

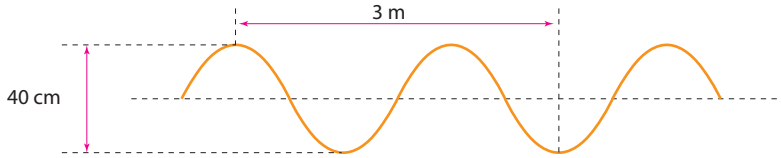
Fonte: elaborado com base em HEWITT, P. G. Física conceitual. 13. ed. Porto Alegre: Bookman, 2022.
Figura 11. Espectro eletromagnético.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

No exemplo a seguir, vamos determinar o comprimento de onda e outras características de uma onda em uma corda, a partir de sua configuração em dado instante.

Exercício resolvido

Observe a figura, que mostra um trecho de uma onda que se propaga em uma corda esticada. A fonte que gera a onda opera com frequência de 30 Hz.



Determine:

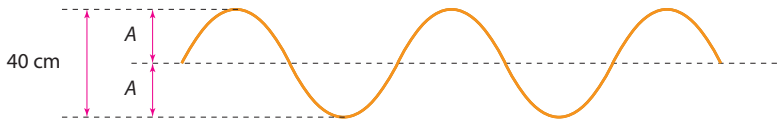
a. a amplitude da onda;

b. o comprimento de onda;

c. a velocidade de propagação da onda na corda.

Resolução

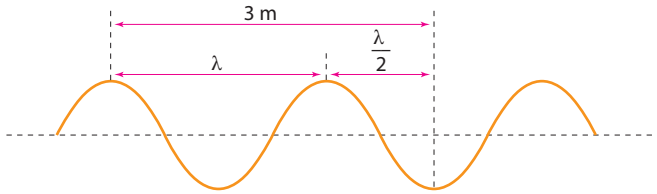
a. De acordo com a figura, temos:



Assim:

$2 \cdot A = 40 \text{ cm} \Rightarrow A = 20 \text{ cm}$

b. O comprimento de onda também pode ser obtido a partir da figura.



Assim: $\lambda + \frac{\lambda}{2} = 3 \Rightarrow \frac{3\lambda}{2} = 3 \therefore \lambda = 2 \text{ m}$

c. A velocidade de propagação da onda na corda pode ser obtida por meio da equação fundamental da propagação ondulatória. Temos $\lambda = 2$ m e $f = 30$ Hz, então:

$v = \lambda \cdot f \Rightarrow v = 2 \cdot 30 \therefore v = 60 \text{ m/s}$

Portanto, a velocidade de propagação da onda é igual a 60 m/s.

ILUSTRAÇÕES: ADILSON SECCO/ARQUIVO DA EDITORA

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Veja respostas e comentários no Suplemento para o professor.

Aplicando conhecimentos

Registre as respostas em seu caderno.

5. Responda às questões a seguir.

a. Como se chama a distância percorrida por uma perturbação durante uma oscilação completa da fonte?

b. Qual das características da onda vai variar se a fonte oscilar com mais energia, porém com a mesma frequência?

c. Qual é a relação entre a frequência f e a amplitude A de uma onda?

6. Uma corda tracionada executa 240 oscilações por minuto, quando perturbada. Cada pulso da onda nela gerado percorre 240 cm a cada segundo.

Determine para a onda nessa corda:

a. a frequência f, em Hz;

b. o intervalo de tempo Δt, em segundo, para uma oscilação completa;

c. o comprimento de onda λ.

6. Fenômenos ondulatórios

Existem fenômenos ondulatórios que são comuns a todos os tipos de ondas, sejam elas mecânicas ou eletromagnéticas, transversais ou longitudinais. Entre eles, vamos estudar: a reflexão, a refração, a difração e a interferência. Nosso estudo destacará os aspectos mais relevantes desses fenômenos.

Reflexão

Você provavelmente já assistiu ou participou de um jogo de bilhar. Um bom jogador de bilhar sabe como usar as tabelas (laterais da mesa) para encaçapar as bolas.

Quando atinge uma borda da mesa, uma bola em movimento retorna com uma velocidade que forma com a reta perpendicular a essa borda praticamente o mesmo ângulo que formava antes do choque (Fig. 12). A linha perpendicular à superfície refletora no ponto de incidência da onda recebe o nome de reta normal.

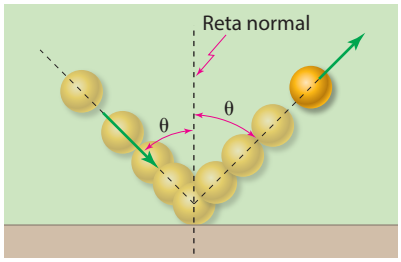


Figura 12. A bola de bilhar é refletida ao incidir na borda da mesa.

Uma onda pode ter comportamento semelhante. Sempre que atinge um obstáculo ou uma fronteira de separação entre dois meios, uma onda pode retornar total ou parcialmente para o meio no qual estava se propagando. Esse fenômeno é denominado **reflexão**. A figura 13 mostra um esquema da reflexão de frentes de onda retas em uma parede perfeitamente lisa. As frentes de onda (representadas por linhas azuis) são regiões do meio, determinadas por um conjunto de pontos, atingidas pela onda em determinado instante. As linhas perpendiculares às frentes de onda são denominadas raios da onda (representados pelas semirretas vermelhas).

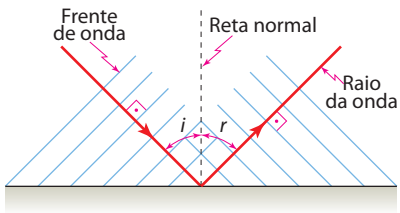


Figura 13. Modelo de ondas retas refletidas ao incidir em um obstáculo.

Na reflexão das ondas, a medida do ângulo de incidência *i*, entre o raio da onda incidente e a reta normal, é sempre igual à medida do ângulo de reflexão *r*, entre o raio da onda refletido e a reta normal:

$$i = r$$

É comum as ondas sonoras refletirem nas paredes de uma sala ou nas estruturas de um edifício e produzirem ecos e reverberações. Na ocorrência de **eco**, o som direto é ouvido distintamente, e, em seguida, o som refletido por um obstáculo é ouvido. Na **reverberação**, o som refletido chega aos nossos ouvidos antes da extinção completa do som direto. Em decorrência disso, o som direto não pode ser distinguido do som refletido, sendo ouvido apenas um som, porém com duração prolongada. Esse fenômeno pode ser facilmente percebido em um ginásio coberto quando, por exemplo, uma bola de basquete bate no piso da quadra. O som ouvido é bastante diferente do que seria produzido em uma quadra aberta, em razão das repetidas reflexões da onda sonora nas paredes, no solo e no teto do ginásio.

Ao sofrer a reflexão, a porção refletida da onda retorna para o meio no qual se propagava. Assim, a velocidade de propagação *v* da onda não se altera, pois a velocidade de propagação de uma onda depende apenas das características físicas do meio. Como a frequência de uma onda depende apenas da fonte que a gerou, podemos concluir que sua frequência *f* também não se altera durante a reflexão.

Da equação fundamental da propagação ondulatória, ($v = \lambda \cdot f$), se *v* e *f* permanecem constantes, o comprimento de onda λ também permanece constante. Portanto, concluímos que as ondas incidente e refletida têm mesma frequência ($f_1 = f_2$), mesma velocidade de propagação ($v_1 = v_2$) e mesmo comprimento de onda ($\lambda_1 = \lambda_2$).

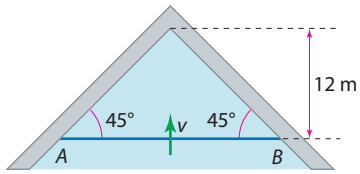
O exemplo a seguir é uma aplicação simples dos conceitos estudados até aqui.

ILUSTRAÇÕES: ADILSON SECCO/ARQUIVO DA EDITORA

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Exercício resolvido

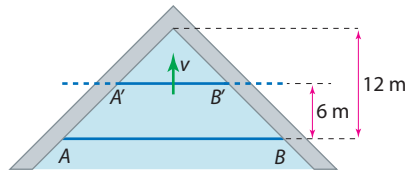
Observe a figura, que mostra, para o instante $t = 0$, uma frente de onda reta AB que se propaga pela água de um tanque com velocidade $v = 6$ m/s.



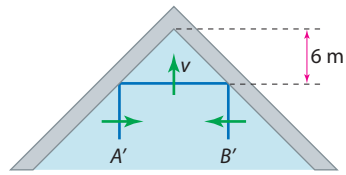
As paredes do tanque atuam como superfícies refletoras. Esboce a forma do pulso AB no instante $t = 1$ s.

Resolução

No intervalo de tempo $\Delta t = 1$ s, entre o instante $t = 0$ e o instante $t = 1$ s, a frente de onda terá percorrido uma distância $d = 6$ m, visto que a onda se propaga a 6 m/s. Se nesse intervalo de tempo a onda não tivesse sofrido reflexão, ela deveria ocupar a posição dada por $A'B'$, mostrada na figura a seguir. Nesse caso, parte da frente de onda ainda não teria atingido as paredes do tanque.



Os pontos do pulso que já teriam passado pelas paredes naturalmente seriam refletidos. Assim, a frente de onda teria a forma final mostrada a seguir.



ILUSTRAÇÕES: ADILSON SECCO/ARQUIVO DA EDITORA

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Refração

A figura 14 representa um eixo com duas rodas, retirados de um carrinho de brinquedo. Imagine que esse conjunto seja lançado sobre um piso liso e, durante o movimento, passe por cima de um tapete.

Intuitivamente sabemos que, no piso liso, a velocidade das rodas e do eixo é maior do que sobre o tapete.

Se lançarmos as rodas obliquamente em direção ao tapete, aquela que passar primeiro por cima do tapete se deslocará mais lentamente, enquanto a outra, ainda no piso liso, manterá sua velocidade. Como resultado, o eixo sofrerá um desvio e mudará a direção do movimento (Fig. 15). Em um lançamento perpendicular à borda do tapete, apesar da mudança de velocidade, a direção do movimento não se alterará, pois as duas rodas, ao passarem do piso liso para o tapete, mudarão de velocidade ao mesmo tempo.

Fenômeno semelhante ocorre quando as ondas passam de um meio para outro. A passagem de uma onda de um meio para outro, em que sua velocidade de propagação se altera, é denominada **refração**. Dependendo de como incide na fronteira que separa os dois meios, a onda pode sofrer um desvio em sua direção de propagação (como as rodas no eixo).

A refração pode ser observada, por exemplo, nas ondas do mar que arrebentam em uma praia (Fig. 16). Esse fenômeno ocorre porque a velocidade de propagação da onda é alterada com a mudança de profundidade da água. O funcionamento das lentes oftálmicas, por exemplo, tem por base a refração, pois a luz, ao passar do ar para o material da lente e deste para o ar, sofre desvios em sua direção de propagação.

Na refração, ao comparar as ondas incidente e refratada, devemos ter em mente que sua frequência não sofre nenhuma alteração ($f_1 = f_2$), pois depende apenas da fonte que gera a onda. Como a velocidade de propagação da onda muda de um meio para outro ($v_1 \neq v_2$), o comprimento de onda também se modifica ($\lambda_1 \neq \lambda_2$).

Nesse fenômeno, o comprimento de onda λ é diretamente proporcional à velocidade de propagação v da onda, pois $v = \lambda \cdot f$ e f é constante. Assim, se a velocidade de propagação da onda aumenta, seu comprimento de onda também aumenta, na mesma proporção.

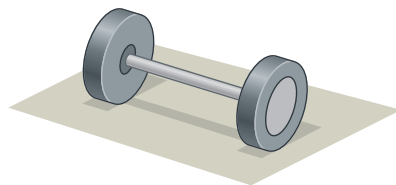
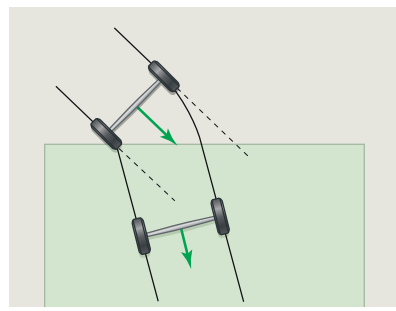
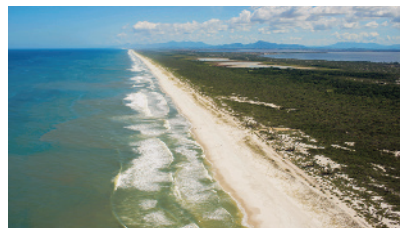


Figura 14. As rodas, ligadas ao eixo, podem girar independentemente uma da outra.



ILUSTRAÇÕES: ADILSON SECCO/ARQUIVO DA EDITORA

Figura 15. A mudança da velocidade da roda provoca uma alteração na direção em que o eixo se desloca.



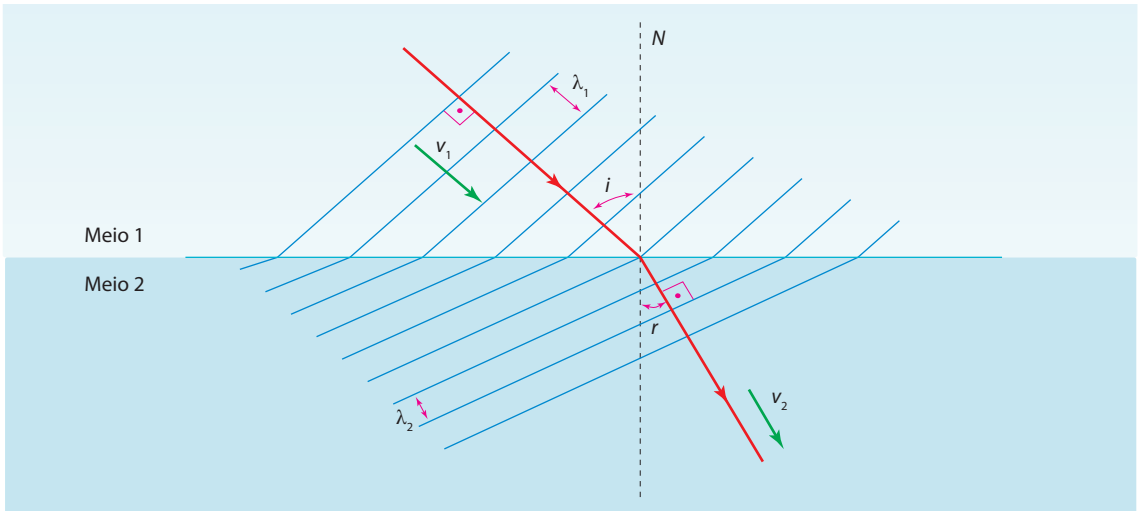
RICARDO AZOURY/PULSAR IMAGENS

Figura 16. Ao se aproximar da praia, as ondas têm sua velocidade alterada e, por isso, refratam-se, com alteração no comprimento de onda. (Arraial do Cabo, Rio de Janeiro, 2015.)

As medidas do ângulo de incidência *i* e do ângulo de refração *r*, ambos em relação à reta normal à superfície de separação dos meios, estão relacionadas entre si pela **lei de Snell-Descartes**:

$$\frac{\text{sen } i}{\text{sen } r} = \frac{v_1}{v_2} = \frac{\lambda_1}{\lambda_2}$$

A figura 17 mostra um esquema com os elementos característicos da refração de uma onda. Os segmentos de reta paralelos entre si são as **frentes de onda**.



ADILSON SECCO/ARQUIVO DA EDITORA

Figura 17. Na refração, para uma incidência oblíqua, se a velocidade da onda diminui, o raio da onda aproxima-se da reta normal *N*.

Como regra, podemos dizer que a medida do ângulo de refração *r*, entre a reta normal à superfície de separação dos meios e o raio da onda refratado, aumentará se a velocidade de propagação da onda aumentar; se a velocidade de propagação da onda diminuir, a medida do ângulo *r* também diminuirá. A exceção a essa regra ocorre quando a onda incide perpendicularmente à superfície de separação dos meios ($i = 0$). Nesse caso, a onda se refrata sem desvio ($r = 0$), mas com alteração na velocidade de propagação.

É importante ressaltar o fato de que, ao passar de um meio para outro, parte da onda incidente é necessariamente refletida. Os exames médicos por imagem que utilizam ondas mecânicas, como as ultrassonografias, e ondas eletromagnéticas, como as tomografias por raios X, baseiam-se nesse fato.

O exemplo a seguir mostra uma aplicação da teoria sobre refração.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Exercício resolvido

Considere uma perturbação periódica que se propaga em um meio 1 com velocidade de 2 m/s e comprimento de onda de 0,5 m. Essa onda incide na superfície de separação entre o meio 1 e o meio 2 e, ao passar para o meio 2, propaga-se com velocidade de 1,6 m/s. Determine:

a. a frequência da onda;

b. o comprimento de onda da onda no meio 2.

Resolução

a. Seja $v_1 = 2$ m/s e $\lambda_1 = 0{,}5$ m. Da equação fundamental da propagação ondulatória, temos:

$$v = \lambda \cdot f \Rightarrow 2 = 0{,}5 \cdot f_1 \Rightarrow f_1 = \frac{2}{0{,}5} \therefore f_1 = 4 \text{ Hz}$$

Sabemos que a frequência de uma onda não se altera quando a onda sofre refração. Então, a frequência dessa onda é $f_1 = f_2 = 4$ Hz.

b. Mais uma vez, da equação fundamental da propagação ondulatória, temos:

$$v = \lambda \cdot f \Rightarrow 1{,}6 = \lambda_2 \cdot 4 \Rightarrow \lambda_2 = \frac{1{,}6}{4} \therefore \lambda_2 = 0{,}4 \text{ m}$$

Assim, o comprimento de onda da onda no meio 2 é de 0,4 m.

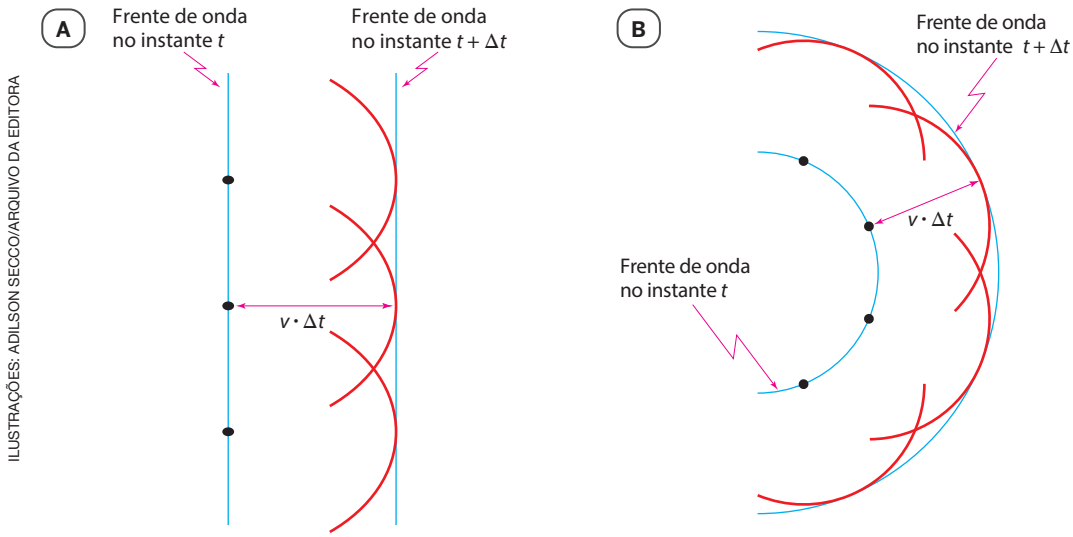
Difração

Difração é o nome dado à capacidade de uma onda de transpor ou contornar obstáculos, como objetos ou fendas. Esse fenômeno foi observado e estudado pelo padre jesuíta italiano Francesco Maria Grimaldi (1618-1663), criador do termo difração.

Em 1678, o físico holandês Christiaan Huygens (1629-1695) enunciou um princípio, conhecido hoje como **princípio de Huygens**, para explicar a difração da luz. De acordo com o princípio de Huygens:

> Cada ponto do meio atingido por uma frente de onda em um dado instante t comporta-se como uma fonte de ondas secundárias com as mesmas características da onda que se propaga. A nova frente de onda, em um instante posterior $t + \Delta t$, é determinada pela linha ou superfície que tangencia essas ondas secundárias.

A figura 18 ilustra esquematicamente o princípio de Huygens para uma frente de onda reta e uma frente de onda circular.



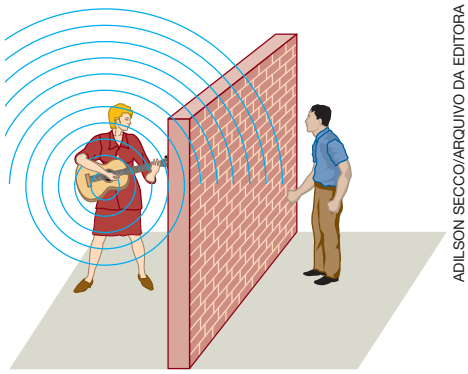
ILUSTRAÇÕES: ADILSON SECCO/ARQUIVO DA EDITORA

Figura 18. Representação do princípio de Huygens. (A) Para uma frente de onda reta; (B) para uma frente de onda circular.

Assim, a capacidade de uma onda transpor um obstáculo (objeto ou fenda), propagando-se além dele, pode ser explicada pelo fato de pontos da frente de onda que atinge o obstáculo comportarem-se como fontes de ondas secundárias.

O fenômeno da difração ocorre quando o comprimento de onda de uma onda tem a mesma ordem de grandeza que as dimensões do obstáculo a ser transposto; por isso, embora todas as ondas possam sofrer difração, esse fenômeno é percebido mais facilmente em determinadas situações. As ondas sonoras, por exemplo, têm grandes comprimentos de onda e podem transpor grandes obstáculos. Por esse motivo, você pode ouvir o som emitido por uma pessoa do outro lado de um muro, apesar de não poder vê-la (Fig. 19).

Os comprimentos de onda da luz são muito pequenos, da ordem de 10^{-6} m. Assim, a difração da luz é mais difícil de ser percebida no dia a dia, pois ocorre quando a luz passa por fendas muito estreitas ou quando transpõe minúsculos obstáculos. A luz branca sofre difração nas fibras de uma teia de aranha, por exemplo, decompondo-se em suas cores componentes (Fig. 20).



ADILSON SECCO/ARQUIVO DA EDITORA

Figura 19. A pessoa à direita do muro ouve o som emitido pelo instrumento tocado pela pessoa à esquerda, mas não a vê.

CRAIG TUTTLE/CORBIS/GETTY IMAGES

Figura 20. Difração da luz que ocorre nas fibras de uma teia de aranha.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Interferência

Suponha que você e um colega mantenham uma corda esticada, cada um segurando uma das extremidades. Se cada um de vocês, realizando um movimento, produzir um pulso de onda (Fig. 21A), os pulsos produzidos se propagarão pela corda e inevitavelmente se encontrarão. No instante em que esses pulsos se encontrarem, haverá uma sobreposição de seus efeitos individuais. Essa sobreposição de efeitos é denominada **interferência**.

Se, durante a sobreposição, os pulsos se reforçam, ocorrerá uma **interferência construtiva** (**IC**) (Fig. 21B). Dizemos que os pulsos produzidos individualmente pelas fontes, nessa situação, estão **em concordância de fase** ou, simplesmente, **em fase**. Após a interferência, cada pulso continua a se propagar, em sentidos contrários, com as mesmas características iniciais, sem nenhuma alteração (Fig. 21C).

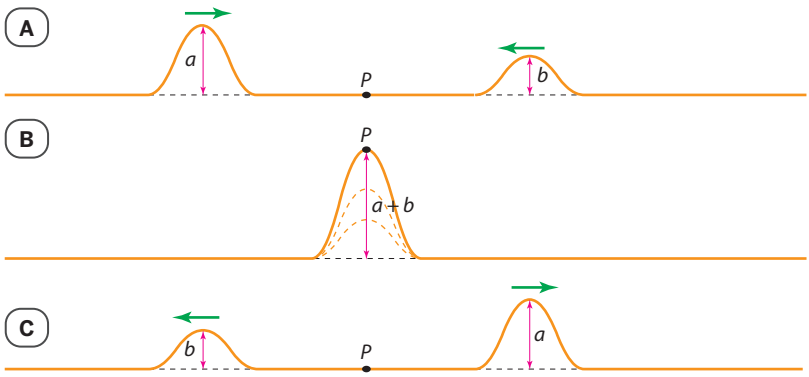


Figura 21. Representação da interferência construtiva entre dois pulsos de onda. Durante a interferência construtiva, a perturbação se reforça (com a soma das amplitudes dos pulsos de onda).

Podemos ter também uma situação em que os pulsos se cancelam total ou parcialmente. Nesse caso, a interferência é chamada de **interferência destrutiva** (**ID**) (Fig. 22).

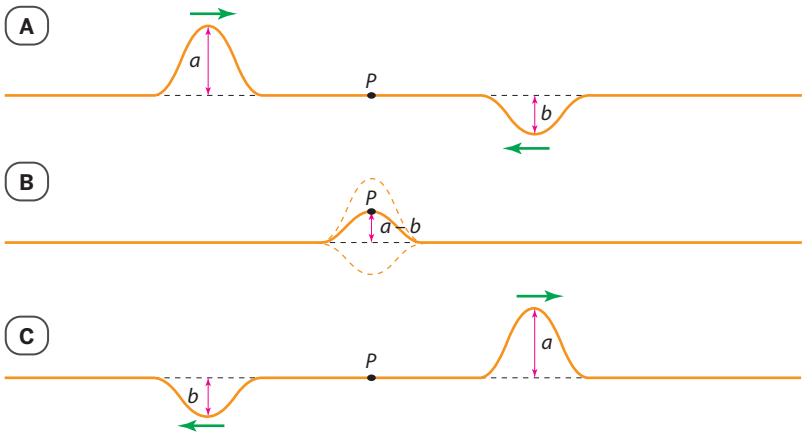


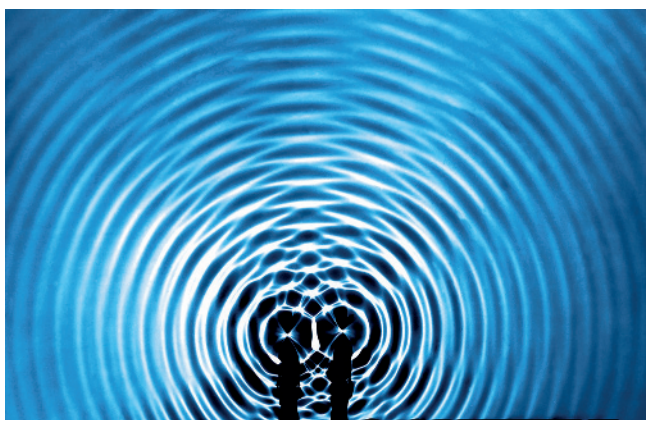
Figura 22. Representação da interferência destrutiva entre dois pulsos de onda. Durante a interferência destrutiva, a perturbação se cancela total ou parcialmente (com a diferença entre a maior e a menor amplitude dos pulsos de onda).

ILUSTRAÇÕES: ADILSON SECCO/ARQUIVO DA EDITORA

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Dizemos que os pulsos produzidos, nessa situação, estão em **oposição de fase**. Se as amplitudes *a* e *b* dos pulsos forem iguais, no instante da superposição eles se anularão. Dizemos, então, que a interferência é **totalmente destrutiva**. Observe que, também nesse caso, cada pulso continua se propagando após a interferência, independentemente do outro.

A figura 23 mostra a interferência de ondas circulares que se propagam na superfície de um líquido. As linhas circulares representam, alternadamente, cristas e vales. Note que, no encontro de duas cristas ou de dois vales, a interferência é construtiva. No encontro da crista de uma onda com o vale da outra, a interferência é destrutiva.



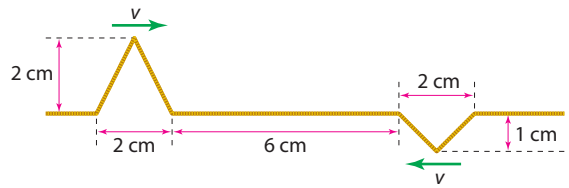
BERENICE ABBOTT/PHOTO RESEARCHES/FOTOARENA

Figura 23. Interferências construtivas e destrutivas de ondas na superfície da água de um tanque de ondas.

Vamos aplicar os conceitos sobre interferência no exemplo a seguir.

Exercício resolvido

A figura a seguir representa dois pulsos de onda, inicialmente separados por 6 cm, e que se propagam em uma corda, em sentidos opostos, com velocidade $v = 2$ cm/s.

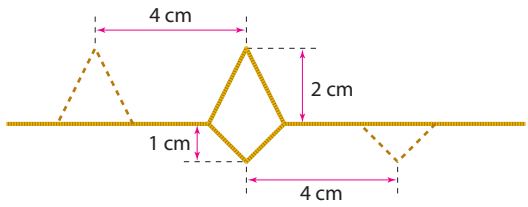


Determine o aspecto que a corda terá 2 s mais tarde.

Resolução

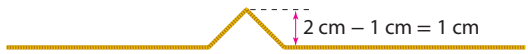
Vamos, inicialmente, determinar a posição de cada pulso no instante solicitado. Como a velocidade dos pulsos é de 2 cm/s, em 2 s cada pulso terá se deslocado 4 cm.

Assim, depois de 2 s, os pulsos estarão superpostos, como mostrado a seguir:



ILUSTRAÇÕES: ADILSON SECCO/ ARQUIVO DA EDITORA

Note que a interferência será destrutiva e que a superposição dará à corda o seguinte aspecto:



Polarização

A **polarização** é um fenômeno que pode ocorrer apenas com ondas transversais, aquelas em que a direção de vibração é perpendicular à direção de propagação da onda, como as ondas eletromagnéticas. As ondas sonoras que se propagam no ar são ondas longitudinais e, por esse motivo, não podem ser polarizadas.

A figura 24 mostra ondas transversais propagando-se em uma corda. Note que a extremidade da corda na mão do operador pode vibrar para cima e para baixo (Fig. 24A), para a esquerda e para a direita (Fig. 24B) ou em qualquer direção perpendicular à direção de propagação da onda.

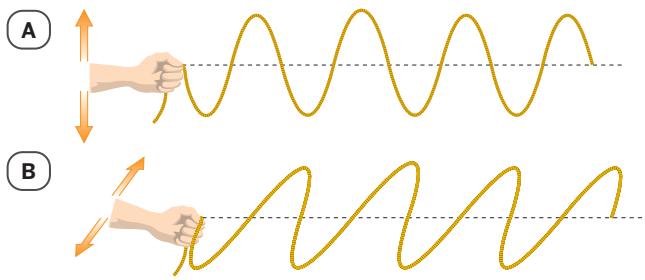


Figura 24. Representação de uma onda transversal propagando-se em uma corda, considerando dois planos de vibração diferentes para os pontos da corda. (Representação fora de proporção; cores meramente ilustrativas.)

A figura 25 representa esquematicamente a polarização de uma onda mecânica. Uma onda não polarizada é produzida em uma corda e, em seguida, passa entre as ripas verticais de uma cerca. Observe que, após passar pela cerca, os pontos da corda começam a vibrar em uma só direção, no plano vertical. Dizemos que, após a cerca, a onda está polarizada, e a cerca é o **polarizador** das ondas, também denominado **polaroide**.

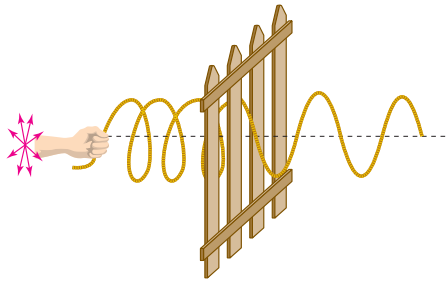
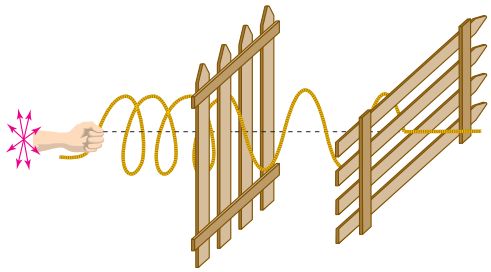


Figura 25. Após passar pela fenda, entre as ripas, os pontos da corda passam a vibrar apenas no plano vertical. Assim, ao passar pela cerca, a onda é polarizada na direção vertical. (Representação fora de proporção; cores meramente ilustrativas.)

ILUSTRAÇÕES: ADILSON SECCO/ARQUIVO DA EDITORA

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Se for colocada uma segunda cerca, com as ripas horizontais, isto é, perpendiculares às ripas da primeira cerca, a onda polarizada não conseguirá passar por esse segundo conjunto de ripas, como se vê no esquema da figura 26. O segundo conjunto de "ripas polarizadoras" é o **analisador**.



ADILSON SECCO/ARQUIVO DA EDITORA

Figura 26. Uma segunda cerca pode ser usada para verificar se a onda estava polarizada. (Representação fora de proporção; cores meramente ilustrativas.)

Esse esquema explica simplificadamente a polarização de ondas mecânicas transversais.

Nas ondas longitudinais, a direção de vibração das partículas do meio coincide com a direção de propagação da onda, e, portanto, esse tipo de onda não pode ser polarizado.

A luz natural pode ser polarizada por reflexão em placas de vidro ou em poças de água sob determinados ângulos de incidência. Filtros polarizadores são muito utilizados em fotografia para diminuir o brilho intenso resultante da reflexão da luz em determinadas superfícies (Fig. 27).

FOTOS: EDUARDO SANTALIESTRA/ARQUIVO DA EDITORA

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Figura 27. (A) Fotografia obtida com câmera sem filtro polarizador; (B) fotografia obtida com câmera equipada com filtro polarizador.

Exercício resolvido

Quais são os inconvenientes de usar óculos com lentes polarizadoras para dirigir ou para praticar determinados esportes na neve?

Resolução

Nos veículos modernos, muitos dos dispositivos eletrônicos do painel têm visores de cristal líquido, que refletem luz polarizada para que sejam lidos. Portanto, as lentes polarizadoras podem tornar difícil enxergar ou entender o que o painel indica.

Na prática de esportes na neve, usando tais óculos, um esquiador, por exemplo, pode correr riscos por ter dificuldade em diferenciar uma poça de água (neve fundida) de uma mancha lisa no gelo (superfície sólida).

Veja respostas e comentários no Suplemento para o professor.

Aplicando conhecimentos

Registre as respostas em seu caderno.

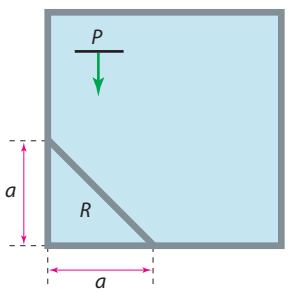
7. Para um ser humano distinguir dois sons que chegam às suas orelhas, é necessário um intervalo de tempo mínimo de 0,1 s. Assim, considerando que a velocidade de propagação do som no ar é igual a 340 m/s, uma pessoa só conseguirá perceber o eco de sua voz no ar se a distância entre ela e o obstáculo refletor for de, pelo menos, 17 m.

a. Como se chegou a esse valor para a distância entre a pessoa e o obstáculo refletor?

b. Considere agora que um mergulhador na água, meio no qual o som se propaga a 1.600 m/s, bate com um objeto em uma pedra. Qual deverá ser a distância mínima entre esse mergulhador e um obstáculo refletor para que ele perceba o eco da batida?

8. Observe a figura, que representa a superfície da água contida em um recipiente e um pulso de onda reto *P* que se propaga em direção ao obstáculo refletor *R*.

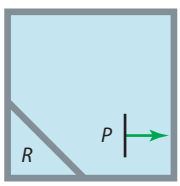
8. a



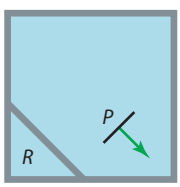
ADILSON SECCO/ARQUIVO DA EDITORA

A seta indica o sentido de propagação do pulso *P*. Identifique a alternativa que melhor representa a posição do pulso de onda na superfície do líquido após sua reflexão no obstáculo *R*.

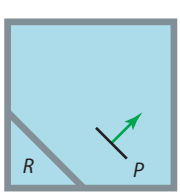
a.



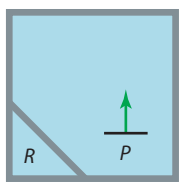
b.



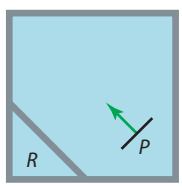
c.



d.

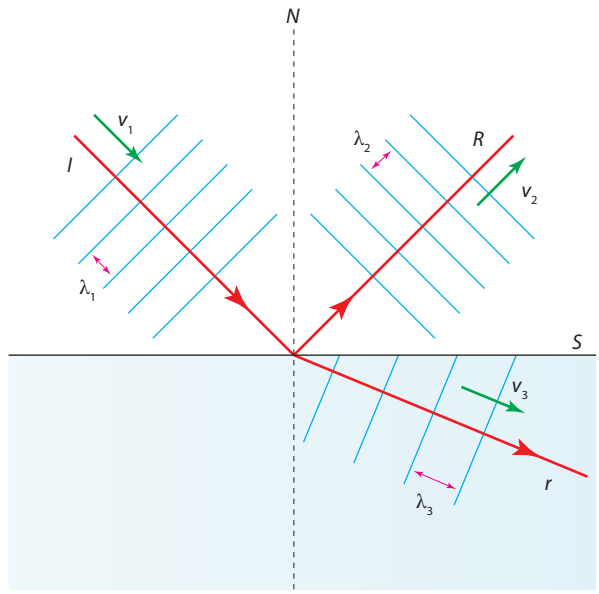


e.



ILUSTRAÇÕES: ADILSON SECCO/ARQUIVO DA EDITORA

9. O esquema a seguir representa uma onda incidente *I* que atinge a superfície de separação *S* entre dois meios, gerando a onda refletida *R* e a onda refratada *r*. A linha tracejada representa a reta normal *N* à superfície de separação *S*. As velocidades de propagação dessas ondas são v_1, v_2 e v_3, e seus comprimentos de onda são λ_1, λ_2 e λ_3, respectivamente.



ADILSON SECCO/ARQUIVO DA EDITORA

Sabendo que o meio de incidência é o ar e que o outro meio é a água, podemos, a partir da figura, inferir que a onda incidente é mecânica ou eletromagnética? Em caso afirmativo, especifique a natureza dessa onda.

10. Duas pessoas conversam, paradas diante de um muro, sendo ouvidas por uma terceira, que está do outro lado e não pode vê-las. Sobre essa situação, responda:

a. Qual é o fenômeno ondulatório que a explica?

b. Esse fenômeno, em determinada condição, pode ocorrer com qualquer tipo de onda. Qual é essa condição?

c. Qual é a razão de se poder ouvir e não se poder ver as pessoas que conversam do outro lado do muro?

11. O que nos permite modelar as ondas eletromagnéticas como ondas transversais é o fato de:

11. a

a. poderem ser polarizadas.

b. sofrerem interferência.

c. refratarem de um meio para outro.

d. nunca sofrerem difração.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Veja respostas e comentários no Suplemento para o professor.

MUNDO DO TRABALHO

Classificação Brasileira de Ocupações

Já falamos sobre trabalho, emprego e carreira. E profissão, o que é?

Podemos dizer que profissão é uma atividade especializada, voltada para as necessidades específicas de uma comunidade ou um grupo social, realizada por um indivíduo detentor de conhecimento técnico e prático. Por exemplo, uma pessoa que se formou em Engenharia pode trabalhar com desenvolvimento e gestão de projetos e consultoria técnica, porque sua formação a capacita a desempenhar tais atividades.

A **Classificação Brasileira de Ocupações** (CBO) é o documento oficial do governo que lista as chamadas **profissões reconhecidas**. Existem também as **profissões regulamentadas**, que, além de reconhecidas, têm leis próprias elaboradas pelo Congresso Nacional, as quais garantem, entre outros direitos, piso salarial (remuneração mínima que o profissional deve receber), jornada de trabalho (duração do trabalho diário) e adicionais (normas para remuneração por trabalho extra). Na CBO, a profissão "atleta de *skate*" foi recentemente incluída, portanto, reconhecida e pertence a uma família de ocupações denominada "atletas profissionais".

Em duplas, respondam às questões a seguir:

1. Analisem as "características de trabalho" e "áreas de atividades" elencadas na CBO para "atletas profissionais" e descrevam quais aspectos dessa profissão lhes parecem mais desafiadores.

Condições gerais de exercício

Os profissionais trabalham em clubes, agremiações esportivas, academias, órgãos da administração pública afetos aos esportes, no ensino etc. Não há regras comuns para todas as modalidades de esporte. Para obterem a profissionalização, seguem regras específicas das agremiações esportivas a que se vinculam, construindo, portanto, trajetórias diferenciadas, baseadas em diferentes combinações entre tempo de exercício do esporte, participação em jogos e eventos, premiações etc. A maioria trabalha como autônomo, em horários irregulares. Em algumas atividades, alguns profissionais podem estar submetidos a condições especiais de trabalho, como pressão psicológica, ruído intenso e altas temperaturas, bem como permanecer por longos períodos em posições desconfortáveis.

Formação e experiência

A escolaridade formal não é pré-condição para o exercício das ocupações desta família. A formação prática dos atletas profissionais pode se dar tanto por meio de treinos e exercícios realizados individual e/ou coletivamente, em geral, com a supervisão de treinadores ou técnicos, como por meio de participação em provas, competições, jogos e certames. A(s) ocupação(ões) elencada(s) nesta família ocupacional demandam formação profissional para efeitos do cálculo do número de aprendizes a serem contratados pelos estabelecimentos, nos termos do artigo 429 da Consolidação das Leis do Trabalho – CLT, exceto os casos previstos no art. 10 do decreto 5.598/2005.

Fonte: BRASIL. Ministério do Trabalho e Emprego. **Classificação Brasileira de Ocupações**. 3. ed. Brasília, DF: MTE, 2010, v. 1. p. 677-679.

2. Competências pessoais são aptidões relacionadas à personalidade de uma pessoa que influenciam de forma positiva o seu desempenho no trabalho. A seguir estão as competências pessoais elencadas pela CBO para a profissão "atleta profissional".

Competências pessoais elencadas na CBO para a profissão atletas profissionais

1. Ser ético
2. Respeitar técnico, árbitros e atletas
3. Trabalhar em equipe
4. Manter autoestima
5. Manter o equilíbrio emocional
6. Manter autoconfiança
7. Ser disciplinado
8. Ser determinado
9. Adequar-se ao estilo de vida exigido pela profissão
10. Tomar decisões
11. Ter espírito de liderança
12. Ter humildade
13. Ter garra
14. Ser dedicado
15. Participar de programas sociais
16. Dominar o idioma português
17. Ter perseverança
18. Ser sociável
19. Manter boa relação com os meios de comunicação
20. Ter capacidade de lidar com a derrota
21. Ter seriedade

Fonte: BRASIL. Ministério do Trabalho e Emprego. **Classificação Brasileira de Ocupações**. 3. ed. Brasília, DF: MTE, 2010, v. 1. p. 677-679.

Individualmente, escolha 5 competências pessoais dentre as apresentadas que julgue mais importantes. Em seguida, compare e discuta as competências selecionadas com sua dupla. Justifiquem suas escolhas.

3. Para ser um atleta profissional, não é obrigatório ter escolaridade formal, enquanto para outras ocupações é necessário ter completado o Ensino Fundamental, o Ensino Médio ou ainda um curso técnico de nível médio ou uma graduação em nível superior. Refletindo sobre suas preferências, as caraterísticas das profissões que agradam e as competências que elas mobilizam, você já pensou em realizar algum curso para se qualificar profissionalmente? Pesquise se há um curso de seu interesse ofertado em alguma instituição na sua cidade ou comunidade.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Veja respostas e comentários no Suplemento para o professor.

Atividades finais

Registre as respostas em seu caderno.

1. Ao observar um surfista em uma onda, temos a nítida impressão de que ele é levado pela onda até o local de arrebentação, próximo da areia da praia.

1. d

Essa impressão:

a. é correta, pois as ondas transportam matéria e transmitem energia.

b. é falsa, pois o surfista chega à orla da praia por causa de seu impulso inicial.

c. é falsa, pois o surfista é levado até a areia pelo vento que sopra no sentido do mar para a terra.

d. é falsa, pois o surfista apenas usa a superfície da água como rampa, movendo-se pela ação da gravidade.

e. é correta, pois o surfista tem velocidade de deslocamento igual à velocidade de propagação da onda.

2. Nos terremotos, dois tipos de ondas sísmicas são gerados: as ondas de deslocamento, que viajam com velocidades v_D da ordem de 5 km/s e são transversais; e as ondas de pressão, que viajam com velocidades v_P da ordem de 9 km/s e são longitudinais.

As ondas de pressão chegam antes às estações sismológicas, por esse motivo são chamadas de ondas primárias (P), e as ondas de deslocamento, como chegam depois, são chamadas de ondas secundárias (S). De acordo com essas informações, responda às questões.

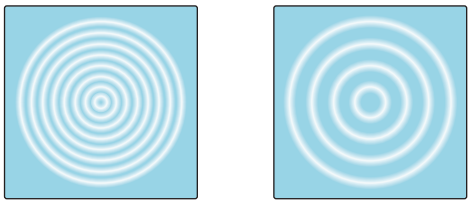
a. Qual é a natureza das ondas geradas nos terremotos: mecânica ou eletromagnética?

b. Em um estádio de futebol, algumas vezes a torcida, alegre, inicia a brincadeira chamada ola, produzindo um efeito semelhante a uma das ondas geradas em um terremoto. De qual delas estamos falando, da onda longitudinal ou da onda transversal?

c. Conhecidas as velocidades v_D e v_P das ondas ao chegar à superfície terrestre, o que os pesquisadores precisam medir para poder calcular a distância D entre o posto de monitoramento de abalos sísmicos e a projeção do ponto de origem do abalo sobre a superfície terrestre, o epicentro?

d. Qual é o número mínimo de postos de monitoramento necessários para se localizar o epicentro?

3. As figuras a seguir mostram cristas de onda (linhas brancas) geradas pela colisão da ponta de uma pequena haste com a superfície da água de um tanque, em dois experimentos sucessivos.



Experimento 1 **Experimento 2**

ADILSON SECCO/ARQUIVO DA EDITORA

Considere que as cristas foram geradas no mesmo intervalo de tempo e responda:

a. Por que no experimento 2 foram geradas menos cristas? Qual grandeza física foi alterada ao passar do experimento 1 para o experimento 2?

b. Qual é o valor da razão $\frac{f_1}{f_2}$ entre as frequências da fonte nos experimentos 1 e 2?

c. Qual é a grandeza que certamente não se alterou de um experimento para o outro?

4. Um pescador observa que, a cada 3 s, passa uma crista de onda pela proa de seu barco ancorado. Ele também observa que, em dado instante, há uma crista na proa, outra no ponto médio e outra na popa do seu barco de 12 m. Qual é a velocidade de propagação dessa onda?

5. Ondas sonoras propagam-se no ar a 20 °C com velocidade de 340 m/s. Na água a 25 °C, a velocidade de propagação dessas ondas é igual a 1.500 m/s. Considere uma onda sonora de comprimento de onda 17 m que se propaga do ar para a água, estando esses meios nas condições descritas anteriormente. Determine para essa onda:

a. a frequência;

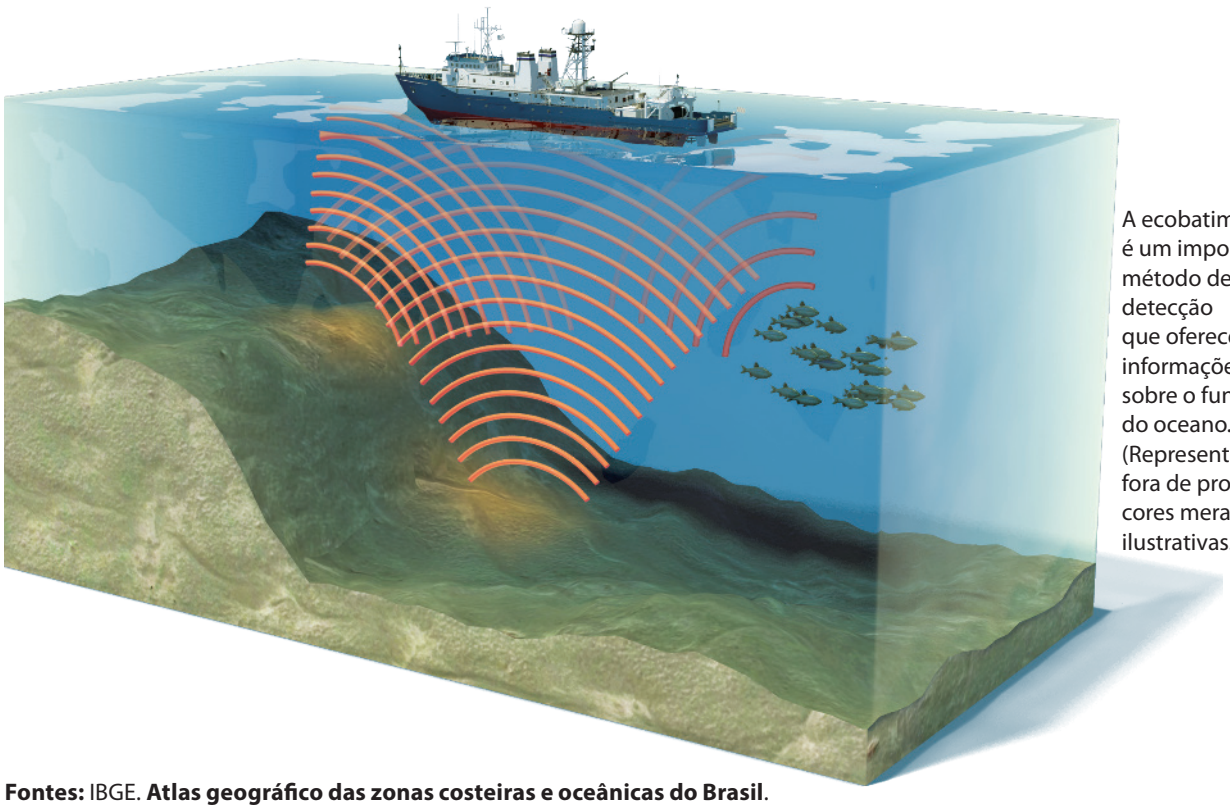
b. o comprimento de onda na água.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

CAPÍTULO 15

Acústica

O assunto deste capítulo também é trabalhado no capítulo 16 do volume de Biologia desta coleção.



MARCUS PENNA/ARQUIVO DA EDITORA

A ecobatimetria é um importante método de detecção que oferece informações sobre o fundo do oceano. (Representação fora de proporção; cores meramente ilustrativas.)

Fontes: IBGE. **Atlas geográfico das zonas costeiras e oceânicas do Brasil**. Rio de Janeiro: IBGE, 2011. L3 COMMUNICATIONS SEABEAM INSTRUMENTS. **Multibeam Sonar**: theory of operation. Walpole, 2000. U.S. GEOLOGICAL SURVEY (USGS). USGS Woods Hole Coastal and Marine Science Center. 2024. Disponível em: https://www.usgs.gov/centers/whcmsc. Acesso em: 17 jul. 2024.

A ecobatimetria é uma técnica de medição da profundidade de rios, lagos e oceanos pela emissão de pulsos sonoros e pela interpretação dos dados dos pulsos refletidos (ecos). Esse método de detecção oferece informações importantes para a navegação, a exploração de recursos no fundo do mar, como petróleo e gás natural, a atividade pesqueira e as pesquisas sobre os processos geológicos da Terra, entre outros estudos.

O ecobatímetro consiste em um hidrofone, instalado em um navio, que emite um pulso de onda sonora com uma frequência conhecida. Um novo pulso só é emitido depois que o anterior retornou ao hidrofone. Após a emissão de vários pulsos, as informações batimétricas coletadas são compiladas em uma única imagem, bidimensional ou tridimensional, por um computador. Sabendo a profundidade da água em cada ponto, é possível montar mapas para estudo do relevo do leito marinho.

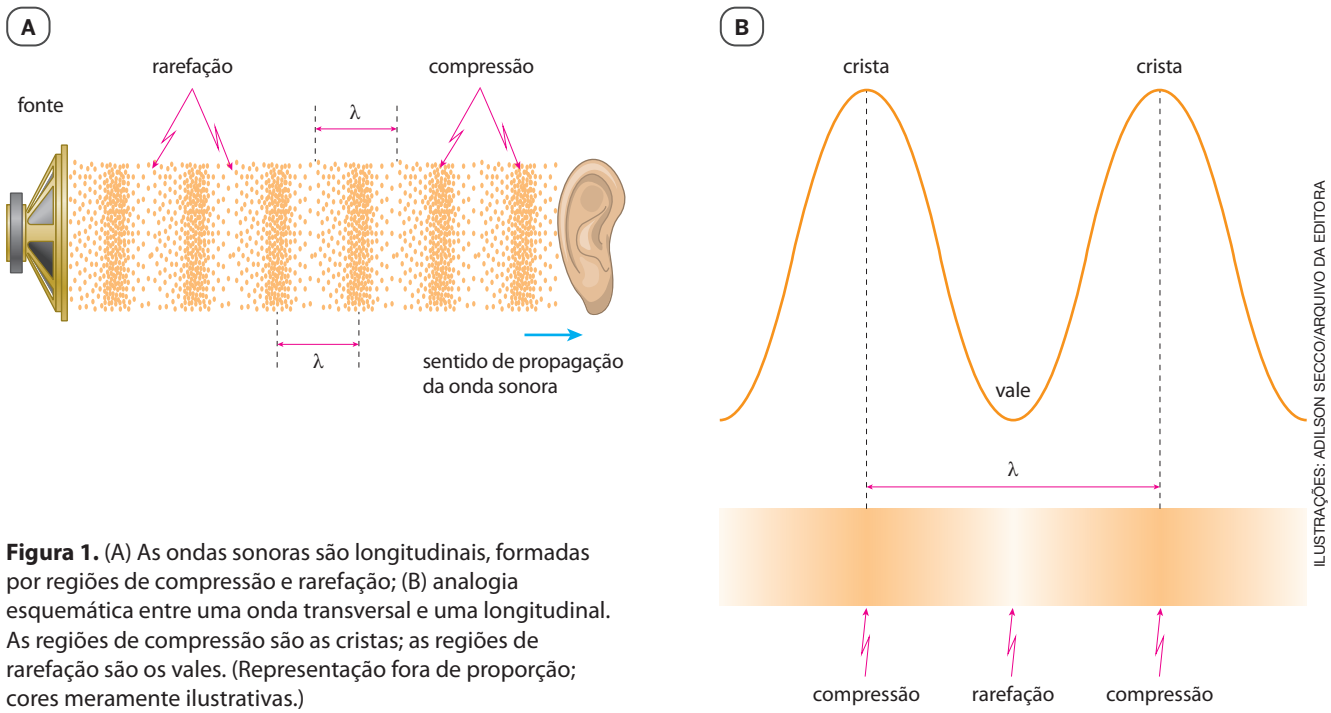
Neste capítulo, estudaremos algumas propriedades específicas das ondas sonoras, suas principais qualidades fisiológicas e algumas aplicações práticas das ondas infra e ultrassônicas, como a ecolocalização aérea e subaquática e a comunicação entre animais. Também serão estudadas algumas fontes que geram essas ondas e os principais fenômenos ondulatórios a elas relacionados. Embora o som possa se propagar em qualquer meio material, nosso estudo dará maior ênfase à propagação do som no ar.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

1. Som, infrassom e ultrassom

De modo geral, sons são ondas de pressão que se propagam através de meios materiais, produzindo oscilações nas partículas desses meios, o que provoca uma vibração nos tímpanos com a mesma frequência dessas ondas, e é por meio desse processo que ouvimos os sons.

Nos gases, as frentes de ondas sonoras são regiões de compressão e rarefação geradas pelas vibrações de algum tipo de fonte. Na figura 1, as compressões e rarefações do ar (meio) são originadas pelas vibrações da membrana do alto-falante (fonte). Nas regiões de compressão, a pressão do ar fica um pouco acima do nível normal da pressão do ar no ambiente. Nas regiões de rarefação, a pressão do ar fica um pouco abaixo do nível normal da pressão do ar no ambiente. A distância entre duas regiões consecutivas de compressão ou de rarefação é o comprimento de onda (λ) do som.

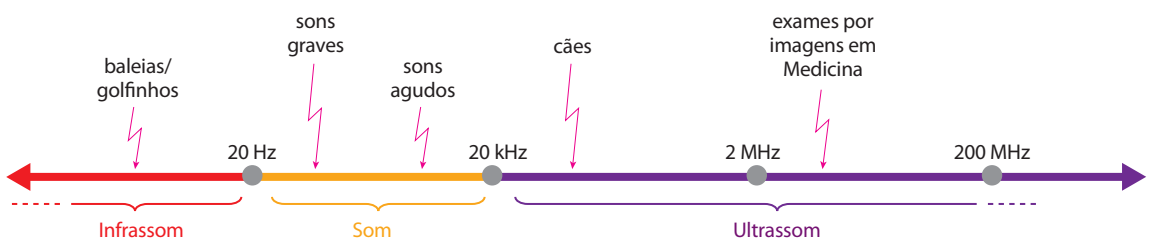


ILUSTRAÇÕES: ADILSON SECCO/ARQUIVO DA EDITORA

Figura 1. (A) As ondas sonoras são longitudinais, formadas por regiões de compressão e rarefação; (B) analogia esquemática entre uma onda transversal e uma longitudinal. As regiões de compressão são as cristas; as regiões de rarefação são os vales. (Representação fora de proporção; cores meramente ilustrativas.)

O sistema auditivo humano é sensível às ondas sonoras na faixa de frequências entre 20 Hz e 20 kHz, aproximadamente. Esses valores podem variar um pouco ao longo da vida de uma pessoa, e de uma pessoa para outra. Ondas sonoras nessa banda de frequências são denominadas **sons audíveis** ou simplesmente sons.

Uma onda sonora com frequência inferior a 20 Hz é denominada **infrassom**, e uma onda sonora com frequência superior a 20 kHz é denominada **ultrassom**. Os infrassons e os ultrassons não são audíveis para o ser humano. A figura 2 mostra os domínios das ondas sonoras audíveis (sons) e inaudíveis (infrassons e ultrassons).



ADILSON SECCO/ARQUIVO DA EDITORA

Figura 2. Espectro acústico audível e inaudível tendo como referência o ser humano. (Representação fora de proporção; cores meramente ilustrativas.)

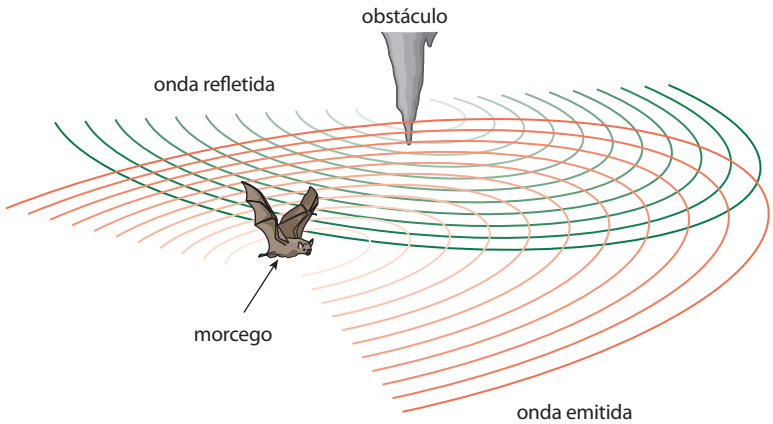
Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

O estudo das ondas sonoras com frequências entre 1 mHz e 15 Hz, denominadas **ondas infrassônicas**, tem aplicações no monitoramento de terremotos e de populações marinhas, entre outras utilidades. Os infrassons podem cobrir grandes distâncias, contornando obstáculos com pouca dissipação de energia. É, também, um dos modos de comunicação das baleias.

As ondas ultrassônicas também têm inúmeras aplicações práticas. Elas penetram determinado meio e, ao serem refletidas, permitem o registro de detalhes da estrutura interna desse meio. Esse é o processo usado no diagnóstico por "imagem ultrassônica" em Medicina, conhecido como **ultrassonografia**, e na **ecobatimetria**, processo utilizado no mapeamento do leito de rios, lagos e oceanos.

A **ecolocalização** subaquática dos submarinos ocorre pela emissão e recepção de pulsos ultrassônicos por aparelhos denominados **sonares** (sonar: ***so****und* ***na****vigation and* ***r****anging*, que significa "navegação e prospecção por som"). Animais como morcegos, corujas, baleias, golfinhos, peixes e alguns insetos são dotados de um tipo de biossonar e utilizam esse mesmo processo para localizar suas presas, detectar obstáculos e se comunicar.

A figura 3 mostra esquematicamente a ecolocalização de um morcego para evitar o choque com um obstáculo. Esse método também é usado por outros animais para localizar alimentos e possíveis predadores.



ADILSON SECCO/ARQUIVO DA EDITORA

Figura 3. Modelo representativo da ecolocalização de um morcego. (Representação fora de proporção; cores meramente ilustrativas.)

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

2. Características da propagação sonora

A propagação das ondas sonoras apresenta algumas características que englobam todos os tipos de onda.

A frequência de uma onda sonora é igual à frequência de oscilação da fonte que lhe deu origem. Entretanto, a velocidade de propagação de uma onda sonora no ar que envolve, por exemplo, a corda do violão que a gerou não é igual à velocidade de propagação das ondas que percorrem a corda do instrumento. A velocidade de propagação de uma onda sonora e o seu comprimento de onda dependem do meio no qual essa onda se propaga.

Em um gás de massa molar M, que está a uma temperatura absoluta T, essa velocidade é obtida pela expressão:

$$v = \sqrt{\gamma \cdot \frac{R}{M} \cdot T}$$

sendo R a constante universal dos gases perfeitos e γ é um coeficiente adimensional que depende da natureza do gás. Portanto, mantida constante a temperatura do gás, a velocidade de propagação das ondas sonoras nessa massa gasosa será constante, independentemente da frequência da onda.

No exemplo a seguir, vamos determinar os comprimentos de onda para as ondas sonoras nos limites máximo e mínimo para a audição humana.

Exercício resolvido

As frequências sonoras mínima e máxima audíveis para o ser humano são da ordem de 20 Hz e 20 kHz, respectivamente. Supondo 340 m/s o valor da velocidade de propagação do som no ar em certo local, determine os comprimentos de onda máximo ($\lambda_{máx}$) e mínimo ($\lambda_{mín}$) para essas ondas.

Resolução

A velocidade de propagação do som é a mesma para as duas frequências, portanto, f e λ são inversamente proporcionais entre si. Assim:

$v = \lambda_{máx} \cdot f_{mín} \Rightarrow 340 = \lambda_{máx} \cdot 20 \;\therefore\; \lambda_{máx} = 17 \text{ m}$

$v = \lambda_{mín} \cdot f_{máx} \Rightarrow 340 = \lambda_{mín} \cdot 20 \cdot 10^3 \;\therefore\; \lambda_{mín} = 17 \cdot 10^{-3} \text{ m} = 17 \text{ mm}$

Atividade prática

Transmitindo sons

Objetivo

Analisar, por meio da construção de um "telefone", algumas características da transmissão dos sons.

Material

- dois copos plásticos de iogurte vazios
- 10 m de barbante fino e resistente
- um prego pequeno

Procedimento

1. Faça um pequeno furo no fundo de cada um dos copos, do tamanho suficiente para passar o barbante. Passe o barbante pelos furos de cada copo e dê um nó em cada ponta para impedir que o barbante escape do copo.
2. Para usar esse "telefone", convide um(a) colega. Peça-lhe que coloque o copo encostado na orelha.
3. Mantendo o barbante bem esticado, fale com ele(a) mantendo o outro copo contra sua boca.

Analise o experimento e responda:

1. Por que o barbante deve ser mantido esticado?
2. O que acontece se você, enquanto está falando, segura o fio esticado entre o polegar e o indicador?
3. O que você espera que aconteça se amarrar um segundo barbante esticado, ligado a outro copo, no meio do fio de seu telefone?

Veja respostas e comentários no Suplemento para o professor.

Aplicando conhecimentos

Registre as respostas em seu caderno.

1. Considere 336 m/s e 1.428 m/s as velocidades de propagação de ondas sonoras no ar e na água, respectivamente. Sendo $\lambda_{ar} = 1{,}2$ m o comprimento de onda de uma onda sonora no ar, o comprimento de onda $\lambda_{água}$ e a frequência $f_{água}$ dessa onda sonora na água serão iguais a:

1. b

a. $\lambda_{água} = 2{,}8$ m e $f_{água} = 280$ Hz.

b. $\lambda_{água} = 5{,}1$ m e $f_{água} = 280$ Hz.

c. $\lambda_{água} = 5{,}1$ m e $f_{água} = 82{,}0$ Hz.

d. $\lambda_{água} = 12$ m e $f_{água} = 120$ Hz.

e. $\lambda_{água} = 28$ m e $f_{água} = 280$ Hz.

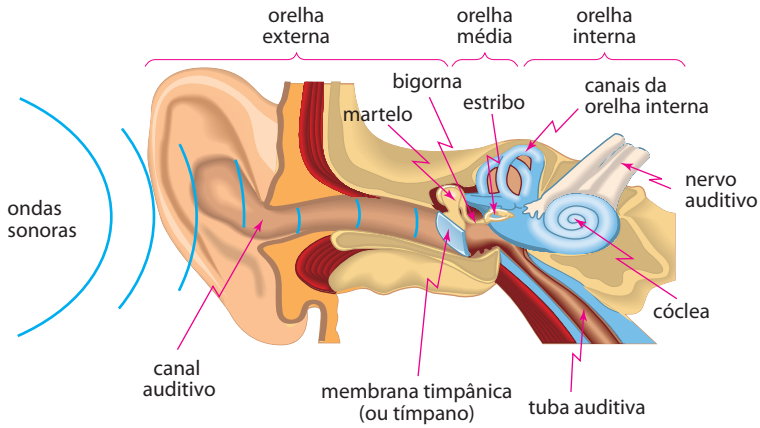
2. Duas engenheiras de uma ferrovia resolvem medir a velocidade de propagação do som no aço, utilizando, para isso, um dos trilhos com 84 m de comprimento. Com aparelhagem apropriada, elas medem os intervalos de tempo para o som ir de uma extremidade a outra do trilho, pelo ar e pelo aço, após uma dessas extremidades ser golpeada fortemente com um martelo. Com isso, registra-se uma diferença de 236 milésimos de segundo entre a chegada dos dois sons. Sendo 336 m/s a velocidade de propagação do som no ar do ambiente, determine a velocidade de propagação do som no aço.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

3. Qualidades fisiológicas do som

OBJETO DIGITAL Infográfico clicável: Pregas vocais e som

Nosso sistema auditivo é capaz de perceber características das ondas sonoras que nos permitem distinguir sons entre si. Em geral, sabemos se uma nota musical foi emitida por um piano ou por um violão, ou se a intensidade (ou "volume") do som da TV está em um nível elevado ou não, dada a fisiologia do nosso sistema auditivo (Fig. 4).



ADILSON SECCO/ARQUIVO DA EDITORA

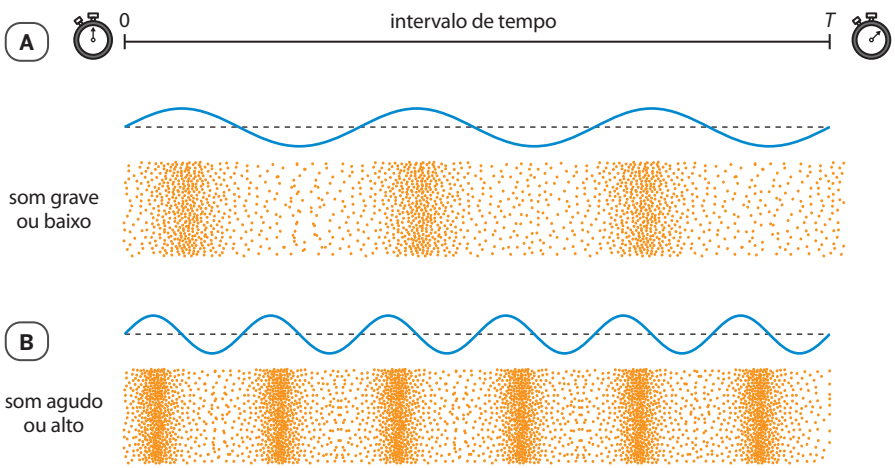
Fonte: elaborada com base em NISHIDA, S. M. *et al*. Como funciona o corpo humano? **Museu Escola do IB**. Disponível em: https://www2.ibb.unesp.br/Museu_Escola/2_qualidade_vida_humana/Museu2_qualidade_corpo_sensorial_audicao1.htm. Acesso em: 25 ago. 2024.
Figura 4. Estrutura interna da orelha humana. (Representação fora de proporção; cores meramente ilustrativas.)

Por estarem diretamente ligadas à sensibilidade auditiva de cada pessoa, certas características das ondas sonoras causam sensações distintas para diferentes observadores por dependerem da fisiologia de cada pessoa. Essas características são denominadas **qualidades fisiológicas** do som, que são: **altura**, **timbre** e **intensidade**.

Altura do som

Essa qualidade fisiológica do som depende apenas da **frequência** da onda sonora. A altura nos permite classificar os sons como **agudos** (ou **altos**) e **graves** (ou **baixos**). Na linguagem do dia a dia, usamos indevidamente os termos "som alto" e "som baixo" para nos referir a sons que apresentam maior ou menor intensidade (ou volume).

A figura 5 mostra esquematicamente que, no mesmo intervalo de tempo, foram geradas três ondas completas (Fig. 5A) e seis ondas completas (Fig. 5B). Portanto, o som *A* tem frequência menor que o som *B*. Dizemos, então, que o som *A* é **mais grave** ou **mais baixo** que o som *B* ou que o som *B* é **mais agudo** ou **mais alto** que o som *A*.



ADILSON SECCO/ARQUIVO DA EDITORA

Figura 5. Representação da altura de uma onda sonora. (A) Frequência menor (som grave ou "baixo"); (B) frequência maior (som agudo ou "alto"). (Representação fora de proporção; cores meramente ilustrativas.)

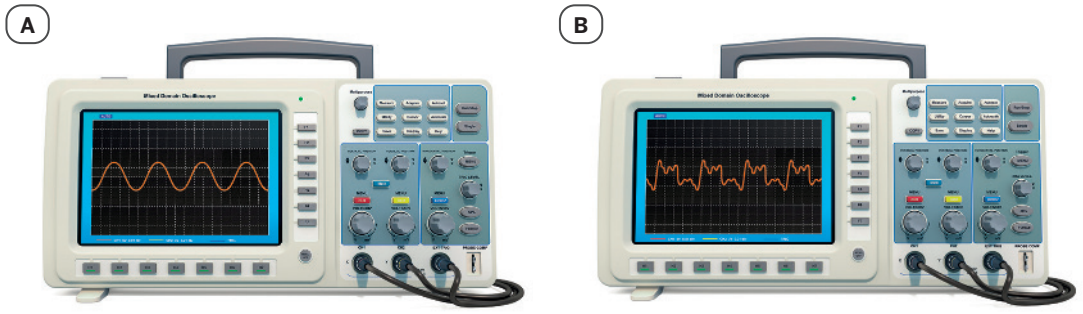
Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Timbre

Quando ouvimos uma nota musical emitida por um instrumento, o som que percebemos é uma combinação de várias frequências geradas simultaneamente pela fonte sonora. O som de menor frequência é chamado de **harmônico fundamental**, ou **primeiro harmônico**, e os demais sons emitidos são chamados de **segundo harmônico**, **terceiro harmônico**, **quarto harmônico** etc., ou, genericamente, **sobretons**.

Os sobretons têm frequências cujos valores são múltiplos da frequência fundamental, isto é, se o fundamental tem frequência *f*, o segundo harmônico terá frequência 2*f*, o terceiro harmônico terá frequência 3*f*, e assim por diante.

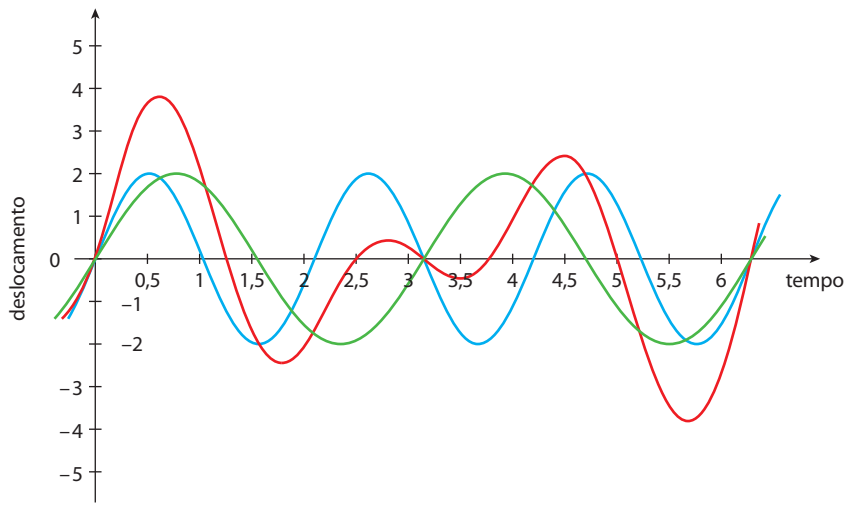
Com um osciloscópio (Fig. 6) é possível comparar a forma da onda sonora de uma mesma nota musical emitida por fontes diferentes, mas que tenham mesma frequência fundamental.



FOTOS: ALEXLMX/SHUTTERSTOCK

Figura 6. Osciloscópio mostrando uma nota musical emitida por: (A) um diapasão (som puro); (B) instrumento musical (som composto).

O conjunto de harmônicos emitidos simultaneamente com o som fundamental em uma nota musical varia de um instrumento para outro. Essa diversidade de frequências combinadas permite distinguir uma mesma nota emitida por instrumentos distintos. A frequência fundamental é a mesma, mas os harmônicos sobrepostos são diferentes. Ao conjunto de harmônicos que compõem determinada nota emitida por uma fonte sonora damos o nome de **timbre sonoro**. O timbre é como uma "impressão digital" da fonte sonora emissora. A figura 7 mostra a sobreposição de duas funções de onda de duas "ondas sonoras", em azul e verde, e a correspondente "onda sonora" resultante, em vermelho.



ADILSON SECCO/ARQUIVO DA EDITORA

Figura 7. As funções de ondas sonoras senoidais, em verde e azul, se sobrepõem, dando origem a uma função de onda resultante não senoidal, em vermelho.

Intensidade sonora e nível de intensidade sonora

Quando estamos muito distantes de uma fonte de ondas sonoras, ouvimos o som emitido por ela com certa dificuldade. Dizemos que o som que chega até nós é um som **fraco**, ou de menor intensidade. Ao nos aproximarmos da fonte, ouvimos um som mais **forte**, ou de maior intensidade. Na linguagem cotidiana, dizemos que um som fraco tem "baixo volume" e que um som forte tem "alto volume". Essa distinção entre som forte e som fraco deve-se à qualidade do som denominada **intensidade**. Portanto, som **fraco** tem **menor intensidade**; som **forte** tem **maior intensidade**.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

A intensidade I de uma onda sonora é a quantidade de energia incidente sobre uma superfície de área unitária (1 m^2, 1 cm^2, 1 mm^2...) em um intervalo de tempo unitário (1 s, 1 min, 1 h...). Em notação simbólica, temos:

$$I = \frac{\left(\frac{\Delta E}{\Delta t}\right)}{A} \quad \text{ou} \quad I = \frac{P}{A}$$

sendo P a potência emitida pela fonte das ondas. No SI, a unidade de intensidade é W/m^2.

A definição de intensidade aplica-se também às ondas luminosas.

Ondas que se propagam igualmente em todas as direções do espaço são denominadas **tridimensionais esféricas**, pois os pontos do espaço atingidos no mesmo instante pelas frentes de onda estão sobre uma superfície esférica cujo raio é a distância d entre esses pontos e a fonte. Portanto, para ondas esféricas, a intensidade é dada por:

$$I = \frac{P}{4\pi d^2}$$

sendo $4\pi d^2$ a área da superfície esférica que contém os pontos atingidos pela onda simultaneamente (frente de onda). Fontes sonoras e luminosas de pequenas dimensões são exemplos de fontes que emitem ou irradiam ondas tridimensionais esféricas.

A audição humana é capaz de captar sons com intensidades que vão do **limiar auditivo**, cerca de 10^{-12} W/m^2, até o **limiar da dor**, pouco mais de 1,0 W/m^2.

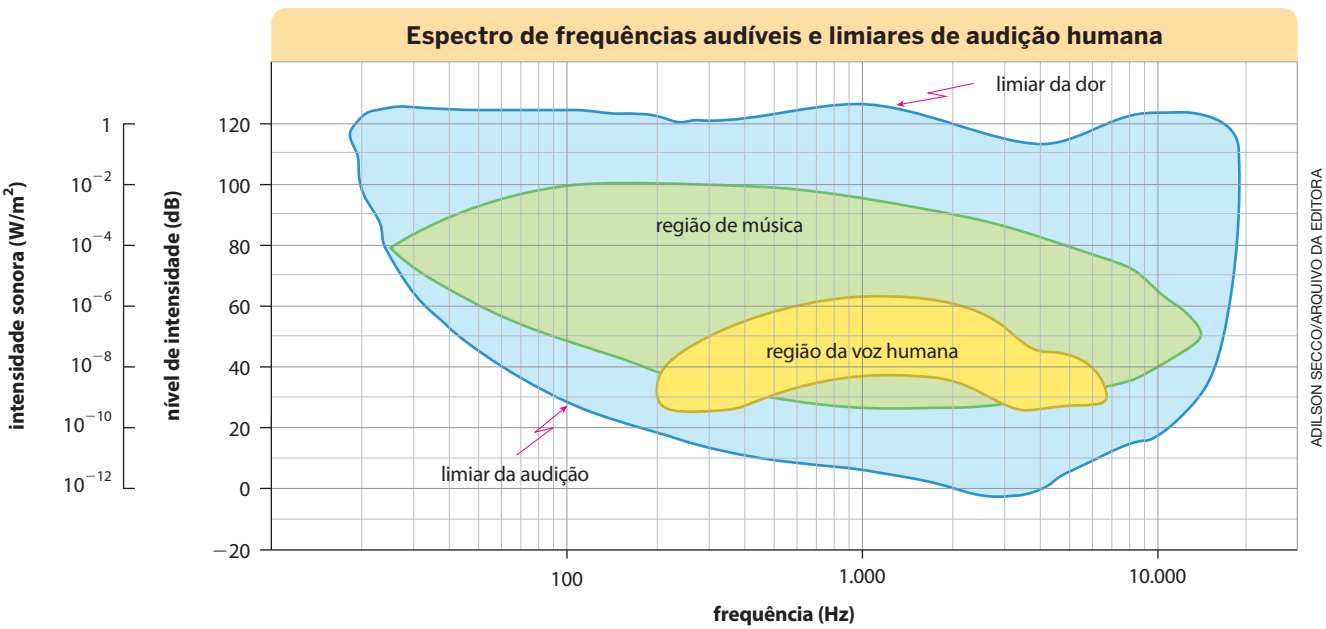
Os estímulos sonoros produzem em nosso sistema auditivo respostas neurossensoriais (nível de intensidade sonora), que podem ser modeladas matematicamente pela função a seguir, denominada **lei de Weber**:

$$\Delta N = N_2 - N_1 = 10 \cdot \log\left(\frac{I_2}{I_1}\right)$$

em que ΔN é a diferença entre dois níveis sonoros percebidos quando a intensidade do som recebido passa de I_1 para I_2. O nível sonoro N é comumente medido em **decibel** (**dB**), cujo plural é **decibels** ou **decibéis**.

Para o limiar auditivo $I_0 = 1{,}0 \cdot 10^{-12}$ W/m^2, o nível sonoro é nulo, $N_0 = 0$.

A figura 8 mostra um diagrama que relaciona a escala de intensidades sonoras e a escala de Weber para as frequências audíveis pelo ser humano.



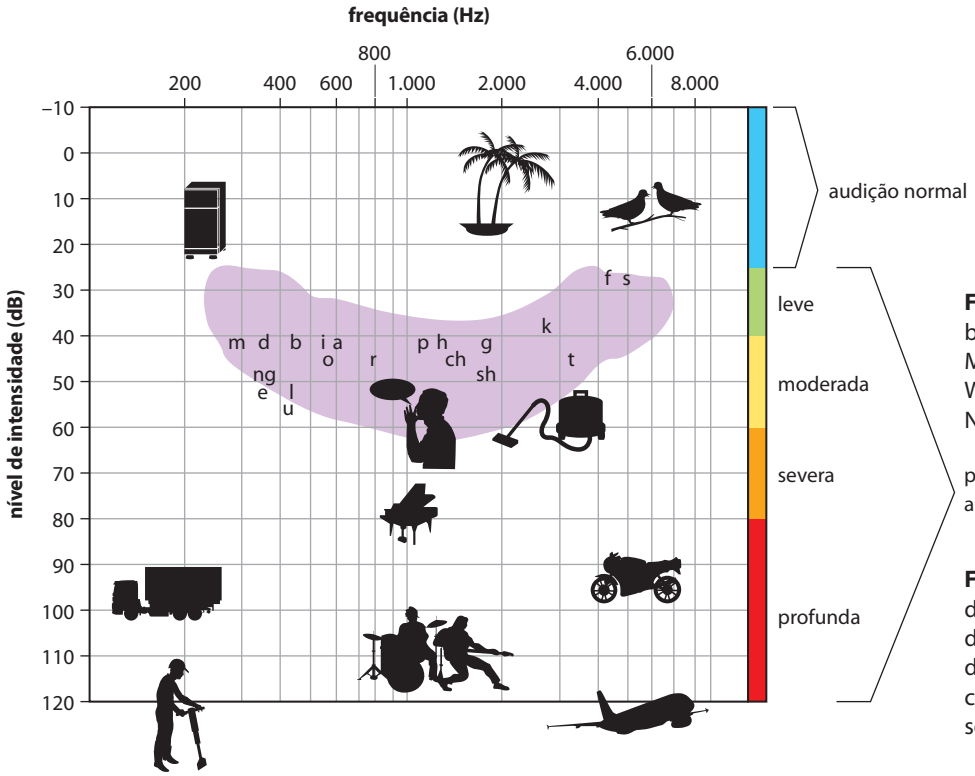
Fonte: elaborado com base em DULL, Charles E.; METCALFE, Clark; BROOKS, William O. **Modern Physics**. Nova York: Henry Holt, 1955.

Figura 8. Escala de intensidades sonoras e escala de Weber para o espectro de frequências audíveis para o ser humano. Audiograma.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Já a figura 9 mostra níveis sonoros associados a diversos ambientes, situações e atividades, classificando-os quanto ao perigo de perda de audição.

Níveis de perda auditiva e frequências sonoras perceptíveis



ERICSON GUILHERME LUCIANO/ ARQUIVO DA EDITORA

Fonte: elaborado com base em DULL, Charles E.; METCALFE, Clark; BROOKS, William O. **Modern Physics**. Nova York: Henry Holt, 1955.

Figura 9. A região colorida do gráfico corresponde às diferentes vogais e consoantes da fala humana, pronunciadas com frequências e níveis sonoros diferentes.

Vamos aplicar esses conceitos em um exemplo prático.

Exercício resolvido

Um liquidificador de uma lanchonete, quando ligado, emite um forte ruído com nível sonoro de 90 dB, medido a 1 m dele. Considere o limiar auditivo como $1{,}0 \cdot 10^{-12}\ W/m^2$ e determine:

a. a intensidade sonora percebida por uma pessoa a 1 m desse aparelho;

b. o novo valor do nível sonoro para essa pessoa, se outro aparelho idêntico for ligado simultaneamente ao lado do primeiro.

Resolução

a. Aqui, vamos usar a propriedade fundamental dos logaritmos:

$\log_b a = c \Rightarrow a = b^c$. Assim:

$$N_2 - N_1 = 10 \cdot \log\left(\frac{I_2}{I_1}\right) \Rightarrow 90 - 0 = 10 \cdot \log\left(\frac{I_2}{1{,}0 \cdot 10^{-12}}\right) \Rightarrow \frac{I_2}{1{,}0 \cdot 10^{-12}} = 10^9$$

$$\therefore I_2 = 1{,}0 \cdot 10^{-3}\ W/m^2$$

b. Vamos adotar log 2 = 0,3. Os dois aparelhos idênticos, ligados simultaneamente lado a lado, funcionam como se fossem uma única fonte com o dobro da potência sonora emitida e, portanto, com o dobro da intensidade sonora. Assim:

$$N_2 - N_1 = 10 \cdot \log\left(\frac{I_2}{I_1}\right) \Rightarrow N_2 - 90 = 10 \cdot \log\left(\frac{2I_1}{I_1}\right) \Rightarrow$$

$$\Rightarrow N_2 - 90 = 10 \cdot \log(2) \Rightarrow N_2 - 90 = 10 \cdot 0{,}3 \Rightarrow$$

$$\Rightarrow N_2 - 90 = 3 \therefore N_2 = 93\ dB$$

Portanto, ao dobrar a intensidade da fonte sonora, o nível sonoro aumenta 3 dB.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Veja respostas e comentários no Suplemento para o professor.

Aplicando conhecimentos

Registre as respostas em seu caderno.

O enunciado a seguir refere-se aos exercícios 3 e 4.

A uma distância d de um pequeno alto-falante, uma pessoa ouve um som com intensidade I e nível sonoro $N = 80$ dB.

3. Se a pessoa ficar a uma distância $\frac{d}{2}$ dessa fonte, a nova intensidade sonora I' será:

3. e

a. $I' = \frac{1}{4} I$. **b.** $I' = \frac{1}{2} I$. **c.** $I' = I$. **d.** $I' = 2I$. **e.** $I' = 4I$.

4. Adotando $\log 4 \simeq 0{,}6$, na nova posição da pessoa em relação à fonte, o nível sonoro N' passará a ser:

4. c

a. $N' \simeq 320$ dB. **b.** $N' \simeq 160$ dB. **c.** $N' \simeq 86$ dB. **d.** $N' \simeq 83$ dB. **e.** $N' \simeq 40$ dB.

4. Efeito Doppler-Fizeau

OBJETO DIGITAL *Podcast*: Efeito Doppler nos radares meteorológicos

Em muitas situações práticas, devido ao movimento relativo entre fonte e observador, as ondas recebidas têm frequências diferentes das ondas emitidas pela fonte. A decolagem ou o pouso de um avião, uma ambulância que se aproxima ou se afasta de nós com a sirene ligada ou uma embarcação que vai de encontro às ondas no mar são eventos em que essas diferenças de frequências são observadas. Esse fenômeno ondulatório é denominado **efeito Doppler-Fizeau**.

Para os nossos sentidos, esse efeito é mais notável com ondas sonoras; no entanto, ele pode ocorrer com qualquer tipo de onda, até mesmo com as eletromagnéticas. Em Cardiologia, o efeito Doppler-Fizeau é utilizado para examinar o fluxo sanguíneo no coração e nas artérias coronarianas, por meio de imagens obtidas por ultrassonografia. Esse estudo se chama **ecocardiografia Doppler** ou simplesmente **ecoDoppler**. Em Astronomia, as velocidades de afastamento e de aproximação de estrelas e galáxias, relativamente à Terra, são medidas com base na alteração das frequências das radiações eletromagnéticas emitidas por esses corpos. É o efeito Doppler eletromagnético.

Nas rodovias, ruas ou avenidas, a detecção da velocidade dos veículos é feita por radares, que operam por efeito Doppler (radar é uma sigla inglesa: ***ra**dio **d**etection **a**nd **r**anging*, que significa "detecção e rastreamento por ondas de rádio").

Nosso estudo destacará, principalmente, o efeito Doppler longitudinal para ondas mecânicas, isto é, no caso em que o observador e a fonte se deslocam na mesma direção (Fig. 10).

ADILSON SECCO/ARQUIVO DA EDITORA

Figura 10. Efeito Doppler longitudinal. Observadores e fonte alinhados. (Representação fora de proporção; cores meramente ilustrativas.)

São três as situações nas quais presenciamos o efeito Doppler:

I. O observador aproxima-se ou afasta-se de uma fonte de ondas que está em repouso.

II. A fonte de ondas aproxima-se ou afasta-se de um observador que está em repouso.

III. Observador e fonte de ondas aproximam-se ou afastam-se entre si, estando ambos em movimento.

Para qualquer um desses casos, observa-se que:

- quando observador e fonte aproximam-se mutuamente, a frequência observada (f_O), ou frequência aparente, é **maior** que a frequência da fonte das ondas (f_F):

$$f_O > f_F$$

- quando observador e fonte afastam-se mutuamente, a frequência observada (f_O), ou frequência aparente, é **menor** que a frequência da fonte das ondas (f_F):

$$f_O < f_F$$

Para ondas mecânicas, a frequência observada (f_O) e a frequência da fonte das ondas (f_F) estão relacionadas pela expressão:

$$\frac{f_O}{v \pm v_O} = \frac{f_F}{v \pm v_F}$$

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Nessa expressão, v é a velocidade de propagação das ondas, v_O é a velocidade do observador e v_F é a velocidade da fonte das ondas. Os sinais (+) e (–) são atribuídos às velocidades do observador e da fonte, adotando-se o **sentido positivo** sempre **do observador para a fonte** (Fig. 11).

ADILSON SECCO/ARQUIVO DA EDITORA

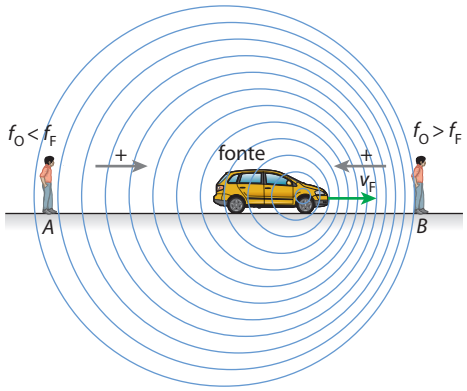


Figura 11. O observador *A* percebe um som de maior comprimento de onda que aquele emitido pela fonte e, portanto, de menor frequência. O observador *B* percebe um som de menor comprimento de onda que aquele emitido pela fonte e, portanto, de maior frequência. (Representação fora de proporção; cores meramente ilustrativas.)

Uma aplicação numérica vai ilustrar melhor esse conceito.

Exercício resolvido

A sirene de uma pedreira emite um som com frequência de 510 Hz para avisar que ocorrerá uma detonação. Considerando que a velocidade do som no ar seja igual a 340 m/s:

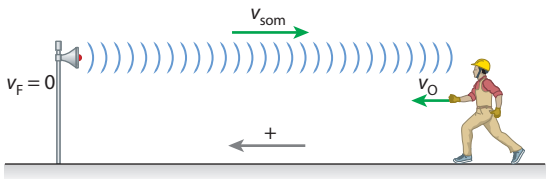
a. determine a frequência do som recebido por um trabalhador que está se aproximando da sirene, correndo com velocidade de 10 m/s e permanecendo sempre alinhado com a fonte sonora;

b. determine a frequência do som recebido pelo trabalhador supondo que ele esteja se afastando da sirene com velocidade de mesmo módulo, nas mesmas condições do item **a**.

Resolução:

ILUSTRAÇÕES: ADILSON SECCO/ARQUIVO DA EDITORA

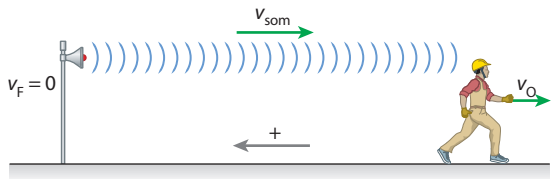
a. A partir dos valores fornecidos pelo enunciado e adotando o referencial mostrado na figura a seguir, temos:



$$\frac{f_O}{v \pm v_O} = \frac{f_F}{v \pm v_F} \Rightarrow \frac{f_O}{340 + 10} = \frac{510}{340 + 0}$$

$\therefore\ f_O = 525$ Hz

b. Nesse caso, o observador se afasta da sirene; então, a partir dos dados fornecidos pelo enunciado, temos:



$$\frac{f_O}{v \pm v_O} = \frac{f_F}{v \pm v_F} \Rightarrow \frac{f_O}{340 - 10} = \frac{510}{340 + 0}$$

$\therefore\ f_O = 495$ Hz

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Veja respostas e comentários no Suplemento para o professor.

Aplicando conhecimentos

Registre as respostas em seu caderno.

O enunciado a seguir refere-se aos exercícios 5 e 6.

Na superfície da água de um tanque experimental, uma fonte vibratória, inicialmente em repouso, gera frentes de onda circulares que se propagam com velocidade de 2,0 m/s. Uma boia parada na superfície da água recebe duas frentes de onda por segundo, com a fonte dessas ondas em repouso.

5. Quando a boia se move ao encontro da fonte, segundo a reta que passa por ela e pela fonte, ela encontra três frentes de ondas por segundo. Nessas condições, podemos afirmar que a velocidade de deslocamento da boia em relação à fonte vale, em m/s:

5. b

a. 0,5. **b.** 1,0. **c.** 1,5. **d.** 2,0. **e.** 3,0.

6. Considere, agora, que a fonte se aproxime da boia em repouso, com velocidade de 1,0 m/s. Nessa nova condição, a boia receberá n frentes de onda por segundo. Assim, podemos afirmar que n é igual a:

6. d

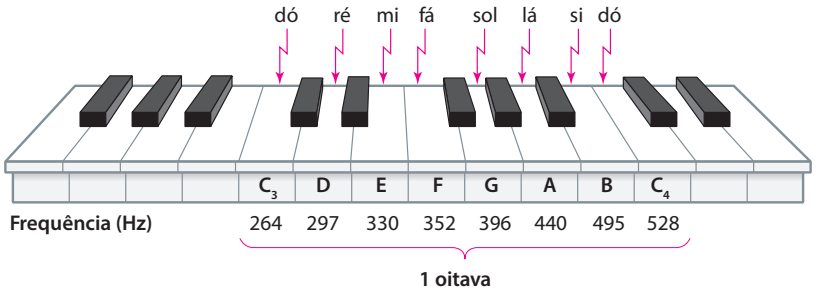
a. 1. **b.** 2. **c.** 3. **d.** 4. **e.** 5.

5. Sons musicais

Ao cair no chão e se quebrar, um copo de vidro produz um grande número de perturbações sonoras irregulares. O som resultante é desagradável para nós e recebe o nome de **ruído**. Sons agradáveis para nosso sistema auditivo são denominados **sons musicais**.

Os sons que convencionamos chamar de música têm como base uma **escala musical**, isto é, são sons que apresentam ondas com padrões regulares e que consideramos agradáveis de ouvir. São as **notas musicais**. A escala musical consiste em uma série de notas cujas frequências mantêm entre si proporções definidas.

O tipo mais comum de escala musical possui oito notas. O intervalo entre a primeira e a última nota é denominado **oitava**. A frequência da última nota é exatamente o dobro da frequência da primeira. A figura 12 destaca uma oitava de um teclado e a frequência de cada nota desse intervalo.



ADILSON SECCO/ARQUIVO DA EDITORA

Figura 12. Cada nota musical corresponde a uma determinada frequência.

Cada som musical apresenta qualidades que o diferenciam de outros. Essas qualidades são, como já vimos, a altura, a intensidade e o timbre.

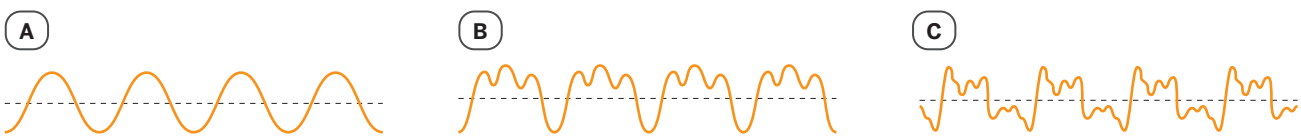
A frequência de determinada nota musical está relacionada à frequência do harmônico fundamental (**altura** da nota). Assim, se um instrumento musical, um piano, por exemplo, emitir uma nota lá de 440 Hz, então a corda que a emite vibrará com frequência fundamental de 440 Hz, e o som correspondente terá certa **intensidade** ("volume").

Entretanto, outros harmônicos superiores – o segundo, o terceiro, o quarto etc. – também estarão presentes e com intensidades diferentes. Os harmônicos superiores presentes variam de um instrumento para outro e são os responsáveis pelo timbre característico de cada instrumento musical. O **timbre** é uma qualidade do som que nos permite diferenciar dois sons de mesma altura, mas produzidos por fontes distintas.

Quando falamos ao telefone ou quando estamos gripados, nossa voz soa com timbre diferente, pois a composição dos harmônicos superiores presentes nos sons emitidos é distinta daquela que estamos habituados a ouvir.

Outra constatação interessante a respeito de nossa voz é que ela nos parece diferente quando a ouvimos gravada. Isso ocorre porque, quando falamos e ouvimos nossa própria voz, nossos ouvidos percebem duas ondas sonoras: a que se propaga pelo ar e a que se transmite pelos ossos e pelas cavidades do crânio. A onda resultante, isto é, o som que percebemos, apresenta aquele timbre que ouvimos normalmente. Mas, quando gravamos nossa voz, o microfone do gravador capta apenas a onda que se propaga pelo ar, que naturalmente apresenta um timbre diferente daquele que estamos habituados a ouvir. Portanto, para as outras pessoas, nossa voz soa como a que ouvimos na gravação.

O timbre de um som está relacionado ao padrão da onda resultante. Assim, cada instrumento musical terá um timbre característico. A forma da onda resultante para uma mesma nota musical executada por três instrumentos distintos, um diapasão (Fig. 13A), uma flauta (Fig. 13B) e um clarinete (Fig. 13C), é ligeiramente diferente uma da outra.



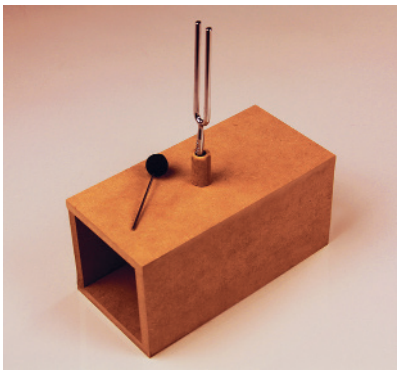
ADILSON SECCO/ARQUIVO DA EDITORA

Figura 13. Representação esquemática da forma da onda resultante que corresponde ao som de uma mesma nota musical produzida por (A) um diapasão, (B) uma flauta e (C) um clarinete.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

O diapasão nada mais é que uma barra metálica dobrada em forma de U, que, quando percutido, pode vibrar com frequência constante, a qual depende apenas de suas dimensões e do material de que é feito. Como a frequência de vibração de um diapasão é constante, ele pode ser usado para afinar instrumentos musicais.

Na figura 14, vemos um diapasão fixado sobre uma caixa de ressonância que amplifica a intensidade do som que ele produz. Muitos instrumentos musicais são dotados de caixas de ressonância para amplificar os sons produzidos. É o caso do violão, do violino, do piano e de outros instrumentos musicais. Nas guitarras elétricas, por exemplo, o som é amplificado eletronicamente, e não por uma caixa de ressonância.



LUGGUI PHOTOS/EASY MEDIABANK

Figura 14. Diapasão, caixa de ressonância e martelo de percussão.

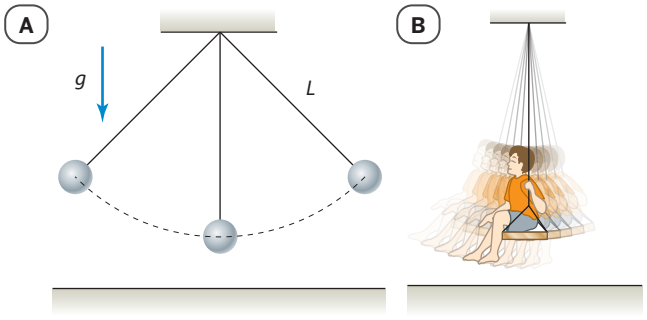
Ressonância

Ressonância é um fenômeno oscilatório que ocorre quando um sistema físico recebe energia periodicamente de uma fonte externa, com uma frequência igual a uma de suas frequências naturais de vibração. A fonte externa pode ser um segundo sistema físico que tenha uma frequência de vibração igual à do primeiro. Esse é um fenômeno que pode ocorrer com praticamente qualquer sistema físico.

Um exemplo do fenômeno de ressonância é o balanço nos *playgrounds*. Um balanço assemelha-se a um **pêndulo simples**, que consiste em uma massa presa a um fio inextensível de comprimento *L*, que tem sua outra extremidade presa a um ponto fixo (Fig. 15A). O pêndulo simples possui uma única frequência natural de oscilação:

$$f = \frac{1}{2\pi} \cdot \sqrt{\frac{g}{L}}$$

A criança no balanço, mesmo sem tocar o chão com os pés, pode fazer o balanço oscilar e atingir grandes amplitudes. Para isso, ela só precisa começar a movimentar as pernas para a frente e para trás, com frequência igual à frequência natural de oscilação do balanço (Fig. 15B). Por causa da ressonância, a energia da criança vai pouco a pouco se transferindo para o balanço, aumentando gradativamente sua amplitude de oscilação.

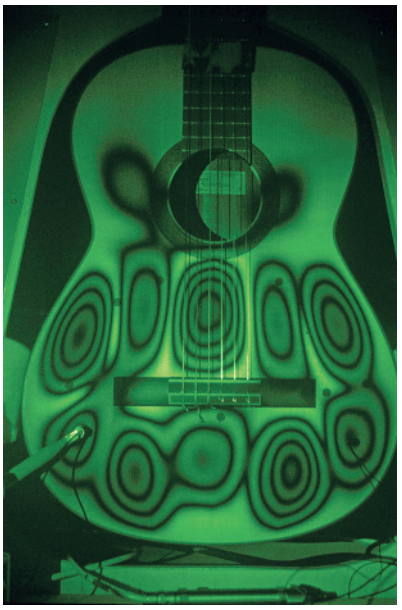


ADILSON SECCO/ARQUIVO DA EDITORA

Figura 15. Representações esquemáticas de (A) um pêndulo simples em movimento e de (B) uma criança em um balanço de um *playground*.

Em um violão, ou em outro instrumento de corda dotado de caixa de ressonância, a vibração da corda provoca a vibração do ar contido na caixa por ressonância. Com isso, a intensidade do som aumenta (amplificação do som) e ele pode ser ouvido. A própria estrutura da caixa de ressonância também vibra (Fig. 16).

Uma guitarra elétrica, por outro lado, não possui caixa de ressonância e, por esse motivo, o som precisa ser amplificado eletronicamente para ser ouvido.



CORTESIA DE BERNARD RICHARDSON/CARDIFF UNIVERSITY, REINO UNIDO

Figura 16. Modo de vibração da caixa de ressonância de um violão.

Veja comentários sobre essa atividade no Suplemento para o professor.

Atividade em grupo

A história dos instrumentos musicais no Brasil reflete a diversidade cultural do país. Cada região possui instrumentos típicos, como o maracá no Norte, a zabumba no Nordeste, a viola de cocho no Centro-Oeste, a cuíca no Sudeste e a gaita ponto no Sul. Esses instrumentos não só produzem sons únicos, como também carregam histórias e tradições locais. Por meio da análise desses instrumentos, é possível explorar como a forma, o tamanho e os materiais influenciam o som que produzem e entender a relação entre a física do som e a cultura regional.

Em grupos de 3 a 4 estudantes, pesquisem a origem e o uso de um desses instrumentos, investiguem as características físicas e o tipo de som produzido. Cada grupo deve fazer uma apresentação detalhando o instrumento escolhido, suas características e a conexão entre a física do som e o funcionamento do instrumento.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Ondas estacionárias

Ao chacoalharmos a extremidade de uma corda esticada, presa a uma parede, o pulso de onda assim produzido se propagará ao longo da corda e, depois de se refletir na parede, retornará pelo mesmo caminho (Fig. 17).

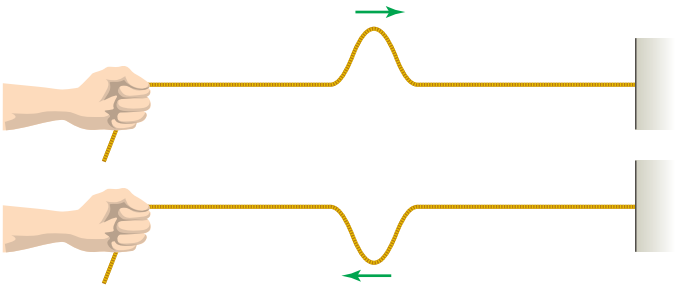


Figura 17. Representação esquemática de um pulso de onda refletido em uma corda presa a uma parede.

Movimentando a mão continuamente, mas não regularmente, observamos a propagação simultânea de duas ondas através da corda: a onda incidente, produzida pelo movimento da mão, e a onda refletida na parede. O resultado da superposição dessas duas ondas tem geralmente aspecto irregular (Fig. 18).

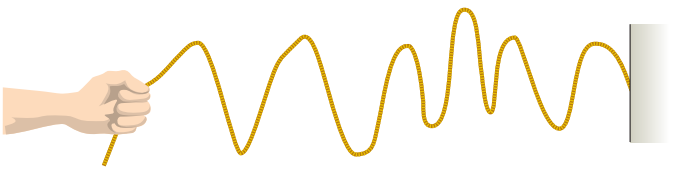


Figura 18. Representação esquemática do resultado da superposição da onda incidente e da onda refletida.

Entretanto, se o movimento da mão tiver uma frequência específica, as duas ondas que se propagam na corda interferirão uma com a outra e darão origem a um padrão de vibração denominado **onda estacionária**.

As ondas estacionárias caracterizam-se por regiões nas quais há pontos que vibram permanentemente com amplitude máxima e regiões em que há pontos com amplitude nula, isto é, pontos que não vibram. Os pontos que não vibram impedem o transporte de energia; daí o nome onda estacionária.

Para explicar melhor como a onda estacionária se forma na corda, vamos considerar um trecho da corda e, separadamente, as duas ondas que nele se propagam.

Na figura 19, mostramos, ao longo do mesmo trecho da corda, as posições da onda incidente e da onda refletida nos instantes $t = 0$, $t = \frac{T}{4}$, $t = \frac{2T}{4}$ e $t = \frac{3T}{4}$. Mostramos, também, a onda resultante da sobreposição das duas ondas idênticas que se propagam em sentidos opostos, uma ao encontro da outra.

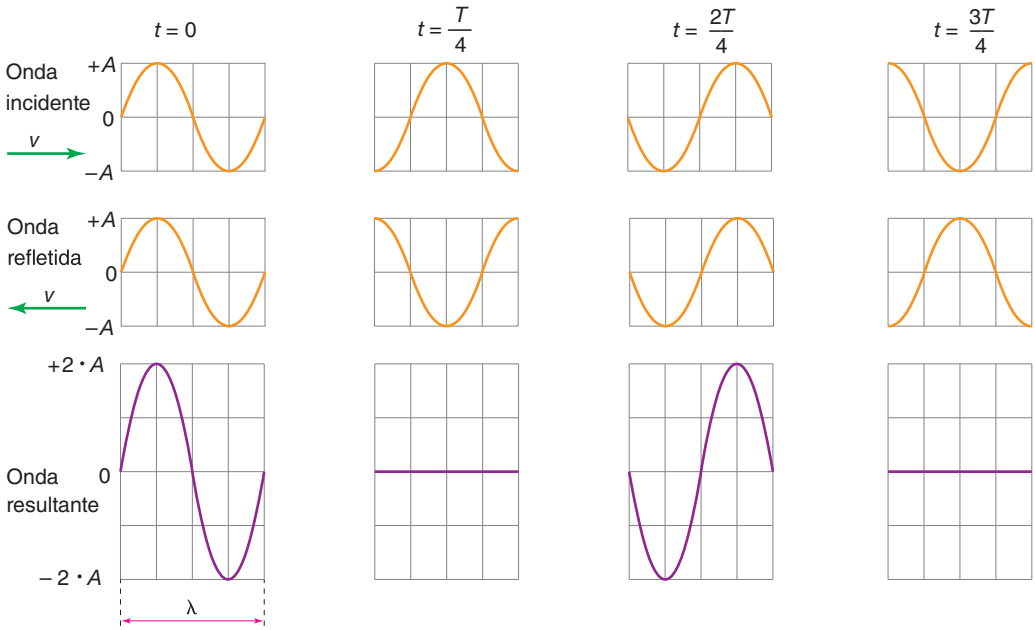


Figura 19. Representação da onda estacionária resultante da superposição de duas ondas idênticas propagando-se em sentidos opostos.

ILUSTRAÇÕES: ADILSON SECCO/ARQUIVO DA EDITORA

ILUSTRAÇÕES: ADILSON SECCO/ARQUIVO DA EDITORA

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Observe que a onda resultante tem mesmo comprimento de onda λ que as ondas incidente e refletida, porém o dobro da amplitude. Essa onda é classificada como onda estacionária porque não se propaga pela corda. Os pontos da corda que se movem simplesmente oscilam para cima e para baixo em um padrão fixo. Dizemos que esse tipo de onda tem um **modo estacionário** de vibração.

Se a frequência com que a corda oscila é suficientemente alta, nossos olhos não conseguem acompanhar o movimento de sobe e desce dos seus pontos. Assim, vemos a corda dividida em uma sucessão de "gomos", denominados **regiões ventrais**, ou **regiões internodais** (Fig. 20).

ADILSON SECCO/ ARQUIVO DA EDITORA

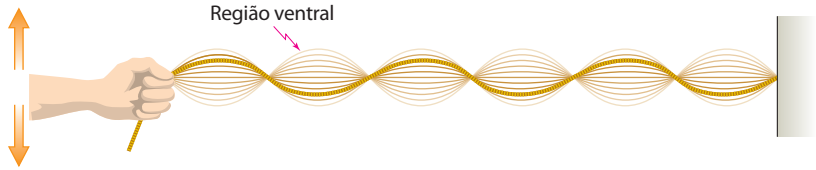


Figura 20. Representação esquemática de um possível modo estacionário de vibração da corda.

Os pontos que não vibram – pontos de interferência totalmente destrutiva – são denominados **nós** ou **nodos**, e os pontos que vibram com amplitude máxima – pontos de interferência construtiva – são chamados de **ventres** ou **antinodos**. Mantida uma frequência constante, os nós e os ventres da onda estacionária assumem posições fixas na corda.

Cordas vibrantes

Ondas estacionárias em uma corda podem ser geradas com diferentes frequências. A frequência mais baixa, f_1, para a qual se forma a onda estacionária mais simples, com uma só região ventral, é denominada **frequência fundamental**. O modo de vibração correspondente é denominado **modo fundamental de vibração**, **primeiro harmônico** ou **harmônico fundamental** (Fig. 21).

ADILSON SECCO/ ARQUIVO DA EDITORA

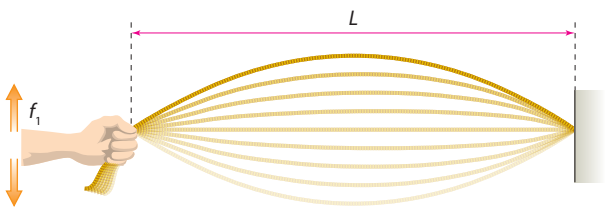


Figura 21. Representação esquemática do modo fundamental de vibração (primeiro harmônico) em uma corda.

Observe que, para o primeiro harmônico, o comprimento L da corda corresponde à distância entre dois nós consecutivos, isto é, $\frac{\lambda_1}{2}$. Então:

$$\frac{\lambda_1}{2} = L \Rightarrow \lambda_1 = 2L$$

Da equação fundamental da propagação ondulatória, temos:

$$v = \lambda \cdot f \Rightarrow v = 2L \cdot f_1 \Rightarrow f_1 = \frac{v}{2L}$$

Essa é a frequência fundamental dessa corda.

Note que, se admitirmos que a velocidade de propagação das ondas incidente e refletida na corda não varia, o comprimento de onda e a frequência serão grandezas inversamente proporcionais. Assim, mantendo o comprimento da corda, se aumentarmos a frequência da onda, o comprimento de onda e a distância entre dois nós consecutivos da onda estacionária diminuirão.

Se a fonte vibrar com frequência f_2 igual ao dobro da frequência fundamental f_1, a distância entre dois nós consecutivos será a metade da distância entre dois nós consecutivos do harmônico fundamental. Teremos, então, ao longo da corda, duas regiões ventrais. Nessa situação, a corda vibrará em seu **segundo modo estacionário**, ou **segundo harmônico** (Fig. 22).

ADILSON SECCO/ ARQUIVO DA EDITORA

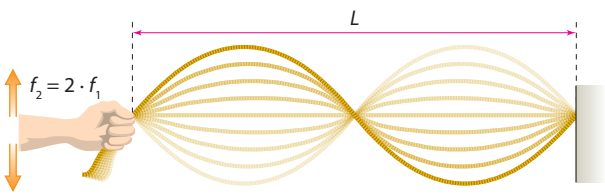


Figura 22. Representação esquemática do segundo modo de vibração (segundo harmônico) em uma corda.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Assim, para o segundo harmônico, temos: $L = 2 \cdot \frac{\lambda_2}{2}$ e $f_2 = 2 \cdot f_1$.

Como $f_1 = \frac{v}{2L}$, então: $f_2 = 2 \cdot \frac{v}{2L}$.

Na figura 23, vemos o aspecto da corda vibrando com uma frequência igual ao triplo da frequência fundamental ($f_3 = 3 \cdot f_1$). Nessa situação, a corda vibra em **seu terceiro modo estacionário**, ou **terceiro harmônico**.

ADILSON SECCO/ ARQUIVO DA EDITORA

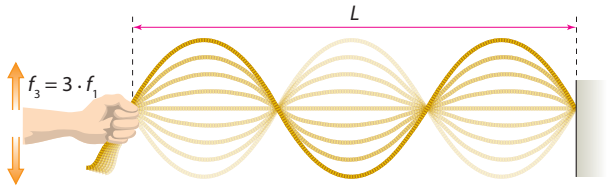


Figura 23. Representação esquemática do terceiro modo de vibração (terceiro harmônico) em uma corda.

Na prática, a corda pode vibrar em qualquer modo estacionário que apresente *n* regiões ventrais ($n = 1, 2, 3, 4, ...$). Para isso, as frequências de vibração devem ter os respectivos valores: f_1, $f_2 = 2 \cdot f_1$, $f_3 = 3 \cdot f_1$, $f_4 = 4 \cdot f_1$, ..., ou, genericamente, $f_n = n \cdot f_1$.

Portanto, uma corda esticada pode vibrar em modos estacionários com várias frequências, porém não com qualquer valor. Os valores devem ser múltiplos inteiros da frequência fundamental f_1.

Assim, para o *n*-ésimo harmônico, temos:

$$f_n = n \cdot \frac{v}{2 \cdot L}$$

Percutindo-se uma corda de um instrumento musical, sua vibração se transmite para o ar nas proximidades, gerando uma onda sonora com frequência igual à frequência de vibração da corda. Nossos tímpanos, ao serem atingidos por essas ondas, entram em ressonância com a fonte que gerou essas ondas.

O timbre característico do instrumento lhe é conferido pelos harmônicos superiores presentes na vibração de suas cordas. Esses harmônicos têm frequências com valores múltiplos da frequência do fundamental: $f_n = n \cdot f_1$ ($n = 1, 2, 3, ...$). Assim, se um violão e um cavaquinho emitirem uma mesma nota musical, as cordas de ambos vibrarão com harmônicos fundamentais de mesma frequência; entretanto, o conjunto de harmônicos superiores presentes em cada uma das vibrações difere em número e em intensidade de um instrumento para outro. Esse conjunto de harmônicos superiores presentes define o timbre que identifica o instrumento musical.

Tubos sonoros

Você pode produzir um som musical agradável se soprar de modo adequado no gargalo de uma garrafa ou na extremidade de um tubo vazio de uma caneta esferográfica. A garrafa e o tubo de caneta, nesse caso, funcionam como instrumentos musicais de sopro rudimentares.

Nos instrumentos musicais de sopro, como a flauta, o oboé, o saxofone, o trompete e o órgão acústico, uma onda estacionária longitudinal estabelece-se na coluna de ar existente no interior de um tubo.

Na figura 24, vemos os tubos do órgão acústico de uma catedral (Fig. 24A) e os pequenos tubos de uma flauta inca (Fig. 24B).

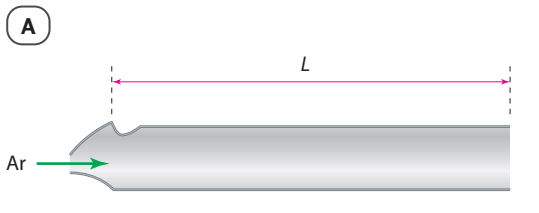
EURASIA PRESS/PHOTONONSTOP/ GETTY IMAGES

GAVIN MATHER/ALAMY/FOTOARENA

Figura 24. Instrumentos musicais de sopro. (A) Órgão acústico da Catedral de Hereford (Inglaterra, 2012); (B) flauta inca ou flauta de pã. (Quito, Equador, 2011.)

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Os tubos em que são geradas as ondas estacionárias sonoras são classificados em dois tipos: **tubo aberto**, quando suas duas extremidades são abertas (Fig. 25A), e **tubo fechado**, quando a extremidade oposta à da entrada de ar é vedada por uma tampa (Fig. 25B).

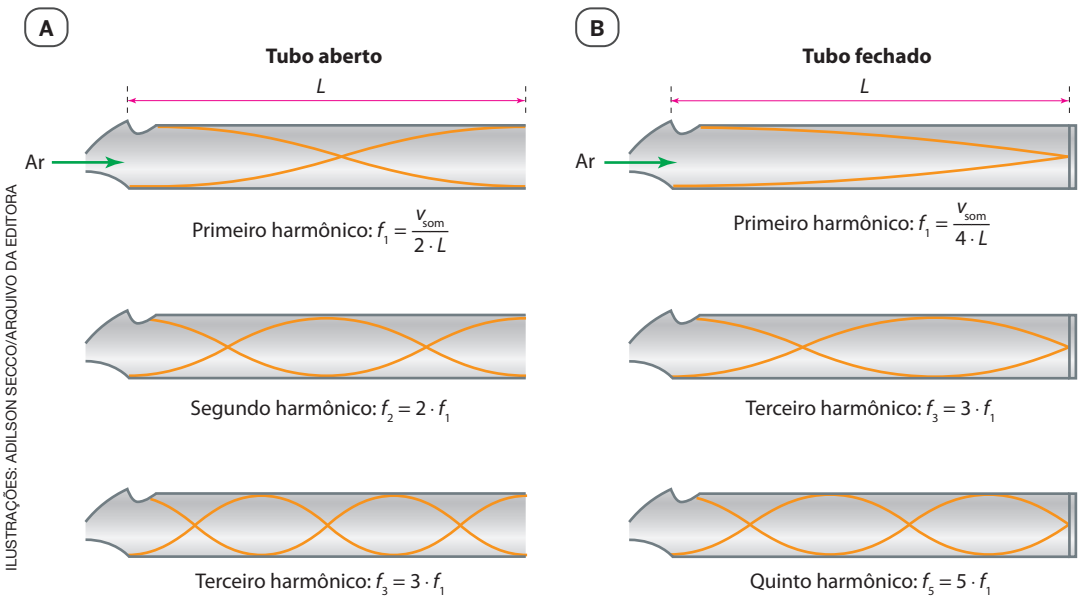


ADILSON SECCO/ ARQUIVO DA EDITORA

Figura 25. Representação esquemática (A) de um tubo aberto e (B) de um tubo fechado.

O ar próximo da extremidade aberta do tubo vibra intensamente. Portanto, nessa extremidade, temos um ventre da onda estacionária. Por outro lado, na extremidade fechada do tubo, o ar é impedido de vibrar, devido à presença da tampa; assim, nessa extremidade, temos um nó da onda estacionária.

A onda estacionária mais simples que pode se formar em um tubo, como no caso das cordas, corresponde ao primeiro harmônico ou harmônico fundamental. As ondas estacionárias mais complexas correspondem aos harmônicos superiores. Na figura 26, mostramos alguns possíveis modos de vibração da coluna de ar em um tubo aberto (Fig. 26A) e em um tubo fechado (Fig. 26B). A representação dos ventres e dos nós de deslocamento das partículas do ar interno ao tubo é semelhante à que foi adotada para as cordas, embora, no ar interno ao tubo, as ondas sejam longitudinais.



ILUSTRAÇÕES: ADILSON SECCO/ARQUIVO DA EDITORA

Figura 26. Representação esquemática dos três primeiros harmônicos ou modos de vibração da coluna de ar (A) no interior de tubos abertos e (B) no interior de tubos fechados.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Nas ondas estacionárias, a distância entre ventres adjacentes é igual a $\frac{\lambda}{2}$ e entre um ventre e um nó adjacentes é igual a $\frac{\lambda}{4}$; assim, podemos determinar a frequência de cada harmônico em função do comprimento L do tubo e da velocidade de propagação do som v_{som}.

Observe que, nos tubos abertos, os modos estacionários de vibração são semelhantes aos das cordas vibrantes, podendo apresentar todos os harmônicos superiores, múltiplos inteiros da frequência fundamental:

$$f_n = n \cdot f_1 = n \cdot \frac{v_{som}}{2 \cdot L}, \text{ com } n = 1, 2, 3, 4, 5, ...$$

Entretanto, nos tubos fechados, temos apenas os harmônicos superiores de ordem ímpar. Assim, para os tubos fechados, temos:

$$f_i = i \cdot f_1 = i \cdot \frac{v_{som}}{4 \cdot L}, \text{ com } i = 1, 3, 5, 7, 9, ...$$

O exemplo a seguir ilustra a aplicação dessa teoria na análise do som emitido por um tubo sonoro.

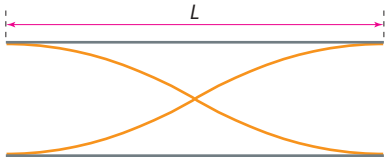
Exercício resolvido

ESTRATÉGIA DE ESTUDO

Um tubo sonoro aberto emite um som fundamental com frequência de 330 Hz. Considerando que a velocidade do som no ar, nas condições ambientes, seja de 330 m/s, determine o comprimento L do tubo.

Identificar

Para analisar esse problema, inicialmente, temos que encontrar a representação do harmônico do enunciado. No modo fundamental, a coluna de ar no interior do tubo aberto vibra em regime estacionário com um único nó central e com ventres nas extremidades abertas, conforme o esquema a seguir.



Preparar

Analisando a figura anterior, podemos escrever:

$\frac{\lambda}{2} = L \Rightarrow \lambda = 2 \cdot L$ (I)

Da equação fundamental da propagação ondulatória, temos:

$v = \lambda \cdot f$ (II)

Aplicar

Substituindo a equação (I) na equação (II), obtemos:

$v = 2 \cdot L \cdot f$

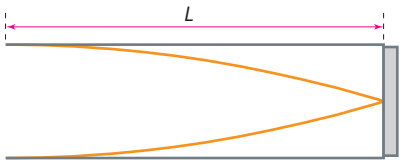
Com os dados numéricos do enunciado:

$330 = 2 \cdot L \cdot 330 \therefore L = 0{,}5$ m

Portanto, o comprimento L do tubo é igual a 0,5 m.

Analisar

Vamos analisar o que ocorreria com a frequência do som fundamental, caso uma das extremidades abertas desse tubo fosse vedada por uma tampa. Colocando uma tampa em uma das extremidades abertas, a coluna de ar passa a vibrar como no esquema a seguir. Observe que, agora, temos um nó na extremidade fechada do tubo.



ILUSTRAÇÕES: ADILSON SECCO/ ARQUIVO DA EDITORA

Nessa situação, temos:

$\frac{\lambda}{4} = L \Rightarrow \lambda = 4 \cdot L \Rightarrow \lambda = 4 \cdot 0{,}5 \therefore \lambda = 2$ m

Da equação fundamental da propagação ondulatória, temos:

$v = \lambda \cdot f \Rightarrow 330 = 2 \cdot f \therefore f = 165$ Hz

Portanto, a frequência do som fundamental emitido pelo tubo, com uma de suas extremidades fechada, passa a ser de 165 Hz.

Veja respostas e comentários no Suplemento para o professor.

Aplicando conhecimentos

Registre as respostas em seu caderno.

7. Quando observamos um guitarrista tocar seu instrumento, notamos que os dedos de uma das mãos percutem as cordas, enquanto os dedos da outra mão são colocados sobre certos pontos das cordas, alterando as notas emitidas. Efeitos semelhantes são produzidos por violonistas, violinistas, violoncelistas, cavaquinistas etc. Sobre esses fatos pergunta-se: O que esse procedimento altera nas cordas e que efeito isso provoca?

8. Uma corda de violão vibra emitindo a nota musical mi, de frequência de 330 Hz, com um comprimento vibratório L. Há dois procedimentos simples e independentes para levar essa corda a emitir outras notas. Um deles consiste em alterar a tração na corda; o outro, em alterar seu comprimento vibratório. Queremos que essa mesma corda passe a emitir o som da nota lá, de frequência de 440 Hz.

a. Na primeira opção, temos de aumentar ou diminuir a tração na corda?

b. Na segunda opção, temos de aumentar ou diminuir o comprimento?

c. Sem alterar a tração na corda, qual deverá ser o novo comprimento da parte vibrante dessa mesma corda?

9. O trompete é um instrumento de sopro, dotado de válvulas que permitem variar a altura do som emitido. Na família dos metais, é ele que alcança os registros mais altos, isto é, atinge as mais altas frequências. Durante a execução de uma peça musical, o trompetista eventualmente coloca uma surdina na extremidade oposta à da entrada de ar, obstruindo sua saída, como mostra a imagem a seguir.

HORATIU BOTA/SHUTTERSTOCK

Quanto à alteração das qualidades do som emitido pelo instrumento com a surdina, responda:

a. Qual é o efeito provocado na intensidade?

b. Qual é o efeito provocado na altura?

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Veja respostas e comentários no Suplemento para o professor.

EDUCAÇÃO MIDIÁTICA

Tecnologias assistivas

ODS 4

Muitas vezes, as limitações encontradas por pessoas com deficiência (PcD) não são causadas pelas próprias deficiências, mas sim pelas barreiras físicas impostas por um mundo criado para pessoas sem deficiência ou pelas atitudes dessas pessoas. Leia a seguir alguns depoimentos reais de PcD.

> *Pessoa 1*: "Eu não consigo saber se minha casa está limpa, aí limpo em demasia. Meus filhos eu nunca sei se estão arrumados [...]. Tenho dificuldades em sair à rua sozinha, mas conto os passos por onde vou, assim não me perco muito. [...] Eu preciso do triplo de tempo que uma pessoa com uma visão melhor necessita para ler um texto e tenho que voltar todas as vezes para ter certeza que não perdi nada."
>
> *Pessoa 2*: "Inicialmente utilizava lupas, ampliação de letras, posicionamento em local mais iluminado da sala, canetinha hidrocor ou lápis com grafite preto, fontes de tamanhos que variavam de 22 a 48. Posteriormente passei a utilizar Braille, gravações de aula, livros falados. O surgimento da informática e a popularização dos computadores trouxe incríveis facilidades. Então passei utilizar leitores de tela e *notebooks*. Recebi ajuda dos colegas ao ditarem a matéria do quadro, postura adotada também pelos professores."
>
> *Pessoa 3*: "[...] como adaptar para a pessoa surda entender de maneira mais clara? Nós temos a Libras como primeira língua, e o Português como segunda. [...] quando eu fui no museu, percebi que para mim faltavam informações. Porque só tinha informação em Português [...]. Como ocorre a comunicação visual, como se explica os conceitos de Ciências para o surdo entender mais claro?"

Fontes: FERRAZ, D. P. A; MATTA, C. E. Relato de experiência sobre a inclusão de pessoas com deficiência no Ensino Superior por meio da Educação a Distância. *In*: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENSINO SUPERIOR A DISTÂNCIA, 11, 2014, Florianópolis. [**Anais**]. Florianópolis: Unirede, 2014.

Organizem-se em grupos.

1. Para cada uma das pessoas dos relatos anteriores, identifique: as dificuldades enfrentadas e as soluções buscadas por elas para superá-las.

A Ciência e a Tecnologia revolucionam a forma como percebemos e interagimos com o mundo. Na Física, alguns avanços nos campos da Acústica, Óptica e Eletromagnetismo proporcionam benefícios para seres humanos verem e ouvirem mais e melhor. **Tecnologia assistiva** é o nome dado aos recursos utilizados para proporcionar inclusão social, qualidade de vida e autonomia a pessoas com deficiência (PcD). Veja dois exemplos dessas tecnologias nas imagens a seguir.

2. Escolham uma das pessoas que deram seu relato e proponham uma solução tecnológica para ajudá-la a superar suas dificuldades. Pode ser um aplicativo para *smartphone* ou computador, um sensor ou outro recurso digital. Para isso:

a. pesquisem as tecnologias assistivas disponíveis atualmente;

b. selecionem, adaptem ou criem uma tecnologia adequada à pessoa escolhida;

c. a partir do artigo 19 da Declaração Universal dos Direitos Humanos, transcrito a seguir, expliquem a importância da tecnologia assistiva desenvolvida pelo seu grupo para a garantia desse direito.

> Todo ser humano tem direito à liberdade de opinião e expressão; este direito inclui a liberdade de, sem interferência, ter opiniões e de procurar, receber e transmitir informações e ideias por quaisquer meios e independentemente de fronteiras.

Fonte: ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS (ONU). **Declaração Universal dos Direitos Humanos**. Nova York: ONU, 1948. Disponível em: https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000139423. Acesso em: 3 abr. 2024.

CHANSOM PANTIP/SHUTTERSTOCK

O computador com terminal braille é um ótimo dispositivo de assistência tecnológica para pessoas com deficiência visual.

REPRODUÇÃO/HAND TALK

Tela de aplicativo que converte texto ou áudio em língua de sinais.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Em destaque

Sonar para vigilância urbana

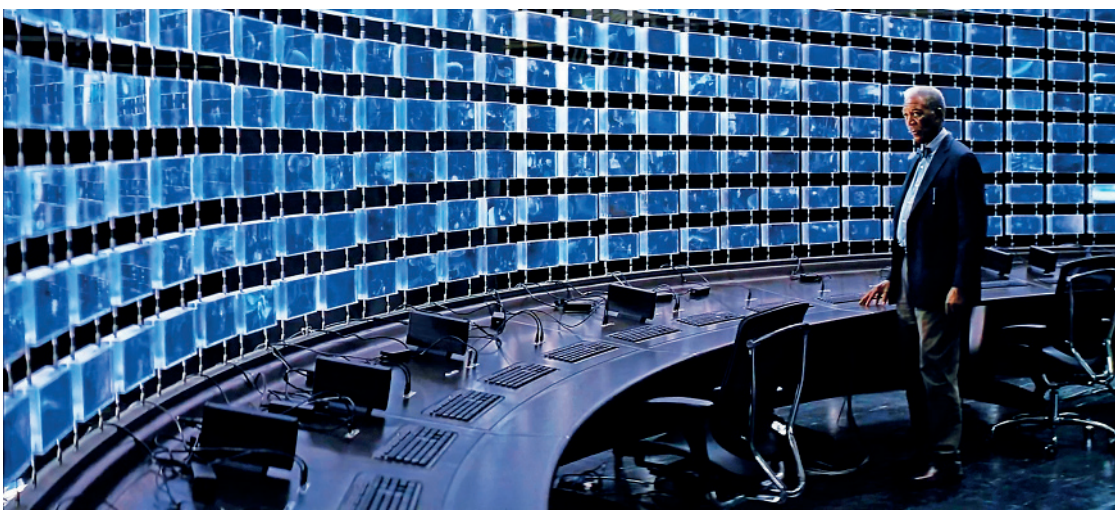
No filme *Batman: O Cavaleiro das Trevas* (2008, Los Angeles, direção de Christopher Nolan), a cidade fictícia Gotham City enfrenta a ameaça do sádico criminoso conhecido como Coringa, que semeia o caos e desafia o super-herói Batman. Enquanto tenta desmantelar a rede criminosa do Coringa, Batman é confrontado com dilemas morais e a natureza de sua identidade. Com a ajuda do comissário Gordon e do promotor Harvey Dent, Batman enfrenta uma batalha contra um inimigo imprevisível.

Inspirado por uma tecnologia da empresa fictícia Wayne Enterprises de ondas de altas frequências para cartografar um espaço, o empresário Bruce Wayne modifica o sistema para atingir seus objetivos como Batman. Originalmente projetada para mapear o ambiente por meio de ecolocalização, parecido com um sonar de submarino, a tecnologia é adaptada para transformar celulares em dispositivos de vigilância, permitindo monitoramento em massa e visão abrangente da cidade.

Lucius Fox, que dirige a empresa, desempenha um papel crucial no desenvolvimento da tecnologia e é o responsável por fornecer a base técnica usada por Bruce Wayne. No entanto, Fox manifesta sérias preocupações quanto ao uso da tecnologia para vigilância em massa, avaliando-a como uma grave invasão da privacidade dos cidadãos de Gotham e uma poderosa ferramenta que pode ser utilizada de forma abusiva. Ao descobrir a extensão da tecnologia modificada por Bruce, Fox expressa seu descontentamento:

> Lindo! Lindo... Antiético. Perigoso. Transformou todos os celulares de Gotham em microfones... e num emissor/receptor de altas-frequências. Aplicou o meu conceito do sonar a todos os celulares da cidade! Com meia cidade a emitir sinal, pode visualizar toda a Gotham! Isto está errado.

Fonte: BATMAN: O Cavaleiro das Trevas. Direção: Christopher Nolan. Produção de Christopher Nolan, Emma Thomas e Charles Roven. Los Angeles: Warner Bros., 2008. DVD.



WARNER BROS PICTURES/COLLECTION CHRISTOPHEL/AGB PHOTO LIBRARY

Sala de monitoramento em cena do filme *Batman: O Cavaleiro das Trevas*.

Lucius adverte Bruce sobre os riscos de concentrar tanto poder em uma única pessoa e teme que a tecnologia possa ser usada de maneira autoritária e opressiva.

Em duplas, respondam:

1. A onda citada no texto é de natureza mecânica ou eletromagnética?
2. Qual fenômeno ondulatório ocorre no funcionamento da tecnologia de sonar proposto no filme?
3. Considere as seguintes informações:
   - o *hardware* dos microfones e alto-falantes dos telefones celulares operam na faixa audível de frequências (20 Hz a 20 kHz);
   - a atenuação das ondas sonoras é maior quanto maior a frequência da onda.

   A tecnologia de mapeamento apresentada no filme é cientificamente possível?

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

CONTINUA

4. Na opinião de vocês, por que a ficção científica às vezes distorce ou simplifica conceitos científicos? Considerem como essas simplificações podem influenciar a percepção pública da ciência e a importância de distinguir entre a realidade científica e a ficção.
5. Suponha que o prefeito de Gotham marcou uma reunião urgente com dois grupos de opiniões divergentes para avaliar a possibilidade de implementar essa tecnologia de vigilância na cidade. Dividam-se em dois grandes grupos, um a favor da implementação da tecnologia de vigilância e o outro contrário a ela. Para orientar a discussão entre os grupos, conversem previamente sobre estas questões:
   - Como essa tecnologia pode ser um recurso valioso para a proteção da cidade?
   - Existe algum país que utiliza um sistema de vigilância em massa? Se sim, quais questões são levantadas pela população desse local?
   - O ultrassom poderia interferir na vida de algum ser vivo?
   - Quais aspectos poderiam superar possíveis malefícios dessa tecnologia?

Veja respostas e comentários no Suplemento para o professor.

Atividades finais

Registre as respostas em seu caderno.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

1. Leia as afirmações a seguir, classifique cada uma como verdadeira ou falsa e indique a resposta correta de acordo com o código. 1. e

I. As ondas ultrassônicas são perturbações que se propagam em todos os meios materiais como ondas transversais.

II. Os sons, os infrassons e os ultrassons propagam-se no ar com velocidades de mesmo módulo em uma mesma massa de ar.

III. Os comprimentos de onda (λ) dos infrassons, sons e ultrassons obedecem à seguinte ordem:

$$\lambda_{infrassom} > \lambda_{som} > \lambda_{ultrassom}$$

Código de respostas:

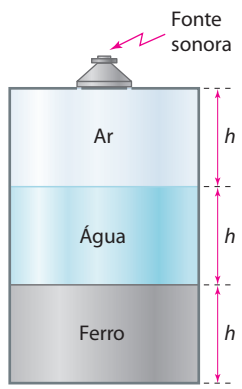
a. Todas são verdadeiras.
b. Todas são falsas.
c. É verdadeira apenas a II.
d. É verdadeira apenas a III.
e. São verdadeiras a II e a III.

2. Uma pessoa parada sobre a calçada de uma grande avenida vê uma ambulância passar com velocidade constante de 126 km/h, com a sirene acionada. Durante a aproximação da ambulância, a pessoa recebe um som de frequência 550 Hz. Quando a ambulância começa a se afastar, a pessoa recebe um som de frequência 450 Hz. Com essas condições, determine:

a. a velocidade de propagação do som no ar local, em m/s;
b. a frequência f_S do som emitido pela sirene, em Hz.

3. Se você passar contínua e periodicamente um dedo úmido pela borda de uma taça de cristal fino, poderá ouvir nitidamente um som melodioso. Você também já deve ter ouvido dizer que um tenor é capaz de quebrar uma taça de cristal apenas com o som de sua voz. Explique por que isso pode ocorrer.

4. Um tambor cilíndrico tem no seu fundo um bloco de ferro de altura h, sobre o qual há uma porção de água de espessura h e uma camada de ar de altura h, como se vê no esquema a seguir. 4. d



ADILSON SECCO/ARQUIVO DA EDITORA

Uma fonte sonora produz um som que atravessa o ar, a água e o ferro, com velocidades v_{ar}, $v_{água}$ e v_{ferro}. Denominando Δt_{ar}, $\Delta t_{água}$ e Δt_{ferro} os intervalos de tempo gastos pelo som para atravessar esses materiais, podemos dizer que:

a. $v_{ar} > v_{água} > v_{ferro}$.
b. $\Delta t_{ar} < \Delta t_{água} < \Delta t_{ferro}$.
c. $v_{ar} \cdot \Delta t_{ar} > v_{água} \cdot \Delta t_{água} > v_{ferro} \cdot \Delta t_{ferro}$.
d. $v_{ar} \cdot \Delta t_{ar} = v_{água} \cdot \Delta t_{água} = v_{ferro} \cdot \Delta t_{ferro}$.
e. $v_{ar} \cdot \Delta t_{ar} < v_{água} \cdot \Delta t_{água} < v_{ferro} \cdot \Delta t_{ferro}$.

5. **(Enem)** A ultrassonografia, também chamada de ecografia, é uma técnica de geração de imagens muito utilizada em Medicina. Ela se baseia na reflexão que ocorre quando um pulso de ultrassom, emitido pelo aparelho colocado em contato com a pele, atravessa a superfície que separa um órgão do outro, produzindo ecos que podem ser captados de volta pelo aparelho. Para a observação de 5. d

CONTINUA

detalhes no interior do corpo, os pulsos sonoros emitidos têm frequências altíssimas, de até 30 MHz, ou seja, 30 milhões de oscilações a cada segundo.

A determinação de distâncias entre órgãos do corpo humano feita com esse aparelho fundamenta-se em duas variáveis imprescindíveis:

a. a intensidade do som produzido pelo aparelho e a frequência desses sons.

b. a quantidade de luz usada para gerar as imagens no aparelho e a velocidade do som nos tecidos.

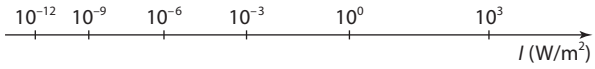
c. a quantidade de pulsos emitidos pelo aparelho a cada segundo e a frequência dos sons emitidos pelo aparelho.

d. a velocidade do som no interior dos tecidos e o tempo entre os ecos produzidos pelas superfícies dos órgãos.

e. o tempo entre os ecos produzidos pelos órgãos e a quantidade de pulsos emitidos a cada segundo pelo aparelho.

6. Uma professora de Física, em uma aula de Acústica, desenhou na lousa um eixo horizontal apresentando alguns valores de intensidades sonoras, como se vê no esquema.

ADILSON SECCO/ ARQUIVO DA EDITORA



a. Um aluno da turma questionou a professora, argumentando que os intervalos da escala deveriam ter todos o mesmo comprimento. A argumentação desse aluno está correta ou não? Em sua opinião, qual deve ter sido a resposta da professora?

b. Determine os valores dos níveis de intensidade sonora β correspondentes aos valores das intensidades sonoras apresentados pela professora no eixo horizontal. Desenhe um eixo horizontal apresentando os valores de β determinados.

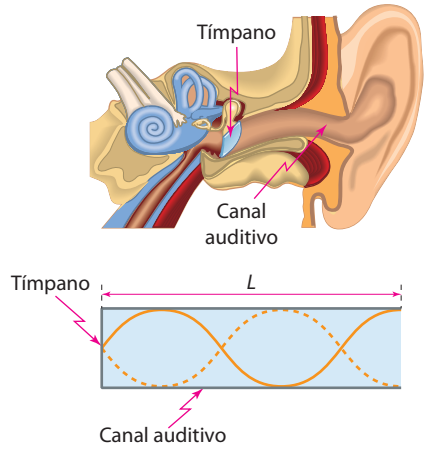
(Dica: lembre-se de que $\log 10^n = n$.)

c. Pelo que você estudou desse assunto, no eixo dos níveis de intensidades sonoras (β) do item **b**, os intervalos da escala devem ter o mesmo comprimento? Por quê?

7. A mãe pede ao filho: "Zezinho, diminua o *volume* do som da TV; está muito *alto*...". De acordo com os conceitos estudados neste capítulo, redija a frase da mãe de Zezinho, substituindo os termos em itálico pelos corretos, segundo a terminologia física.

8. **(Enem)** Um dos modelos usados na caracterização dos sons ouvidos pelo ser humano baseia-se na hipótese de que ele funciona como um tubo ressonante. Nesse caso, os sons externos produzem uma variação de pressão do ar no interior do canal auditivo, fazendo a membrana (tímpano) vibrar. Esse modelo pressupõe que o sistema funciona de forma equivalente à propagação de ondas sonoras em tubos com uma das extremidades fechadas pelo tímpano. As frequências que apresentam ressonância com o canal auditivo têm sua intensidade reforçada, enquanto outras podem ter sua intensidade atenuada.

8. b



ADILSON SECCO/ARQUIVO DA EDITORA

Considere que, no caso de ressonância, ocorra um nó sobre o tímpano e ocorra um ventre da onda na saída do canal auditivo, de comprimento L igual a 3,4 cm. Assumindo que a velocidade do som no ar (v) é igual a 340 m/s, a frequência do primeiro harmônico (frequência fundamental, $n = 1$) que se formaria no canal, ou seja, a frequência mais baixa que seria reforçada por uma ressonância no canal auditivo, usando este modelo, é:

a. 0,025 kHz, valor que considera a frequência do primeiro harmônico igual a $\frac{nv}{4L}$ e equipara o ouvido a um tubo com ambas as extremidades abertas.

b. 2,5 kHz, valor que considera a frequência do primeiro harmônico igual a $\frac{nv}{4L}$ e equipara o ouvido a um tubo com uma extremidade fechada.

c. 10 kHz, valor que considera a frequência do primeiro harmônico igual a $\frac{nv}{L}$ e equipara o ouvido a um tubo com ambas as extremidades fechadas.

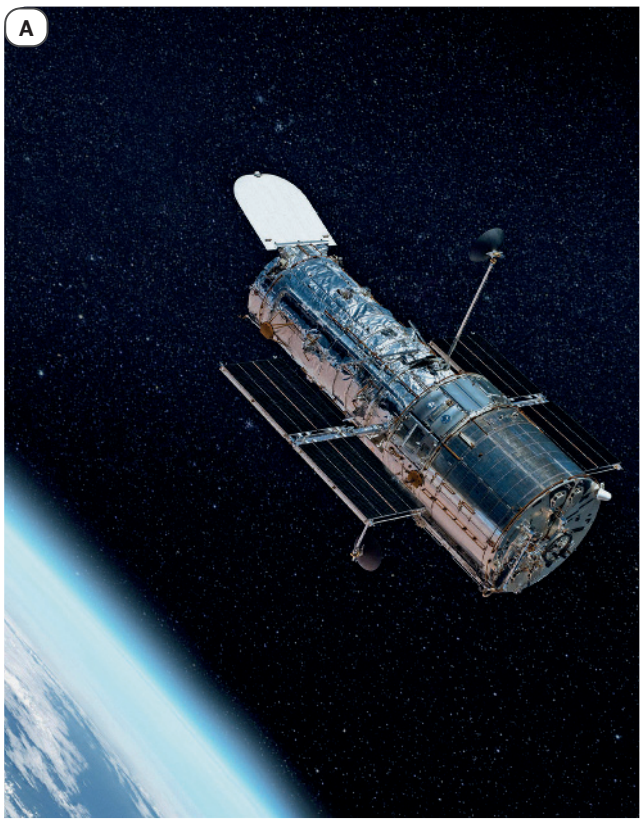
d. 2.500 kHz, valor que expressa a frequência do primeiro harmônico como igual a $\frac{nv}{L}$, aplicável ao ouvido humano.

e. 10.000 kHz, valor que expressa a frequência do primeiro harmônico como igual a $\frac{nv}{L}$, aplicável ao ouvido e ao tubo aberto e fechado.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

CAPÍTULO 16

Óptica Geométrica



PAOPANO/ALAMY/FOTOARENA

DESIREE STOVER/NASA

Os telescópios espaciais (A) Hubble (2013) e (B) James Webb (EUA, 2017) utilizam espelhos para captar a luz de astros no Universo, entre eles os chamados exoplanetas. Exoplaneta é um planeta que orbita uma estrela que não pertence ao nosso Sistema Solar.

Um dos principais objetivos do telescópio espacial James Webb, lançado ao espaço em 2021, é captar imagens para o estudo de estrelas jovens; das primeiras galáxias formadas no Universo; e de água na atmosfera de outros planetas. Já o telescópio espacial Hubble , lançado ao espaço em 1990, não tem como objetivo específico o estudo de exoplanetas, no entanto, fez imagens importantes sobre esses astros.

A procura por vida fora da Terra está relacionada à busca de exoplanetas e suas condições para habitabilidade, como a presença de água. A detecção direta de um exoplaneta é difícil, já que planetas não produzem luz própria, apenas refletem a luz proveniente de sua estrela.

Diversas técnicas contribuem para a detecção de exoplanetas. Uma delas é o trânsito planetário. Ao observar estrelas, caso exista um planeta no mesmo plano do observador e da estrela, no instante em que o planeta transita entre a estrela e o observador, cria-se um efeito de eclipse. Essa detecção é realizada por telescópios de alta precisão, que estimam o brilho da estrela ao longo do tempo. Assim, quando um planeta cruza a estrela, o telescópio detecta uma diminuição no brilho dela.

Outra técnica empregada é a detecção direta, embora não seja altamente eficiente para identificar exoplanetas, já que os planetas têm tamanho e luminosidade muito menores em comparação com estrelas. Para fazer uma imagem direta de um exoplaneta, usa-se a técnica de bloquear a luz da estrela hospedeira do planeta com um equipamento chamado coronógrafo.

O estudo que abrange os conceitos da Óptica Geométrica é essencial para se compreender parte do funcionamento dos telescópios. Esses conceitos são abordados neste capítulo em três partes: introdução à Óptica Geométrica; espelhos planos e esféricos; e refração da luz, reflexão total e lentes esféricas.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

1. Introdução

A luz, as radiações ultravioleta e infravermelha, os sinais de rádio e de televisão, os raios X, entre outros fenômenos físicos, são caracterizados como **ondas eletromagnéticas**. De todas as ondas que constituem o espectro eletromagnético, é a luz que determina a sensação visual ao atingir nossos olhos.

Como é possível enxergar os diversos objetos que nos cercam? Essa questão intrigava os antigos filósofos gregos. Muitos acreditavam que os olhos emitiam raios de luz que iluminavam os objetos, permitindo, assim, que fossem vistos. Outros consideravam que os olhos recebiam a luz emitida pelos objetos, como entendemos hoje. Mas de onde vem a luz que os corpos emitem?

Há corpos que produzem a própria luz que emitem; são os chamados **corpos luminosos** ou **fontes de luz primárias** – por exemplo, o Sol (Fig. 1A) e o filamento de lâmpadas elétricas acesas. A maioria dos corpos, no entanto, não emite luz própria e são chamados de **corpos iluminados** ou **fontes de luz secundárias**, como a Lua, por exemplo (Fig. 1B). Nós os enxergamos porque eles refletem a luz recebida de outros corpos. As folhas deste livro são exemplos de corpos iluminados. Elas refletem difusamente, isto é, em **todas as direções**, a luz que recebem de outras fontes.

Uma fonte de luz que tenha dimensões desprezíveis em relação às distâncias que a separam dos corpos que ela ilumina é chamada de **fonte puntiforme**. Quando suas dimensões não são desprezíveis, a fonte de luz é denominada **fonte extensa**.

CASSANDRA CURY/PULSAR IMAGENS

FABIO COLOMBINI/ ARQUIVO DO FOTÓGRAFO

Figura 1. (A) O Sol é uma fonte de luz primária (Andaraí, BA, 2013); (B) a Lua é uma fonte de luz secundária (Santo Antônio do Pinhal, SP, 2020).

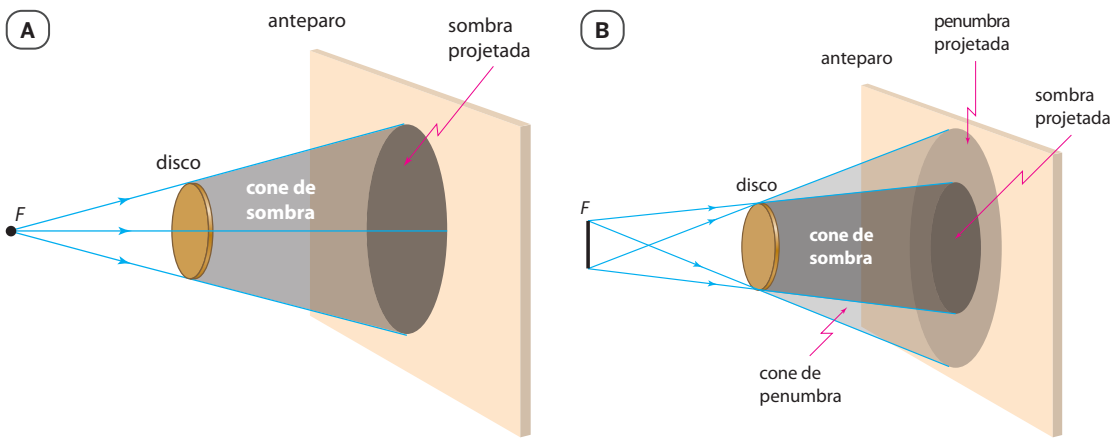
2. Propagação retilínea da luz

O aparecimento de sombras e penumbras, a ocorrência de eclipses e a formação de imagens nas câmaras escuras de orifício são consequências da propagação retilínea da luz, o que nos permite afirmar: **a luz se propaga em linha reta quando atravessa meios homogêneos e transparentes**.

Sombra e penumbra

Um disco opaco é colocado entre uma fonte de luz puntiforme *F* e um anteparo. Dos raios de luz emitidos por *F*, vamos considerar aqueles que tangenciam o disco (Fig. 2A).

Denominamos **cone de sombra** a região localizada entre o disco e o anteparo que não é iluminada pela fonte *F*, em razão da propagação retilínea da luz. **Sombra projetada** é a região do anteparo não iluminada pela fonte.



ILUSTRAÇÕES: ADILSON SECCO/ARQUIVO DA EDITORA

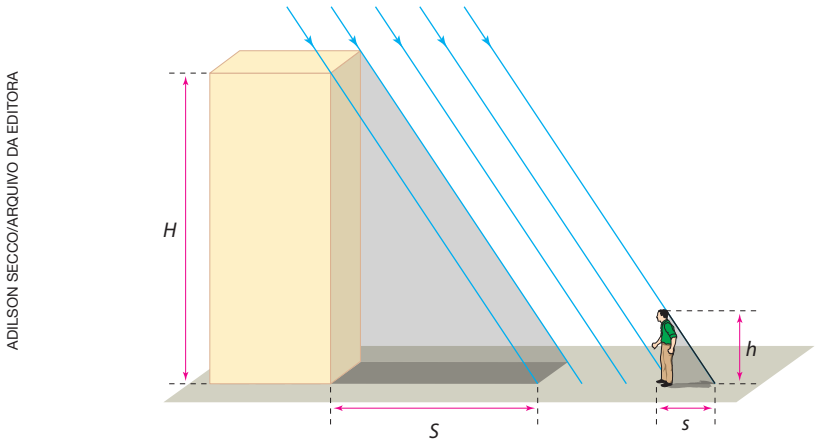
Figura 2. (A) Formação de sombra originada por uma fonte puntiforme de luz; (B) formação de sombra e de penumbra originada por uma fonte extensa de luz.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Considere agora uma fonte de luz extensa. Nesse caso, além do cone de sombra e da sombra projetada, temos ainda duas regiões: o **cone de penumbra** e a **penumbra projetada**. Essas regiões recebem luz de parte da fonte (Fig. 2B).

Exercício resolvido

Sejam $h = 1{,}8$ m e $s = 1{,}2$ m a altura e o comprimento da sombra de uma pessoa e $S = 6$ m o comprimento da sombra do edifício, como indicado no esquema. Usando a semelhança de triângulos, calcule a altura H do edifício.



ADILSON SECCO/ARQUIVO DA EDITORA

(Representação fora de proporção; cores meramente ilustrativas.)

Resolução

Observe que os raios solares que atingem a Terra são praticamente paralelos. Então, por semelhança de triângulos, temos:

$$\frac{H}{h} = \frac{S}{s} \Rightarrow \frac{H}{1{,}8} = \frac{6}{1{,}5} \therefore H = 9 \text{ m}$$

Portanto, o edifício tem 9 metros de altura.

Veja respostas e comentários no Suplemento para o professor.

Atividade prática

Registre as respostas em seu caderno.

Medir sombras para conhecer a altura

Objetivo

Determinar a altura de um poste a partir da comparação com o tamanho de uma pessoa.

Material

- trena de pelo menos 2 metros de comprimento
- pedaço de giz de lousa
- lápis
- folha de papel

Procedimento

1. Escolha um poste para ser medido que esteja em uma região onde o solo é plano e horizontal. O procedimento usado nesta atividade serve para medir a altura de qualquer estrutura comprida e vertical, como um mastro de bandeira, por exemplo.
2. Em um dia ensolarado, por volta das 10 h ou das 16 h, marque com giz o limite extremo da sombra do poste. Meça com a trena a distância entre a base do poste e a marca de giz.
3. Em seguida, peça a outra pessoa que se posicione perto do poste e marque com o giz o limite extremo de sua sombra. Meça com a trena a distância entre os pés da pessoa e a marca de giz.
4. Meça a altura da pessoa.

Análise

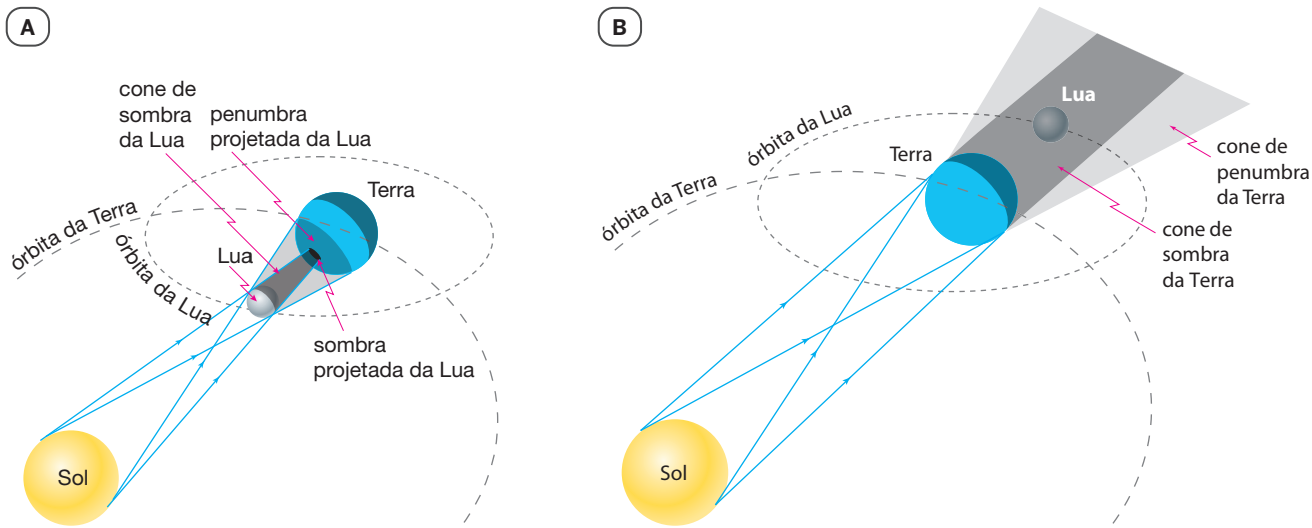
Vamos chamar de S o comprimento da sombra do poste, s o comprimento da sombra da pessoa, h a altura da pessoa e H a altura do poste. Elabore um texto explicando como você pode, com essas medidas, determinar a altura H do poste.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Eclipses

O ocultamento total ou parcial de um astro pela interposição de outro astro entre ele e um observador recebe o nome de **eclipse**.

O eclipse do Sol (Fig. 3A) ocorre quando a Lua está posicionada entre o Sol e a Terra e projeta sobre a Terra uma região de sombra e outra de penumbra. O **eclipse total** ocorre para os habitantes da Terra situados na região de sombra e o **eclipse parcial** ocorre para aqueles situados na região de penumbra.



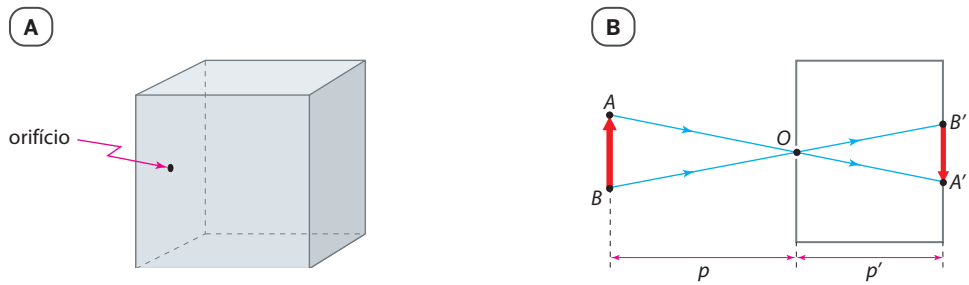
ILUSTRAÇÕES: ADILSON SECCO/ARQUIVO DA EDITORA

Figura 3. Representação esquemática de um eclipse do Sol (A) e da Lua (B). (Representação fora de proporção; cores meramente ilustrativas.)

O **eclipse total da Lua** ocorre quando ela está totalmente imersa no cone de sombra da Terra. O **eclipse parcial da Lua** ocorre quando a Lua penetra parcialmente no cone de sombra da Terra (Fig. 3B).

Câmara escura de orifício

Câmara escura de orifício é uma caixa de paredes opacas com um pequeno orifício em uma de suas faces (Fig. 4A).



ILUSTRAÇÕES: ADILSON SECCO/ARQUIVO DA EDITORA

Figura 4. (A) Câmara escura de orifício; (B) representação esquemática da imagem *A′B′* de um objeto *AB* obtida com uma câmara escura de orifício.

Um objeto *AB* luminoso (que emite luz própria) ou iluminado (que envia a luz que recebe de outros corpos) é colocado diante da face da câmara que possui o orifício. Os raios de luz emitidos pelo objeto e que passam pelo orifício originam na parede oposta uma figura semelhante ao objeto, mas invertida. Essa figura é comumente chamada imagem *A′B′* do objeto *AB*. O fato de a imagem ter forma semelhante à do objeto e ser invertida evidencia a propagação retilínea da luz (Fig. 4B).

Como os triângulos *ABO* e *A′B′O* são semelhantes, podemos relacionar as alturas *AB* e *A′B′* do objeto e da imagem com as distâncias *p*, do objeto à câmara, e *p′*, da imagem até a parede com o orifício:

$$\frac{A'B'}{AB} = \frac{p}{p'}$$

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Veja respostas e comentários no Suplemento para o professor.

Aplicando conhecimentos

Registre as respostas em seu caderno.

1. Considere as seguintes fontes de luz: o Sol, o planeta Marte e seus satélites Fobos e Deimos, um palito de fósforo apagado, uma lâmpada incandescente acesa, as páginas de um jornal e a estrela Sirius, localizada na constelação do Cão Maior. Quais são fontes de luz primárias e quais são fontes de luz secundárias?

2. Considere um objeto linear de 10 cm de altura, localizado a 25 cm de distância de uma câmara escura de orifício com 20 cm de profundidade. Determine a altura da imagem projetada.

3. As cores de um corpo

A luz policromática e a luz monocromática

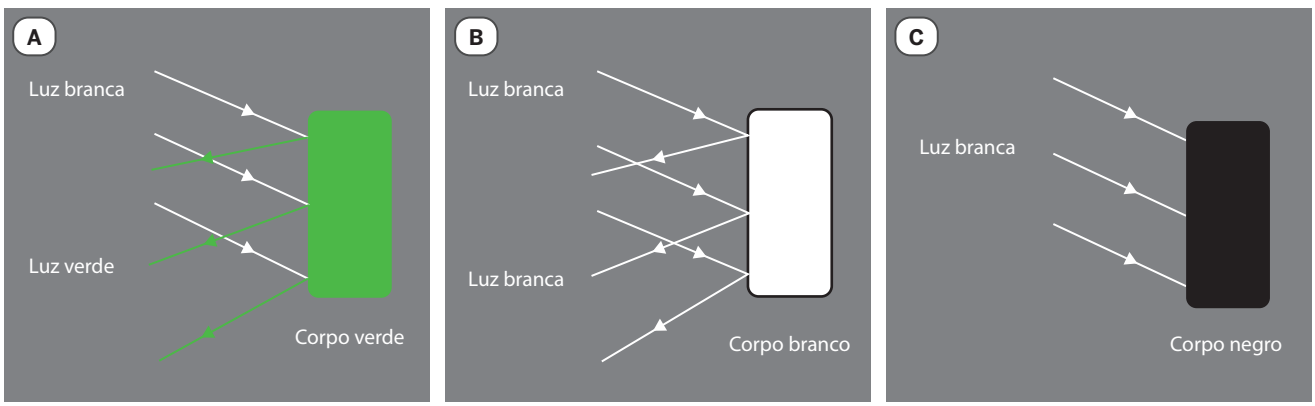
A luz emitida pelo Sol é uma **luz policromática** branca, composta de uma enorme quantidade de cores, das quais sete se evidenciam quando se forma o arco-íris: vermelho, alaranjado, amarelo, verde, azul, anil e violeta.

A luz emitida por uma fonte pode ser constituída de apenas uma cor, sendo, nesse caso, chamada de **luz monocromática**.

Cor de um corpo por reflexão

As cores dos corpos dependem das cores das luzes que eles refletem difusamente. Assim, por exemplo, se um objeto, ao ser iluminado pela luz solar, apresentar-se verde é porque reflete difusamente a componente verde e absorve as demais componentes da luz solar (Fig. 5A).

Um corpo que, ao ser iluminado pela luz solar, reflete difusamente todas as componentes, não absorvendo nenhuma, é um **corpo branco** (Fig. 5B). Já um corpo que, ao contrário, não reflete nenhuma componente e absorve todas é um **corpo negro** (Fig. 5C).



ILUSTRAÇÕES: NELSON MATSUDA/ARQUIVO DA EDITORA

Figura 5. A cor de um corpo é a cor da componente da luz branca por ele refletida. Representação esquemática de (A) um corpo verde, (B) um corpo branco e (C) um corpo preto. (Representação fora de proporção; cores meramente ilustrativas.)

4. Imagens em um espelho plano

Um espelho plano comum é constituído de uma lâmina de vidro de faces paralelas, em uma das quais é depositada uma fina camada de prata, compondo a **face refletora**.

A imagem de um objeto colocado na frente da face refletora de um espelho plano se forma "atrás" do espelho, e a distância entre a imagem e o espelho é igual à distância entre o objeto e o espelho. A imagem obtida tem as mesmas dimensões do objeto e é direita em relação ao objeto.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Vamos representar um raio de luz que, partindo de um objeto pontual *A*, incide no espelho, sofre reflexão e atinge o olho *O* de uma pessoa (Fig. 6). Essa construção é feita do seguinte modo: determinamos a imagem *A'* do ponto *A*. Note que a distância entre *A* e o espelho é igual à distância entre *A'* e o espelho, e que *A* e *A'* pertencem à mesma reta perpendicular ao espelho. Em seguida, unimos os pontos *O* e *A'*, determinando no espelho o ponto *I* de incidência da luz. Nesse caso, *AI* é o raio incidente, e *IO* é o raio refletido. Perceba que o **ângulo de reflexão *r***, entre o raio refletido e a reta normal *N*, é igual ao **ângulo de incidência *i***, entre o raio incidente e a reta normal *N*. Note, também, que o raio incidente, o raio refletido e a reta normal pertencem a um mesmo plano.

ADILSON SECCO/ARQUIVO DA EDITORA

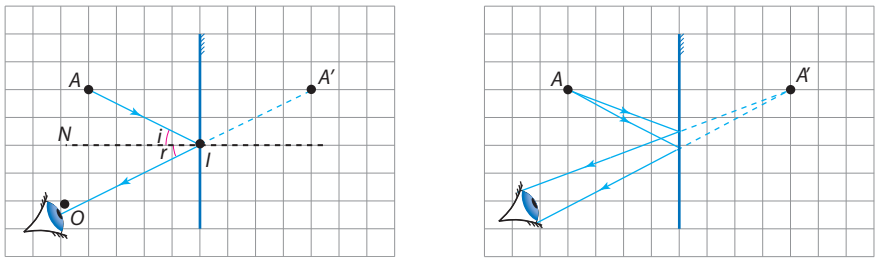


Figura 6. Representação esquemática: à esquerda, a direção do raio refletido pelo espelho passa pela imagem *A'*. Já à direita, *A* é o ponto objeto real; *A'* é o ponto imagem virtual.

O ponto objeto é definido pelos raios de luz que incidem no espelho, e o ponto imagem, pelos raios de luz que emergem do espelho. Quando os raios de luz que incidem ou emergem efetivamente se encontram, o correspondente ponto é chamado **real**. Quando o encontro ocorre por meio de prolongamentos, o ponto é chamado de **virtual**. No caso da figura 6, o ponto *A* é um ponto objeto real, e o ponto *A'* é um ponto imagem virtual. Um espelho plano não inverte a imagem, mas troca a direita pela esquerda e vice-versa (Fig. 7), o que é chamado de **enantiomorfismo**.

ADILSON SECCO/ARQUIVO DA EDITORA

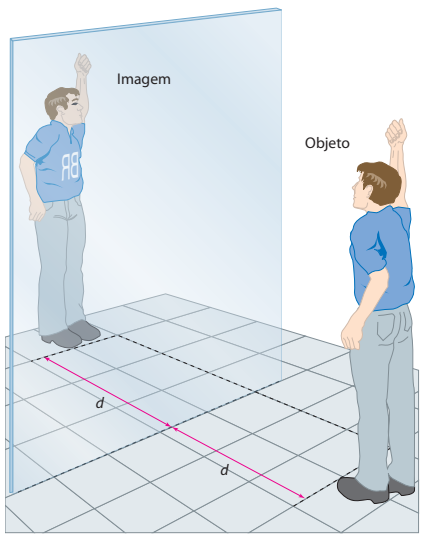


Figura 7. Objeto e imagem são simétricos em relação à superfície do espelho. Se o objeto é real, a imagem é virtual e vice-versa.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

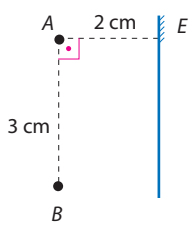
Veja respostas e comentários no Suplemento para o professor.

Aplicando conhecimentos

Registre as respostas em seu caderno.

3. Um raio de luz é refletido em um espelho plano. O ângulo entre os raios incidente (*RI*) e refletido (*RR*) mede 50°. Determine os ângulos de incidência, de reflexão e o ângulo que o raio refletido forma com a superfície do espelho.

4. Reproduza o esquema em seu caderno. Ele apresenta dois pontos, *A* e *B*, que estão diante de um espelho plano *E*. Determine a distância entre *B* e a imagem de *A*.

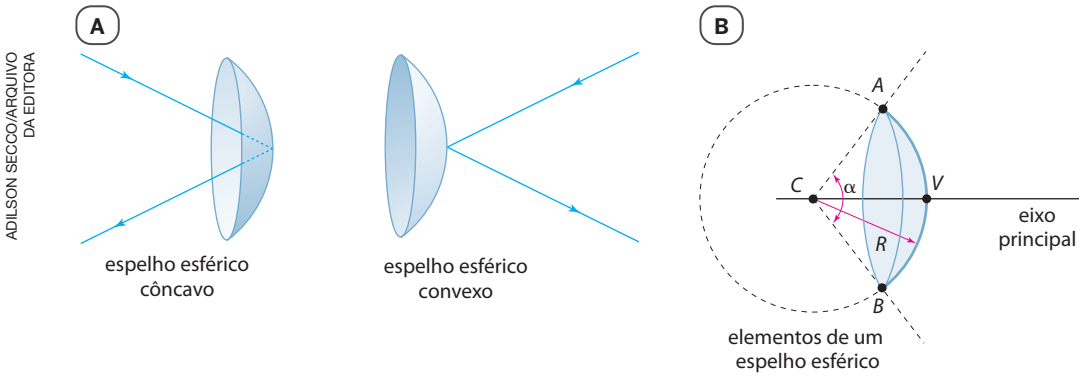


ADILSON SECCO/ARQUIVO DA EDITORA

5. Espelhos esféricos

Os espelhos esféricos podem ser côncavos ou convexos. Nos espelhos esféricos côncavos, a superfície refletora é **interna**, e nos espelhos esféricos convexos, a superfície refletora é **externa** (Fig. 8A).

Destacamos quatro elementos importantes de um espelho esférico: o centro de curvatura *C*, o vértice *V*, o eixo principal, que é a reta definida por *C* e *V*, e o ângulo α de abertura do espelho (Fig. 8B).

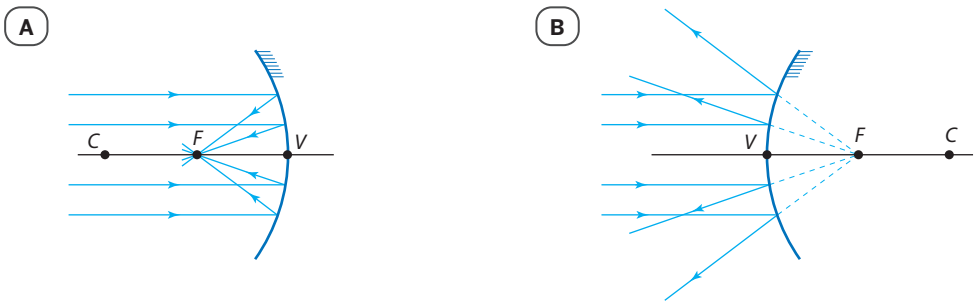


ADILSON SECCO/ARQUIVO DA EDITORA

Figura 8. (A) Calotas esféricas refletoras; (B) elementos geométricos dos espelhos esféricos.

Foco principal de um espelho esférico

Considere um feixe de raios paralelos incidindo em um espelho esférico, paralelamente ao eixo principal. No caso do espelho côncavo, o feixe refletido passa efetivamente por um ponto do eixo principal (Fig. 9A). No caso do espelho convexo, o ponto de encontro dos raios refletidos está nos seus prolongamentos sobre o eixo principal (Fig. 9B). Em qualquer situação, esse ponto do eixo principal é denominado **foco principal** e é indicado por ***F***.



ADILSON SECCO/ARQUIVO DA EDITORA

Figura 9. Representação esquemática de um feixe de raios paralelos incidindo em (A) um espelho esférico côncavo e em (B) um espelho esférico convexo.

Note que o foco principal *F* é um ponto imagem real nos espelhos côncavos e virtual nos espelhos convexos. Essas considerações são válidas para espelhos de pequena abertura α (α < 10°).

A distância entre o foco *F* e o vértice *V* do espelho é denominada **distância focal**, indicada por *f*. Para os espelhos esféricos de pequena abertura (α < 10°), o foco principal *F* localiza-se aproximadamente no ponto médio do segmento definido por *C* e *V* (Fig. 10). Logo:

$$f = \frac{R}{2}$$

ADILSON SECCO/ARQUIVO DA EDITORA

Figura 10. O foco principal *F* dos espelhos esféricos coincide com o ponto médio do segmento $\overline{CV}$.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Raios notáveis

Quando um raio de luz incide em um espelho esférico paralelamente ao eixo principal, é refletido em uma direção que passa pelo foco principal (Fig. 11).

ADILSON SECCO/ARQUIVO DA EDITORA

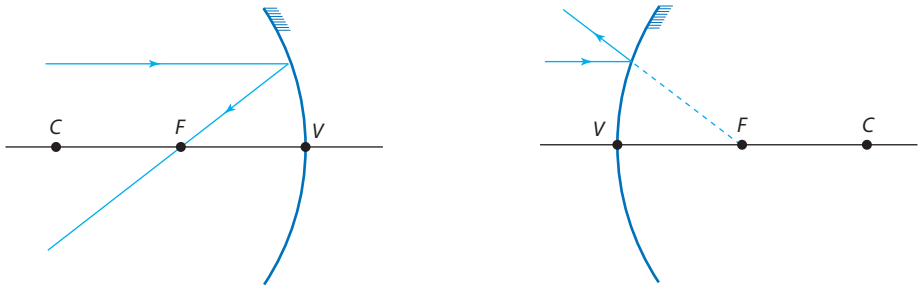


Figura 11. Nos espelhos esféricos, o raio de luz incidente paralelamente ao eixo principal reflete-se na direção do foco.

Quando um raio de luz incide na direção do foco principal *F*, o correspondente raio refletido é paralelo ao eixo principal (Fig. 12).

ADILSON SECCO/ARQUIVO DA EDITORA

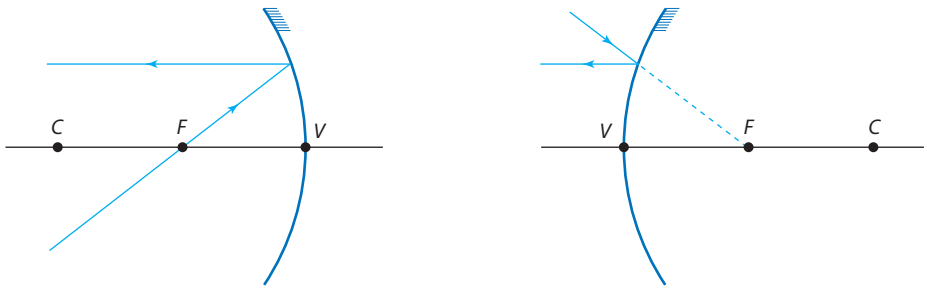


Figura 12. Nos espelhos esféricos, o raio de luz incidente na direção do foco principal reflete-se paralelamente ao eixo principal.

No espelho esférico, um raio de luz incidente em direção ao centro de curvatura *C* é perpendicular à calota. Nesse caso, o ângulo de incidência é nulo ($i = 0$). Como o ângulo de reflexão também é nulo ($r = 0$), concluímos que o raio refletido coincide com o raio incidente, isto é, o raio incide e volta sobre si mesmo (Fig. 13).

ADILSON SECCO/ARQUIVO DA EDITORA

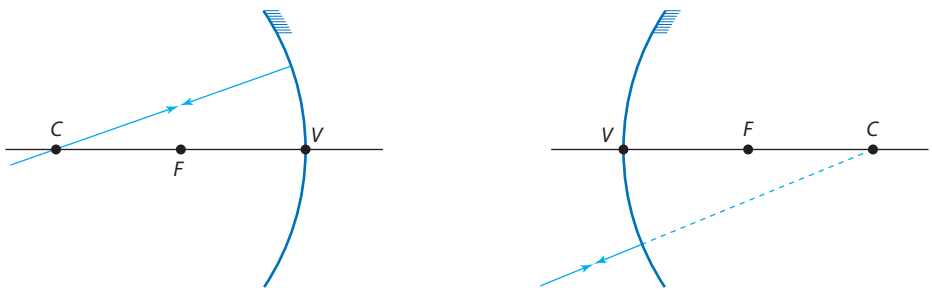


Figura 13. Nos espelhos esféricos, o raio de luz incidente na direção do centro de curvatura reflete-se sobre si mesmo.

Todo raio de luz que incide no vértice de um espelho esférico reflete simetricamente em relação ao eixo principal ($i = r$), pois, nesse caso, a reta normal ao espelho no ponto de incidência é o próprio eixo principal (Fig. 14).

ADILSON SECCO/ARQUIVO DA EDITORA

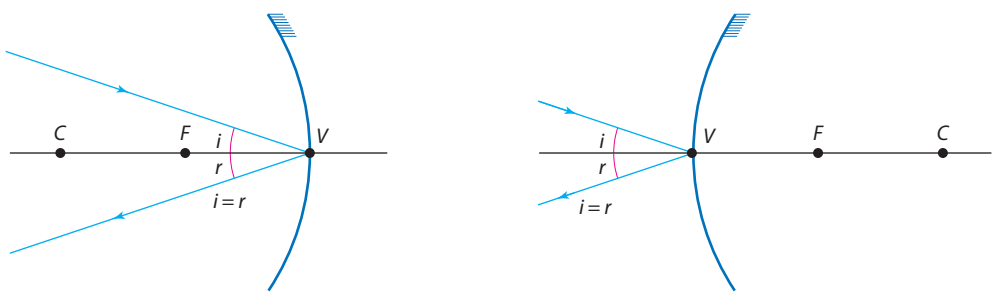


Figura 14. O raio de luz que incide no vértice do espelho esférico reflete-se simetricamente em relação ao eixo principal.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

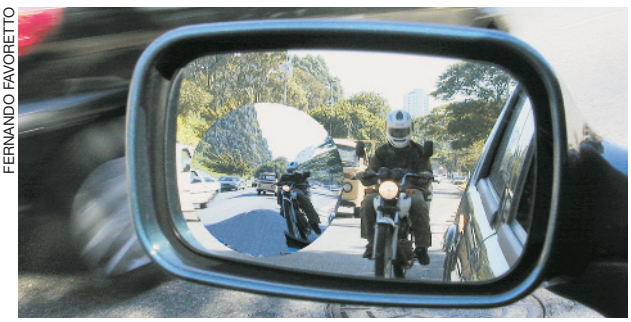
Veja respostas e comentários no Suplemento para o professor.

Em destaque

Espelhos esféricos e parabólicos

Os espelhos esféricos convexos são utilizados como espelhos retrovisores nas motocicletas, nos automóveis (espelho externo), nas portas dos elevadores e nas saídas das garagens de prédios. Preferem-se, no caso, os espelhos convexos aos planos, de mesmas dimensões, porque os primeiros apresentam maior campo visual. Observe na foto que um pequeno espelho convexo foi adaptado ao espelho plano retrovisor.

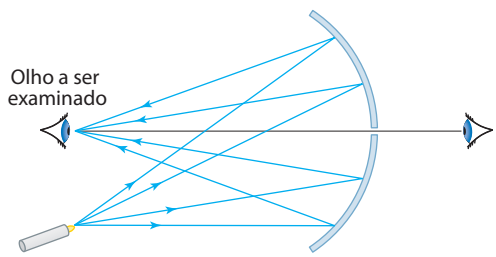
FERNANDO FAVORETTO



Pelo fato de fornecerem uma imagem direita e maior, quando o objeto está posicionado entre o foco *F* e o vértice *V*, os espelhos esféricos côncavos são utilizados como espelhos de aumento. Por esse motivo, os espelhos de barbear, os espelhos de maquiagem e os espelhos dos dentistas são côncavos.

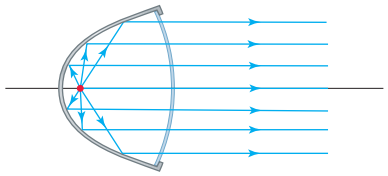
Para o exame do fundo do olho, do canal auditivo e da cavidade nasal, os médicos utilizam aparelhos constituídos essencialmente por um espelho esférico côncavo e uma fonte de luz. O espelho concentra a luz proveniente da fonte no local a ser examinado, conforme o esquema a seguir.

O espelho possui uma pequena abertura através da qual o médico faz o exame.

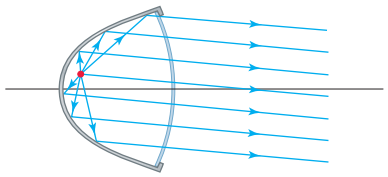


Os faróis dos automóveis são constituídos de espelhos parabólicos. A fonte de luz é uma pequena lâmpada com dois filamentos: um situado no foco principal do espelho e o outro, um pouco acima. O filamento que está no foco, quando acionado, produz um feixe refletido paralelo ao eixo principal: é a luz alta.

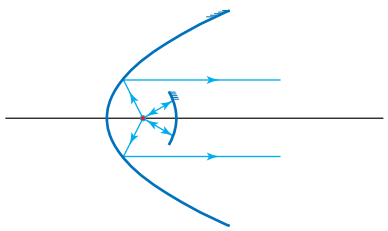
ILUSTRAÇÕES: ADILSON SECCO/ARQUIVO DA EDITORA



Acionando-se o outro filamento, obtém-se um feixe orientado para o solo: é a luz baixa.



Para aumentar a eficiência do farol, coloca-se diante da lâmpada um pequeno espelho esférico côncavo, de modo que a lâmpada fique no centro de curvatura desse espelho. Assim, os raios de luz que não sofreriam reflexão no espelho grande e que incidem no espelho pequeno voltam-se sobre si mesmos e são reaproveitados.



A partir dessas informações, responda:

Um espelho retrovisor plano foi substituído por outro espelho esférico e convexo, de mesmas dimensões. Faça em seu caderno um esquema mostrando que o espelho convexo apresenta maior campo visual do que o espelho plano, em relação a um mesmo observador. Posicione, em cada situação, o olho *O* do observador sobre o eixo do espelho.

Veja respostas e comentários no Suplemento para o professor.

Aplicando conhecimentos

Registre as respostas em seu caderno.

5. Construa a imagem do objeto linear *AB* colocado frontalmente a um espelho esférico. Dados: *C*: centro de curvatura; *F*: foco principal; *V*: vértice do espelho.

Analise três casos para o espelho côncavo, dizendo se a imagem é real ou virtual, direita ou invertida em relação ao objeto, maior ou menor do que o objeto:

a. objeto entre *F* e *V*;
b. objeto entre *C* e *F*;
c. objeto antes de *C*.

Analise também o caso em que o objeto está diante de um espelho convexo.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

6. Refração da luz

A refração da luz é a passagem da luz de um meio transparente e homogêneo para outro, quando ela incide na superfície de separação entre esses meios. Nessa mudança de meios, ocorre a variação da velocidade de propagação da luz.

Índice de refração absoluto de um meio

O índice de refração absoluto de um meio homogêneo e transparente, representado por n, é uma grandeza que indica quantas vezes a velocidade de propagação da luz no vácuo (c) é maior que a velocidade (v) de propagação da luz no meio. Desse modo, podemos escrever:

$$n = \frac{c}{v}$$

O índice de refração absoluto de um meio é uma grandeza adimensional, sendo para os meios materiais sempre maior que 1 ($n > 1$), pois $c > v$, e para o vácuo $n = 1$, pois $c = v$.

Lei de Snell-Descartes

A relação entre os ângulos de incidência (i) e de refração (r) com os índices de refração n_1 e n_2 dos meios 1 e 2, respectivamente, foi obtida no século XVII por Willebrord van Roijen Snell e René Descartes (Fig. 15).

ADILSON SECCO/ARQUIVO DA EDITORA

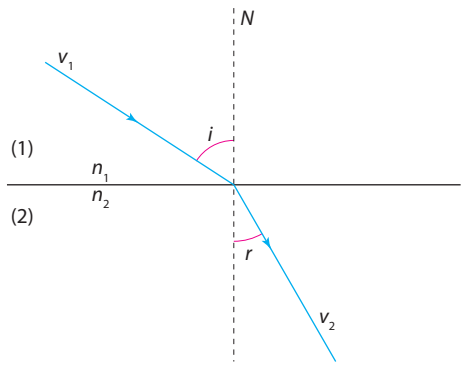


Figura 15. Esquema usado para representar a refração de um raio de luz.

A **lei de Snell-Descartes** afirma que, na refração, o produto do índice de refração absoluto de um meio pelo seno do ângulo entre o raio de luz incidente e a reta normal N, nesse meio, deve ser igual ao produto do índice de refração absoluto do outro meio pelo seno do ângulo entre o raio de luz refratado e a reta normal N.

$$n_1 \cdot \text{sen } i = n_2 \cdot \text{sen } r$$

Para uma **incidência oblíqua**, no meio de maior índice de refração, chamado de **meio mais refringente**, o raio de luz está mais próximo da reta normal N. De fato, se n_2 for maior que n_1, por exemplo, teremos sen $r <$ sen i e, portanto, $r < i$, de acordo com a lei de Snell-Descartes (Fig. 16A e Fig. 16B).

ADILSON SECCO/ARQUIVO DA EDITORA

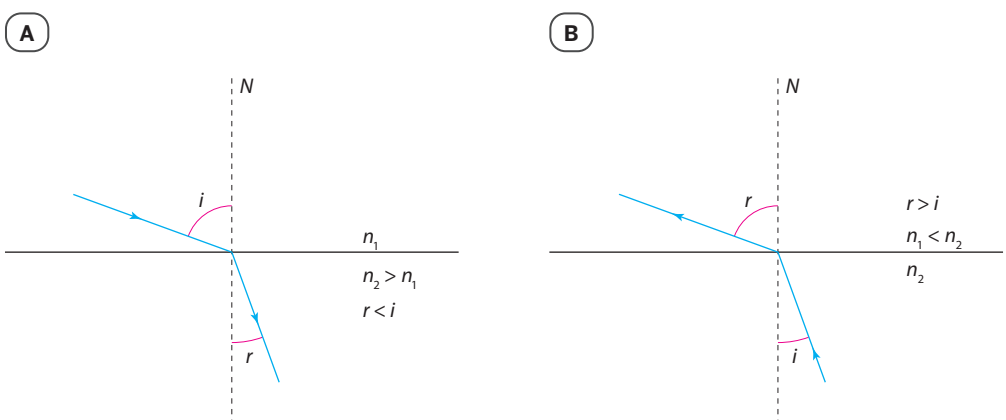
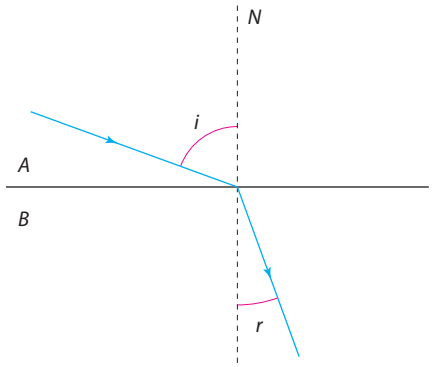


Figura 16. (A) Ao passar do meio menos refringente para o mais refringente, o raio de luz se aproxima da reta normal N; (B) ao passar do meio mais refringente para o menos refringente, o raio de luz se afasta da reta normal N.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Exercício resolvido

Observe, no esquema, um raio de luz passando de um meio *A* para um meio *B*. Os meios são homogêneos e transparentes. Sejam n_A e n_B os índices de refração absolutos e v_A e v_B as velocidades de propagação da luz nos meios *A* e *B*, respectivamente, qual dos meios possui maior índice de refração? Em qual deles é maior a velocidade de propagação da luz?



ADILSON SECCO/ARQUIVO DA EDITORA

Resolução

No meio *B*, o raio de luz está mais próximo da normal. Logo, esse meio possui maior índice de refração: $n_B > n_A$. Sendo o índice de refração inversamente proporcional à velocidade, $n = \frac{c}{v}$, concluímos que, no meio *A*, a velocidade de propagação da luz é maior: $v_A > v_B$.

Observe que, no meio onde a velocidade de propagação da luz é maior, o ângulo entre o raio de luz e a normal também é maior.

A título de exemplo, vamos supor que $n_A = 1$, $n_b = \sqrt{2}$ e o ângulo de incidência $i = 45°$. Aplicando a lei de Snell-Descartes, podemos determinar o ângulo de refração *r*. Assim:

$$n_A \cdot \text{sen } i = n_B \cdot \text{sen } r \Rightarrow 1 \cdot \text{sen } 45° = \sqrt{2} \cdot \text{sen } r \Rightarrow 1 \cdot \frac{\sqrt{2}}{2} = \sqrt{2} \cdot \text{sen } r \Rightarrow \text{sen } r = \frac{1}{2}$$

Portanto, $r = 30°$.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

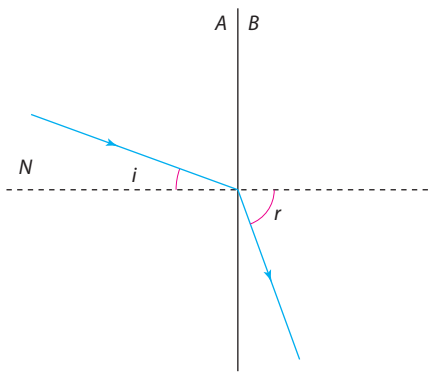
Veja respostas e comentários no Suplemento para o professor.

Aplicando conhecimentos

Registre as respostas em seu caderno.

6. Observe o esquema, que mostra a refração de um raio de luz que passa de um meio *A* para um meio *B*. Os dois meios são homogêneos e transparentes.

6.d



ADILSON SECCO/ARQUIVO DA EDITORA

Podemos afirmar que:

a. o meio *B* é mais refringente que o meio *A*.

b. a relação $\frac{n_A}{n_B}$ entre os índices de refração absolutos dos meios *A* e *B* é menor que 1.

c. a relação $\frac{n_A}{n_B}$ entre os índices de refração absolutos dos meios *A* e *B* é igual a 1.

d. o índice de refração absoluto do meio *A* é maior que o índice de refração absoluto do meio *B*.

e. a velocidade de propagação da luz no meio *A* é maior que no meio *B*.

7. Um raio de luz propagando-se no ar incide na superfície de um bloco de vidro. O ângulo de incidência é de 45° e, ao passar para o vidro, o raio de luz sofre um desvio de 15°. Sendo o índice de refração do ar igual a 1,0, qual é o índice de refração do vidro?

Dados: sen 30° = 0,5; sen 45° = $\frac{\sqrt{2}}{2}$; sen 60° = $\frac{\sqrt{3}}{2}$.

7. Reflexão total

Considere a luz se propagando em um meio mais refringente, de índice de refração n_2, para um meio menos refringente, de índice de refração n_1. Isso ocorre, por exemplo, quando a fonte de luz está imersa na água e os raios de luz, emitidos pela fonte, incidem na superfície que separa a água do ar.

Um raio de luz que incide normalmente na superfície sofre refração sem desvio ($i = 0$ e $r = 0$) (Fig. 17). Note que, simultaneamente à refração, ocorre, na superfície que separa os meios, a reflexão da luz. Nesse caso, a porcentagem de luz refletida é bem menor que a porcentagem de luz refratada.

Para uma incidência oblíqua, o ângulo de refração r é maior que o ângulo de incidência i, pois a refração ocorre no meio menos refringente (Fig. 18). Simultaneamente à refração, ocorre a reflexão da luz. À medida que aumenta o ângulo de incidência i, aumentam também a porcentagem de luz refletida e o ângulo de refração r, sendo $i < r$.

O valor máximo do ângulo de incidência i, para o qual ocorre refração, corresponde à luz emergindo rasante à superfície, isto é, $r = 90°$ (Fig. 19). Nesse caso, o ângulo de incidência é chamado de **ângulo limite** e é indicado pela letra L ($i = L$ e $r = 90°$). Nessa situação, a porcentagem de luz refletida é bem maior que a de luz refratada.

Para um ângulo de incidência i maior que o ângulo limite L, não ocorre refração, sendo a luz refletida totalmente. Esse fenômeno é denominado **reflexão total** (Fig. 20).

Aplicando a lei de Snell-Descartes para a situação esquematizada na figura 19, podemos calcular o seno do ângulo limite L. Assim:

$$n_1 \cdot \text{sen } 90° = n_2 \cdot \text{sen } L \Rightarrow \text{sen } L = \frac{n_1}{n_2}$$

Com $n_1 < n_2$, temos: $\text{sen } L = \frac{n_{menor}}{n_{maior}}$

Por exemplo, para o par de meios vidro-ar, sendo $n_{ar} = n_1 = 1$ e $n_{vidro} = n_2 = 1{,}5$, temos:

$$\text{sen } L = \frac{1{,}0}{1{,}5} = 0{,}67 \Rightarrow L = 42°$$

Considere um prisma de vidro ($n = 1{,}5$) imerso no ar ($n = 1$). A seção reta desse prisma é um triângulo retângulo isósceles. Vamos considerar que um raio de luz incida perpendicularmente em uma face-cateto, penetre no prisma e incida na face-hipotenusa. Sendo o ângulo de incidência, nessa face, de 45°, ele supera o ângulo limite, que é de aproximadamente 42°. Nessa face ocorre, portanto, reflexão total, e o raio emerge pela outra face-cateto. Temos, assim, um prisma de **reflexão total** (Fig. 21).

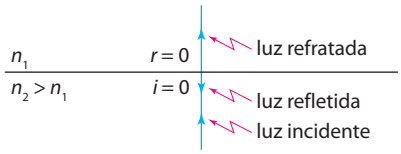


Figura 17. Na incidência normal à superfície, o raio refratado não sofre desvio.

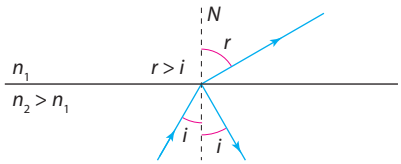


Figura 18. Na incidência oblíqua, o raio refratado afasta-se da reta normal *N*.

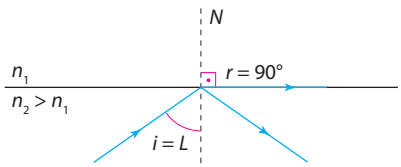


Figura 19. O raio refrata-se rasante à superfície quando o ângulo de incidência é igual ao ângulo limite.

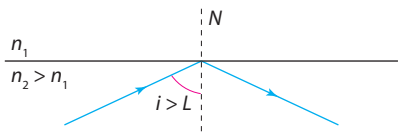


Figura 20. Se o ângulo de incidência for maior que o ângulo limite, ocorre reflexão total.

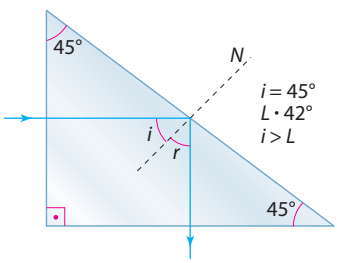


Figura 21. Representação esquemática de um prisma de reflexão total.

ILUSTRAÇÕES: ADILSON SECCO/ARQUIVO DA EDITORA

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Veja respostas e comentários no Suplemento para o professor.

Aplicando conhecimentos

Registre as respostas em seu caderno.

8. Considere dois meios homogêneos e transparentes, 1 e 2, de índices de refração $\sqrt{2}$ e 2, respectivamente, separados por uma superfície plana.

a. Para haver reflexão total, a luz deve se propagar no sentido do meio 1 para o meio 2 ou no sentido do meio 2 para o meio 1?

b. Determine o valor do ângulo limite.

9. Um feixe cilíndrico de raios de luz monocromática que se propaga em um meio de índice de refração igual a 2 atinge a superfície que separa esse meio de outro, de índice de refração $\sqrt{3}$.

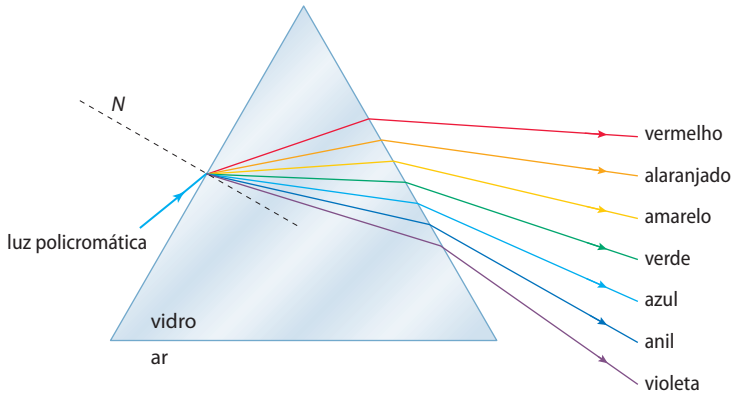
a. Determine os ângulos de incidência para os quais ocorre refração. Para esses ângulos, a refração é sempre acompanhada da reflexão?

b. Para quais ângulos de incidência teremos somente reflexão, isto é, reflexão total?

8. Dispersão da luz

O que ocorre quando um feixe de luz solar, policromática, propaga-se no ar e incide obliquamente em uma das faces de um prisma de vidro?

Como o vidro apresenta maior índice de refração para a luz violeta, essa luz é a que mais se aproxima da reta normal. O meio oferece o menor índice de refração para a luz vermelha; portanto, essa luz é a que menos se aproxima da reta normal. Assim, a luz violeta sofre maior desvio e a luz vermelha, menor desvio. Entre essas duas luzes monocromáticas, temos as demais, intermediárias. Na ordem crescente de desvios: vermelho, alaranjado, amarelo, verde, azul, anil e violeta (Fig. 22).



ADILSON SECCO/ARQUIVO DA EDITORA

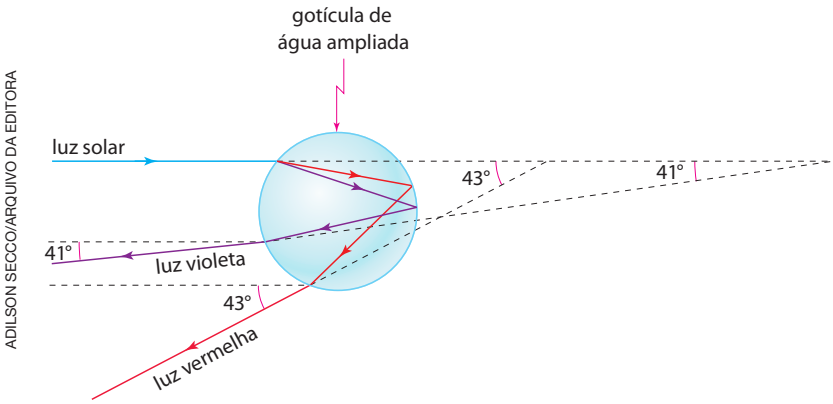
Figura 22. No prisma, a luz sofre dois desvios, evidenciando o fenômeno da dispersão. (Representação fora de proporção; cores meramente ilustrativas.)

O conjunto de cores assim obtido recebe o nome de **espectro da luz solar**. O fenômeno no qual a luz policromática sofre decomposição em suas cores componentes, ao se refratar, é denominado **dispersão da luz**.

Arco-íris

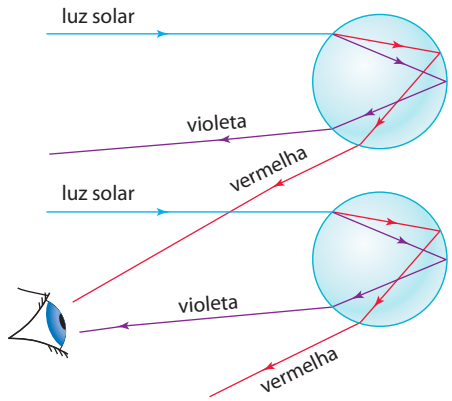
O arco-íris é um fenômeno óptico determinado pela refração e consequente dispersão da luz solar ao incidir nas gotículas de água presentes no ar. Após a refração, a luz sofre reflexão no interior das gotículas e novamente se refrata, voltando para o ar (Fig. 23).

A luz emergente violeta forma com a direção de incidência um ângulo de aproximadamente 41°, enquanto a vermelha forma um ângulo de aproximadamente 43°. Assim, se um observador recebe luz vermelha de determinadas gotas, ele receberá luz violeta de gotas inferiores (Fig. 24). Por isso, o arco externo do arco-íris é vermelho e o interno, violeta. Entre os dois arcos aparecem as cores intermediárias.



ADILSON SECCO/ARQUIVO DA EDITORA

Figura 23. A luz solar, ao incidir em gotículas de água suspensas na atmosfera, sofre dispersão, reflexão e, novamente, refração, originando o arco-íris. (Representação fora de proporção; cores meramente ilustrativas.)



ADILSON SECCO/ARQUIVO DA EDITORA

Figura 24. Representação esquemática para explicar a disposição das cores em um arco-íris. (Representação fora de proporção; cores meramente ilustrativas.)

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

9. Lentes esféricas

Definição e nomenclatura de lentes esféricas

Uma lente esférica é um corpo transparente que possui duas faces esféricas ou uma face esférica e outra plana. No caso mais comum, o corpo transparente é de vidro, cujo índice de refração absoluto é n_2, e imerso no ar, cujo índice de refração absoluto é n_1.

Na figura 25, representamos os seis tipos de lentes esféricas e seus nomes. Note que, se uma lente possui uma face convexa e outra côncava, nomeamos em primeiro lugar a face de maior raio de curvatura.

As três lentes à esquerda na figura 25 apresentam a região periférica, chamada de borda, menos espessa que a central. Por isso, elas são denominadas **lentes de bordas finas**. As outras três lentes são denominadas **lentes de bordas espessas**, por possuírem a região periférica mais espessa que a central.

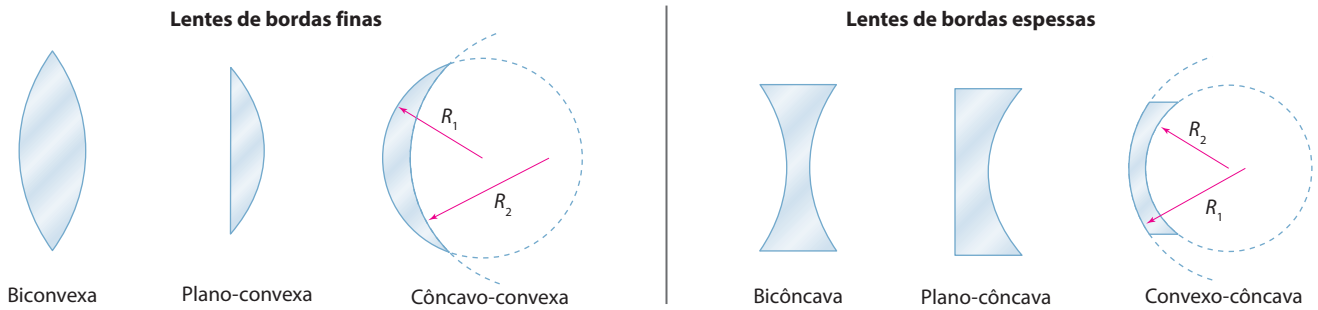


Figura 25. Representação esquemática das lentes esféricas.

Lentes delgadas

As lentes de bordas finas ou espessas em que a espessura da parte central é desprezível em relação aos raios de curvatura são chamadas **lentes delgadas**. Na figura 26, representamos uma lente delgada convergente (A) e uma lente delgada divergente (B).

Figura 26. (A) Representação esquemática de uma lente convergente. *F′* é o foco principal imagem com natureza real; (B) representação esquemática de uma lente divergente. *F′* é o foco principal imagem com natureza virtual. O ponto *O* é o centro óptico da lente.

Ao ponto objeto *F* do eixo principal a lente faz corresponder um feixe emergente de raios paralelos ao eixo principal. O ponto *F* é denominado foco principal objeto, tendo natureza real, para as lentes convergentes (Fig. 27A), e virtual, para as lentes divergentes (Fig. 27B).

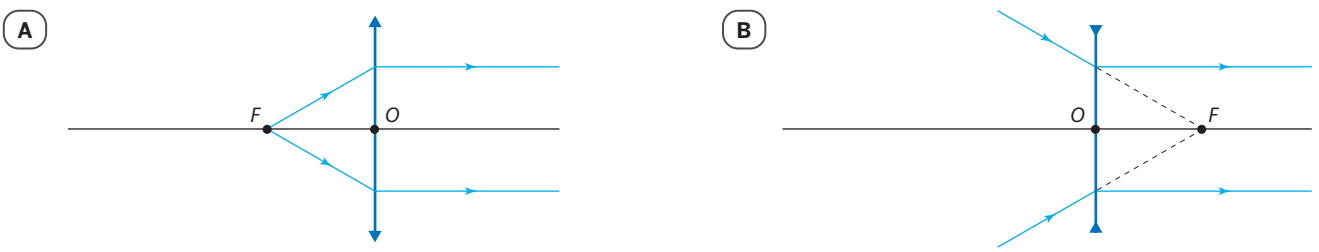
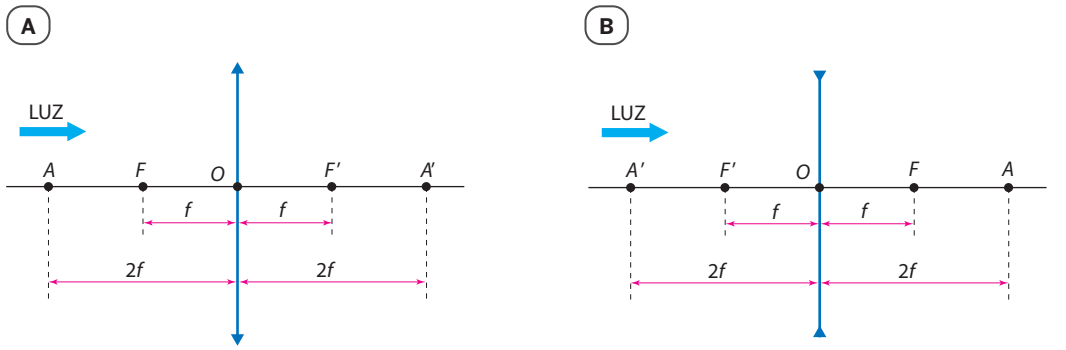


Figura 27. *F* é o foco principal, objeto com natureza (A) real, no caso da lente convergente, ou (B) virtual, no caso da lente divergente.

ADILSON SECCO/ARQUIVO DA EDITORA
ADILSON SECCO/ARQUIVO DA EDITORA
ADILSON SECCO/ARQUIVO DA EDITORA
Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

A distância entre *F* e *O* é igual à distância entre *F'* e *O* e é chamada **distância focal**, representada por *f*. Os pontos *A* e *A'* do eixo principal, tais que $AO = A'O = 2 \cdot f$, são chamados pontos **antiprincipais** (Fig. 28).



ADILSON SECCO/ARQUIVO DA EDITORA

Figura 28. Lentes (A) convergente e (B) divergente, onde *A* e *A'* são, respectivamente, o ponto antiprincipal objeto e o ponto antiprincipal imagem.

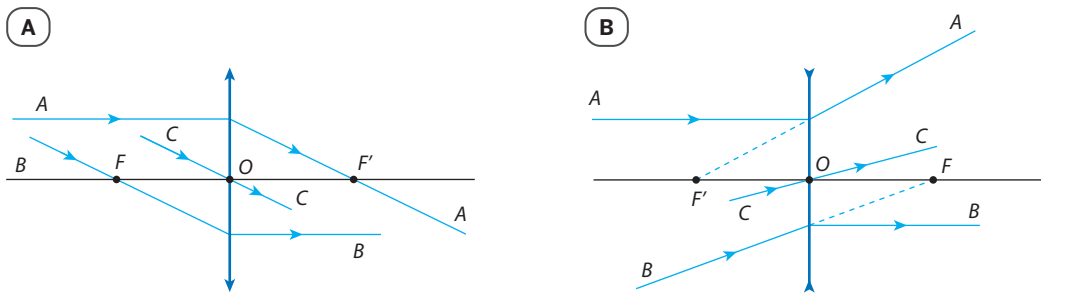
Raios notáveis

Os raios notáveis em lentes delgadas se comportam segundo as regras a seguir, que estão representadas na figura 29 para os casos de lentes convergentes (A) e divergentes (B):

1º) Um raio de luz *A* incide na lente paralelamente ao eixo principal. O raio *A* refratado correspondente emerge em uma direção que passa pelo foco principal imagem *F'*.

2º) Quando um raio de luz *B* incide em uma direção que passa pelo foco principal objeto *F*, o raio *B* refratado correspondente emerge paralelamente ao eixo principal.

3º) Todo raio de luz *C* que incide passando pelo centro óptico *O* atravessa a lente sem sofrer desvio.



ADILSON SECCO/ARQUIVO DA EDITORA

Figura 29. Raios notáveis em (A) lentes convergente e (B) divergente.

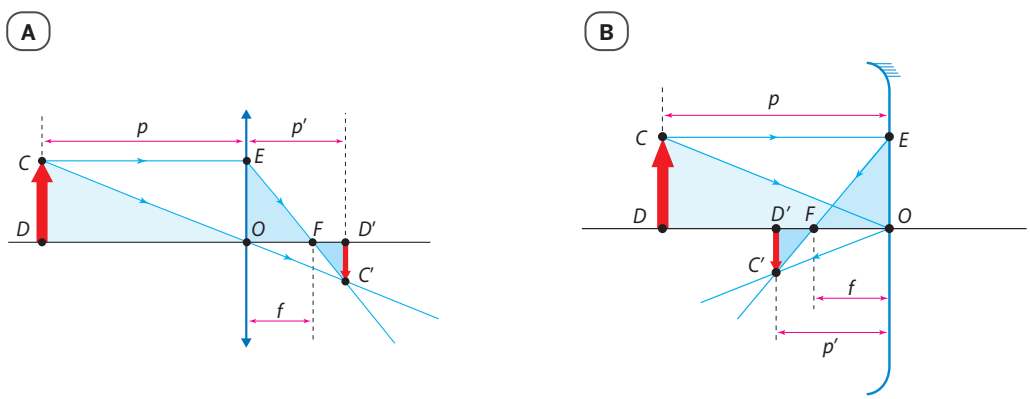
Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Fórmulas das lentes e dos espelhos esféricos

OBJETO DIGITAL *Podcast*: Gauss: a lenda do menino prodígio

Equação de Gauss

Dado um objeto, podemos determinar a posição e o tamanho da imagem fornecida por uma lente ou por um espelho esférico por meio de fórmulas. Para isso, vamos chamar de ***p*** e ***p'*** as abscissas do objeto e da imagem, respectivamente, em relação à lente ou ao espelho (Fig. 30).



ILUSTRAÇÕES: ADILSON SECCO/ARQUIVO DA EDITORA

Figura 30. (A) Lente delgada e (B) espelho esférico.

Considerando f a distância focal do elemento correspondente, vamos adotar a seguinte convenção de sinais:

- $p > 0$: objeto real;
- $p < 0$: objeto virtual;
- $p' > 0$: imagem real;
- $p' < 0$: imagem virtual;
- $f > 0$: espelho côncavo e lente convergente;
- $f < 0$: espelho convexo e lente divergente.

A equação que relaciona p, p' e f é chamada de **equação de Gauss**, em homenagem ao matemático e físico alemão Carl Friedrich Gauss (1777-1855), e é dada por:

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{p} + \frac{1}{p'}$$

Sejam o a altura do objeto CD e i a altura da imagem $C'D'$, chama-se aumento linear transversal (A) a razão entre a altura da imagem e a altura do objeto: $A = \frac{i}{o}$. O aumento A se relaciona com p e p' por meio da expressão:

$$A = \frac{i}{o} = \frac{p'}{p}$$

A convenção de sinais é $A > 0$ para imagem direita e $A < 0$ para imagem invertida.

Veja respostas e comentários no Suplemento para o professor.

Aplicando conhecimentos

Registre as respostas em seu caderno.

10. Construa a imagem do objeto linear AB colocado frontalmente a uma lente esférica.

Dados:

O: centro óptico da lente;

F e F': focos principais objeto e imagem;

A e A': pontos antiprincipais objeto e imagem.

Analise três casos para a lente convergente, dizendo se a imagem é real ou virtual, direita ou invertida em relação ao objeto, maior ou menor do que o:

a. objeto antes de A;
b. objeto entre A e F;
c. objeto entre F e O.

Analise, também, o caso em que o objeto está diante de uma lente divergente.

11. Um objeto linear está situado perpendicularmente ao eixo principal de um espelho côncavo e a 20 cm de distância do espelho. A correspondente imagem se forma a 60 cm do espelho. Qual seria a distância focal do espelho se a imagem formada fosse real? E se fosse virtual?

Vergência de uma lente delgada

Chama-se vergência V de uma lente delgada o inverso de sua distância focal:

$$V = \frac{1}{f}$$

Para as lentes convergentes, $f > 0$ e, portanto, $V > 0$. Para as lentes divergentes, $f < 0$ e $V < 0$.

A vergência mede a capacidade de uma lente de convergir ou divergir raios de luz incidentes. A unidade de vergência é o inverso da unidade de comprimento. Assim, se a distância focal for medida em metro (m), a unidade de vergência será o inverso do metro $\left(\frac{1}{\text{m}} = \text{m}^{-1}\right)$, que recebe o nome de **dioptria** (**di**). Quando se diz que as lentes dos óculos de uma pessoa são de 3 "graus", significa que a vergência das lentes é de 3 di.

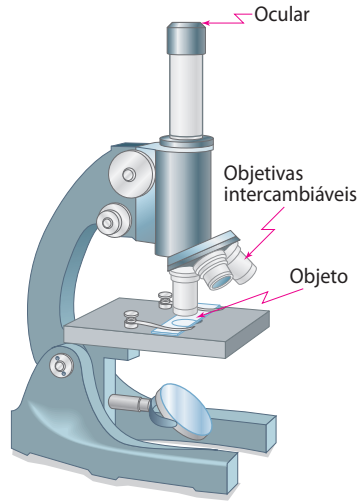
Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

10. Instrumentos ópticos

Microscópio óptico composto

O **microscópio óptico composto** é um instrumento óptico de aumento, constituído essencialmente por duas lentes convergentes dispostas coaxialmente (com mesmo eixo principal), a **objetiva** e a **ocular** (Fig. 31). A objetiva tem distância focal da ordem de milímetros, e a ocular, da ordem de centímetros. A amostra é o objeto da objetiva e sua imagem comporta-se como objeto para a ocular, a qual funciona como lupa, fornecendo uma imagem final virtual, invertida em relação ao objeto e ampliada.

Para se calcular o aumento linear transversal do microscópio, é preciso determinar o aumento linear transversal da objetiva e da ocular e, em seguida, o produto desses aumentos.



ILUSTRAÇÕES: ADILSON SECCO/ARQUIVO DA EDITORA

Figura 31. Representação esquemática de um microscópio óptico composto.

Telescópios

O **telescópio refrator**, também conhecido como **luneta astronômica**, é um instrumento de aproximação, constituído essencialmente por duas lentes convergentes dispostas coaxialmente: a **objetiva** e a **ocular** (Fig. 32). A objetiva tem distância focal da ordem de metros, e a ocular, da ordem de centímetros.

Os **telescópios refletores** distinguem-se das lunetas astronômicas pelo uso de um espelho parabólico côncavo como objetiva. Além de mais fácil de construir, o espelho evita o efeito da aberração cromática produzido na lente objetiva.

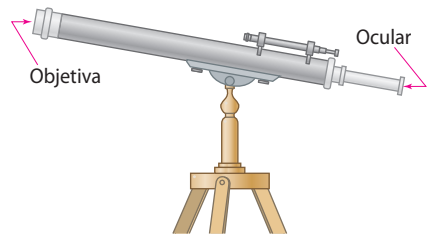


Figura 32. Representação esquemática de uma luneta astronômica.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Exercício resolvido

Com as lentes indicadas no quadro, pretende-se construir um microscópio composto. Quais lentes você escolheria como objetiva e como ocular?

Lente	Vergência (di)
A	+200
B	–20
C	+20
D	–200
E	+1,0

ILUSTRAÇÕES: ADILSON SECCO/ARQUIVO DA EDITORA

Resolução

Em um microscópio composto, tanto a objetiva como a ocular são lentes convergentes e de bordas finas. Assim, podemos descartar o uso das lentes *B* (plano-côncava, divergente) e *D* (bicôncava, também divergente).

Vamos calcular, então, a distância focal das lentes *A*, *C* e *E* para a montagem do microscópio composto. Pela definição de vergência, temos:

$$V_A = +200 \text{ di} \Rightarrow f_A = \frac{1}{200} \text{ m} \Rightarrow f_A = 0{,}005 \text{ m} = 5 \text{ mm}$$

$$V_C = +20 \text{ di} \Rightarrow f_C = \frac{1}{20} \text{ m} \Rightarrow f_C = 0{,}05 \text{ m} = 5 \text{ cm}$$

$$V_E = +1{,}0 \text{ di} \Rightarrow f_E = \frac{1}{1{,}0} \text{ m} \Rightarrow f_E = 1{,}0 \text{ m}$$

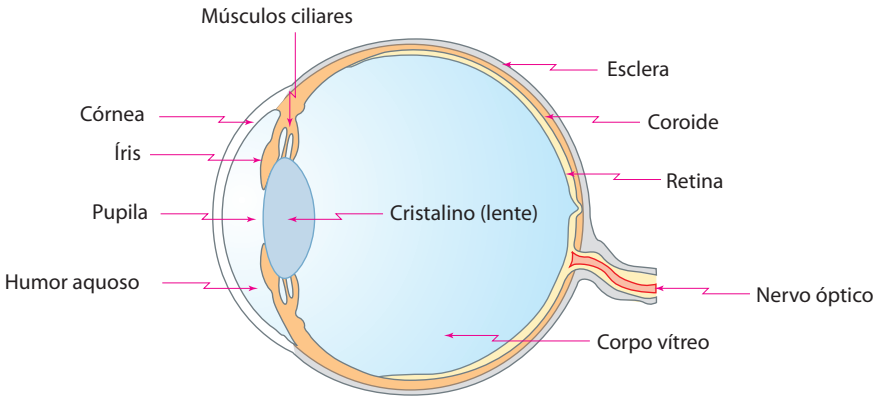
Portanto, devemos usar como objetiva a lente *A*, porque tem distância focal da ordem de milímetros, e como ocular a lente *C*, porque tem distância focal da ordem de centímetros.

11. Óptica da visão

Este assunto também é trabalhado no capítulo 16 de Biologia desta coleção.

Olho humano

Observe o esquema do bulbo de um olho humano (Fig. 33).



ADILSON SECCO/ARQUIVO DA EDITORA

Fonte: elaborada com base em REECE, J. B. *et al*. **Biologia de Campbell**. 10. ed. Porto Alegre: Artmed, 2015.

Figura 33. Representação esquemática das principais estruturas do olho humano. (Representação fora de proporção; cores meramente ilustrativas.)

A **lente** (também chamada de **cristalino**) é constituída por fibras e substâncias gelatinosas transparentes, funcionando como uma lente biconvexa. A **íris** é uma membrana circular contrátil, cuja coloração varia de pessoa para pessoa. No centro da íris fica a **pupila**, uma abertura circular, cujo diâmetro varia, regulando a quantidade de luz que entra no olho. A variação do diâmetro da pupila (**adaptação visual**) é devida a músculos existentes na íris.

O **humor aquoso** é um líquido transparente localizado entre a córnea e o cristalino. Entre o cristalino e a retina, há uma substância gelatinosa chamada **corpo vítreo**.

A córnea, o humor aquoso, o cristalino e o corpo vítreo constituem um sistema óptico convergente. De um objeto visado, esse sistema forma uma imagem real, invertida e reduzida sobre a retina. Na retina, células nervosas (cones e bastonetes) sensíveis à luz transmitem ao cérebro as sensações visuais por meio do **nervo óptico**.

Vamos representar esquematicamente o olho humano, de modo simplificado, um objeto *o* e a correspondente imagem *i* na retina. Nessa representação, o cristalino e os outros meios transparentes são substituídos por uma única lente convergente (Fig. 34).

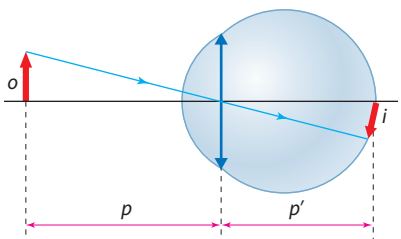


Figura 34. Esquema simplificado de formação de imagem no olho humano. (Representação fora de proporção; cores meramente ilustrativas.)

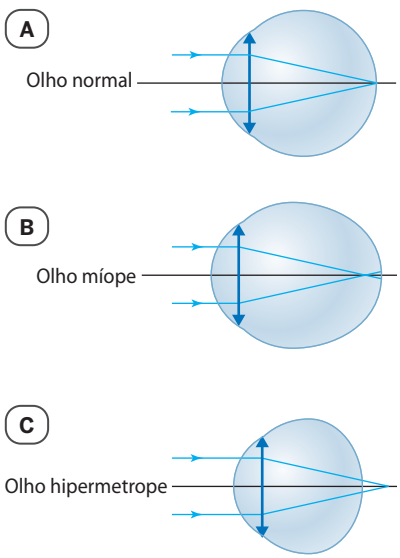
A abscissa *p′* da imagem, que corresponde à distância entre a retina e a lente, é constante. Quando um objeto se aproxima ou se afasta do olho, a abscissa *p* varia e, consequentemente, de acordo com a equação de Gauss $\left(\frac{1}{f}=\frac{1}{p}+\frac{1}{p'}\right)$, deve variar a distância focal do cristalino (**acomodação visual**), de modo que a imagem seja sempre localizada na retina (Fig. 35A).

Miopia

A **miopia** é um defeito da visão que consiste em um alongamento do globo ocular ou em uma excessiva vergência do cristalino. Desse modo, a imagem de um objeto muito distante (objeto no infinito) se forma antes da retina e, portanto, não é nítida (Fig. 35B). O míope não enxerga bem de longe.

Hipermetropia

A **hipermetropia** é um defeito da visão que consiste em um encurtamento do globo ocular ou em uma fraca vergência do cristalino. Desse modo, a imagem de um objeto no infinito, estando relaxados os músculos ciliares, se forma atrás da retina e, portanto, não é nítida (Fig. 35C).



ILUSTRAÇÕES: ADILSON SECCO/ARQUIVO DA EDITORA

Figura 35. Desenhos esquemáticos de imagens formadas (A) na retina de um olho normal; (B) antes da retina de em um olho míope; e (C) após a retina em um olho hipermetrope.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

ESTRATÉGIA DE ESTUDO

Para auxiliá-lo em seus estudos, você pode adotar algumas estratégias.

Selecionar e relacionar palavras-chave

Após selecionar palavras-chave que representam os principais assuntos estudados em cada tópico, crie frases que relacionem essas palavras com base no texto do capítulo.

No tópico *Propagação retilínea da luz*, se você selecionou sombra, penumbra, eclipse solar e eclipse lunar, agora pode explorar como dois ou três desses termos se conectam. Por exemplo:

Eclipse solar acontece quando a Lua projeta uma região de **sombra** e **penumbra** na superfície da Terra.

Compartilhe e discuta com os colegas as relações que você estabeleceu. Verifique se eles encontraram conexões diferentes das suas para repensar a inclusão ou a exclusão de algum termo. Essas anotações podem ser consultadas quando necessário como uma ferramenta de estudo.

Verificar o que aprendeu

1. Avalie seu nível de compreensão dos assuntos apresentados no capítulo utilizando a escala:
   - Entendi completamente.
   - Entendi a maior parte, mas alguns itens estão confusos.
   - Não entendi a maior parte.
   - Não entendi.
2. Avalie suas habilidades para:
   - resolver os problemas apresentados;
   - relacionar o conteúdo com situações do cotidiano;
   - identificar conexões entre os assuntos tratados.

Veja respostas e comentários no Suplemento para o professor.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Atividades finais

Registre as respostas em seu caderno.

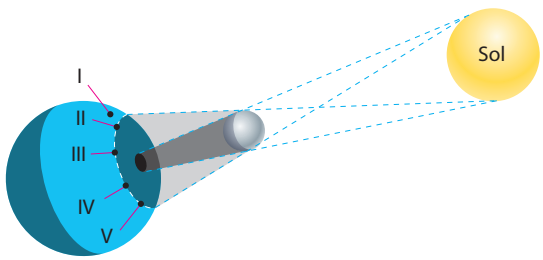
1. **(Enem)** A sombra de uma pessoa que tem 1,80 m de altura mede 60 cm. No mesmo momento, a seu lado, a sombra projetada de um poste mede 2,0 m. Se, mais tarde, a sombra do poste diminuiu 50 cm, a sombra da pessoa passou a medir:

1.b

a. 30 cm. **c.** 50 cm. **e.** 90 cm.
b. 45 cm. **d.** 80 cm.

2. **(Enem)** A figura a seguir mostra um eclipse solar no instante em que é fotografado em cinco diferentes pontos do planeta.

2.a



ILUSTRAÇÕES: ADILSON SECCO/ARQUIVO DA EDITORA

(Representação fora de proporção; cores meramente ilustrativas.)

Três dessas fotografias estão reproduzidas a seguir.

As fotos poderiam corresponder, respectivamente, aos pontos:

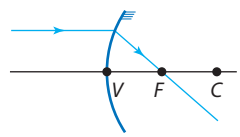
a. III, V e II. **c.** II, IV e III. **e.** I, II e V.
b. II, III e V. **d.** I, II e III.

3. Uma bandeira brasileira é levada a um quarto escuro e, em seguida, é iluminada por luz monocromática azul. Em que cores se apresentam o retângulo, o losango, o círculo, a faixa central da bandeira e o lema "Ordem e Progresso"?

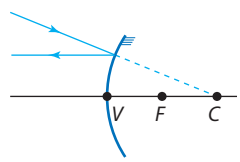
4. Observe os esquemas, que representam reflexões da luz em espelhos esféricos convexos. Sendo *C* o centro da curvatura do espelho, *F* o foco principal e *V* o vértice do espelho, qual é a alternativa que representa corretamente o comportamento da luz refletida nesse tipo de espelho?

4.c

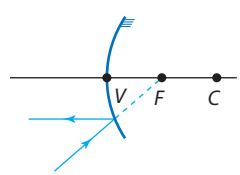
a.



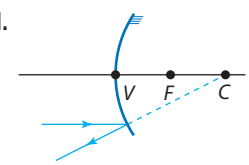
b.



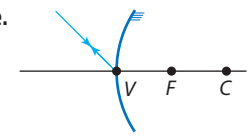
c.



d.



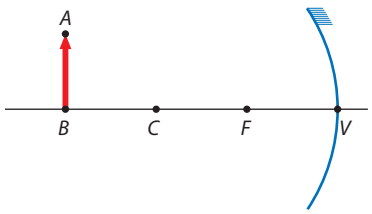
e.



ADILSON SECCO/ARQUIVO DA EDITORA

5. Um objeto, *AB*, é colocado diante de um espelho esférico côncavo, como mostra o esquema. *C* é o centro de curvatura, *F* é o foco principal e *V* é o vértice do espelho.

5.b

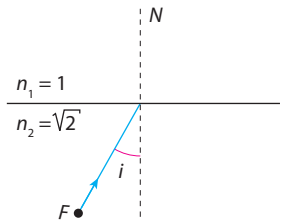


ADILSON SECCO/ ARQUIVO DA EDITORA

A imagem obtida é:

a. real, invertida, ampliada e localiza-se entre *F* e *V*.
b. real, invertida, reduzida e localiza-se entre *C* e *F*.
c. real, invertida, reduzida e localiza-se entre *F* e *V*.
d. virtual, direita, ampliada e localiza-se entre *C* e *F*.
e. virtual, direita, reduzida e localiza-se entre *C* e *F*.

6. Uma fonte de luz puntiforme *F* está situada em um líquido de índice de refração $\sqrt{2}$. O índice de refração do ar é igual a 1. No esquema, representamos um raio de luz que incide na superfície de separação desses dois meios segundo um ângulo *i*.



ADILSON SECCO/ ARQUIVO DA EDITORA

a. Determine o ângulo limite desse par de meios.
b. Para $i = 30°$, ocorre refração ou reflexão total?
c. Para $i = 60°$, ocorre refração ou reflexão total?

7. A dispersão da luz em suas cores componentes pode ser obtida fazendo-se um feixe de luz branca atravessar um prisma de vidro. Cada cor é desviada diferentemente pelo prisma. Considere as afirmações:

7.d

I. A luz vermelha é a que sofre menor desvio.
II. A luz violeta é a que sofre maior desvio.
III. À luz vermelha, o prisma oferece o menor índice de refração.
IV. À luz violeta, o prisma oferece o maior índice de refração.

Podemos dizer que:

a. somente I e III estão corretas.
b. somente II e IV estão corretas.
c. somente I e II estão corretas.
d. todas as afirmações estão corretas.
e. apenas três das afirmações estão corretas.

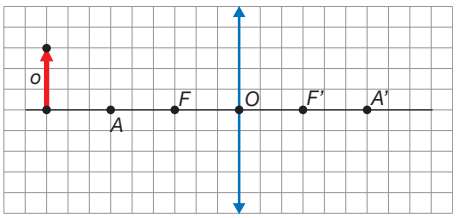
8. Um objeto é colocado a 15 cm de um espelho esférico convexo de distância focal, em módulo, igual a 10 cm. A imagem se forma a uma distância do espelho igual a:

8.e

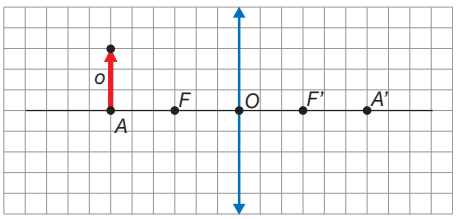
a. 6,0 cm e é real.
b. 12 cm e é real.
c. 12 cm e é virtual.
d. 10 cm e é virtual.
e. 6,0 cm e é virtual.

9. Escreva em seu caderno as características da imagem do objeto *o* colocado frontalmente a uma lente delgada para cada um dos itens a seguir. *F* e *F'* são, respectivamente, os focos principais objeto e imagem, *A* e *A'* são os pontos antiprincipais e *O* é o centro óptico da lente.

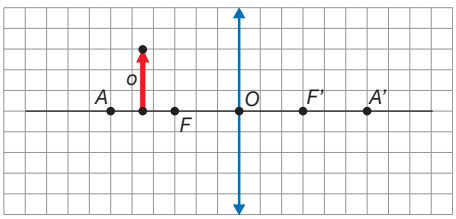
a.



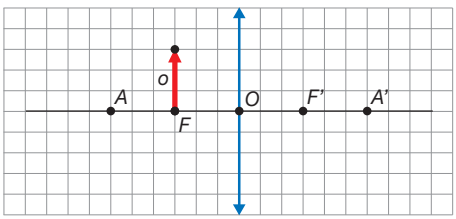
b.



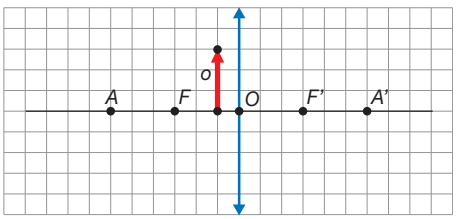
c.



d.



e.



ILUSTRAÇÕES: ADILSON SECCO/ARQUIVO DA EDITORA

10. Em um microscópio composto, as imagens formadas pela objetiva e pela ocular, respectivamente, são:

10.a

a. real e virtual.
b. virtual e real.
c. virtual e virtual.
d. real e real.
e. real e imprópria.

11. Comparando o olho humano a uma câmera fotográfica, analise as afirmações a seguir.

11.e

I. O cristalino se comporta como uma lente convergente.
II. A retina corresponde ao sensor da câmera.
III. A íris se comporta como um diafragma.

Podemos dizer que:

a. Somente a afirmativa I é verdadeira.
b. Somente a afirmativa II é verdadeira.
c. Somente a afirmativa III é verdadeira.
d. Somente as afirmativas II e III são verdadeiras.
e. Todas são verdadeiras.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

CAPÍTULO 17

Eletricidade estática

DAVID FARLOW/ALAMY/FOTOARENA

Raios no município de Pinhais, PR, 2019.

As manifestações elétricas na atmosfera, como raios, relâmpagos e trovões, sempre fascinaram a humanidade. Com seu poder devastador, os raios provocavam temor e destruição. Em praticamente todas as culturas, os raios já foram associados a deuses e vistos como instrumentos de punição destes contra os seres humanos. Os gregos antigos, por exemplo, acreditavam que os raios eram lanças feitas por ciclopes, criaturas míticas de um olho só, e lançadas por Zeus contra os mortais arrogantes e pecadores. Os raios, assim como os relâmpagos e os trovões, começaram a ser realmente entendidos e explicados fisicamente a partir de meados do século XVIII, quando os estudos da Eletricidade se desenvolveram. Hoje entendemos melhor a natureza e a origem dos raios e conseguimos até nos proteger de seus efeitos destrutivos, mas ainda nos maravilhamos com esse formidável espetáculo natural.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

1. Eletricidade estática

Primeiras descobertas

Alguns estudos adotam que a história da eletricidade teve seu início com Tales de Mileto (c. 625 a.C.–547 a.C.), filósofo da Grécia antiga. Como quase nada da sua obra foi preservado, o que sabemos vem de citações daqueles que o sucederam. Segundo esses relatos, Tales teria verificado que, ao ser esfregado em algum tecido, um pedaço de âmbar (resina vegetal) adquiria o estranho poder de atrair fragmentos de objetos leves.

Outros registros desse assunto vieram de William Gilbert (1544-1603), físico e médico da rainha Elizabeth I da Inglaterra. Ele retomou as experiências de Tales e, com base na palavra grega *elektron*, que significa "âmbar", criou o termo "elétrico" e seus derivados. Ao realizar novos experimentos, verificou que, além do âmbar, vários outros corpos podiam ser eletrizados por atrito, adquirindo a capacidade de atrair pequenos objetos leves. O físico alemão Otto von Guericke (1602-1686) reproduziu as experiências de Gilbert e registrou a existência de duas espécies de "corpos elétricos". Alguns deles, ao mesmo tempo que atraem objetos leves, se atraem mutuamente, ao passo que outros se repelem depois de serem atritados. Deve-se ainda a Guericke a construção de uma das primeiras máquinas eletrostáticas, um avanço importante para os estudos de eletricidade (Fig. 1).

Nessa máquina uma grande esfera de enxofre é movimentada por uma manivela. Devido ao atrito com a mão do operador coberta por uma luva, a esfera se eletriza e, a partir daí, passa a manifestar as propriedades elétricas de atração e de repulsão. Guericke verificou ainda a possibilidade de a "eletricidade", independentemente do que fosse, passar de um corpo para outro por contato. Pelo que se sabe, ele não elaborou uma teoria física para explicar a ocorrência dos fenômenos que observou. Na verdade, atribuía o comportamento do corpo a certas "virtudes" que o corpo possuía.

THE GRANGER COLLECTION/FOTOARENA

Figura 1. Gravura de Otto von Guericke manipulando sua máquina eletrostática.

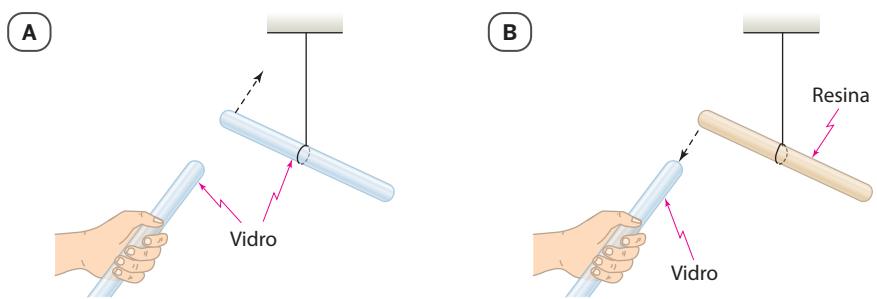
Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Primeiras explicações

O físico inglês Stephen Gray (1666-1736) deu continuidade aos estudos sobre os fenômenos elétricos e verificou que a eletricidade dos corpos pode ser conduzida por fios ligando os corpos. Em suas experiências, ele percebeu que alguns dos fios usados conduziam bem a eletricidade e chamou-os de **condutores**; aos que não conduziam ou conduziam mal a eletricidade, atribuiu o nome de **isolantes**.

Entre os condutores estão os metais, como o cobre, o ferro e o alumínio; entre os isolantes destacam-se, entre outros, a seda, a madeira, o enxofre, a lã, o vidro e a borracha.

Inúmeras experiências realizadas pelo físico francês Charles Du Fay (1698-1739) mostraram que os materiais assumiam basicamente dois comportamentos diferentes: ao serem atritados com lã, por exemplo, dois bastões de vidro passavam a se repelir (Fig. 2A); todavia, entre um bastão de vidro e outro de resina (como o âmbar), observava-se atração (Fig. 2B).



ADILSON SECCO/ARQUIVO DA EDITORA

Figura 2. Representação esquemática: (A) repulsão; (B) atração entre corpos eletrizados.

Repetindo os procedimentos com outros materiais, Du Fay verificou que alguns se comportavam como o vidro, e outros, como a resina. Esse fato o levou a supor a existência de dois tipos de eletricidade: a do vidro, que ele chamou **eletricidade vítrea**, e a da resina, que ele denominou **eletricidade resinosa**.

As experiências de Du Fay levaram ao chamado **princípio da atração e repulsão**, que pode ser enunciado como segue, usando a terminologia da época.

> Corpos com eletricidade de mesmo tipo se repelem, e corpos com eletricidade de tipos diferentes se atraem.

Posteriormente, como veremos, o termo "eletricidade" foi substituído por **carga elétrica**. O cientista, escritor e estadista estadunidense Benjamin Franklin (1706-1790) criou os termos **eletricidade positiva** – para designar a eletricidade vítrea – e **eletricidade negativa** – para designar a eletricidade resinosa.

Essa troca de nomes não foi gratuita, mas deveu-se à teoria do fluido elétrico, elaborada por ele. De acordo com essa teoria, um corpo neutro possui uma quantidade normal de fluido elétrico e não manifesta nenhuma propriedade elétrica. Com o excesso desse fluido, o corpo comporta-se como o vidro atritado em lã, tendo eletricidade positiva (fluido elétrico a mais). Se há falta do fluido, o corpo comporta-se como a resina atritada na lã, apresentando eletricidade negativa (fluido elétrico a menos).

O que se sabe hoje

A ideia do fluido elétrico e dos dois tipos de eletricidade permaneceu por muito tempo, e a ciência da Eletricidade desenvolveu-se bem, apesar de se desconhecer a real natureza dos fenômenos elétricos. Apenas a partir de 1897, com a descoberta do elétron, partícula elementar constituinte da matéria, é que se pôde começar a explicar o que acontecia de fato quando um corpo se eletrizava. A explicação só se completou no início do século XX, quando a estrutura do átomo passou a ser mais bem compreendida.

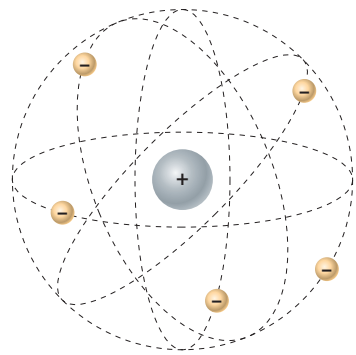


Figura 3. Modelo do átomo de Rutherford. (Representação fora de proporção; cores meramente ilustrativas.)

Todos os corpos são constituídos de **átomos**. O modelo planetário do átomo, proposto em 1911 pelo físico e químico neozelandês Ernest Rutherford (1871-1937), admite que cada átomo tem um **núcleo** central, portador de carga elétrica positiva, em torno do qual giram os **elétrons** – partículas portadoras de carga elétrica negativa –, que formam a eletrosfera (Fig. 3). Hoje sabemos que o núcleo é constituído de **nêutrons** – partículas sem carga elétrica – e de **prótons** – partículas portadoras de carga elétrica positiva. Dessa maneira, um átomo com número igual de prótons e elétrons é considerado neutro.

Hoje também sabemos que são os elétrons que podem se movimentar de um corpo para outro, e, por esse motivo, a eletrização de um corpo inicialmente neutro deve-se ao excesso de elétrons ou à falta deles (Fig. 4). O corpo com excesso de elétrons apresenta quantidade de carga elétrica negativa, ou seja, está negativamente eletrizado. Aquele com falta de elétrons apresenta quantidade de carga elétrica positiva (pois nele passa a predominar a carga positiva dos prótons), ou seja, está eletrizado positivamente. Muitas vezes, para simplificar, usa-se o termo **carga elétrica** em vez de **quantidade de carga elétrica**.

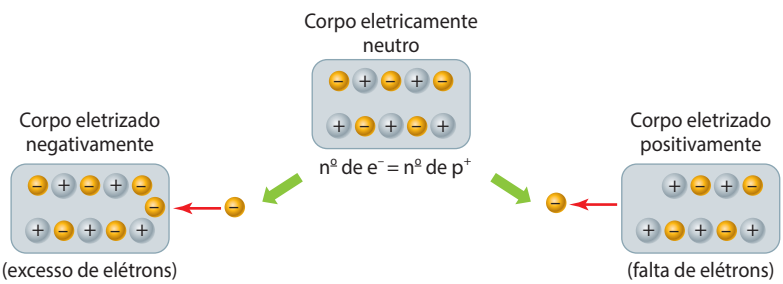


Figura 4. Representação esquemática de eletrização de um corpo inicialmente neutro. (Representação fora de proporção; cores meramente ilustrativas.)

É usual dizer que um corpo eletrizado possui **eletricidade estática**.

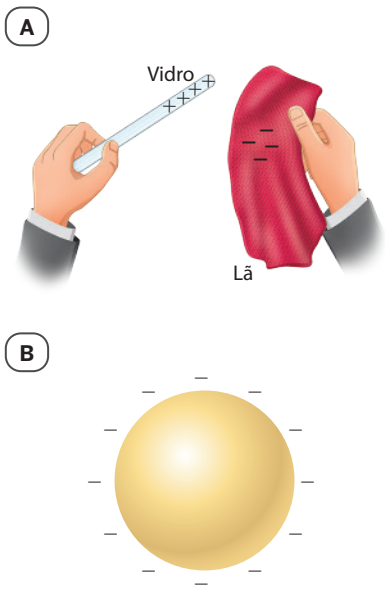
Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

ILUSTRAÇÕES: ADILSON SECCO/ARQUIVO DA EDITORA

Eletrização por atrito

Agora temos condições de explicar a **eletrização por atrito**, originalmente observada por Tales de Mileto. Quando duas substâncias são atritadas, ocorre uma migração de elétrons de uma para outra. A que recebe elétrons adquire carga elétrica negativa (a antiga eletricidade resinosa ou negativa) e a outra, perdendo elétrons, adquire carga elétrica positiva (a antiga eletricidade vítrea ou positiva). É importante destacar que, quando atritamos dois materiais diferentes, sempre pode ocorrer eletrização por atrito.

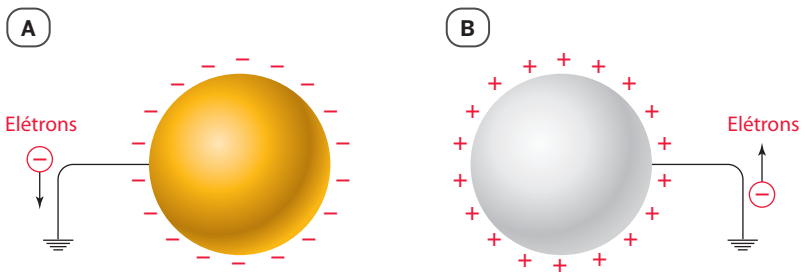
Se o corpo atritado é feito de material isolante, as cargas elétricas que nele se desenvolvem ficam restritas à região atritada. Por isso, nas experiências consideradas, admitimos sempre corpos de materiais isolantes (vidro, resina, lã) (Fig. 5A). Entretanto, se o corpo é feito de material condutor (por exemplo, de metal), as cargas elétricas em excesso se espalham por toda sua extensão, ocupando a superfície externa, uma vez que, por terem todas o mesmo sinal, se repelem mutuamente e tendem a ficar o mais longe possível umas das outras (Fig. 5B).



ILUSTRAÇÕES: NELSON MATSUDA/ARQUIVO DA EDITORA

Figura 5. (A) Em um material isolante, as cargas elétricas ficam confinadas na região atritada; (B) em um material condutor, as cargas elétricas em excesso se distribuem pela superfície externa do corpo. (Representação fora de proporção; cores meramente ilustrativas.)

Para manter a eletrização de um condutor, um operador terá de segurá-lo com um cabo isolante. Se não o fizer, todas as cargas irão se espalhar por seu corpo (que também é condutor), e daí por todos os materiais condutores com que ele estiver em contato, como a Terra. Nesse caso, diz-se que o corpo está ligado à Terra ou **aterrado**, representando-se esquematicamente essa situação conforme ilustrado na figura 6.



ILUSTRAÇÕES: NELSON MATSUDA/ARQUIVO DA EDITORA

Figura 6. Representação de aterramento de um condutor eletrizado (A) negativamente e (B) positivamente. (Representação fora de proporção; cores meramente ilustrativas.)

Na figura 6A, o condutor está eletrizado negativamente: ao ser aterrado, seus elétrons em excesso movimentam-se para a Terra, e ele perde sua eletrização (torna-se neutro). Na figura 6B, o condutor está eletrizado positivamente: ao ser aterrado, elétrons movimentam-se da Terra para o condutor, neutralizando seu excesso de cargas positivas, de modo que ele perde sua eletrização (torna-se neutro).

Genericamente, portanto, pode-se dizer que:

> Ao ser ligado à Terra, um condutor eletrizado e afastado de outros corpos perde sua eletrização (descarrega-se).

Veja comentários sobre essa atividade no Suplemento para o professor.

Atividade em grupo

Há muitas situações do dia a dia em que o atrito pode gerar cargas elétricas nos mais diferentes corpos. Por exemplo, os aviões podem ficar eletrizados pelo atrito com o ar. Esse fato poderia provocar acidentes graves; quando o avião estivesse sendo abastecido, poderia soltar uma faísca, incendiando os vapores do combustível. Descargas elétricas também podem danificar componentes eletrônicos de computadores, como *chips*, processadores e pentes de memória. Por esse motivo, a fabricação e a manipulação desses componentes requerem cuidados especiais.

Forme um grupo com seus colegas e investiguem qual é o procedimento adotado para evitar a ocorrência de tais situações. Preparem um painel com fotos, legendas e pequenos textos explicativos e apresentem oralmente para a turma os resultados da pesquisa.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Eletrização por contato

Outra maneira simples de eletrizar um corpo é a **eletrização por contato**. Quando dois corpos são encostados ou ligados por fios, pode haver passagem de elétrons de um para o outro.

Esse tipo de eletrização só acontece se os corpos e os fios são condutores, e não isolantes.

Por exemplo, se um corpo eletrizado negativamente (portanto, com excesso de elétrons) encostar em um corpo neutro, parte dos elétrons passará do corpo carregado para o corpo neutro, que também ficará eletrizado negativamente (Fig. 7). Se esse primeiro corpo estivesse eletrizado positivamente (portanto, com falta de elétrons), ele retiraria elétrons do corpo neutro, de maneira que ambos ficariam com falta de elétrons e, portanto, eletrizados positivamente (Fig. 8).

ILUSTRAÇÕES: ADILSON SECCO/ARQUIVO DA EDITORA

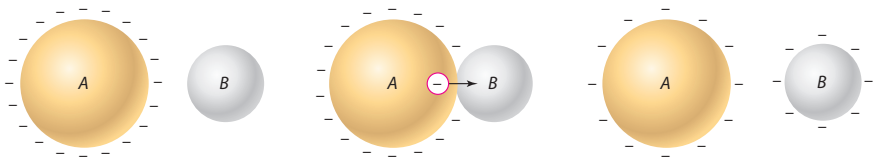


Figura 7. Representação esquemática da eletrização por contato com condutor eletrizado negativamente.

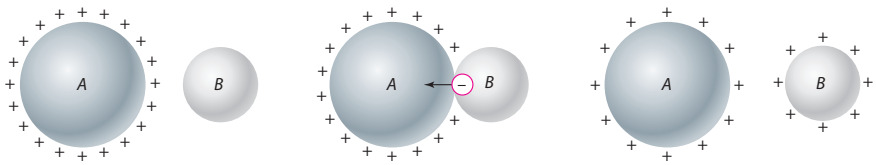


Figura 8. Representação esquemática da eletrização por contato com condutor eletrizado positivamente.

A medida da carga elétrica que um corpo adquire ao ser eletrizado recebe o nome de **quantidade de carga elétrica**, indicada por Q. A unidade do SI para medir a quantidade de carga elétrica é denominada **coulomb** (símbolo **C**), em homenagem ao físico francês Charles Augustin de Coulomb (1736-1806).

Como a carga de um coulomb (1 C) é muito grande, costuma-se usar submúltiplos dessa unidade [milicoulomb (mC), microcoulomb (μC), nanocoulomb (nC) e picocoulomb (pC)]. Assim, temos:

$$1\ \text{mC} = 10^{-3}\ \text{C};$$
$$1\ \mu\text{C} = 10^{-6}\ \text{C};$$
$$1\ \text{nC} = 10^{-9}\ \text{C};$$
$$1\ \text{pC} = 10^{-12}\ \text{C}.$$

Uma consideração importante para o desenvolvimento não apenas da eletrização por contato, mas de todo o estudo da eletricidade estática, isto é, da Eletrostática, é o **princípio da conservação das cargas elétricas**, que tem o seguinte enunciado:

> Em um sistema eletricamente isolado, a soma algébrica das cargas elétricas positivas e das cargas elétricas negativas permanece constante.

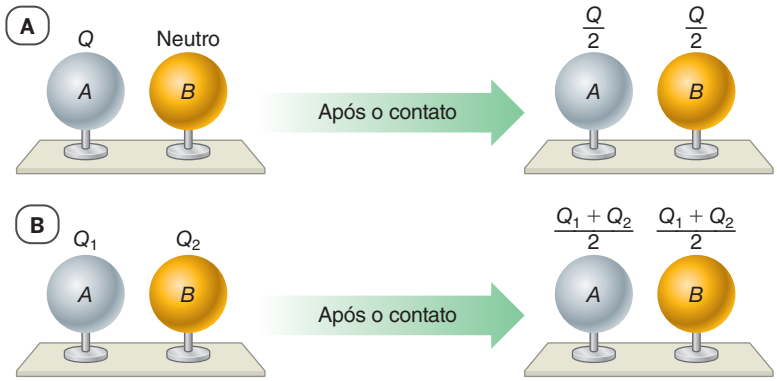
Assim, suponhamos que dois corpos, A e B, isolados de qualquer influência elétrica externa, tenham inicialmente cargas elétricas Q_A e Q_B. Se eles forem colocados em contato, haverá uma troca de cargas entre eles, de modo que, após algum tempo, as cargas respectivas serão Q'_A e Q'_B. De acordo com o princípio da conservação das cargas elétricas, podemos escrever:

$$Q_A + Q_B = Q'_A + Q'_B$$

Na eletrização por contato, as cargas elétricas adquiridas pelos corpos (supostos condutores) dependem das dimensões desses corpos. Vamos considerar que eles tenham as mesmas dimensões e a mesma forma, sendo, por exemplo, esferas de mesmo raio. Nesse caso, apresentarão cargas elétricas iguais após o contato.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

A figura 9 ilustra dois corpos idênticos, *A* e *B*, em duas situações:



ADILSON SECCO/ARQUIVO DA EDITORA

Figura 9. Esquema da eletrização por contato de (A) um corpo com carga elétrica *Q* com outro corpo neutro e (B) de dois corpos com cargas elétricas Q_1 e Q_2, respectivamente. (Representação fora de proporção; cores meramente ilustrativas.)

Na primeira situação (Fig. 9A), o corpo *A* tem inicialmente carga elétrica *Q*, enquanto o corpo *B* está neutro; após o contato, os corpos *A* e *B* adquirem cargas elétricas iguais a $\frac{Q}{2}$; na segunda situação (Fig. 9B), os corpos *A* e *B* têm cargas elétricas iniciais Q_1 e Q_2; após o contato, os corpos *A* e *B* adquirem cargas elétricas iguais a $\frac{Q_1 + Q_2}{2}$.

Carga elétrica elementar

Embora nas considerações sobre a eletrização por contato se fale em carga elétrica transferida entre os corpos, sem levar em consideração sua natureza, como se fosse realmente um fluido em movimento, são os elétrons que estão em movimento. Concluímos, então, que todas as quantidades de carga elétrica consideradas têm de ser múltiplas da carga elétrica do elétron, em módulo. E quanto vale a carga elétrica do elétron?

A carga elétrica de um elétron é igual, em módulo, à do próton. Os valores dessas cargas, expressas em coulomb, são:

$Q_e = -1{,}6 \cdot 10^{-19}$ C

$Q_p = +1{,}6 \cdot 10^{-19}$ C

O módulo dessas cargas elétricas costuma ser denominado **carga elétrica elementar (*e*)**, valendo, portanto: $e = 1{,}6 \cdot 10^{-19}$ C.

Como um corpo eletrizado está sempre com excesso ou falta de um certo número *n* de elétrons, o módulo de sua carga *Q* é múltiplo inteiro da carga elétrica elementar (*e*). Assim:

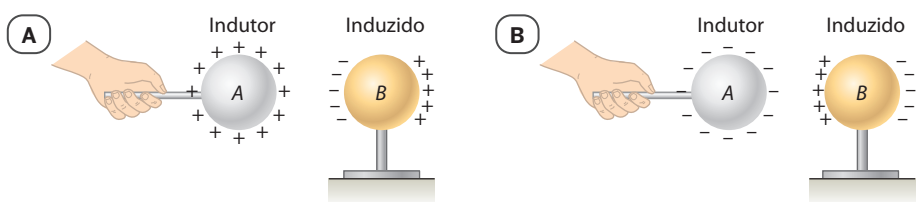
$$Q = n \cdot e$$

Observe que a carga elétrica não existe em quantidades contínuas, sendo sempre múltipla da carga elétrica elementar *e*. Dizemos que a **carga elétrica é quantizada**.

Eletrização por indução

Quando um corpo carregado é aproximado de um condutor neutro, ocorre o fenômeno da **indução eletrostática**, que provoca a separação das cargas elétricas do corpo neutro. A figura 10 ilustra a indução eletrostática em duas situações:

- quando a carga do corpo carregado (chamado indutor) é positiva (Fig. 10A);
- quando o corpo carregado tem carga negativa (Fig. 10B).



ADILSON SECCO/ARQUIVO DA EDITORA

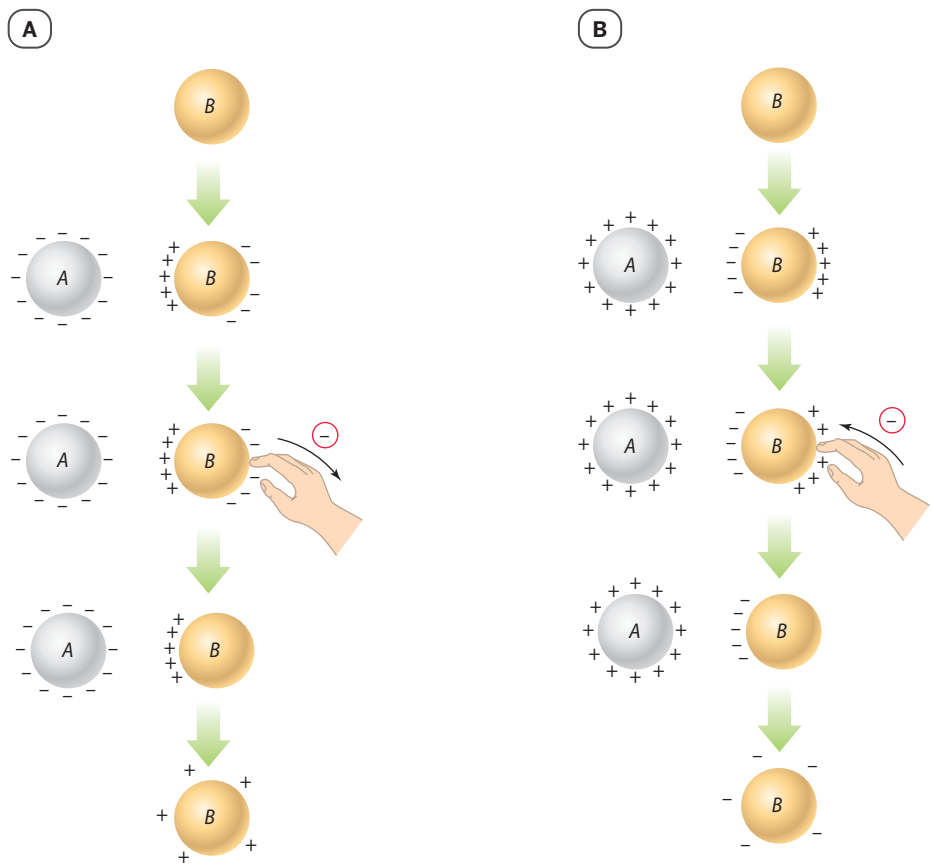
Figura 10. Representação da indução eletrostática (A) quando a carga do indutor é positiva e (B) quando ela é negativa. (Representação fora de proporção; cores meramente ilustrativas.)

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Observe que, na parte mais próxima do condutor inicialmente neutro (chamado **induzido**), acumulam-se cargas elétricas de sinal contrário às do corpo carregado e, na parte mais distante, cargas elétricas de mesmo sinal. Isso acontece porque a carga elétrica do indutor exerce ação de atração ou de repulsão sobre os elétrons do induzido. Em ambas as situações, a separação de cargas elétricas desaparece quando o indutor é afastado, isto é, o condutor (corpo induzido) readquire o estado inicial.

O fenômeno de indução eletrostática permite deixar o condutor induzido permanentemente carregado. Uma maneira é ligá-lo à Terra antes de afastar o indutor. Para fazer essa ligação, basta encostar o dedo no induzido: elétrons do induzido escoam-se para a Terra (Fig. 11A), ou elétrons da Terra dirigem-se para o induzido (Fig. 11B).

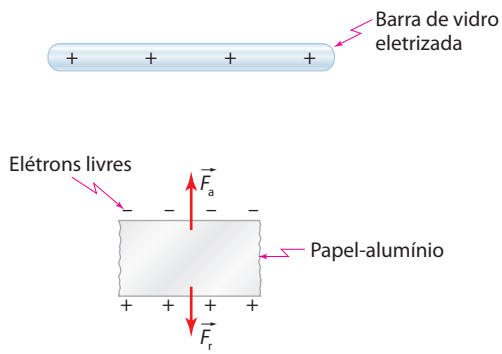
Desfazendo a ligação com a Terra e, em seguida, afastando o indutor, teremos o induzido carregado com carga elétrica de **sinal contrário** à carga elétrica do indutor.



ILUSTRAÇÕES: ADILSON SECCO/ARQUIVO DA EDITORA

Figura 11. Representação esquemática da eletrização por indução. (A) Elétrons do induzido dirigindo-se para a Terra; (B) elétrons da Terra dirigindo-se para o induzido. (Representação fora de proporção; cores meramente ilustrativas.)

O fenômeno da indução explica a atração exercida por um corpo eletrizado sobre alguns corpos. Quando, por exemplo, uma barra de vidro atritada em lã atrai pequenos pedaços de papel-alumínio, ela produz indução nos papéis e os atrai, porque as cargas elétricas da parte próxima destes são de sinal contrário ao da carga elétrica da barra (Fig. 12).



ADILSON SECCO/ARQUIVO DA EDITORA

Figura 12. Representação esquemática da indução em um pedaço de papel-alumínio pela ação de uma barra de vidro eletrizada. A intensidade da força de atração (F_a) é maior que a de repulsão (F_r).

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Quando aproximamos um corpo eletrizado de um corpo isolante neutro (como papel), também ocorre a separação de cargas elétricas. Embora o isolante não tenha elétrons livres, cada átomo que o constitui se deforma, originando um **dipolo elétrico**. Em uma face do isolante há excesso de cargas elétricas negativas, e na outra face, excesso de cargas elétricas positivas. No interior do isolante, a carga elétrica positiva de um dipolo neutraliza a carga elétrica negativa do outro. Quando isso ocorre, dizemos que o isolante está **polarizado** (Fig. 13).

ADILSON SECCO/ ARQUIVO DA EDITORA

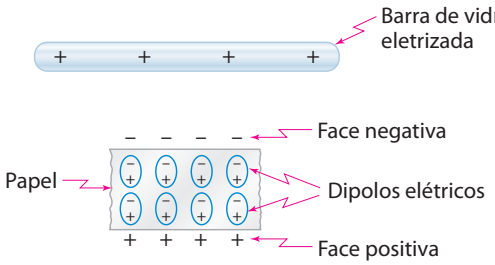


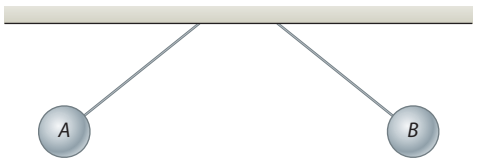
Figura 13. A barra de vidro eletrizada positivamente induz, em uma face do papel, excesso de cargas elétricas negativas e, na outra face, excesso de cargas elétricas positivas. (Representação fora de proporção; cores meramente ilustrativas.)

Veja respostas e comentários no Suplemento para o professor.

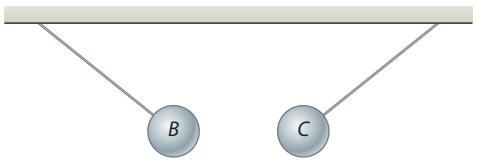
Aplicando conhecimentos

Registre as respostas em seu caderno.

1. Considere três esferas, *A*, *B* e *C*, eletrizadas e suspensas por fios isolantes. Entre *A* e *B* ocorre repulsão:
1. c



Entre *B* e *C* ocorre atração:



Pode-se afirmar que:

a. as esferas *A* e *B* estão eletrizadas com cargas elétricas de sinais contrários.

b. as esferas *B* e *C* estão eletrizadas com cargas elétricas de mesmo sinal.

c. entre as esferas *A* e *C* ocorre atração.

d. entre as esferas *A* e *C* ocorre repulsão.

e. se a esfera *A* está positivamente eletrizada, então a esfera *C* apresenta falta de elétrons.

2. Eneida e Pedro são dois alunos entusiasmados com o estudo de eletricidade estática. Eneida contou que, em um dia bem seco, ao pentear seus longos cabelos, os fios se repeliram e seus cabelos ficaram arrepiados. Pedro, por sua vez, relatou que sua irmãzinha, Dani, brincava no pátio do colégio descendo do alto de um escorregador de plástico e, à medida que escorregava, seus cabelos também se arrepiavam.
2. a

a. Esses fatos têm a mesma explicação: ocorreu eletrização por atrito, e os fios de cabelo se eletrizaram com cargas elétricas de mesmo sinal e se repeliram.

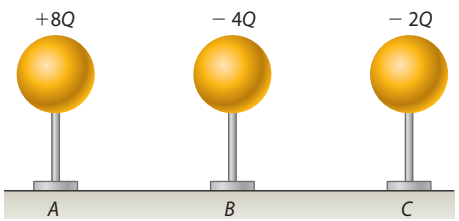
b. Esses fatos têm a mesma explicação: o pente e o escorregador são condutores elétricos.

c. Esses fatos têm a mesma explicação: o pente e o escorregador são isolantes.

d. Esses fatos não têm a mesma explicação: os cabelos de Eneida se eletrizaram por atrito com o pente, e os cabelos de Dani estavam previamente eletrizados.

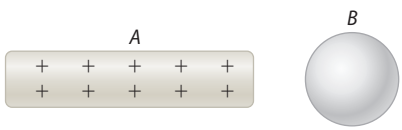
e. Esses fatos têm a mesma explicação: os fios de cabelo normalmente estão eletrizados, com cargas de mesmo sinal, pelo atrito com o ar.

3. Três esferas metálicas idênticas, *A*, *B* e *C*, estão eletrizadas com cargas elétricas, respectivamente, iguais a $+8Q$, $-4Q$ e $-2Q$.



Realiza-se, inicialmente, um contato entre as esferas *A* e *B*; posteriormente, um contato entre as esferas *B* e *C*. Qual será a carga elétrica final de cada uma das esferas?

4. Observe a imagem.



a. Que fenômeno ocorre quando uma barra de plástico (*A*) eletrizada positivamente é aproximada de um condutor (*B*) inicialmente neutro?

b. Após efetuar a aproximação entre *A* e *B*, pretende-se eletrizar o condutor *B* sem estabelecer contato com *A*. Quais etapas devem ser seguidas? Trace no caderno figuras que expliquem essa situação.

c. Qual é o sinal da carga elétrica adquirida por *B*?

ILUSTRAÇÕES: ADILSON SECCO/ARQUIVO DA EDITORA

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

2. Lei de Coulomb

Realizando experiências com um dispositivo chamado **balança de torção**, Coulomb conseguiu medir a intensidade de forças de atração e de repulsão entre duas pequenas esferas carregadas eletricamente (Fig. 14). Com base na análise dos resultados obtidos, Coulomb estabeleceu a lei que leva seu nome. Ele verificou que as forças elétricas apresentavam intensidades diretamente proporcionais aos módulos das cargas elétricas dos corpos que estavam interagindo e inversamente proporcionais ao quadrado da distância entre seus centros.

Duas cargas elétricas pontuais ou puntiformes (corpos eletrizados de pequenas dimensões), Q_1 e Q_2, separadas por uma distância d, repelem-se (se tiverem sinais iguais) (Fig. 15A) ou atraem-se (se tiverem sinais contrários) (Fig. 15B) com forças de mesma intensidade F, mesma direção e sentidos opostos, como prevê o princípio da ação e reação.

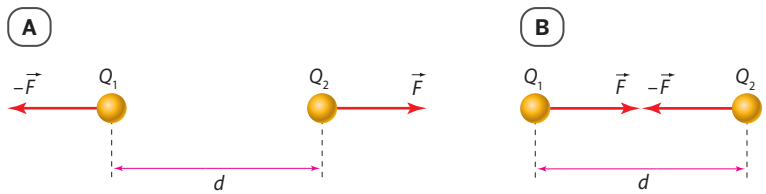


Figura 15. Representação esquemática das interações elétricas: (A) repulsão; (B) atração.

A **lei de Coulomb** estabelece que:

> A intensidade da força elétrica com que duas cargas pontuais se atraem ou se repelem é diretamente proporcional ao produto dos módulos dessas cargas elétricas e inversamente proporcional ao quadrado da distância entre elas.

Algebricamente, podemos escrever:

$$F_{el} = k \cdot \frac{|Q_1| \cdot |Q_2|}{d^2}$$

A constante de proporcionalidade K, característica do meio onde as cargas elétricas estão colocadas, é denominada **constante eletrostática**. Para o vácuo (e, aproximadamente, para o ar), o valor da constante (k_0), determinado experimentalmente, é:

$$k_0 = 9 \cdot 10^9 \ \frac{N \cdot m^2}{C^2}$$

A força elétrica $\vec{F}_{el}$ é uma grandeza vetorial, pois apresenta módulo, direção e sentido. A unidade de medida da força elétrica é o newton. A direção da força elétrica é paralela à reta imaginária que liga as cargas elétricas. O sentido é atrativo se as cargas elétricas tiverem mesmo sinal, ou repulsivo se as cargas elétricas tiverem sinais opostos. Já a intensidade é obtida pela lei de Coulomb.

É importante ressaltar a influência da distância na intensidade da força elétrica de ação mútua entre as cargas. Se, a uma distância d, a intensidade da força elétrica é F, caso a distância passe a $2d$, a intensidade da força passará a $\frac{F}{4}$. Se a distância for triplicada, isto é, passar para $3d$, a intensidade da força passará a ser $\frac{F}{9}$. Se a distância for alterada para $4d$, a intensidade passará para $\frac{F}{16}$, e assim por diante (Fig. 16).

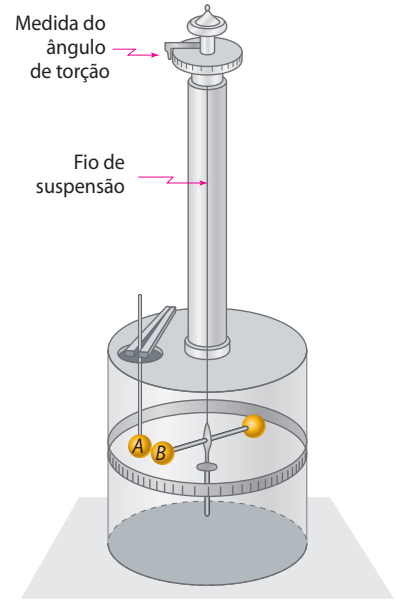


Figura 14. Representação da balança de torção que Coulomb apresentou à Academia Francesa de Ciências em 1785. *A* e *B* são duas pequenas esferas eletrizadas. A intensidade da força de interação entre elas é proporcional ao ângulo de torção do fio de suspensão. (Representação fora de proporção; cores meramente ilustrativas.)

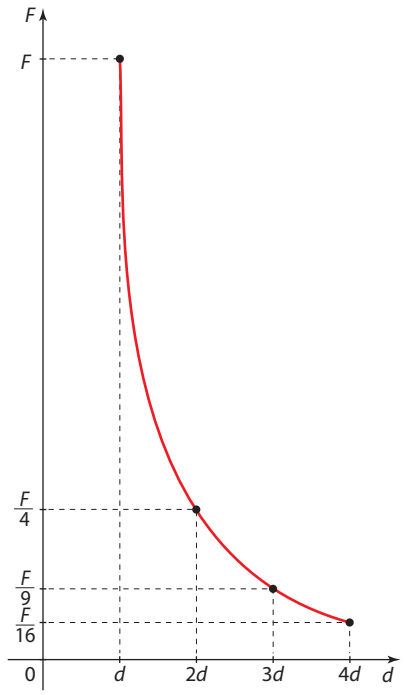


Figura 16. A intensidade da força elétrica F é inversamente proporcional ao quadrado da distância entre as cargas elétricas.

ILUSTRAÇÕES: ADILSON SECCO/ARQUIVO DA EDITORA

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

O exemplo a seguir ajudará a consolidar esses conceitos.

Exercício resolvido

ESTRATÉGIA DE ESTUDO

Duas pequenas esferas iguais, eletrizadas com a mesma carga elétrica Q, situam-se a uma distância de 50 cm no vácuo e repelem-se com forças de intensidade $1{,}44 \cdot 10^{-1}$ N. A constante eletrostática do vácuo vale $k_0 = 9 \cdot 10^9 \frac{N \cdot m^2}{C^2}$. Determine a carga elétrica Q dessas esferas.

Identificar

Inicialmente, vamos verificar as grandezas apresentadas no enunciado e suas unidades, certificando-nos de que todas estão no SI. Temos, então:

$d = 50 \text{ cm} = 0{,}5 \text{ m}$

$F_{el} = 1{,}44 \cdot 10^{-1} \text{ N}$

Preparar

A partir da lei de Coulomb, temos:

$$F_{el} = k \cdot \frac{|Q_1| \cdot |Q_2|}{d^2} \Rightarrow F_{el} = k_0 \cdot \frac{Q^2}{d^2} \Rightarrow Q^2 = \frac{F_{el} \cdot d^2}{k_0}$$

Executar

Substituindo os valores fornecidos pelo enunciado, temos:

$$Q^2 = \frac{1{,}44 \cdot 10^{-1} \cdot 0{,}25}{9 \cdot 10^9} \Rightarrow Q^2 = 4 \cdot 10^{-2}$$

Portanto:

$Q = 2 \cdot 10^{-6}$ C $= 2$ μC ou $Q = -2$ μC

Analisar

Observe que é impossível determinar se as duas cargas elétricas são positivas ou negativas, pois em ambos os casos teríamos uma repulsão elétrica.

Veja respostas e comentários no Suplemento para o professor.

Aplicando conhecimentos

Registre as respostas em seu caderno.

5. Duas cargas elétricas puntiformes, $q_1 = 2{,}5$ μC e $q_2 = -5{,}5$ μC, estão no vácuo e separadas por uma distância de 25 cm.

Considerando $k = 9 \cdot 10^9 \frac{N \cdot m^2}{C^2}$, determine a intensidade da força de interação elétrica entre as cargas e responda se elas se atraem ou se repelem.

6. Duas pequenas esferas idênticas eletrizadas, com cargas elétricas $5q$ e $-3q$, se atraem com força elétrica de intensidade F quando separadas por uma distância d. As esferas são colocadas em contato e recolocadas em suas posições iniciais.

a. Após o contato, as esferas se atraem ou se repelem? Justifique sua resposta.

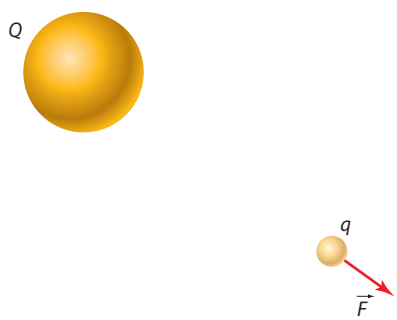
b. Qual é a intensidade da força elétrica entre as esferas após o contato?

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

3. Campo elétrico

Na região do espaço que envolve um corpo eletrizado ocorrem ações elétricas, isto é, se uma carga elétrica q for colocada em um ponto P qualquer dessa região, ela fica sujeita a uma força da natureza elétrica $\vec{F}_{el}$. A carga elétrica q é chamada de **carga de prova**, pois serve para mostrar que nessa região existe um campo elétrico (Fig. 17).

Podemos pensar em uma analogia com o campo gravitacional que existe na região do espaço que envolve a Terra. Por exemplo: um corpo de massa m colocado em um ponto qualquer da região em torno da Terra fica sujeito a uma força de natureza gravitacional: $\vec{P} = m \cdot \vec{g}$. Analogamente, a carga elétrica de prova q, ao ser colocada em um ponto P de um campo elétrico, fica sujeita a uma força elétrica $\vec{F}_{el} = q \cdot \vec{E}$. O vetor $\vec{E}$ é análogo a $\vec{g}$ e é denominado **vetor campo elétrico**. A cada ponto do campo gravitacional existe um vetor $\vec{g}$, e a cada ponto do campo elétrico existe um vetor $\vec{E}$.



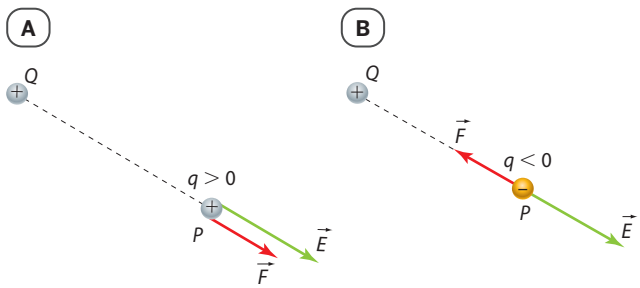
ADILSON SECCO/ARQUIVO DA EDITORA

Figura 17. A carga elétrica Q cria no espaço que a envolve um campo elétrico. A carga elétrica q, na presença de um campo elétrico, fica sujeita a uma força elétrica. (Representação fora de proporção; cores meramente ilustrativas.)

A intensidade do vetor campo elétrico é dada por:

$$E = \frac{F_{el}}{|q|}$$

Assim, concluímos que a unidade de intensidade do vetor campo elétrico é, no SI, newton/coulomb (N/C). No entanto, como a força elétrica e o campo elétrico são grandezas vetoriais, devemos ficar atentos à direção e ao sentido dessas grandezas. Sendo $\vec{F}_{el} = q \cdot \vec{E}$, concluímos, do estudo de vetores, que os vetores $\vec{F}_{el}$ e $\vec{E}$ têm sempre a mesma direção. Se $q > 0$, $\vec{F}_{el}$ e $\vec{E}$ têm o mesmo sentido. Se $q < 0$, $\vec{F}_{el}$ e $\vec{E}$ têm sentidos opostos (Fig. 18).

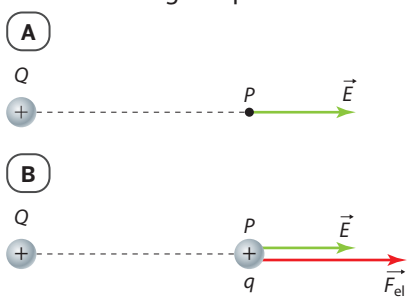


ADILSON SECCO/ARQUIVO DA EDITORA

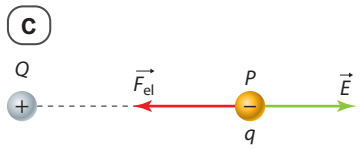
Figura 18. (A) Para uma carga elétrica positiva, a força elétrica tem mesma direção e mesmo sentido do campo elétrico; (B) para uma carga elétrica negativa, a força elétrica tem a mesma direção, mas sentido oposto ao do campo elétrico. (Representação fora de proporção; cores meramente ilustrativas.)

Campo elétrico de uma carga elétrica pontual fixa

Vamos considerar uma carga elétrica pontual Q positiva e um ponto P do espaço, situado a uma distância d dessa carga pontual. O ponto P é caracterizado pelo vetor campo elétrico $\vec{E}$ (Fig. 19A), independentemente do sinal de q e de seu valor. De fato, se no ponto P colocarmos uma carga de prova positiva ($q > 0$), essa carga de prova ficará sujeita à força de repulsão $\vec{F}_{el}$ (Fig. 19B). Note que $\vec{F}_{el}$ e $\vec{E}$ têm mesmo sentido. Se a carga de prova colocada for negativa ($q < 0$), a força $\vec{F}_{el}$ será de atração (Fig. 19C). Portanto, $\vec{F}_{el}$ e $\vec{E}$ têm sentidos opostos. Logo, o vetor campo elétrico em P permanece o mesmo (de afastamento), independentemente do sinal da carga de prova.



ADILSON SECCO/ARQUIVO DA EDITORA



ADILSON SECCO/ARQUIVO DA EDITORA

Figura 19. Representação esquemática do vetor campo elétrico $\vec{E}$ gerado pela carga elétrica Q no ponto P (A) sem nenhuma carga de prova; (B) com uma carga de prova positiva; e (C) com uma carga de prova negativa. (Representação fora de proporção; cores meramente ilustrativas.)

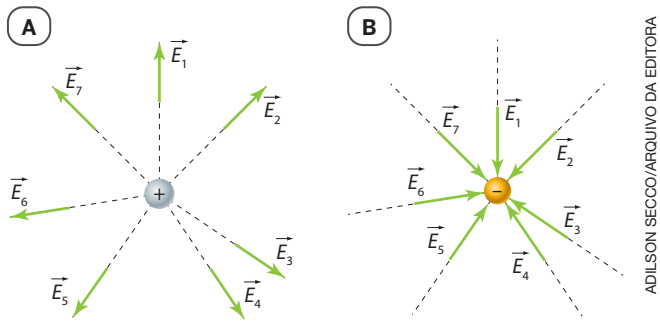
Uma carga elétrica positiva ($Q > 0$) origina um vetor campo elétrico de afastamento. Já uma carga elétrica negativa ($Q < 0$) origina um vetor campo elétrico de aproximação.

A partir da definição de campo elétrico $E = \frac{F_{el}}{|q|}$ e da lei de Coulomb, podemos expressar o valor da **intensidade** do campo elétrico gerado por uma carga elétrica pontual; assim:

$$E = \frac{F_{el}}{|q|} \Rightarrow E = \frac{\left(k \cdot \frac{|q| \cdot |Q|}{d^2}\right)}{|q|} \Rightarrow \boxed{E = k \cdot \frac{|Q|}{d^2}}$$

Observe que a intensidade do vetor campo elétrico, como a da força elétrica, obedece a uma lei do inverso do quadrado da distância. Dessa forma, o campo elétrico "enfraquece" rapidamente à medida que consideramos pontos mais afastados da carga elétrica.

A **direção** do vetor campo elétrico é a mesma da reta que une o ponto considerado à carga elétrica que gera o campo. Quanto ao **sentido**, quando a carga elétrica pontual que gera o campo elétrico é positiva, ele é de afastamento, isto é, está orientado da carga para fora (Fig. 20A). Se a carga elétrica que gera o campo elétrico é negativa, o sentido do vetor campo elétrico é de aproximação, isto é, está orientado de fora para a carga (Fig. 20B).

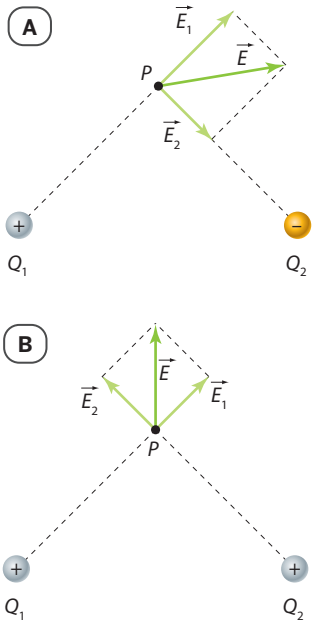


ADILSON SECCO/ARQUIVO DA EDITORA

Figura 20. Representação esquemática de um campo elétrico: (A) orientação de afastamento; (B) orientação de aproximação. (Representação fora de proporção; cores meramente ilustrativas.)

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

No caso da presença de mais de um vetor campo elétrico, necessitamos calcular o vetor campo elétrico resultante. Vamos representar, por exemplo, o vetor campo elétrico resultante em um ponto *P* nos seguintes casos: o campo elétrico é gerado por duas cargas elétricas pontuais, Q_1 e Q_2, de sinais contrários (Fig. 21A); e o campo elétrico é gerado por duas cargas elétricas pontuais, Q_1 e Q_2, positivas (Fig. 21B).



ADILSON SECCO/ARQUIVO DA EDITORA

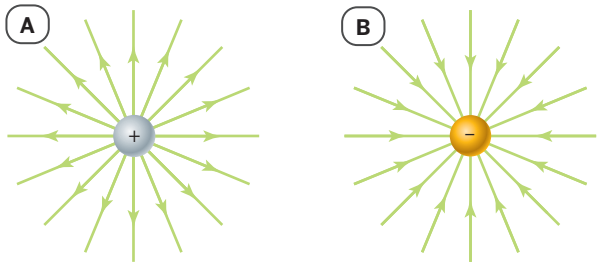
Figura 21. Representação esquemática do vetor campo elétrico no ponto *P* gerado por duas cargas elétricas pontuais: (A) de sinais contrários; (B) positivas. (Representação fora de proporção; cores meramente ilustrativas.)

Linhas de força

Michael Faraday (1791-1867) sugeriu a existência das linhas de força de um campo elétrico para explicar a ação da distância entre cargas elétricas. Para ele, essas linhas poderiam não só indicar a direção do campo elétrico como também a intensidade da força elétrica e do campo elétrico, de acordo com sua concentração.

Atualmente, definimos uma linha de força de um campo elétrico como uma linha imaginária tangente ao vetor campo elétrico em cada ponto do campo e orientada no mesmo sentido que ele.

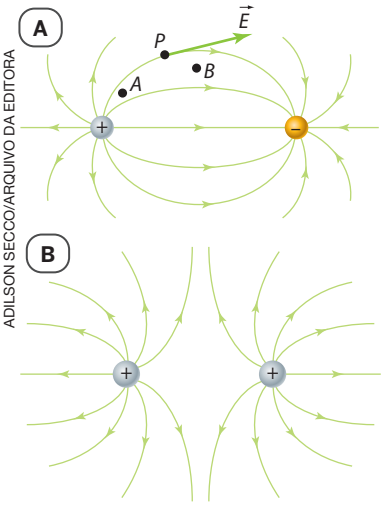
No caso do campo elétrico criado por uma carga elétrica pontual, as linhas de força são radiais em relação à carga geradora. Se a carga elétrica que gera o campo elétrico é positiva, as linhas de força são semirretas orientadas com origem na carga (Fig. 22A). Já se a carga elétrica que gera o campo elétrico é negativa, as linhas de força são semirretas orientadas que convergem para a carga (Fig. 22B).



ADILSON SECCO/ARQUIVO DA EDITORA

Figura 22. Esquema das linhas de força de um campo elétrico. (A) Campo gerado por carga positiva; (B) campo gerado por carga negativa. (Representação fora de proporção; cores meramente ilustrativas.)

As linhas de força do campo elétrico gerado por duas cargas elétricas pontuais de mesmo módulo estão representadas na figura 23. Observe que, para cargas elétricas de sinais opostos (Fig. 23A), as linhas de força têm origem na carga elétrica positiva e convergem para a negativa. Já as linhas de força do campo elétrico gerado por duas cargas elétricas pontuais positivas e de mesmo valor divergem (Fig. 23B), ou seja, as linhas de força geradas por uma carga elétrica não encontram as linhas de força de outra carga elétrica.



ADILSON SECCO/ARQUIVO DA EDITORA

Figura 23. Esquema das linhas de força do campo elétrico de duas cargas: (A) de mesmo módulo e sinais opostos; (B) positivas e de mesmo valor. (Representação fora de proporção; cores meramente ilustrativas.)

Ainda na figura 23, podemos observar que, conforme foi definido, o vetor campo elétrico $\vec{E}$ no ponto *P* é tangente à linha de força e tem o sentido dela. Além disso, é importante lembrar que, nos pontos em que as linhas de força estão mais próximas, o campo elétrico é mais intenso. Assim, concluímos que $E_A > E_B$ (Fig. 23A).

Vamos analisar o exemplo a seguir para compreender melhor as características do campo elétrico criado por uma carga pontual.

Exercício resolvido

O vetor campo elétrico do campo gerado por uma carga pontual $Q = 8{,}0\ \mu C$, colocada no vácuo, tem intensidade $E = 2{,}0 \cdot 10^5$ N/C em um ponto *P* situado a uma distância *d* da carga geradora. Sendo $k_0 = 9 \cdot 10^9 \frac{N \cdot m^2}{C^2}$ a constante eletrostática do vácuo, determine:

a. o valor da distância *d*;

b. a intensidade da força que age sobre uma carga de prova $q = 1{,}0 \cdot 10^{-7}$ C, colocada no ponto *P*;

c. a direção e o sentido dessa força, comparados com a direção e o sentido do vetor campo elétrico no ponto *P*.

CONTINUA

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

CONTINUAÇÃO

Resolução

a. A intensidade do campo é dada por $E = k \cdot \frac{|Q|}{d^2}$.

Substituindo os valores fornecidos, temos:

$$2{,}0 \cdot 10^5 = 9 \cdot 10^9 \cdot \frac{8{,}0 \cdot 10^{-6}}{d^2} \Rightarrow d^2 = 36 \cdot 10^{-2}$$

$\therefore d = 6{,}0 \cdot 10^{-1}$ m $= 60$ cm

b. A partir da definição de campo elétrico, temos $F = |q| \cdot E$. Assim, substituindo os valores, podemos calcular a intensidade da força que age sobre a carga de prova. Logo:

$F = 1{,}0 \cdot 10^{-7} \cdot 2{,}0 \cdot 10^5 \Rightarrow F = 2{,}0 \cdot 10^{-2}$

$\therefore F = 0{,}02$ N

c. Assim como a direção do vetor campo elétrico, a direção da força é horizontal. O sentido também é coincidente porque a carga de prova é positiva. Esquematicamente, supondo o vetor campo elétrico orientado da esquerda para a direita, teremos:

Campo elétrico uniforme

Um tipo de campo elétrico muito importante e de ampla aplicação prática é o **campo elétrico uniforme**. Ele pode ser obtido eletrizando-se duas placas planas paralelas com cargas de sinais contrários e a pequena distância uma da outra. A característica mais importante desse campo elétrico é que, em qualquer um de seus pontos, o vetor campo elétrico é sempre o mesmo, em direção, sentido e intensidade. Na representação por meio de linhas de força, estas são segmentos de reta paralelos igualmente espaçados e orientados da placa positiva para a placa negativa (Fig. 24).

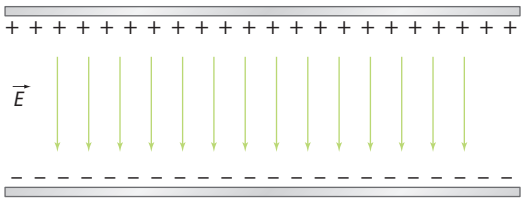


Figura 24. Representação esquemática de um campo elétrico uniforme.

ILUSTRAÇÕES: ADILSON SECCO/ARQUIVO DA EDITORA

Veja respostas e comentários no Suplemento para o professor.

Dialogando com o texto

Para complementar o estudo, há um simulador interativo, disponível no endereço https://phet.colorado.edu/sims/html/charges-and-fields/latest/charges-and-fields_all.html?locale=pt_BR (acesso em: 2 jul. 2024), que permite a exploração de conceitos fundamentais sobre campos elétricos.

Caso seja possível acessá-lo, explore brevemente as funções disponíveis, como adicionar cargas elétricas positivas e negativas, o medidor de campo elétrico e a visualização das linhas de campo. Em seguida, adicione uma carga elétrica positiva e observe as linhas de campo elétrico ao redor dela, desenhando em um papel como as linhas de campo se comportam. Utilizando o medidor de campo elétrico, meça a intensidade do campo em diferentes pontos ao redor de uma carga positiva isolada, registrando os valores medidos e a distância da carga elétrica. Repita o processo com uma carga negativa.

Para investigar a interação entre cargas, coloque uma carga elétrica positiva e uma carga elétrica negativa próximas uma da outra, descreva e desenhe como as linhas de campo elétrico se comportam entre elas. Por fim, movimente uma das cargas e observe as mudanças nas linhas de campo, registrando suas observações.

Veja comentários sobre essa atividade no Suplemento para o professor.

Atividade em grupo

O físico inglês Michael Faraday realizou o seguinte experimento: mandou construir uma gaiola metálica, hoje conhecida como gaiola de Faraday, entrou nela e pediu a seus assistentes que a eletrizassem intensamente. Como a gaiola estava sobre suportes isolantes, faíscas chegaram a saltar do dispositivo, mas o cientista em seu interior não sofreu nenhum efeito. Com esse experimento, Faraday demonstrou que aparelhos situados no interior da gaiola ou no interior de um condutor metálico oco ficam protegidos de cargas elétricas externas. É o fenômeno da **blindagem eletrostática**.

Esse fenômeno se baseia no fato de que o campo elétrico no interior de um condutor, eletrizado ou não, é **nulo**, mesmo existindo cargas elétricas externas ao condutor.

Com base no conceito de blindagem eletrostática, pesquise com seus colegas o que ocorre com os ocupantes de um automóvel quando o veículo é atingido por um raio. Pesquisem também como esse conceito de blindagem eletrostática é usado para proteção de equipamentos eletrônicos.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Veja respostas e comentários no Suplemento para o professor.

Aplicando conhecimentos

Registre as respostas em seu caderno.

7. Uma carga elétrica $q = -2\ \mu C$, quando colocada em um ponto P de um campo elétrico $\vec{E}$, fica sujeita a uma força elétrica $\vec{F}_{el}$, vertical, orientada para cima e com intensidade $F_{el} = 0{,}6$ N. Determine as características (módulo, direção e sentido) do campo elétrico E no ponto P.

8. No vácuo, uma carga elétrica puntiforme Q gera um campo elétrico de módulo E em um ponto a uma distância d. Qual é o módulo do vetor campo elétrico gerado por outra carga elétrica $3Q$ em um ponto situado à distância $\frac{d}{2}$? Dê a resposta em função de E.

Veja respostas e comentários no Suplemento para o professor.

Atividades finais

Registre as respostas em seu caderno.

1. O que se entende quando dizemos que um corpo está eletrizado positivamente?

2. Uma régua de plástico é fortemente atritada com um tecido de seda, e este eletriza-se positivamente. A seguir, aproxima-se a régua de uma esfera condutora, leve e neutra, suspensa por um fio isolante, sem tocá-la.

a. Qual é o sinal da carga elétrica adquirida pela régua de plástico?

b. Qual é o comportamento da esfera condutora e qual é a distribuição de cargas elétricas nessa esfera?

c. Se a régua tocar a esfera, qual será a nova distribuição de cargas e o novo comportamento da esfera?

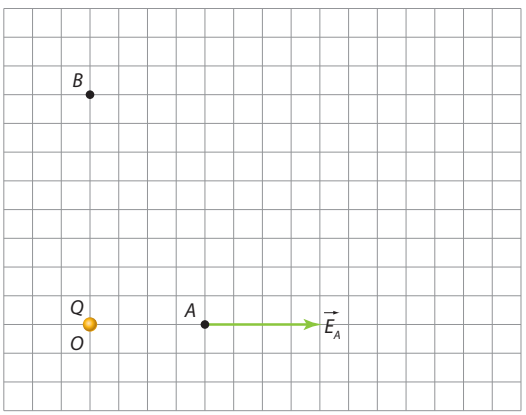
3. Duas cargas elétricas puntiformes Q_1 e Q_2, situadas a uma distância d, repelem-se com força de intensidade F. Considerando que as cargas elétricas permanecem as mesmas, assim como o meio onde elas estão imersas, dê em função de F a intensidade da força de repulsão quando:

a. dobra-se a distância entre as cargas;

b. triplica-se a distância entre as cargas;

c. reduz-se à metade a distância entre as cargas.

4. Uma partícula eletrizada com carga elétrica Q, fixa em um ponto O, gera um campo elétrico. No ponto A, representamos o vetor campo elétrico $\vec{E}_A$, cuja intensidade é $E_A = 4{,}0 \cdot 10^5$ N/C.



ADILSON SECCO/ARQUIVO DA EDITORA

Responda:

a. Qual é o sinal da carga elétrica Q?

b. Refaça em seu caderno a figura dada e represente o vetor campo elétrico $\vec{E}_B$ que Q origina no ponto B.

c. Qual é a intensidade do vetor campo elétrico no ponto B?

d. Uma partícula eletrizada com carga elétrica $q = 1\ \mu C$ é colocada no ponto A. Qual é a intensidade da força elétrica $\vec{F}_A$ que age nessa partícula?

e. O sentido da força $\vec{F}_A$ é o mesmo do vetor campo elétrico $\vec{E}_A$?

5. **(Enem)** Duas irmãs que dividem o mesmo quarto de estudos combinaram de comprar duas caixas com tampas para guardarem seus pertences dentro de suas caixas, evitando, assim, a bagunça sobre a mesa de estudos. Uma delas comprou uma metálica, e a outra, uma caixa de madeira de área e espessura lateral diferentes, para facilitar a identificação. Um dia, as meninas foram estudar para a prova de Física e, ao se acomodarem na mesa de estudos, guardaram seus celulares ligados dentro de suas caixas. Ao longo desse dia, uma delas recebeu ligações telefônicas, enquanto os amigos da outra tentavam ligar e recebiam a mensagem de que o celular estava fora da área de cobertura ou desligado.

5. b

Para explicar essa situação, um físico deveria afirmar que o material da caixa cujo telefone celular não recebeu as ligações é de

a. madeira, e o telefone não funcionava porque a madeira não é um bom condutor de eletricidade.

b. metal, e o telefone não funcionava devido à blindagem eletrostática que o metal proporcionava.

c. metal, e o telefone não funcionava porque o metal refletia todo tipo de radiação que nele incidia.

d. metal, e o telefone não funcionava porque a área lateral da caixa de metal era maior.

e. madeira, e o telefone não funcionava porque a espessura desta caixa era maior que a espessura da caixa de metal.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

CAPÍTULO 18

Corrente elétrica e circuitos elétricos

O assunto deste capítulo também é trabalhado no capítulo 17 do volume de Química desta coleção.

OO3ASY60LFOO/SHUTTERSTOCK

Os equipamentos de proteção individual garantem maior segurança aos profissionais que trabalham em situações de risco de choque elétrico.

As normas técnicas para eletricidade estabelecem procedimentos e condições para que instalações elétricas sejam seguras. Uma das exigências é o uso de equipamentos de proteção individual por parte dos profissionais que trabalham nessa área, garantindo maior segurança contra choques elétricos.

O choque elétrico é ocasionado pela passagem da corrente elétrica por organismos vivos. A corrente elétrica age diretamente no sistema nervoso, provocando contrações musculares. O pior caso de choque elétrico é aquele em que a corrente elétrica entra por uma das mãos de uma pessoa e sai pela outra. Atravessando o tórax, há grande chance de a corrente elétrica afetar os sistemas cardíaco e respiratório. O valor mínimo da intensidade da corrente elétrica que se pode perceber é de 1 mA. Esse valor provoca um formigamento leve. Entretanto, com uma corrente de intensidade acima de 10 mA, a pessoa perde o controle dos músculos e, caso o choque aconteça nas mãos, torna-se difícil abri-las e se livrar do contato. Valores que podem levar à morte estão compreendidos entre 100 mA e 3 A, aproximadamente. Nessa faixa de valores, a corrente elétrica, atravessando o tórax, atinge o coração, modificando o ritmo de seus batimentos. O coração pode parar de bombear sangue para o corpo, e a morte se dará em segundos.

Neste capítulo, definiremos corrente elétrica, intensidade de corrente elétrica e sua unidade no Sistema Internacional de Unidades, resistência elétrica, tensão elétrica, potência elétrica e suas respectivas unidades-padrão. Também veremos como calcular o preço da conta de energia elétrica e como determinar o valor da intensidade de corrente, da tensão e da potência elétrica, assim como a resistência equivalente, em associações de resistores.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

1. Corrente elétrica

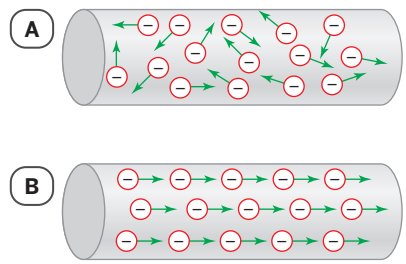
Nos condutores metálicos, há um grande número de elétrons se movimentando desordenadamente: são os elétrons livres. Eles pertencem à última camada da eletrosfera do átomo a que estão ligados, sendo essa ligação muito fraca, isto é, a força de atração eletrostática exercida pelo núcleo atômico não é suficiente para manter o elétron fortemente ligado ao átomo. Então, o elétron migra com certa facilidade de um átomo para outro. Essa característica faz do material um bom condutor de eletricidade.

Nos metais encontramos elétrons livres em grandes quantidades. Por exemplo, no volume de 1 cm^3 de cobre, que é um dos metais de melhor condutibilidade elétrica, existem, em média, 10^{22} átomos. Como cada átomo de cobre possui um elétron livre, isso significa que em 1 cm^3 de cobre, que poderíamos associar a um cubo com 1 cm de aresta, existem 10^{22} elétrons livres, isto é, 10 sextilhões de elétrons livres.

Quando os terminais, ou seja, os polos, de uma pilha ou de uma bateria são ligados às extremidades de um condutor, estabelece-se um campo elétrico no interior do condutor. Na presença desse campo elétrico, os elétrons livres ficam sujeitos à ação da força elétrica, entrando em movimento ordenado constituindo, então, uma **corrente elétrica**. De fato, quaisquer cargas elétricas em movimento ordenado constituem uma corrente elétrica. Por exemplo, íons positivos e negativos podem se movimentar ordenadamente em um líquido, desde que sejam criadas condições para isso, formando correntes elétricas. No entanto, interessa-nos apenas a corrente elétrica constituída por elétrons em movimento, que pode ser chamada de corrente elétrica eletrônica. Assim, podemos definir:

> Corrente elétrica é o movimento ordenado de cargas elétricas.
> Corrente elétrica eletrônica é o movimento ordenado de elétrons.

A figura 1 representa um trecho de um fio metálico com os elétrons livres movimentando-se caoticamente (Fig. 1A) e de modo ordenado (Fig. 1B) constituindo, assim, uma corrente elétrica.



ADILSON SECCO/ ARQUIVO DA EDITORA

Figura 1. Representação esquemática do movimento dos elétrons livres em um fio metálico: (A) movimento caótico dos elétrons; (B) movimento ordenado dos elétrons. (Representações fora de proporção; cores meramente ilustrativas.)

Sabemos, então, que a corrente elétrica nos condutores metálicos é constituída pela movimentação ordenada de elétrons. Essa é a corrente real. Entretanto, por razões históricas, que remontam à época em que se pensava que a eletricidade era produzida pela movimentação de partículas positivas, convencionou-se, que a corrente elétrica nos condutores metálicos é constituída pelo movimento ordenado de partículas elementares positivas, com a mesma carga elétrica, em módulo, dos elétrons; portanto, em sentido contrário ao movimento real dos elétrons. Tal corrente, que faz uso dessas partículas positivas hipotéticas, é a chamada corrente convencional. Daqui para a frente, então, consideraremos sempre a corrente convencional, a não ser que indiquemos uma menção específica em contrário.

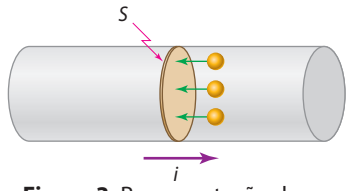
A figura 2 traz a representação da corrente real e da corrente convencional. Na representação da corrente convencional, costumamos colocar uma seta ao lado do fio para representar o sentido do movimento das cargas positivas hipotéticas e, portanto, o sentido da corrente elétrica convencional.

ADILSON SECCO/ ARQUIVO DA EDITORA

Figura 2. Representação esquemática: (A) corrente real; (B) corrente convencional. (Representações fora de proporção; cores meramente ilustrativas.)

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Vamos considerar um condutor metálico pelo qual passa uma corrente elétrica. Se destacarmos uma seção transversal S desse condutor (Fig. 3), passarão por ela, em um dado intervalo de tempo Δt, n partículas elementares, correspondendo a uma carga elétrica ΔQ, que pode ser calculada utilizando $\Delta Q = n \cdot e$, sendo e o valor do módulo da carga elétrica do elétron, chamada carga elétrica elementar ($e = 1{,}6 \cdot 10^{-19}$ C).



ADILSON SECCO/ ARQUIVO DA EDITORA

Figura 3. Representação das cargas elementares atravessando uma seção transversal S do condutor e da corrente elétrica i. (Representação fora de proporção; cores meramente ilustrativas.)

Define-se a intensidade de corrente elétrica (i) como a razão entre a carga elétrica ΔQ que passa pela seção S do fio condutor e o intervalo de tempo Δt em que ocorreu essa passagem:

$$i = \frac{\Delta Q}{\Delta t}$$

Em nosso estudo, vamos considerar correntes que não mudam de sentido, ou seja, correntes contínuas, cujas intensidades não se modificam no decorrer do tempo, mantendo-se, assim, como correntes constantes.

De $i = \frac{\Delta Q}{\Delta t}$, concluímos que a unidade de intensidade de corrente no SI é o coulomb por segundo (C/s), que recebeu o nome de **ampere** (**A**) em homenagem ao matemático e físico francês André-Marie Ampère (1775-1836), um dos pioneiros no desenvolvimento da Eletricidade.

A definição da unidade coulomb é feita a partir do ampere, por meio da definição de intensidade de corrente.

Assim, sendo $\Delta Q = i \cdot \Delta t$, temos:

1 coulomb = 1 ampere · 1 segundo.

Daí:

Um coulomb é a carga elétrica que passa, por segundo, por uma seção transversal de um condutor, percorrido por uma corrente elétrica contínua e constante de intensidade 1 ampere (1 A).

Como a corrente elétrica de um ampere (1 A) é muito grande, costuma-se usar submúltiplos dessa unidade. Assim, temos:

1 miliampere (1 mA) = 10^{-3} A
1 microampere (1 μA) = 10^{-6} A
1 nanoampere (1 nA) = 10^{-9} A
1 picoampere (1 pA) = 10^{-12} A

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Veja respostas e comentários no Suplemento para o professor.

Aplicando conhecimentos

Registre as respostas em seu caderno.

1. A corrente elétrica que se estabelece em um condutor metálico é decorrente do movimento ordenado de:
1. c
a. íons do metal;
b. prótons;
c. elétrons livres;
d. prótons em um sentido e elétrons livres em sentido oposto;
e. elétrons livres em torno do núcleo.

2. Pela seção transversal de um fio condutor metálico passam $6{,}0 \cdot 10^{10}$ elétrons por segundo. Sendo $e = 1{,}6 \cdot 10^{-19}$ C a carga elementar, determine a intensidade de corrente elétrica que percorre esse fio.

2. Resistência elétrica

Os elétrons livres que constituem a corrente elétrica não se deslocam livremente pelo condutor, pois, ao se movimentar, eles colidem com os átomos do condutor. Desse modo, todo material, por melhor condutor que seja, apresenta certa oposição à passagem da corrente elétrica, ou seja, todo condutor apresenta resistência elétrica.

A **resistência elétrica** de um condutor é indicada pela letra R e é medida em **ohm** (**Ω**).

3. Tensão elétrica

Uma pilha comum, ligada a um condutor, fornece para cada carga elétrica de 1 coulomb que a atravessa uma energia elétrica de 1,5 joule.

A energia elétrica que a pilha fornece (1,5 joule) por unidade de carga elétrica (1 coulomb) recebe o nome de **tensão elétrica** e é indicada pela letra *U*.

A unidade joule/coulomb é denominada **volt** (**V**).

$$\frac{1\ J}{1\ C} = 1\ V$$

Assim, dizemos que a tensão elétrica entre os polos positivo e negativo de uma pilha comum é de $U = 1{,}5$ V. Também é comum o uso do termo **ddp** (**diferença de potencial elétrico**) ou **voltagem**; assim a pilha comum possui entre seus polos uma ddp (ou voltagem) de 1,5 V.

Já a tensão elétrica entre os polos de uma bateria de automóvel é de 12 V. Isso significa que cada carga elétrica de 1 coulomb que atravessa a bateria recebe 12 joules de energia elétrica.

A pilha e a bateria são exemplos de aparelhos denominados geradores elétricos (Fig. 4).

DOTTA 2/ARQUIVO DA EDITORA

Figura 4. Geradores elétricos de uso comum.

Veja respostas e comentários no Suplemento para o professor.

Em destaque

Nova espécie de peixe-elétrico

[...]

Os peixes-elétricos compõem um grupo de mais de 250 espécies dotadas de um órgão capaz de produzir eletricidade, geralmente fraca, usada para se comunicar e para navegar, uma vez que a maioria tem olhos muito pequenos.

"O poraquê, que pode chegar a 2,5 metros de comprimento, é o único a produzir também descargas fortes. Ele faz isso por meio de três órgãos elétricos. Essas descargas são usadas para defesa e caça", disse Carlos David de Santana, pesquisador-associado do National Museum of Natural History, da Smithsonian Institution, nos Estados Unidos, e primeiro autor do artigo.

CORTESIA DO PROF. DR. LEANDRO MELO DE SOUSA/AFP

Estudo revela que existem ao menos três diferentes espécies conhecidas como poraquê (*E. Voltai*).

A pesquisa integra o Projeto Temático "Diversidade e evolução de Gymnotiformes (Teleostei, Ostariophysi)", coordenado por Naércio Menezes, professor do Museu de Zoologia da Universidade de São Paulo (MZ-USP).

A correlação entre as análises do DNA, da morfologia e do ambiente do poraquê, além da medição da voltagem emitida, permitiu reclassificar os animais em três espécies diferentes. A única conhecida até então, *Electrophorus electricus*, foi descrita em 1766 pelo naturalista sueco Carl Linnaeus.

Além da *E. electricus*, agora definida como a espécie que vive na região mais ao norte da Amazônia, os pesquisadores encontraram diferenças suficientes para acrescentar ao gênero a *Electrophorus varii* e a *Electrophorus voltai*.

CONTINUA

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

CONTINUAÇÃO

[...]

"Empregamos a medida da voltagem como forma de diferenciação, algo inédito na identificação de novas espécies", disse Naércio. Durante medições em campo, usando um voltímetro, os pesquisadores registraram em um exemplar de *E. voltai* uma descarga de 860 volts, a maior já medida em um animal. Até então, a mais alta era de 650 volts.

A nova espécie foi nomeada em homenagem ao físico milanês Alessandro Volta, criador da primeira bateria elétrica, em 1799. Volta se inspirou nos poraquês para sua invenção.

Fonte: JULIÃO, André. Nova espécie de peixe-elétrico emite a maior voltagem já registrada em um animal. **Agência FAPESP**. 11 set. 2019. Disponível em: https://agencia.fapesp.br/nova-especie-de-peixe-eletrico-emite-a-maior-voltagem-ja-registrada-em-um-animal/31422. Acesso em: 15 jun. 2024.

Com base no texto, responda:

O texto menciona que o poraquê utiliza três órgãos elétricos para produzir descargas fortes, usadas para defesa e caça. Pesquise como esses órgãos elétricos funcionam e como os peixes elétricos, como o poraquê, produzem essas descargas.

4. Lâmpada elétrica por incandescência

A lâmpada elétrica incandescente (Fig. 5) é constituída de um bulbo de vidro contendo um fio metálico de tungstênio enrolado, chamado **filamento**.

Dois fios metálicos ligam as extremidades do filamento à rosca metálica e à base metálica. A rosca e a base são separadas por um material isolante. A figura 6 indica como deve ser feita a ligação de uma pilha comum de 1,5 V a uma lâmpada de lanterna cuja tensão nominal é de 1,5 V. Para tal ligação, utilizamos fios de cobre.

ILUSTRAÇÕES: NELSON MATSUDA/ARQUIVO DA EDITORA

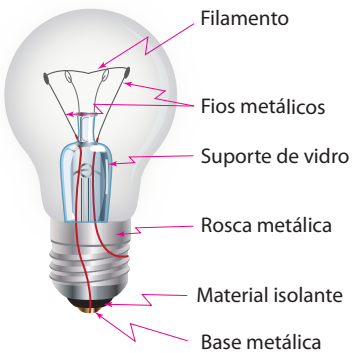


Figura 5. Lâmpada elétrica incandescente.

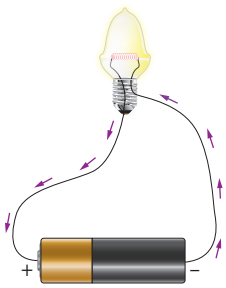
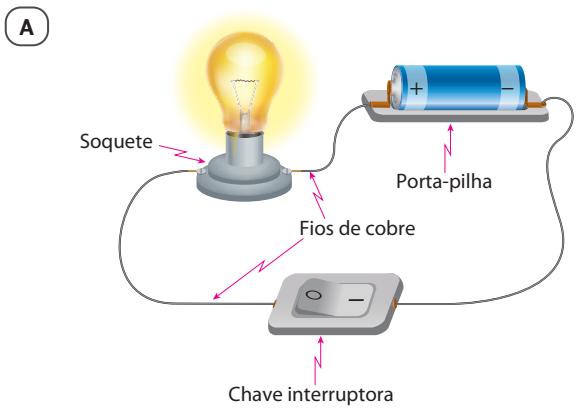


Figura 6. Pilha de 1,5 V ligada a uma lâmpada de tensão nominal de 1,5 V. (Representação fora de proporção; cores meramente ilustrativas.)

Na prática, para efetuar essa ligação, usamos um porta-pilhas, um soquete para rosquear a lâmpada, além dos fios de cobre e de uma chave interruptora. Observe na figura 7 como é feita a ligação da lâmpada ao soquete.



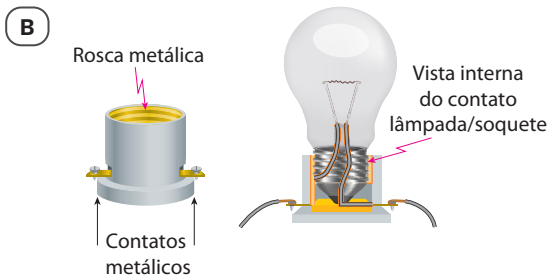
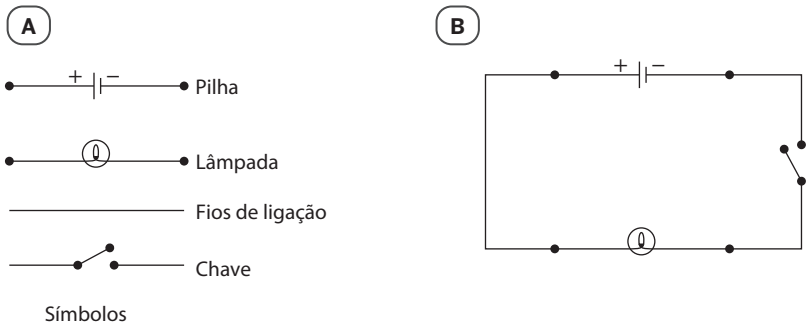


Figura 7. (A) Circuito elétrico; (B) ligação da lâmpada ao soquete. (Representações fora de proporção; cores meramente ilustrativas.)

ILUSTRAÇÕES: ADILSON SECCO/ARQUIVO DA EDITORA

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Utilizando alguns símbolos para representar cada objeto do circuito (Fig. 8A), podemos fazer uma representação esquemática do circuito anterior (Fig. 8B).



ADILSON SECCO/ ARQUIVO DA EDITORA

Figura 8. (A) Representação esquemática de alguns elementos presentes em circuitos elétricos; (B) representação esquemática de um circuito elétrico.

Ao fechar a chave interruptora, os elétrons livres movimentam-se ordenadamente. Eles colidem com os átomos do filamento. Devido à resistência elétrica, o filamento transforma a energia elétrica, fornecida pela pilha, em energia térmica. O filamento se aquece, fica incandescente e emite luz.

A transformação de energia elétrica em energia térmica pela passagem da corrente elétrica em um condutor é chamada de **efeito Joule** ou **efeito térmico da corrente elétrica**.

Veja respostas e comentários no Suplemento para o professor.

Dialogando com o texto

Atualmente, é muito mais comum encontrar lâmpadas LED (da sigla em inglês Diodo Emissor de Luz), que utilizam semicondutores que emitem luz, e lâmpadas fluorescentes, que emitem luz aplicando-se uma certa tensão elétrica a uma atmosfera de vapor de mercúrio, ambas substituindo as lâmpadas incandescentes. Faça uma pesquisa sobre as características de ambas as lâmpadas, incluindo consumo de energia, vida útil, eficiência luminosa e impacto ambiental. Registre um resumo da pesquisa em seu caderno. Discuta com seus colegas como a substituição por LEDs contribui para a redução do consumo de energia e para a preservação ambiental, e a importância de políticas públicas, como a Lei n. 13.280, na promoção da eficiência energética e sustentabilidade.

5. Potência elétrica

Geralmente, nos bulbos das lâmpadas vêm indicados dois valores: a tensão elétrica a que a lâmpada deve ser ligada (tensão nominal) e a potência elétrica por ela consumida (potência nominal). A potência elétrica (P) de uma lâmpada é definida como a razão entre a energia elétrica que ela consome (E_{el}) e o intervalo de tempo (Δt) em que fica ligada. Algebricamente, temos:

$$P = \frac{E_{el}}{\Delta t}$$

A unidade de medida da potência elétrica é o watt, simbolizado pela letra W:

$$\text{W} = \frac{1\ \text{J}}{1\ \text{s}}$$

No entanto, muitas vezes precisamos calcular a energia elétrica gasta por um aparelho com base na sua potência e no tempo de utilização. Assim:

$$E_{el} = P \cdot \Delta t$$

Para P em quilowatt (kW) e Δt em hora (h), resulta E_{el} medida em quilowatt-hora (kWh). Assim, por exemplo, se uma lâmpada cuja potência elétrica consumida é de 60 W ficar acesa durante 10 horas, consumirá a energia elétrica E_{el} igual a:

$$\frac{60}{1.000}\ \text{kW} \cdot 10\ \text{h} = 0{,}6\ \text{kWh}$$

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

6. Resistores

Existem elementos de circuito, como geradores e motores elétricos, nos quais ocorre a transformação parcial de energia elétrica em energia térmica. No entanto, existem outros elementos de circuito que transformam toda a energia elétrica consumida em energia térmica. São os chamados **resistores**.

São exemplos de resistores: o filamento de tungstênio das lâmpadas incandescentes (Fig. 9A) e o fio de nicromo, enrolado em forma de hélice, dos chuveiros elétricos (Fig. 9B).

A

LUCHSCHEN/ISTOCK/GETTY IMAGES

B

DOTTA2/ARQUIVO DA EDITORA

DOTTA2/ARQUIVO DA EDITORA

Figura 9. (A) Filamento de tungstênio de uma lâmpada incandescente; (B) resistores com fio de nicromo, utilizados em chuveiros e torneiras elétricas.

Há ainda resistores especiais cuja finalidade não é transformar energia elétrica em energia térmica, mas limitar o valor da intensidade da corrente que atravessa aparelhos eletrônicos como o rádio, a televisão e os aparelhos de som.

A principal propriedade de um resistor é a sua **resistência elétrica**.

7. Primeira lei de Ohm

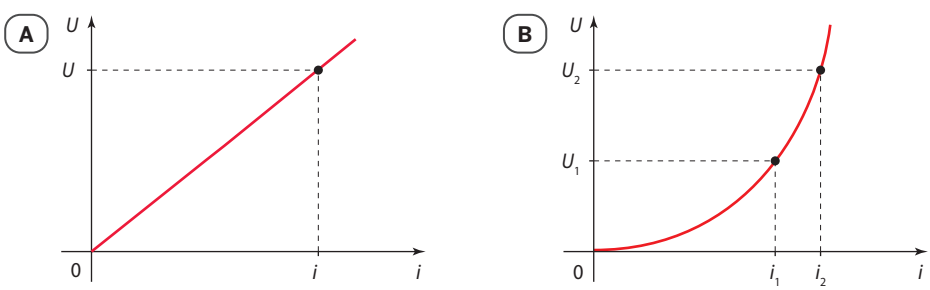
Quando ligamos um resistor de resistência elétrica R a um gerador elétrico (pilha, bateria etc.), cuja tensão elétrica é U, o resistor é percorrido por uma corrente elétrica de intensidade i.

O físico alemão Georg Simon Ohm (1789-1854) estabeleceu, por meio de experimentos, a relação entre as grandezas U, R e i, encontrando:

$$U = R \cdot i$$

Essa relação passou a ser usada para definir o valor da resistência elétrica $\left(R = \frac{U}{i}\right)$, em que U é medido em volt (V), R em ohm (Ω) e i em ampere (A).

Quando a ddp U em um resistor é proporcional à intensidade da corrente elétrica i, para qualquer valor dessas variáveis, dizemos que o resistor obedece à lei de Ohm; são, portanto, **resistores ôhmicos**. Representando graficamente a ddp U em função da intensidade de corrente i, para os resistores ôhmicos, obtemos uma reta que passa pela origem do sistema de eixos (Fig. 10A). No entanto, se a ddp U em um resistor não é proporcional à intensidade de corrente i, o que significa dizer que a resistência elétrica R não permanece constante, trata-se de um **resistor não ôhmico**. Nesse caso, para cada ddp há um valor diferente de resistência elétrica. Para os resistores não ôhmicos, obtemos uma curva que passa pela origem dos eixos, não uma reta (Fig. 10B).



ADILSON SECCO/ ARQUIVO DA EDITORA

Figura 10. Representações gráficas da ddp em função da intensidade decorrente. (A) Resistor ôhmico; (B) resistor não ôhmico.

O gráfico de U em função de i é denominado **curva característica**. A curva característica de um resistor ôhmico é uma reta passando pela origem dos eixos. Para os resistores não ôhmicos é uma curva passando pela origem.

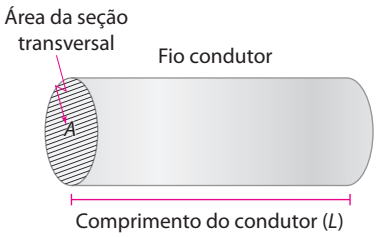
Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

8. Segunda lei de Ohm

Considere um resistor com a forma de um fio cilíndrico de comprimento L e área de seção transversal A (Fig. 11).

Empiricamente, a resistência elétrica R é diretamente proporcional a L, inversamente proporcional a A e depende do material que constitui o resistor; a grandeza física associada ao material que constitui o resistor é denominada **resistividade elétrica** e é representada por ρ (letra grega rô). Algebricamente, temos:

$$R = \frac{\rho \cdot L}{A}$$



ADILSON SECCO/ARQUIVO DA EDITORA

Figura 11. Resistor de comprimento L e área de seção transversal A.

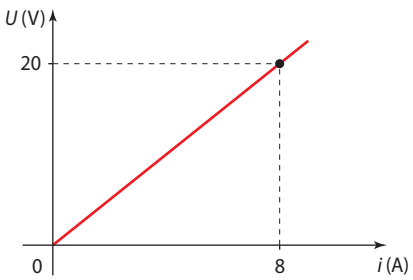
Dessa expressão, acima obtemos que $\rho = \frac{R \cdot A}{i}$, assim a unidade de resistividade no SI é ohm · m^2/m = ohm · m. Na prática, usa-se ohm · cm e ohm · mm^2/m.

Vamos acompanhar um exemplo de aplicação da primeira lei de Ohm.

Exercício resolvido

ESTRATÉGIA DE ESTUDO

O gráfico a seguir representa a curva característica de um resistor. Determine a resistência elétrica desse resistor quando o valor da corrente elétrica for igual a $i = 1{,}2$ A.



ADILSON SECCO/ARQUIVO DA EDITORA

Identificar

Podemos observar, a partir do gráfico, que se trata de um resistor ôhmico, já que a curva característica desse resistor é um reta.

Preparar

Como se trata de um resistor ôhmico sabemos que a resistência elétrica é constante. Portanto, podemos calcular o valor da resistência elétrica em qualquer ponto do gráfico usando a definição de resistência elétrica:

$$R = \frac{U}{i}$$

Executar

A partir do gráfico, sabemos que quando submetido a uma ddp de $U = 20$ V o resistor é percorrido por uma corrente elétrica cuja intensidade é $i = 8$ A. Assim:

$$R = \frac{U}{i} = \frac{20\ \text{V}}{8\ \text{A}} = 2{,}5\ \Omega$$

Analisar

Saber que o resistor possui uma resistência de 2,5 Ω é útil para aplicações práticas. Por exemplo, ao projetar circuitos, você pode prever como o resistor se comportará em diferentes situações, garantindo que os componentes operem dentro de seus limites seguros.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Veja respostas e comentários no Suplemento para o professor.

Aplicando conhecimentos

Registre as respostas em seu caderno.

3. Um fio de cobre tem comprimento $L = 100$ m e área de seção transversal $A = 0{,}4\ mm^2$. A resistividade do cobre a 0 °C é igual a $1{,}72 \cdot 10^{-2}$ ohm · $\frac{mm^2}{m}$. Qual é a resistência elétrica do fio a 0 °C?

4. Considere dois fios metálicos 1 e 2 de mesmo material e mesmo comprimento. A resistência elétrica do fio 1 é igual a R. O raio da seção transversal do fio 2 é o dobro do raio da seção transversal do fio 1. Determine, em função de R, a resistência elétrica do fio 2.

9. Potência elétrica dissipada por um resistor

O valor da potência elétrica consumida por um resistor, quando percorrido por corrente elétrica de intensidade i e sob tensão U, é dada pelo produto de U por i.

$$P = U \cdot i$$

No SI, P é medido em watt (W), U em volt (V) e i em ampere (A).

A partir dessa equação e levando em conta a primeira lei de Ohm ($U = R \cdot i$), podemos obter outras expressões para o cálculo da potência consumida por um resistor:

$$P = U \cdot i = R \cdot i \cdot i \Rightarrow \quad P = R \cdot i^2$$

$$P = U \cdot i = U \cdot \frac{U}{R} \Rightarrow \quad P = \frac{U^2}{R}$$

No exemplo seguinte, discutimos como calcular a potência dissipada no resistor de um aquecedor, assim como a energia dissipada num dado intervalo de tempo.

Exercício resolvido

Em uma experiência de laboratório, um aquecedor de água é submetido à ddp $U = 40$ V, sendo então percorrido por uma corrente elétrica de intensidade $i = 0{,}2$ A. Determine:

a. a potência elétrica que se dissipa no resistor desse aquecedor;

b. a energia elétrica dissipada 3 minutos após ter sido feita a ligação;

c. a resistência elétrica do resistor.

Resolução

a. A potência elétrica P pode ser calculada por $P = U \cdot i$. Assim:
$P = 40 \cdot 0{,}2 \therefore P = 8$ W

b. A energia elétrica dissipada, isto é, que se converte em energia térmica, é dada por $E_{el} = P \cdot \Delta t$.
Como $\Delta t = 3$ min $= 180$ s, temos:
$E_{el} = 8 \cdot 180 \therefore E_{el} = 1.440$ J $= 1{,}44$ kJ
Para expressar essa energia em kWh, devemos ter a potência em kW ($P = 8 \cdot 10^{-3}$ kW) e o intervalo de tempo em hora $\left(\Delta t = 3 \cdot \frac{1}{60}\text{ h} = \frac{1}{20}\text{ h}\right)$.
Assim: $E_{el} = P \cdot \Delta t = 8 \cdot 10^{-3} \cdot \frac{1}{20} \therefore E_{el} = 4 \cdot 10^{-4}$ kWh

c. Da definição de resistência elétrica, obtemos:
$R = \frac{U}{i} \Rightarrow R = \frac{40}{0{,}2} \therefore R = 200\ \Omega = 0{,}2\ \text{k}\Omega$

Veja respostas e comentários no Suplemento para o professor.

Aplicando conhecimentos

Registre as respostas em seu caderno.

5. Quanto tempo deve permanecer ligada uma lâmpada elétrica de 60 W para consumir a mesma energia elétrica de um chuveiro de potência 5.400 W, ligado durante 20 minutos?

6. Um chuveiro elétrico traz uma plaqueta de fábrica com as especificações:
(220 V – 2.200 W/4.400 W)
Ele possui uma chave seletora que pode ser colocada na posição "INVERNO" (●), "VERÃO" (◐) ou pode ser simplesmente desligada (○). Suponha que o aparelho está corretamente instalado e considere que o custo da energia elétrica é de R$ 0,40/kWh. Com base nas informações do enunciado desse exercício, determine:

a. a intensidade da corrente elétrica que atravessa esse chuveiro quando usado com a chave na posição "VERÃO";

b. o custo de um banho de meia hora com a chave seletora na posição "INVERNO".

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

10. Circuitos elétricos

OBJETO DIGITAL Infográfico clicável: Circuitos elétricos: em série e em paralelo

Qualquer conjunto de aparelhos através dos quais seja possível estabelecer uma corrente elétrica constitui um **circuito elétrico**. A figura 12 mostra a representação esquemática de um circuito elétrico simples, formado por um gerador (*G*), um resistor (*R*), uma chave (*Ch*) e os fios (ou condutores) que ligam os elementos do circuito, representados por linhas contínuas. Os fios não são considerados resistores, porque neles o efeito Joule é desprezível.

ADILSON SECCO/ ARQUIVO DA EDITORA

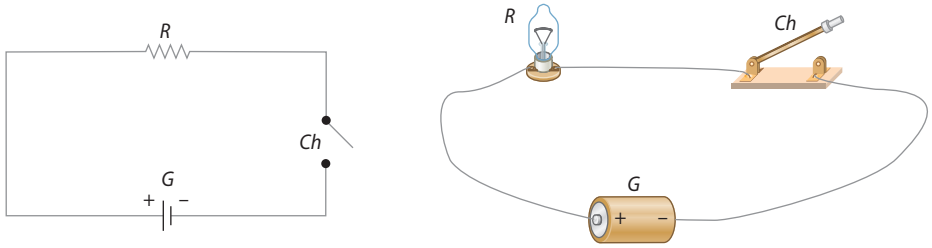


Figura 12. Representações esquemáticas de um circuito elétrico simples.

Note que, na figura 12, o circuito está aberto, pois a chave interruptora *Ch* não está fechada. A corrente elétrica só passa pelo circuito quando essa chave é fechada. Ao circular, a corrente elétrica (convencional) "sai" do polo positivo do gerador e "entra" pelo polo negativo, pois, por convenção, ela é constituída por partículas positivas em movimento. Ao atravessar o gerador, essas partículas ganham energia potencial elétrica.

Além dos componentes de um circuito citados, há outros componentes que podem ser ligados a ele. São os aparelhos de medida (o **amperímetro** e o **voltímetro**), o **fusível** e o **reostato**.

Como o próprio nome indica, o amperímetro é um aparelho destinado a medir a intensidade de corrente elétrica em dado trecho do circuito, no qual deve ser intercalado (Fig. 13). Sua graduação deve ser feita em unidades de intensidade de corrente, o ampere (A) ou um de seus submúltiplos. Um bom amperímetro deve possuir uma característica importante: uma resistência elétrica muito baixa, que possa ser desprezada. Se tiver uma resistência elétrica elevada, ao ser intercalado no circuito, ele modifica a própria corrente que deve medir. Então, nos circuitos vamos sempre considerar o **amperímetro ideal**, cuja resistência elétrica é nula ($R_A = 0$).

ADILSON SECCO/ ARQUIVO DA EDITORA

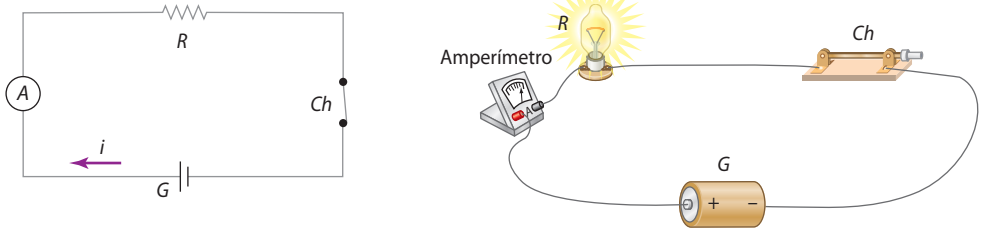


Figura 13. Representações esquemáticas de um circuito com amperímetro.

O voltímetro destina-se a medir a tensão elétrica ou ddp (ou voltagem) entre dois pontos do circuito. Para tanto, ele não deve ser intercalado no trecho considerado, como se faz com o amperímetro. Seus terminais devem ser ligados aos pontos cuja ddp ele deve medir. A figura 14 mostra um voltímetro ligado entre os pontos *X* e *Y* do circuito, cuja leitura vai fornecer a ddp entre os terminais do resistor *R*. Sua graduação deve ser feita em unidades de potencial, o volt (V) ou um de seus múltiplos ou submúltiplos. Ao contrário do amperímetro, um bom voltímetro deve ter uma resistência elétrica muito elevada, para que possa ser desconsiderada a intensidade de corrente elétrica que se desvia para ele ao ser colocado no circuito. Se não fosse assim, ele modificaria a própria ddp que deve medir. Para todos os efeitos, nos circuitos vamos sempre considerar o **voltímetro ideal**, cuja resistência elétrica é infinitamente grande ($R_V \to \infty$).

ADILSON SECCO/ ARQUIVO DA EDITORA

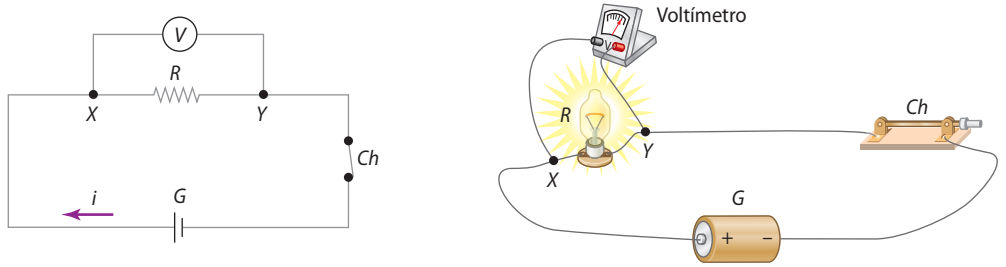
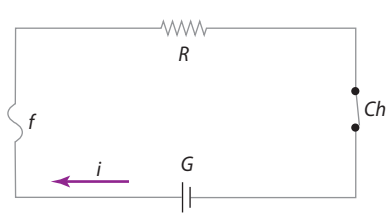


Figura 14. Representações esquemáticas de um circuito com voltímetro.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

O fusível é um dispositivo que costuma ser intercalado em um trecho do circuito para interromper a corrente elétrica quando sua intensidade supera um valor preestabelecido. A interrupção da corrente elétrica ocorre porque o fusível é constituído por um material de baixo ponto de fusão (geralmente chumbo ou estanho), que se funde devido ao aquecimento por efeito Joule. Nas representações esquemáticas dos circuitos, o fusível (*f*) é indicado por uma linha sinuosa (Fig. 15).

ADILSON SECCO/ ARQUIVO DA EDITORA



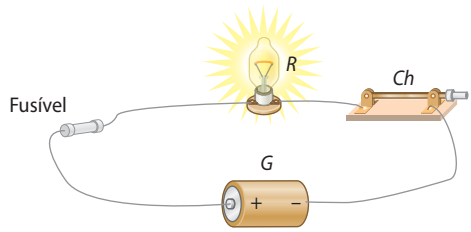


Figura 15. Representações esquemáticas de um circuito com fusível.

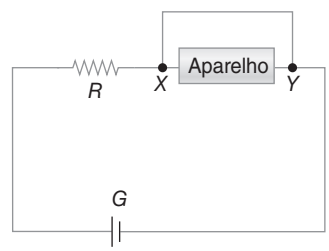
Os vários tipos de fusíveis existentes no mercado sempre trazem marcado o valor da intensidade de corrente máxima que podem suportar sem interromper o trecho de circuito no qual serão intercalados. Hoje, nos circuitos elétricos residenciais, comerciais ou industriais, os fusíveis foram substituídos pelos chamados **disjuntores magnéticos**, que se desligam automaticamente quando a intensidade da corrente elétrica supera determinado valor. Ao contrário dos fusíveis, os disjuntores podem ser reaproveitados, bastando para isso rearmá-los depois de corrigir o defeito que ocasionou seu acionamento. O princípio de funcionamento desses dispositivos baseia-se no efeito magnético da corrente elétrica.

Às vezes, em um circuito elétrico é preciso alterar a resistência elétrica de um determinado trecho. O **reostato** é um resistor que se caracteriza justamente por ter uma resistência que pode ser reduzida ou aumentada. Portanto, o reostato pode ser entendido como um resistor cuja resistência pode ser ajustada.

Quando um aparelho elétrico tem seus terminais ligados por um fio condutor cuja resistência é praticamente nula, dizemos que ele está em **curto-circuito**. Um aparelho em curto-circuito deixa de funcionar, uma vez que a corrente elétrica que o atravessaria é desviada para o fio condutor, praticamente sem resistência elétrica. Por exemplo, no circuito elétrico representado na figura 16, é como se o aparelho *A* não existisse, podendo ser suprimido. Nessas condições, a resistência elétrica do circuito externo diminui, ocasionando o aumento na intensidade total da corrente elétrica, capaz de danificar outros componentes do mesmo circuito.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

ADILSON SECCO/ ARQUIVO DA EDITORA



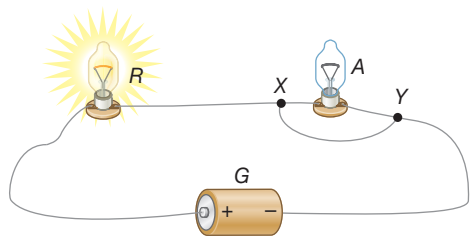


Figura 16. A lâmpada *A* está em curto-circuito e, portanto, não existe ddp entre seus terminais *X* e *Y*.

Veja respostas e comentários no Suplemento para o professor.

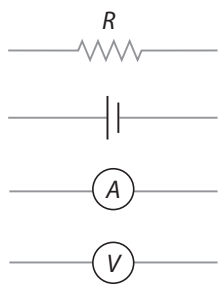
Aplicando conhecimentos

Registre as respostas em seu caderno.

ADILSON SECCO/ ARQUIVO DA EDITORA

7. Você dispõe de um resistor, um gerador, um amperímetro e um voltímetro ideais e fios de ligação. Pretende-se montar um circuito de modo a medir a intensidade da corrente que atravessa o resistor e a ddp entre seus terminais.

a. Desenhe em seu caderno o circuito.



b. O que significa dizer que o amperímetro e o voltímetro são ideais?

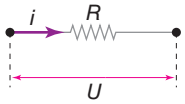
c. Sendo a medida do voltímetro 12 V e do amperímetro 4 A, qual o é valor da resistência elétrica do resistor?

8. Fazendo-se uma analogia entre o sistema circulatório do corpo humano e um circuito elétrico simples, quais seriam os análogos do coração, do sangue, dos vasos sanguíneos e do calibre desses vasos?

11. Associações de resistores

Há dois tipos básicos de associações de resistores: a **associação em série** e a **associação em paralelo**. Analisemos cada tipo, com ênfase em suas aplicações práticas.

Em qualquer dos casos, a associação pode ser substituída por um único resistor, que, colocado no circuito, ao ser submetido à mesma ddp total U da associação, é percorrido por uma mesma corrente elétrica de intensidade i. Esse resistor que faz as vezes da associação é denominado **resistor equivalente**, e sua resistência elétrica R é a resistência elétrica da associação (Fig. 17).

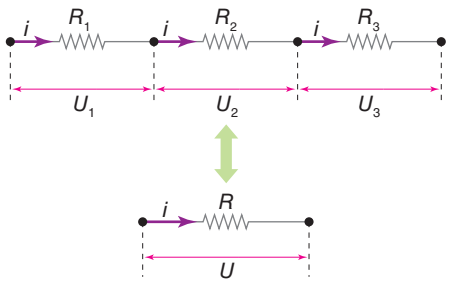


ADILSON SECCO/ ARQUIVO DA EDITORA

Figura 17. O resistor equivalente de uma associação é aquele que, submetido à ddp total U, é percorrido pela corrente elétrica da associação, de intensidade i.

Associação em série

Dizemos que resistores estão associados em série quando eles são ligados de maneira tal que oferecem apenas um caminho para a corrente elétrica. Então, **todos esses resistores são percorridos pela mesma corrente**. No circuito representado na figura 18, temos um trecho em que aparecem três resistores, cujas resistências elétricas são R_1, R_2 e R_3, ligados em série, e o resistor equivalente de resistência elétrica R (Fig. 18).



ADILSON SECCO/ ARQUIVO DA EDITORA

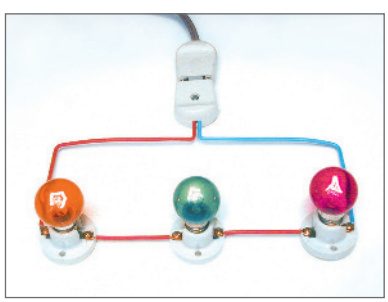
Figura 18. Representação esquemática da associação de três resistores em série e o resistor equivalente.

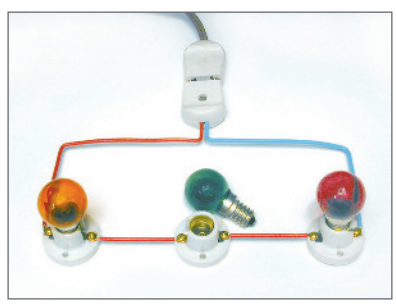
Observe que a intensidade de corrente elétrica i é a mesma em todos eles, mas cada um dos resistores está submetido a uma ddp particular, U_1, U_2 e U_3, respectivamente. A ddp total U é igual à soma das ddps nos vários resistores ($U = U_1 + U_2 + U_3$). Aplicando a lei de Ohm a cada resistor ($U_1 = R_1 \cdot i$; $U_2 = R_2 \cdot i$; $U_3 = R_3 \cdot i$) e ao resistor equivalente ($U = R \cdot i$) e substituindo na soma, temos:

$$R \cdot i = R_1 \cdot i + R_2 \cdot i + R_3 \cdot i \quad \Rightarrow \quad R = R_1 + R_2 + R_3$$

Em uma associação em série de resistores, o resistor equivalente tem resistência elétrica dada pela soma das resistências elétricas dos resistores associados.

Em uma associação em série, se um resistor for suprimido, não haverá passagem de corrente elétrica nos demais resistores. Por exemplo, se os resistores da associação forem lâmpadas, cada uma funcionará como interruptor. Se uma dessas lâmpadas for tirada do circuito ou "queimar", as demais se apagarão, pois não serão mais atravessadas pela corrente elétrica (Fig. 19). Portanto, a associação em série não é uma associação interessante para os aparelhos elétricos de uma residência, pois todos os aparelhos precisariam estar ligados para que um funcionasse e, se um fosse desligado ou "queimasse", os outros parariam de funcionar.





FOTOS: EDUARDO SANTALIESTRA/ ARQUIVO DA EDITORA

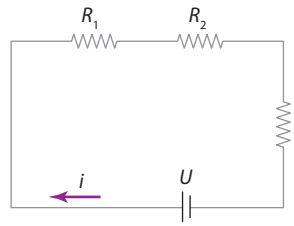
Figura 19. A retirada ou a "queima" de uma lâmpada interrompe o circuito em série.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

No exemplo seguinte, analisamos as características elétricas de uma associação de resistores em série.

Exercício resolvido

Três resistores de resistências elétricas $R_1 = 10\ \Omega$, $R_2 = 20\ \Omega$ e $R_3 = 30\ \Omega$ são associados conforme mostra a figura. A associação é ligada aos terminais de um gerador que mantém a tensão elétrica constante $U = 120$ V. Determine:



ADILSON SECCO/ARQUIVO DA EDITORA

a. a resistência R da associação (ou do resistor equivalente);

b. a intensidade de corrente que atravessa cada um dos resistores;

c. a ddp em cada um dos resistores;

d. a potência elétrica total dissipada pela associação.

Resolução

a. Os resistores estão associados em série, pois só existe um caminho possível para a corrente elétrica. A resistência R da associação (ou do resistor equivalente) é dada pela soma das resistências dos resistores associados. Então:

$$R = R_1 + R_2 + R_3 \Rightarrow R = 10 + 20 + 30 \therefore R = 60\ \Omega$$

b. A intensidade de corrente é a mesma em todos os resistores e pode ser calculada utilizando a definição de resistência elétrica:

$$U = R \cdot i \Rightarrow 120 = 60 \cdot i \therefore i = 2\ \text{A}$$

c. Podemos calcular a ddp em cada resistor:

$U_1 = R_1 \cdot i \Rightarrow U_1 = 10 \cdot 2 \therefore U_1 = 20\ \text{V}$

$U_2 = R_2 \cdot i \Rightarrow U_2 = 20 \cdot 2 \therefore U_2 = 40\ \text{V}$

$U_3 = R_3 \cdot i \Rightarrow U_3 = 30 \cdot 2 \therefore U_3 = 60\ \text{V}$

Observe que a soma das ddps individuais dá a ddp total: $U = 120$ V

d. Pode-se calcular a potência total dissipada aplicando $P = R \cdot i^2$ ao resistor equivalente:

$P = 60 \cdot (2)^2 \therefore P = 240\ \text{W}$

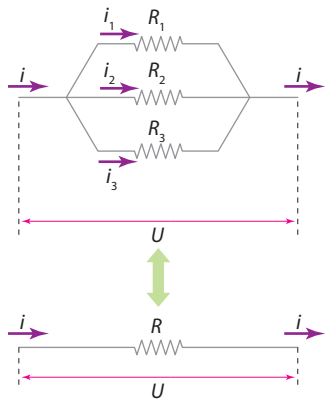
Chegaríamos ao mesmo resultado calculando a potência dissipada em cada um dos resistores e fazendo a soma ao fim. Comprove!

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Associação em paralelo

Dizemos que resistores estão associados em paralelo quando são ligados de modo a oferecer tantos caminhos para a corrente elétrica quantos forem eles. Para isso, é necessário que todos os terminais de um mesmo lado sejam ligados entre si, o mesmo ocorrendo com os terminais do outro lado.

Por exemplo, os três resistores, de resistências R_1, R_2 e R_3, estão associados em paralelo e a associação é submetida a uma ddp U (Fig. 20). A corrente elétrica total, de intensidade i, divide-se pelos três, pois são três os caminhos oferecidos pelos resistores: passa uma corrente elétrica de intensidade i_1 pelo resistor de resistência R_1; de intensidade i_2 pelo resistor de resistência R_2; de intensidade i_3 pelo resistor de resistência R_3. O resistor equivalente, de resistência R, ao ser submetido à ddp U, é percorrido pela corrente total de intensidade i.



ADILSON SECCO/ARQUIVO DA EDITORA

Figura 20. Representação esquemática da associação de três resistores em paralelo e o resistor equivalente.

Observe que a **ddp é a mesma (U) em todos os resistores**, uma vez que estão ligados aos mesmos dois pontos. A intensidade de corrente total i é igual à soma das intensidades de corrente em cada resistor: $i = i_1 + i_2 + i_3$. Substituindo cada intensidade de corrente pela relação entre a ddp U e a respectiva resistência elétrica, em vista da lei de Ohm $\left(i_1 = \frac{U}{R_1},\ i_2 = \frac{U}{R_2},\ i_3 = \frac{U}{R_3}\right)$, temos:

$$\frac{U}{R} = \frac{U}{R_1} + \frac{U}{R_2} + \frac{U}{R_3} \Rightarrow \boxed{\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}}$$

Em uma associação de resistores em paralelo, o inverso da resistência do resistor equivalente é igual à soma dos inversos das resistências dos resistores associados.

No exemplo a seguir, discutimos as características elétricas de uma associação de resistores em paralelo.

Exercício resolvido

Dois resistores, de resistências $R_1 = 10\ \Omega$ e $R_2 = 40\ \Omega$, estão associados em paralelo e ligados a um gerador que mantém uma ddp constante $U = 200$ V. Determine:

a. a resistência elétrica do resistor equivalente à associação;

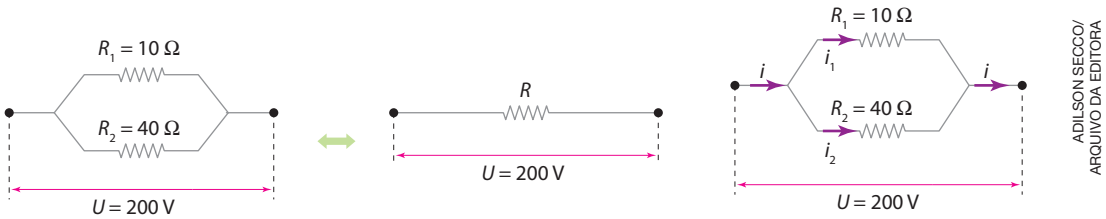
b. a intensidade de corrente elétrica total na associação;

c. as intensidades das correntes elétricas que atravessam cada resistor;

d. a potência elétrica dissipada na associação.

Resolução

A sequência de figuras mostra como proceder a resolução:



ADILSON SECCO/ ARQUIVO DA EDITORA

a. A resistência R do resistor equivalente pode ser calculada por:

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \Rightarrow \frac{1}{R} = \frac{R_1 + R_2}{R_1 \cdot R_2} \Rightarrow R = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2} \Rightarrow R = \frac{10 \cdot 40}{10 + 40} \therefore R = 8\ \Omega$$

b. A partir da definição de resistência elétrica, temos, para o resistor equivalente:

$U = R \cdot i \Rightarrow 200 = 8 \cdot i \therefore i = 25$ A

c. Usando o mesmo raciocínio do item anterior, podemos calcular a intensidade da corrente elétrica que passa em cada resistor:

$U = R_1 \cdot i_1 \Rightarrow 200 = 10 \cdot i_1 \therefore i_1 = 20$ A

$U = R_2 \cdot i_2 \Rightarrow 200 = 40 \cdot i_2 \therefore i_2 = 5$ A

Observe que a soma das intensidades das correntes elétricas que atravessam os resistores associados é igual à que atravessa a associação ($i = i_1 + i_2$).

d. A potência elétrica dissipada pela associação pode ser calculada por qualquer das três expressões apresentadas no capítulo. Vamos utilizar $P = U \cdot i$:

$P = 200 \cdot 25 \therefore P = 5.000$ W $= 5$ kW

Repita o cálculo usando as outras duas expressões de potência e comprove que o resultado obtido será o mesmo.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Veja respostas e comentários no Suplemento para o professor.

Aplicando conhecimentos

Registre as respostas em seu caderno.

9. Represente um circuito elétrico com uma bateria, duas lâmpadas conectadas em paralelo e duas chaves. Cada lâmpada deverá ser controlada por uma chave.

10. Um resistor R_1, quando submetido a uma ddp de 12 V, é percorrido por uma corrente elétrica de intensidade 3 A. Associando-se um segundo resistor, R_2, em série com R_1 e submetendo-se a associação à mesma ddp de 12 V, a intensidade da corrente elétrica passa a ser de 2 A. Qual é o valor da resistência elétrica do resistor R_2?

11. Duas lâmpadas incandescentes, L_1 e L_2, com resistências elétricas, respectivamente, iguais a R_1 e R_2 com $R_2 > R_1$, são conectadas em série.

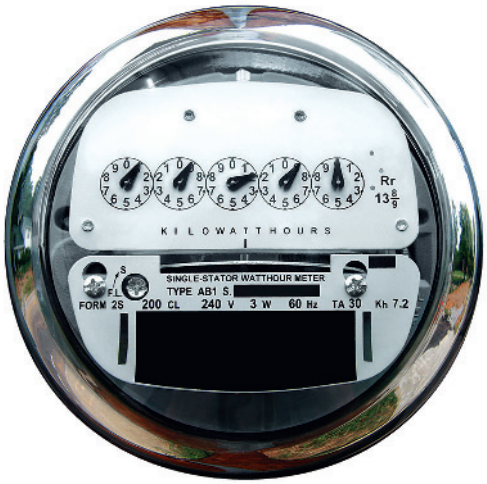
a. Qual das lâmpadas brilha mais intensamente? Justifique sua resposta.

b. E se elas fossem conectadas em paralelo?

12. “Relógio de luz”

É fundamental nos conscientizarmos da necessidade de economizar energia elétrica. Por isso, é importante conhecer os “relógios de luz” e saber como se lê o valor da energia elétrica consumida mensalmente em nossa residência (Fig. 21). É importante conferir o valor consumido com o que é indicado nas contas de energia elétrica e comparar com o consumo nos meses anteriores. Qual é o preço de 1 kWh? Quais são os impostos cobrados? Que porcentagem eles representam do total a ser pago?

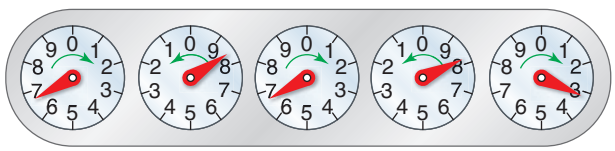
Há pessoas que, preocupadas com o consumo excessivo de energia, costumam monitorar quanta energia elétrica utilizam a cada mês. Frequentemente, pela mesma razão, campanhas educacionais são realizadas visando diminuir o desperdício, que em algumas regiões pode ocasionar um excesso de demanda às usinas geradoras, levando a blecautes. De fato, em épocas de estiagem, o nível muito baixo nas represas das usinas hidroelétricas faz com que as autoridades tomem medidas mais drásticas, como acionamento de usinas termoelétricas, o racionamento no fornecimento e a cobrança de multas para quem excede certo nível de consumo de eletricidade.



MELINDA FAWVER/SHUTTERSTOCK

Figura 21. Medidor de consumo de energia elétrica.

Os medidores de energia elétrica podem ser digitais, onde se pode ler diretamente a quantidade de energia elétrica consumida, ou analógicos, que estão sendo gratadivamente substituídos pelos digitais. Os analógicos possuem 4 ou 5 mostradores (Fig. 22).



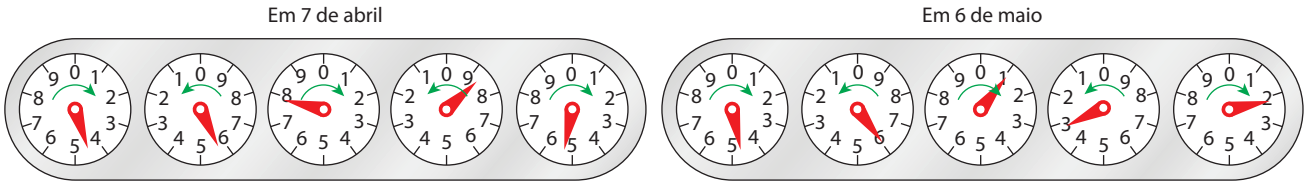
ERICSON GUILHERME LUCIANO/ ARQUIVO DA EDITORA

Figura 22. Representação dos mostradores em que se faz a leitura do consumo de energia elétrica. (Representação fora de proporção; cores meramente ilustrativas.)

Ao fazer uma medição, devemos ler as indicações desses mostradores da esquerda para a direita. Note que cada um gira em sentido oposto ao do vizinho. O primeiro mostrador, à direita, mede a energia elétrica utilizada em unidades de quilowatt-hora (kWh); o segundo indica dezenas de kWh; o próximo indica centenas de kWh, e assim por diante. Sempre que o ponteiro, em um mostrador, estiver entre dois valores, anote o menor deles. Seguindo essas instruções, a leitura correta no medidor da figura 22 é 68.683 kWh.

A quantidade de energia elétrica em kWh utilizada em determinado período é obtida pela diferença entre as leituras realizadas no final e no início desse período. É por essa energia que você paga.

Considere a situação indicada na figura 23, que mostra o medidor de energia elétrica de uma residência em 7 de abril e em 6 de maio.



ERICSON GUILHERME LUCIANO/ ARQUIVO DA EDITORA

Figura 23. Em 7 de abril, o medidor indicava 45.785 kWh e, em 6 de maio, marcava 46.132 kWh. (Representações fora de proporção; cores meramente ilustrativas.)

Portanto, a quantidade de energia elétrica consumida nesse período é dada pela diferença:

$$E_{\text{consumida}} = 46.132\ \text{kWh} - 45.785\ \text{kWh} = 347\ \text{kWh}$$

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

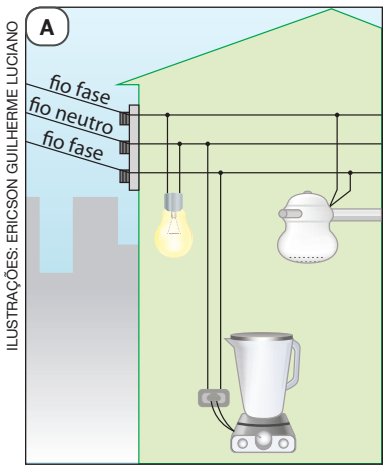
13. Circuito elétrico nas residências

Você saberia dizer como estão ligados os diversos aparelhos elétricos da sua residência? Como podemos acender e apagar a lâmpada que ilumina uma escada usando uma chave no patamar de baixo e outra chave no patamar de cima? Esses assuntos serão estudados a seguir.

Instalação elétrica residencial

Na maioria das residências, a partir do poste da rua, entram três fios na casa do consumidor (Fig. 24A). Um dos fios é o neutro, que está aterrado. Os outros dois são os fios fases. Entre as duas fases, a tensão elétrica é de 220 V. Entre uma das fases e o fio neutro, a tensão elétrica é de 127 V.

Em algumas regiões brasileiras, as residências têm apenas dois fios (Fig. 24B) e nelas podemos encontrar instalações elétricas com as tensões de 127 V ou de 220 V. Por isso, é sempre bom ter o cuidado de verificar a tensão elétrica disponível na rede antes de ligar os aparelhos elétricos.



ILUSTRAÇÕES: ERICSON GUILHERME LUCIANO

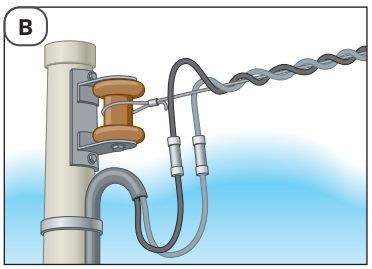
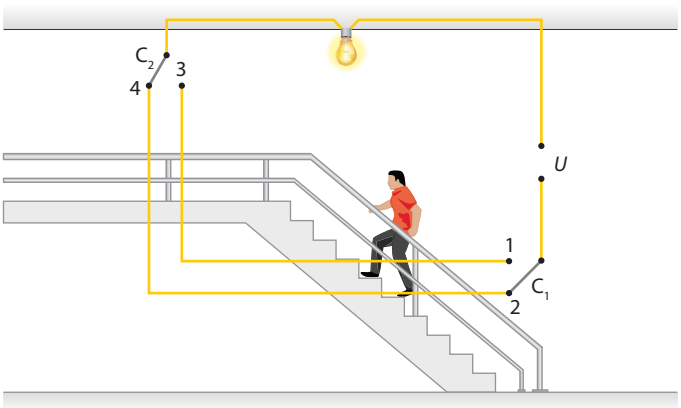


Figura 24. (A) Entre os fios fase a tensão elétrica é de 220 V. Entre cada fio fase e o fio neutro, a tensão é de 127 V. O chuveiro elétrico, que consome mais energia elétrica, é ligado de modo a ficar submetido a 220 V; (B) todos os aparelhos são ligados em tensões de 127 V ou de 220 V em residências onde há somente esse tipo de instalação elétrica. (Representações fora de proporção; cores meramente ilustrativas.)

Chave paralela

Para a iluminação de uma escada, utilizam-se duas chaves do tipo paralela, que possuem três terminais em vez de dois. Uma chave fica no patamar de baixo e a outra, no de cima. Observe o circuito mostrado na figura 25.



ADILSON SECCO/ARQUIVO DA EDITORA

Figura 25. Instalação de chaves paralelas em uma escada.
(Representação fora de proporção; cores meramente ilustrativas.)

Cada uma das chaves permite acender ou apagar a lâmpada que ilumina a escada, independentemente da posição da outra chave. Assim, com a chave C_1 na posição 2 e a chave C_2 na posição 4, a lâmpada está acesa. Passando para a posição 1, apagamos a lâmpada. O mesmo pode ser feito com a chave C_2 do patamar de cima. Se a chave C_1 estiver na posição 2 e a chave C_2 for colocada na posição 3, a lâmpada será apagada.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

14. Geradores e receptores elétricos

A função essencial de um gerador elétrico é transformar outra forma de energia em energia elétrica. Por exemplo, no caso de uma pilha, energia química é transformada em energia elétrica.

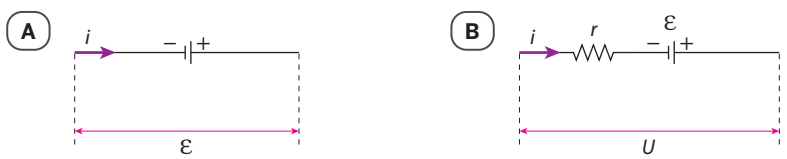
Em um circuito, o gerador mantém entre seus terminais (polos do gerador) uma ddp, ou tensão elétrica, necessária para que as cargas elétricas da corrente elétrica se movimentem. No interior do gerador, o sentido da corrente elétrica convencional é do polo negativo para o polo positivo, ou seja, entra pelo "menos" e sai pelo "mais".

Quando a corrente elétrica atravessa um gerador, parte da energia elétrica é dissipada. Isso significa que devemos considerar para os geradores uma resistência interna *r*.

Gerador ideal e gerador real

Gerador ideal é aquele cuja resistência interna é nula ($r = 0$). Na figura 26A, indicamos o símbolo de um gerador ideal. O traço maior representa o polo positivo e o menor, o polo negativo. A ddp entre os polos de um gerador ideal é indicada pela letra *E* e recebe o nome de força eletromotriz (fem).

O **gerador real**, por sua vez, possui resistência interna *r*, não nula (Fig. 26B). Na representação de um gerador real, encontramos a resistência interna *r* e o valor de $\mathcal{E}$, que é colocado ao lado dos traços que representam os polos. Indicamos também o sentido convencional da corrente elétrica.



ADILSON SECCO/ ARQUIVO DA EDITORA

Figura 26. Representações de um gerador elétrico: (A) ideal; (B) real.

Sabemos que o produto $r \cdot i$ representa a ddp na resistência interna *r*, portanto, a ddp *U* fornecida pelo gerador é dada por:

$$U = \mathcal{E} - r \cdot i$$

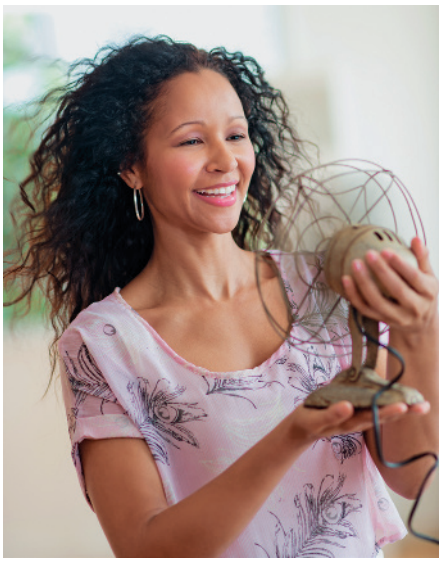
Essa equação é denominada **equação do gerador**.

Receptor

Há elementos de circuito que transformam a energia elétrica em outra forma que não a térmica exclusivamente. A um elemento desse tipo dá-se o nome de **receptor elétrico**. São exemplos de receptores os motores elétricos presentes nos liquificadores, ventiladores e furadeiras, nos quais a energia elétrica se converte em energia mecânica (Fig. 27).

A transformação da energia elétrica em outra forma de energia que não a térmica (mecânica, no caso dos motores) determina uma queda no potencial elétrico, cuja unidade, no SI, é o volt (V). A essa queda de potencial elétrico damos o nome de força contraeletromotriz (ε') ou fcem do receptor.

Para marcar o fato de que o receptor provoca uma queda no potencial elétrico, considera-se que ele possui dois polos: o positivo, de entrada das cargas (ou da corrente elétrica), e o negativo, de saída das cargas (ou da corrente elétrica). A representação simbólica do receptor, então, é idêntica à do gerador, mas o sentido da corrente elétrica é contrário.

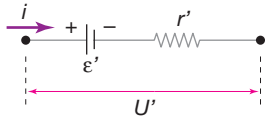


JGI/TOM GRILL/GETTY IMAGES

Figura 27. Um ventilador é um exemplo de receptor elétrico.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Na figura 28, representamos um receptor com sua resistência interna r', pois, além da transformação da energia elétrica em outra forma não térmica, ele também se aquece, havendo dissipação de energia por efeito Joule.



ADILSON SECCO/ ARQUIVO DA EDITORA

Figura 28. Representação esquemática de um receptor.

A tensão ou ddp elétrica U' nos terminais do receptor corresponde à soma de duas quedas de potencial, que ocorrem quando ele é atravessado pela corrente elétrica: ε', devido à transformação da energia elétrica em energia não térmica, e $(r' \cdot i)$, devido à transformação da energia elétrica em energia térmica. Então, podemos escrever:

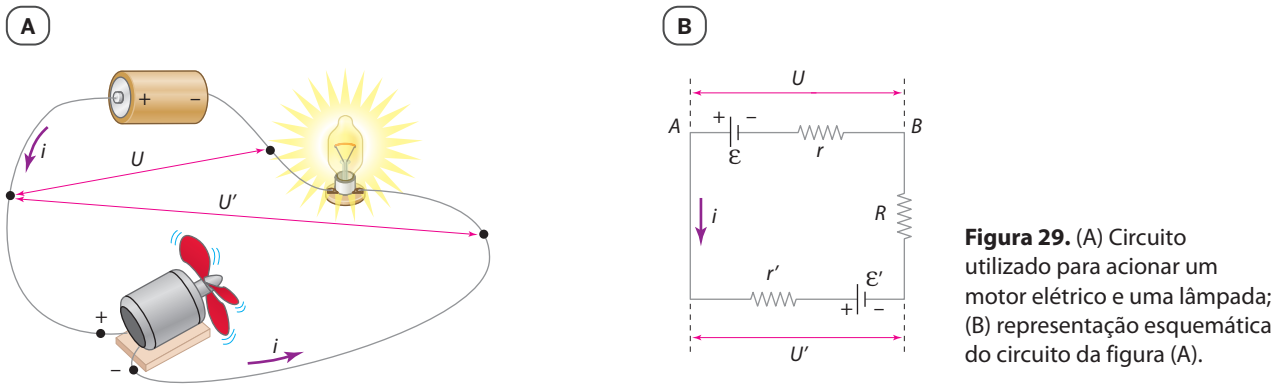
$$U' = \varepsilon' + r' \cdot i$$

Essa equação é denominada **equação do receptor**.

Lei de Pouillet dos circuitos elétricos

Vamos considerar um circuito elétrico constituído por um gerador de fem ε e resistência interna r, um resistor de resistência elétrica R e um receptor de fcem ε' e resistência interna r' (Fig. 29). Seja i a intensidade da corrente elétrica que circula nesse circuito. A ddp U que o gerador mantém entre seus terminais A e B (elevação de potencial) deve ser igual à soma das ddps (quedas de potencial elétrico) no resistor $(R \cdot i)$ e no receptor (U'). Então:

$$U = U' + R \cdot i$$



ADILSON SECCO/ ARQUIVO DA EDITORA

Figura 29. (A) Circuito utilizado para acionar um motor elétrico e uma lâmpada; (B) representação esquemática do circuito da figura (A).

Substituindo U e U', temos: $\varepsilon - r \cdot i = \varepsilon' + r' \cdot i + R \cdot i \Rightarrow$

$\Rightarrow \varepsilon - \varepsilon' = r \cdot i + r' \cdot i + R \cdot i \Rightarrow \varepsilon - \varepsilon' = (r + r' + R)i$

Daí, podemos obter a intensidade de corrente que atravessa o referido circuito:

$$i = \frac{\varepsilon - \varepsilon'}{r + r' + R}$$

Essa equação foi obtida experimentalmente pelo físico francês Claude Pouillet (1790-1868). Ela traduz matematicamente a lei que leva seu nome, **lei de Pouillet**, válida para circuitos elétricos simples.

Nessa equação, se não há receptor no circuito, desaparecem os termos ε' e r'. Se não há resistência externa, o termo R não aparece. O gerador tem de estar sempre presente. Às vezes, o circuito possui vários geradores associados, um em seguida do outro (associação em série). Nesse caso, o gerador equivalente terá fem igual à soma das fems dos geradores associados e resistência interna igual à soma das resistências internas dos vários geradores.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

ESTRATÉGIA DE ESTUDO

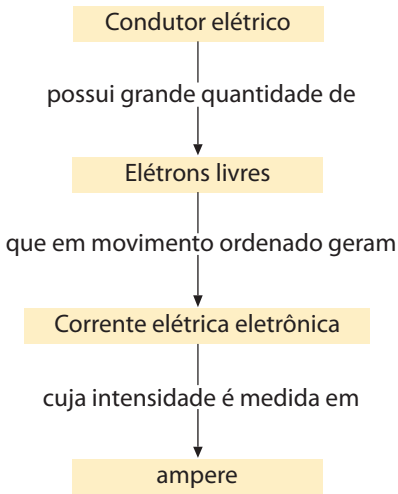
Como mais uma estratégia, você pode organizar os assuntos graficamente, em uma estrutura chamada mapa conceitual, e refletir sobre o que aprendeu.

Montar um mapa conceitual

Comece selecionando as palavras-chave de um tópico. Em seu caderno, agrupe-as pelos assuntos que têm correlação e organize-as da mais genérica ou abrangente para a mais específica. Em seguida, pense em uma frase curta que estabeleça uma relação entre elas. Para o tópico *Corrente elétrica* por exemplo, podem ser selecionadas as palavras-chave: elétrons livres, condutor elétrico, corrente elétrica eletrônica e ampere.

Então, formule uma frase que comece com uma palavra-chave e termine com outra. Essa frase é chamada proposição.

Para montar o mapa conceitual, escreva essas palavras dentro de formas geométricas e relacione-as por meio de setas ou linhas, além da proposição. Uma possível apresentação do exemplo dado é:



NELSON MATSUDA/ARQUIVO DA EDITORA

Ao fazer isso para mais de um tópico do capítulo espera-se que surjam relações entre palavras-chave de tópicos diferentes. Assim, o mapa conceitual cresce e ganha novas ramificações.

Em mapas conceituais, pode surgir uma palavra central com a função de ligar essas ramificações (como o título do capítulo, por exemplo) e setas compridas para relacionar palavras-chave que estão distantes.

Após a primeira montagem do mapa conceitual, analise se é possível melhorá-lo, por exemplo, alterando a disposição de algumas palavras-chave, retirando partes menos importantes, encurtando proposições e fazendo relações cruzadas.

Verificar o que aprendeu

1. Avalie seu nível de compreensão dos assuntos apresentados no capítulo utilizando a escala:

- Entendi completamente.
- Entendi a maior parte, mas alguns itens estão confusos.
- Não entendi a maior parte.
- Não entendi.

2. Avalie suas habilidades para:

- resolver os problemas;
- relacionar o conteúdo com situações do cotidiano;
- identificar conexões entre os assuntos;
- organizar graficamente os assuntos.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Veja respostas e comentários no Suplemento para o professor.

Atividades finais

Registre as respostas em seu caderno.

1. 1.b A seção reta de um fio metálico é atravessada por uma carga elétrica de $6{,}0 \cdot 10^{-6}$ C, durante 3,0 ms. A intensidade da corrente elétrica que atravessa a seção do fio metálico é igual a:

a. 1,0 mA.
b. 2,0 mA.
c. 4,0 mA.
d. 6,0 mA.
e. 8,0 mA.

2. 2.d **(Enem)** Lâmpadas incandescentes são normalmente projetadas para trabalhar com a tensão da rede elétrica em que serão ligadas. Em 1997, contudo, lâmpadas projetadas para funcionar com 127 V foram retiradas do mercado e, em seu lugar, colocaram-se lâmpadas concebidas para uma tensão de 120 V. Segundo dados recentes, essa substituição representou uma mudança significativa no consumo de energia elétrica para cerca de 80 milhões de brasileiros que residem nas regiões em que a tensão da rede é de 127 V. A tabela a seguir apresenta algumas características de duas lâmpadas de 60 W, projetadas respectivamente para 127 V (antiga) e 120 V (nova), quando ambas encontram-se ligadas numa rede de 127 V.

Lâmpada projeto original	60 W – 127 V	60 W – 120 V
Tensão da rede elétrica	127 V	127 V
Potência medida (watts)	60	65
Luminosidade medida (lumens)	750	920
Vida útil média (horas)	1.000	452

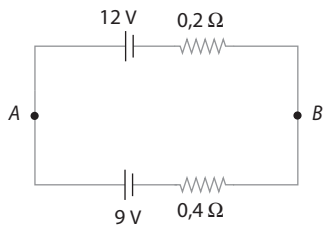
Acender uma lâmpada de 60 W e 120 V em um local onde a tensão na tomada é de 127 V, comparativamente a uma lâmpada de 60 W e 127 V no mesmo local, tem como resultado

a. mesma potência, maior intensidade de luz e maior durabilidade.
b. mesma potência, maior intensidade de luz e menor durabilidade.
c. maior potência, maior intensidade de luz e maior durabilidade.
d. maior potência, maior intensidade de luz e menor durabilidade.
e. menor potência, menor intensidade de luz e menor durabilidade.

3. Uma bateria de fem 12 V tem resistência interna de 0,5 Ω.

a. Qual será a tensão entre seus terminais quando essa bateria for percorrida por corrente elétrica de intensidade 4 A?
b. Qual será a intensidade da corrente elétrica que circulará por essa bateria quando a tensão entre seus terminais for 8 V?

4. A figura mostra um circuito constituído por um gerador e um receptor.

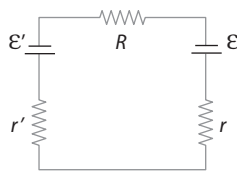


ADILSON SECCO/ ARQUIVO DA EDITORA

Determine:

a. a intensidade da corrente elétrica;
b. a ddp entre *A* e *B*.

5. No circuito esquematizado, o gerador tem fem $\varepsilon = 25$ V e o receptor tem fcem $\varepsilon' = 15$ V. As resistências internas são, respectivamente, $r = 2\ \Omega$ e $r' = 3\ \Omega$. O resistor colocado no circuito tem resistência elétrica $R = 15\ \Omega$.



ADILSON SECCO/ ARQUIVO DA EDITORA

Determine:

a. a intensidade de corrente que circula pelo circuito;
b. as ddps nos terminais do gerador e do receptor.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

CAPÍTULO 19

Eletromagnetismo

TRIFF/SHUTTERSTOCK

O polo norte da agulha magnetizada da bússola aponta para o polo norte geográfico da Terra.

A bússola, equipamento inventado pelos chineses, foi largamente utilizada na época das Grandes Navegações, do século XV em diante, para orientação dos navegadores. Com ela, os exploradores podiam atravessar oceanos desconhecidos com maior segurança, desbravando novas rotas marítimas e ampliando os horizontes do mundo conhecido.

No século XIII, o navegante e inventor italiano Flavio Gioia fez grandes contribuições para o aperfeiçoamento desse instrumento. Foi ideia dele utilizar a bússola sobre um cartão com a rosa dos ventos, facilitando a indicação dos pontos cardeais. O termo "bússola" vem do italiano e significa "caixa pequena". No entanto, foi somente no século XIX que a bússola, como a conhecemos atualmente, foi aprimorada.

Você saberia explicar como uma bússola funciona? Neste capítulo, você vai aprender como a bússola é orientada pela ação do campo magnético da Terra. Além disso, vai estudar como se cria um campo magnético e como os conceitos que vimos em Eletricidade estão associados ao Magnetismo, junção que deu origem ao Eletromagnetismo.

1. Ímãs

OBJETO DIGITAL Infográfico clicável: Eletromagnetismo no cotidiano

As histórias e, posteriormente, os estudos da Eletricidade e do Magnetismo se desenvolveram de forma independente durante muito tempo. Entre 1855 e 1865, James C. Maxwell (1831-1879) estudou a conexão entre os fenômenos elétricos e magnéticos, surgindo assim o **Eletromagnetismo**, que estuda os fenômenos magnéticos gerados por correntes elétricas.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Alguns estudos sugerem que o nome "magnetismo" deriva da Magnésia, região da Grécia antiga, onde se observou a capacidade de algumas pedras de atraírem pedaços de ferro e de atraírem ou de repelirem umas às outras, dependendo das posições em que eram colocadas. Presume-se que tais pedras fossem pedaços de magnetita, um ímã natural conhecido como óxido de ferro (Fe_3O_4). Atualmente, a maioria dos ímãs utilizados é artificial e apresenta inúmeras aplicações práticas.

Os ímãs apresentam algumas propriedades físicas interessantes: têm polos bem definidos, interagem uns com os outros, seus polos não podem existir sozinhos, entre outras características. A seguir, vamos estudar algumas dessas propriedades.

STEVECOLEIMAGES/ISTOCK/GETTY IMAGES

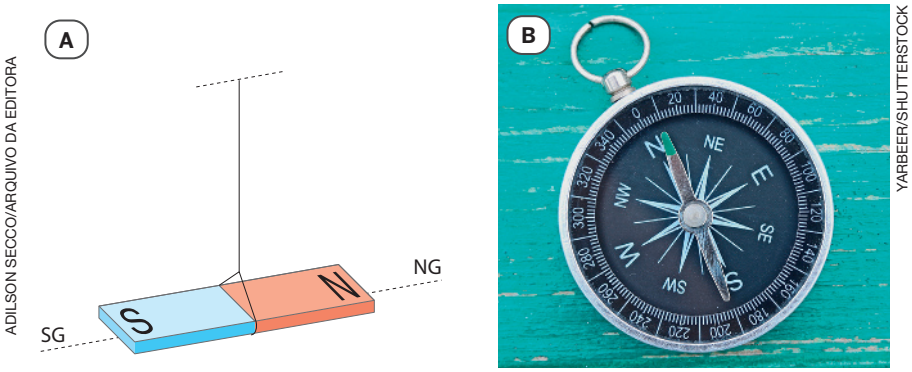
Figura 1. A limalha de ferro se concentra mais nas regiões extremas (polos) do ímã em forma de barra.

Polos de um ímã

Colocando-se um ímã em forma de barra em contato com limalha (pequenos fragmentos) de ferro, observa-se que esses fragmentos aderem ao ímã, principalmente nas suas extremidades (Fig. 1). Essas regiões de maior concentração de limalha de ferro são os **polos do ímã**.

Suspendendo um ímã em forma de barra pelo centro de gravidade, de modo que possa girar livremente, nota-se que ele se orienta aproximadamente na direção norte-sul dos polos geográficos da Terra (Fig. 2A). O **polo norte** (N) do ímã é a região que se volta para o **norte geográfico** (NG) e o **polo sul** (S) do ímã, é a região que se volta para o **sul geográfico** (SG).

O fato de um ímã se orientar sempre nessa direção permitiu aos chineses a invenção da bússola, instrumento atualmente constituído de um ímã leve em forma de losango, denominado **agulha magnética**, que gira em torno de um eixo fixo em uma caixa dotada de pontos cardeais (Fig. 2B).



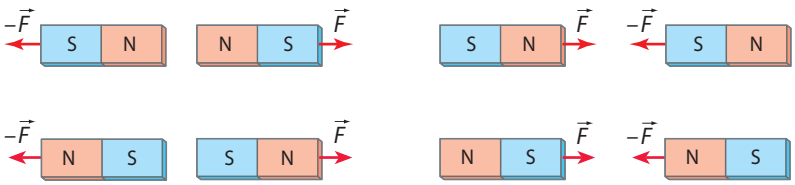
ADILSON SECCO/ARQUIVO DA EDITORA

YARBEER/SHUTTERSTOCK

Figura 2. (A) Um ímã suspenso pelo seu centro de gravidade se orienta aproximadamente na direção norte-sul dos polos geográficos da Terra; (B) bússola atual.

Ações entre polos de ímãs

Experimentalmente, constata-se que polos de mesmo nome, por exemplo norte e norte, ou sul e sul, colocados próximos entre si, **repelem-se**, e polos de nomes contrários, como norte e sul, **atraem-se** (Fig. 3).



ILUSTRAÇÕES: ADILSON SECCO/ ARQUIVO DA EDITORA

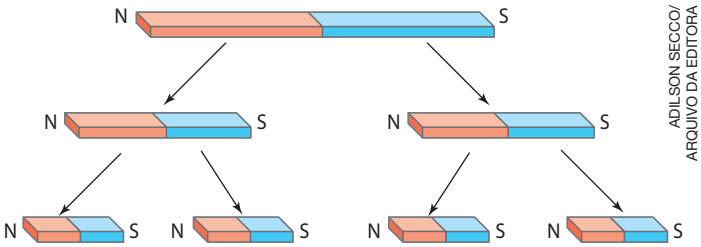
Figura 3. Polos de mesmo nome se repelem. Polos de nomes contrários se atraem. (Representação fora de proporção; cores meramente ilustrativas.)

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Inseparabilidade dos polos de um ímã

Ao serrarmos transversalmente um ímã reto, cada parte obtida não apresenta um polo único. Surgem na região de corte polos de nomes contrários aos dos extremos, de modo que cada parte é um novo ímã completo (Fig. 4). Isso significa que não é possível separar os polos de um ímã e obter partes com um polo somente, isto é, **não existem monopolos magnéticos**.

Se serrarmos transversalmente as partes anteriormente obtidas, teremos partes menores que também serão ímãs completos. Assim procedendo sucessivamente, atingiremos o nível microscópico, com a obtenção de pequenos ímãs. São os **ímãs elementares**.



ADILSON SECCO/ ARQUIVO DA EDITORA

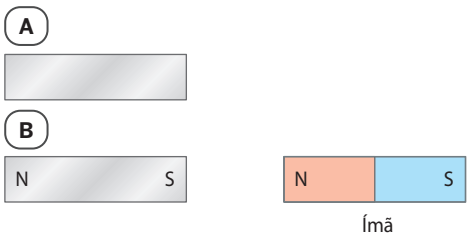
Figura 4. Inseparabilidade dos polos de um ímã. (Representação fora de proporção; cores meramente ilustrativas.)

Ímãs permanentes e ímãs temporários

Existem corpos constituídos de certos materiais que, ao serem aproximados de um ímã, facilmente se magnetizam, isto é, convertem-se em outros ímãs. Esses materiais são chamados **ferromagnéticos**. É o caso, por exemplo, do ferro, do cobalto, do níquel e de ligas especiais como o alnico (liga de alumínio, níquel e cobalto).

Observe, na figura 5, que o polo norte do ímã "induz" um polo sul na região do corpo que lhe está próxima e um polo norte na região mais afastada (Fig. 5B). Entre o corpo e o ímã ocorre atração: o corpo sofre imantação ou magnetização.

Se, ao afastar o ímã, o corpo magnetizado perder imediatamente a imantação, estaremos diante de um **ímã temporário**. É o que acontece com o ferro doce (ferro com baixo teor de carbono). Se o corpo mantiver a imantação, ele será um **ímã permanente**. É o que ocorre com certos tipos de aço e com o alnico.



ADILSON SECCO/ ARQUIVO DA EDITORA

Figura 5. Representações esquemáticas: (A) material ferromagnético não magnetizado; (B) ao aproximar um ímã, o material ferromagnético se magnetiza. (Representação fora de proporção; cores meramente ilustrativas.)

Veja respostas e comentários no Suplemento para o professor.

Aplicando conhecimentos

Registre as respostas em seu caderno.

1. Três barras de ferro, *A*, *B* e *C*, possuem a mesma forma e suas extremidades são, respectivamente, A_1 e A_2, B_1 e B_2 e C_1 e C_2. Observa-se que A_1 atrai B_1, B_2 e C_1, e repele C_2. Podemos afirmar, em relação a essas barras, que:

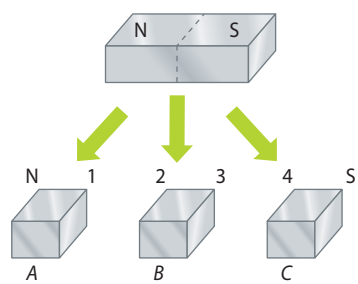
1. d

a. somente *A* é um ímã permanente.
b. somente *B* é um ímã permanente.
c. somente *C* é um ímã permanente.
d. somente *A* e *C* são ímãs permanentes.
e. somente *B* e *C* são ímãs permanentes.

2. Um ímã é dividido em três partes, *A*, *B* e *C*, conforme indica a figura.

2. d

a. As partes *A* e *C* possuem um polo somente.
b. A parte *B* não é um ímã.
c. Aproximando-se a extremidade 1 da extremidade 4, observa-se repulsão.
d. Aproximando-se a extremidade 2 do polo sul da parte *C*, observa-se atração.
e. Suspendendo-se a parte *B* por seu centro de gravidade, de modo que possa girar livremente, ela não se orienta.



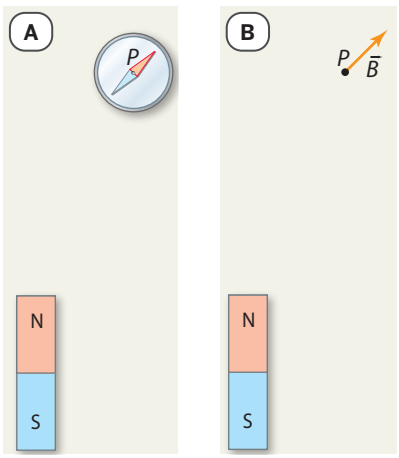
ADILSON SECCO/ARQUIVO DA EDITORA

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

2. Campo magnético de um ímã

Ao aproximarmos um ímã de uma agulha magnética, esta sofre um desvio. Isso significa que o ímã modifica, de algum modo, as propriedades dos pontos do espaço que o envolve. Dizemos que ele origina nesse espaço um **campo magnético**. A agulha magnética da bússola "sente" a presença do ímã por meio do campo magnético que ele origina. Para medir a ação do ímã, associamos, a cada ponto do campo, uma grandeza vetorial denominada **vetor indução magnética** ou, simplesmente, **vetor campo magnético**, representado por $\vec{B}$.

Colocada em um ponto *P* de um campo magnético, uma agulha magnética assume determinada posição de equilíbrio (Fig. 6A). A direção do vetor $\vec{B}$ em *P* é aquela em que se dispõe a agulha magnética, e o sentido de $\vec{B}$ é aquele para onde o polo norte da agulha aponta (Fig. 6B).

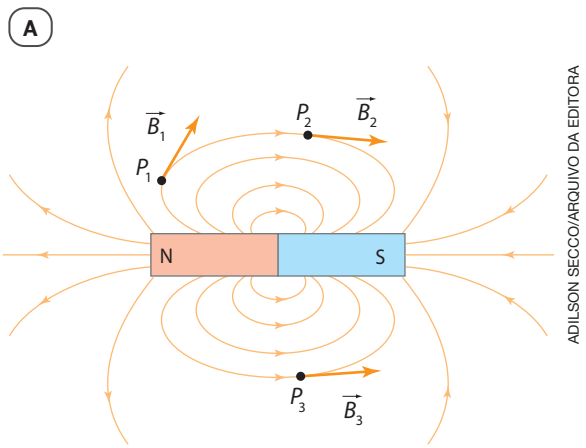


ILUSTRAÇÕES: ADILSON SECCO/ARQUIVO DA EDITORA

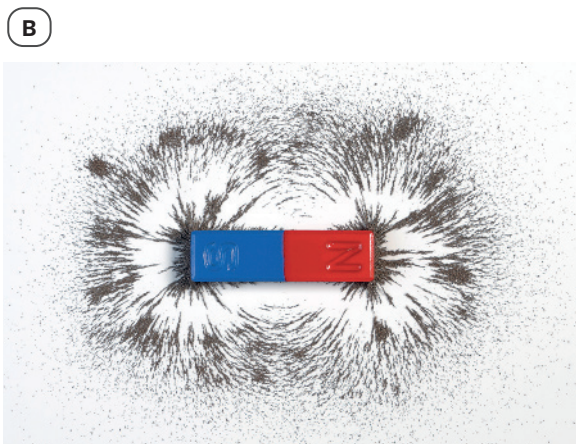
Figura 6. Representações esquemáticas: (A) agulha magnética colocada em *P*; (B) vetor $\vec{B}$ em *P*. (Representação fora de proporção; cores meramente ilustrativas.)

Linhas de indução

A cada ponto do campo magnético associa-se um vetor indução magnética $\vec{B}$. As linhas que tangenciam o vetor $\vec{B}$ em cada ponto são denominadas **linhas de indução**. O sentido das linhas de indução acompanha o sentido dos vetores $\vec{B}$. **Elas partem do polo norte do ímã e chegam ao polo sul** (Fig. 7).



ADILSON SECCO/ARQUIVO DA EDITORA



SHUTTERSTOCKSTUDIO/SHUTTERSTOCK

Figura 7. (A) Esquema das linhas de indução que apresentam, em cada ponto, a direção e o sentido do vetor indução magnética. (Representação fora de proporção; cores meramente ilustrativas.) (B) Limalha de ferro mostrando as linhas de indução magnética de um ímã reto.

Veja comentários sobre esta atividade no Suplemento para o professor.

Atividade em grupo

A bússola desempenhou um papel fundamental nas navegações, inclusive naquelas que resultaram na chegada às Américas.

Forme um grupo com seus colegas e façam uma pesquisa que mostre a importância desse instrumento nas viagens marítimas. Expliquem como é feita essa orientação utilizando uma carta magnética. Consultem livros de História e analisem a importância da bússola nas Grandes Navegações, com destaque para a Escola de Sagres. Consultem, também, livros de Geografia que enfatizem o uso das bússolas na orientação cartográfica.

Exponham para a turma o resultado das pesquisas utilizando *slides*, textos, fotos, figuras e/ou vídeos.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Cada pequena agulha magnética colocada em um ponto do campo magnético se orienta na direção tangente à linha de indução e com o polo norte no sentido da linha. Em outras palavras, cada pequena agulha se posiciona na direção do vetor campo magnético existente no ponto e com o polo norte no sentido do vetor campo magnético (Fig. 8).

ADILSON SECCO/ARQUIVO DA EDITORA

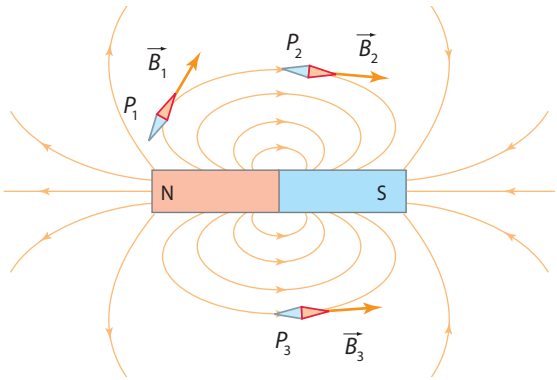


Figura 8. Cada agulha magnética se posiciona na direção do vetor campo magnético do ponto onde foi colocada e com o polo norte no sentido do vetor campo magnético. (Representação fora de proporção; cores meramente ilustrativas.)

Se as linhas de indução são retas paralelas igualmente orientadas e igualmente espaçadas, o campo magnético é chamado de **campo magnético uniforme**. Nesse campo, o vetor campo magnético $\vec{B}$ é o mesmo em todos os pontos, isto é, tem o mesmo módulo, a mesma direção e o mesmo sentido (Fig. 9).

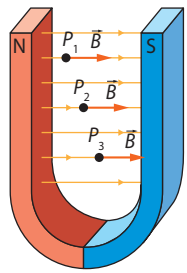


Figura 9. Em um campo magnético uniforme, as linhas de campo magnético são paralelas e igualmente espaçadas. (Representação fora de proporção; cores meramente ilustrativas.)

ADILSON SECCO/ARQUIVO DA EDITORA

Veja respostas e comentários no Suplemento para o professor.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

MUNDO DO TRABALHO

Benefícios do trabalho em grupo

No anúncio de uma vaga de estágio no setor administrativo de uma fábrica, lê-se:

NELSON MATSUDA/ARQUIVO DA EDITORA

PRINCIPAIS ATIVIDADES DIÁRIAS

- Cadastro de novos clientes em sistema;
- Apoio ao time comercial: acompanhar o processo de pré e pós-venda;
- Organização da agenda de reuniões com clientes.

REQUISITOS E QUALIFICAÇÕES

- Competências: responsabilidade, colaboração, organização, proatividade, raciocínio lógico, relacionamento interpessoal, flexibilidade, senso crítico, trabalho em equipe;
- Domínio do uso de planilhas eletrônicas e editor de textos.

Fonte: Dados fictícios para fins didáticos.

Em grupo de três pessoas, analisem:

1. No caderno, escrevam o significado das competências listadas.
2. Verifiquem em quais delas cada elemento do grupo se destaca. Há alguma pessoa do grupo que apresenta todas as competências bem desenvolvidas? Vocês notaram se cada pessoa do grupo se destaca em competências diferentes?

Para empresas, o trabalho em equipe é uma das maneiras de assegurar qualidade e eficiência em resultados, visto que a somatória de habilidades e esforços de vários indivíduos pode ser uma garantia do alcance dos objetivos. Mas há uma vantagem pessoal: as habilidades que exercitamos para realizar um trabalho em equipe ampliam nossa compreensão do mundo, do outro e de nós mesmos.

3. Há um provérbio que diz: "Se quiser ir rápido, vá sozinho. Mas se quiser ir longe, vá acompanhado".

   De que maneira você considera que esse provérbio se ajusta à ideia de trabalho em grupo no campo profissional?

Campo magnético terrestre

Agora que conhecemos melhor o conceito de campo magnético, podemos explicar como uma bússola funciona. Vimos que um ímã, suspenso pelo seu centro de gravidade, orienta-se aproximadamente na direção norte-sul geográfica do local. Isso significa que existe um campo magnético gerado pela Terra, e é na direção desse campo que o ímã suspenso se orienta. É o **campo magnético terrestre**. A origem do campo magnético da Terra está relacionada ao movimento do ferro líquido no núcleo externo do planeta, gerando correntes elétricas que criam o campo magnético. No entanto, podemos simplificar didaticamente esse modelo para nosso estudo.

Em seu livro *De magnete* (*Sobre o ímã*), publicado em 1600, William Gilbert (1544-1603), ao explicar a orientação que as bússolas adquirem, afirma que "o próprio globo terrestre é um grande ímã". De fato, podemos associar a Terra a um grande ímã, com o polo sul magnético aproximadamente no norte geográfico e o polo norte magnético aproximadamente no sul geográfico (Fig. 10).

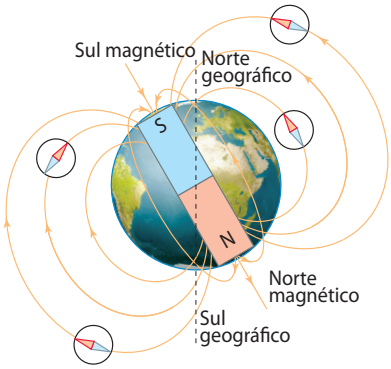


Figura 10. Representação esquemática do campo magnético terrestre. Observe a inversão dos polos magnéticos em relação aos polos geográficos. (Representação fora de proporção; cores meramente ilustrativas.)

Imantação de uma barra de ferro

Outro fenômeno que já conseguimos explicar é o da imantação de uma barra de ferro.

Os ímãs elementares que constituem uma barra de ferro não magnetizada ficam distribuídos caoticamente (Fig. 11).

Aplicando um campo magnético $\vec{B}$ na barra de ferro, seus ímãs elementares se ordenam, dispondo-se na direção do campo magnético, e a barra se magnetiza (Fig. 12).

Observe, na figura 13, como uma barra de ferro se magnetiza quando é aproximada de um ímã: o campo magnético do ímã ordena seus ímãs elementares. Esse tipo de magnetização é chamado de **indução magnética**.

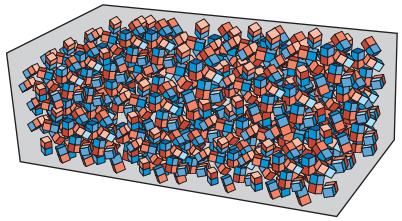


Figura 11. Representação esquemática de ímãs elementares distribuídos caoticamente. (Representação fora de proporção; cores meramente ilustrativas.)

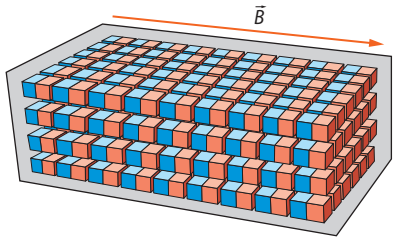


Figura 12. Representação esquemática de ímãs elementares ordenados pela ação de um campo magnético de indução externo. (Representação fora de proporção; cores meramente ilustrativas.)

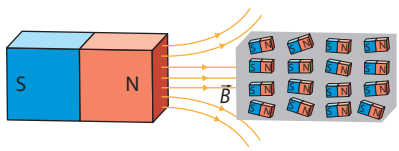


Figura 13. Representação esquemática de magnetização por indução. O polo norte do ímã repele os polos norte e atrai os polos sul dos ímãs elementares. (Representação fora de proporção; cores meramente ilustrativas.)

ILUSTRAÇÕES: ADILSON SECCO/ARQUIVO DA EDITORA

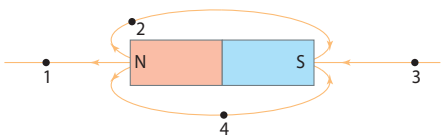
Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Veja respostas e comentários no Suplemento para o professor.

Aplicando conhecimentos

Registre as respostas em seu caderno.

3. Na figura a seguir, apresentamos algumas linhas de indução do campo magnético criado por um ímã.



Reproduza-a em seu caderno e represente:

a. os vetores indução magnética $\vec{B}_1$, $\vec{B}_2$, $\vec{B}_3$ e $\vec{B}_4$ associados aos pontos 1, 2, 3 e 4 da figura;

b. a posição de pequenas agulhas magnéticas colocadas nesses pontos, relativamente ao ímã.

4. O polo norte de um ímã é aproximado do polo norte de outro ímã, conforme indica o esquema. Reproduza a figura em seu caderno e desenhe as linhas de indução do campo magnético gerado por esses polos.

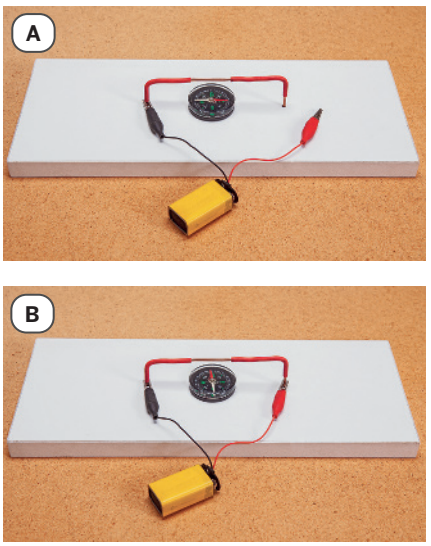
5. Há teorias que afirmam que aves migratórias, em suas viagens anuais, orientam-se pelo campo magnético terrestre. Que tipo de dispositivos orgânicos essas aves deveriam possuir para que isso fosse possível?

ILUSTRAÇÕES: ADILSON SECCO/ARQUIVO DA EDITORA

3. Campo magnético gerado por corrente elétrica

As propriedades dos ímãs foram estudadas durante muito tempo, sem se estabelecer nenhuma relação entre os fenômenos magnéticos e os fenômenos elétricos. Entretanto, em 1820, o físico dinamarquês Hans Christian Oersted (1777-1851) constatou que, ao aproximar uma bússola de um fio percorrido por corrente elétrica, sua agulha sofria um desvio (Fig. 14). Concluiu que, como os ímãs, **toda corrente elétrica gera um campo magnético** no espaço que a envolve.

A pergunta que se poderia fazer neste momento é a seguinte: existiriam dois tipos de campo magnético, um produzido por ímãs e outro, por correntes elétricas? A resposta é não. Mesmo no caso dos ímãs, o campo magnético é produzido por correntes elétricas originadas pelos movimentos particulares que os elétrons realizam em seus átomos. Podemos dizer, genericamente, que todo campo magnético é produzido por cargas elétricas em movimento.



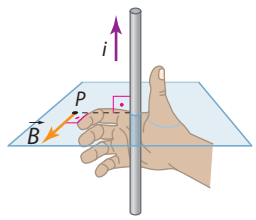
FOTOS: DOTTA 2/ARQUIVO DA EDITORA

Figura 14. Experiência de Oersted. (A) Um fio condutor, em um circuito aberto, é colocado paralelamente à agulha de uma bússola; (B) fechando o circuito, o fio é percorrido por corrente elétrica e a agulha sofre um desvio.

Regra da mão direita

Esta é uma regra muito útil para determinar o sentido do vetor indução magnética $\vec{B}$ em um ponto do campo gerado por uma corrente elétrica.

Para usar essa regra, aponte o polegar da mão direita no sentido da corrente elétrica; assim, os demais dedos semidobrados e envolvendo o condutor fornecem o sentido de $\vec{B}$ no ponto P (Fig. 15).



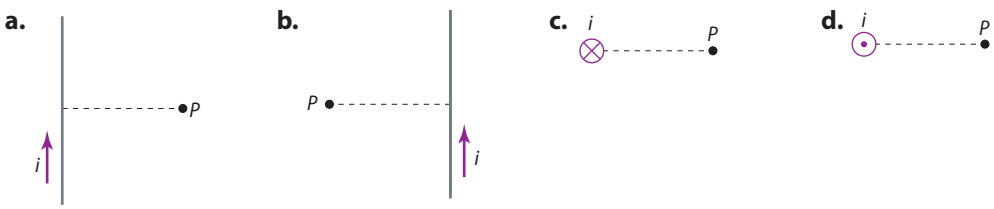
ADILSON SECCO/ ARQUIVO DA EDITORA

Figura 15. Representação esquemática da regra da mão direita. (Representação fora de proporção; cores meramente ilustrativas.)

Vamos treinar a aplicação dessa regra.

Exercício resolvido

Usando a regra da mão direita, determine o sentido do vetor indução magnética $\vec{B}$ no ponto P, nos casos indicados a seguir.

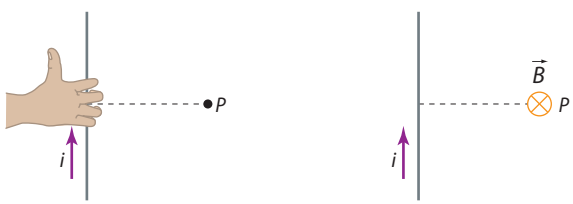


ILUSTRAÇÕES: ADILSON SECCO/ ARQUIVO DA EDITORA

Resolução

a. O condutor percorrido pela corrente elétrica i e o ponto P (à direita do condutor) estão situados no plano do papel.

Pela regra da mão direita, concluímos que o vetor $\vec{B}$ em P está entrando no plano do papel. Para representar um vetor entrando em um plano, utilizamos a seguinte convenção: ⊗. Assim, temos:



Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

CONTINUA

b. O condutor percorrido pela corrente elétrica *i* e o ponto *P* (à esquerda do condutor) estão situados no plano do papel.

Pela regra da mão direita, concluímos que o vetor $\vec{B}$ em *P* está saindo do plano do papel. Para representar um vetor saindo de um plano, utilizamos a seguinte convenção: ⊙. Assim, temos:

c. A corrente elétrica *i* está entrando no plano do papel.

d. A corrente elétrica *i* está saindo do plano do papel.

ILUSTRAÇÕES: ADILSON SECCO/ ARQUIVO DA EDITORA

Observe, em cada caso do exemplo anterior, que o vetor campo magnético $\vec{B}$ em *P* é perpendicular ao segmento que une o ponto *P* ao fio. Em outras palavras, $\vec{B}$ é perpendicular ao plano da palma da mão direita.

Campo magnético de uma corrente elétrica em um fio condutor retilíneo muito longo ("infinito")

Um fio condutor retilíneo e muito longo é percorrido por corrente elétrica e, em seu entorno, estabelece-se um campo magnético (Fig. 16). Seja *P* um ponto do campo. O vetor indução magnética $\vec{B}$ em *P* tem as seguintes características:

- direção perpendicular ao plano α definido pelo fio e pelo ponto *P*;
- sentido dado pela regra da mão direita;
- intensidade de $\vec{B}$ dependente da intensidade da corrente elétrica *i*, da distância *d* entre o ponto *P* e o fio, e do meio onde o fio se encontra. A grandeza que leva em conta o meio é indicada por μ e denominada **permeabilidade magnética do meio**.

Verifica-se, por meio de cálculos que fogem ao nível do Ensino Médio, que a intensidade de $\vec{B}$ é diretamente proporcional à intensidade da corrente elétrica *i* e inversamente proporcional à distância *d* do ponto considerado ao fio. Então:

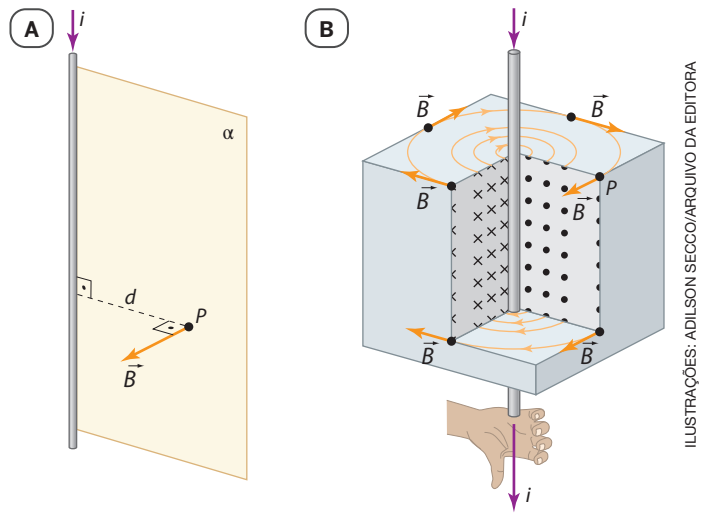
$$B = \frac{\mu \cdot i}{2\pi d}$$

No SI, a unidade de *B* é o **tesla** (**T**), nome que homenageia o físico croata **Nikola Tesla** (1856-1943).

De $B = \frac{\mu \cdot i}{2\pi d}$ resulta $\mu = \frac{B \cdot 2\pi d}{i}$. Assim, no SI, a unidade de μ é $\frac{T \cdot m}{A}$.

Para o vácuo, a permeabilidade magnética é indicada por μ_0 e vale:

$$\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \frac{T \cdot m}{A}$$



ILUSTRAÇÕES: ADILSON SECCO/ARQUIVO DA EDITORA

Figura 16. Representação esquemática de um campo magnético gerado por uma corrente elétrica em um fio retilíneo: (A) em um ponto *P*; (B) em pontos em torno do fio retilíneo.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

As linhas de indução do campo magnético gerado por uma corrente retilínea em um fio retilíneo são circunferências concêntricas ao condutor (Fig. 17).

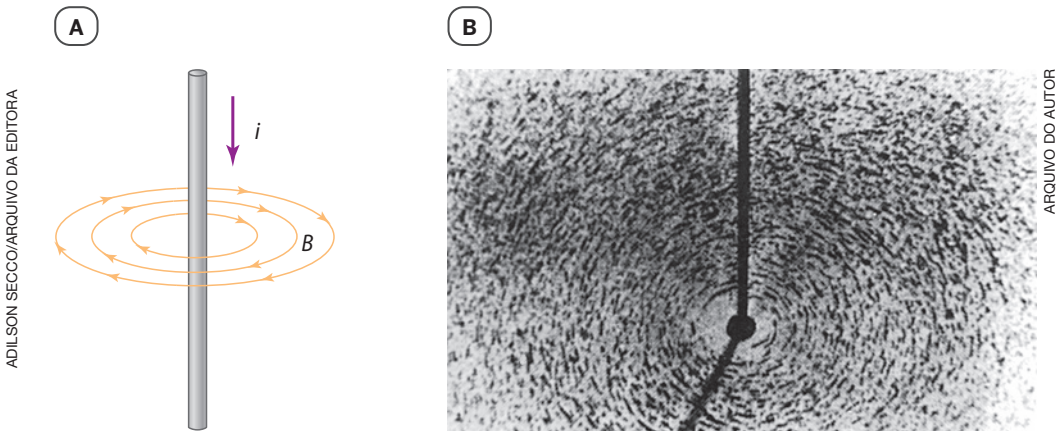


Figura 17. (A) Representação esquemática das linhas de indução do campo magnético em um fio retilíneo percorrido por corrente elétrica de intensidade *i*; (B) visualização das linhas de indução com o uso de limalha de ferro.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Veja respostas e comentários no Suplemento para o professor.

Atividade prática

Experimento de Oersted

Objetivo

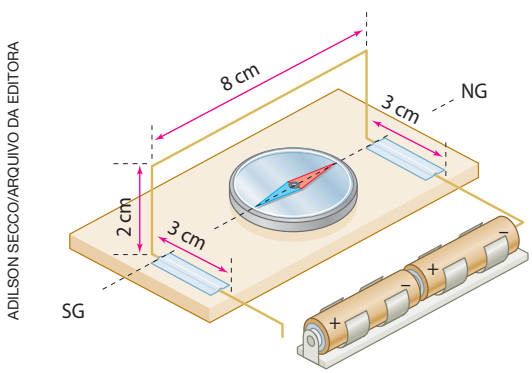
Analisar o experimento de Oersted.

Material

- uma bússola;
- fio de cobre de 20 cm de comprimento e 1,5 mm de diâmetro;
- duas pilhas de 1,5 V cada uma;
- um porta-pilhas de 2 pilhas;
- fita adesiva;
- base de madeira ou papelão de 6 cm × 10 cm.

Procedimento

1. Dobre o fio de cobre e prenda-o com a fita adesiva ao suporte de madeira, como indica a figura.



2. Coloque a bússola sobre o suporte de madeira, abaixo do fio de cobre, e aguarde a agulha se alinhar com o campo magnético terrestre.
3. Movimente o suporte de madeira de modo que a agulha fique paralela ao fio de cobre. Ou seja, a agulha e o fio estarão alinhados com o norte geográfico (NG) e o sul geográfico (SG).
4. Conecte o fio de cobre com o porta-pilhas e observe o comportamento da agulha da bússola.
5. Desconecte um dos fios de cobre e observe o ocorrido.

Analise o experimento e responda:

1. O que acontece com a agulha da bússola com o circuito fechado? Ao abrir o circuito, qual o comportamento da agulha?
2. Inverta a posição do porta-pilhas, para inverter o sentido da corrente elétrica. Ao fechar o circuito, o que ocorre com a agulha da bússola?
3. Com base nos conhecimentos de Física adquiridos até aqui e na regra da mão direita, faça desenhos no caderno que expliquem o sentido apontado pela bússola.

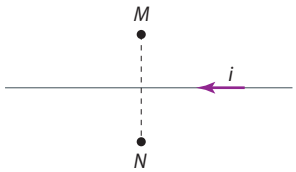
Não deixe o circuito fechado por muito tempo, pois isso pode aquecer o fio.

Veja respostas e comentários no Suplemento para o professor.

Aplicando conhecimentos

Registre as respostas em seu caderno.

6. A figura mostra um fio reto e longo percorrido por uma corrente elétrica *i* e dois pontos *M* e *N*, próximos ao fio, todos no mesmo plano do papel.



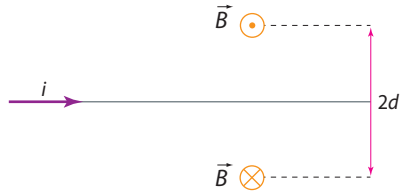
Copie a figura em seu caderno e represente o vetor campo magnético criado pela corrente nos pontos *M* e *N*.

7. Um fio metálico reto e extenso é percorrido por uma corrente elétrica de 3,0 A. Sabendo que $\mu = 4\pi \cdot 10^{-7}$ (T · m)/A, qual(is) afirmativa(s) é (são) correta(s)?

(01) A intensidade do campo magnético produzido pela corrente de 3,0 A terá um valor constante e igual a $1{,}5 \cdot 10^{-6}$ T, seja qual for a distância que se esteja do fio metálico.

(02) A 0,25 m do fio metálico, a intensidade do campo magnético será de $2{,}4 \cdot 10^{-6}$ T.

(04) O sentido do campo magnético, se a corrente elétrica percorrer o condutor da esquerda para a direita, será assim representado:



(08) O sentido do campo magnético $\vec{B}$ não muda, quando se inverte o sentido do percurso da corrente elétrica *i*.

(16) A unidade de intensidade do campo magnético $\vec{B}$ no SI é o tesla (T).

Dê como resposta a soma dos números que precedem as afirmativas corretas.

ILUSTRAÇÕES: ADILSON SECCO/ARQUIVO DA EDITORA

Campo magnético no centro de uma espira circular

Considere uma espira circular, isto é, um fio condutor com a forma de uma circunferência, de raio *R*, sendo *i* a intensidade da corrente elétrica que percorre a espira (Fig. 18). O vetor indução magnética $\vec{B}$ no centro da espira tem as seguintes características:

- direção perpendicular ao plano da espira;
- sentido dado pela regra da mão direita;
- intensidade: $B = \dfrac{\mu \cdot i}{2R}$

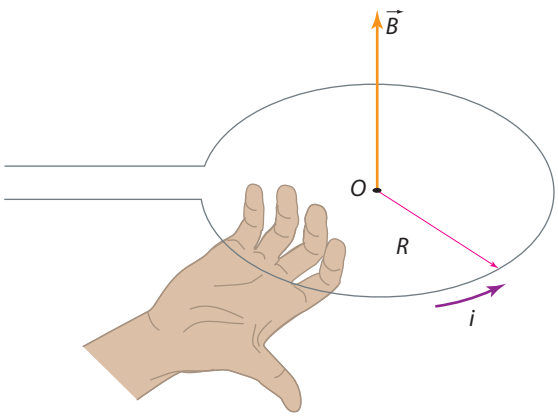


Figura 18. Representação esquemática de um campo magnético no centro de uma espira circular.

Observe as linhas de indução do campo magnético gerado por uma corrente elétrica que atravessa uma espira circular (Fig. 19).

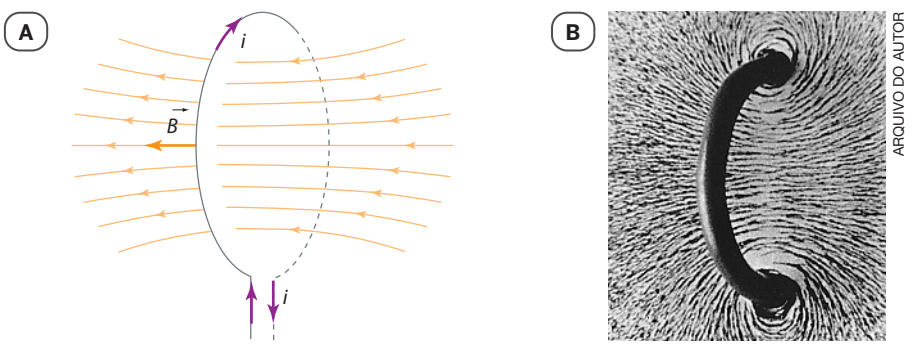


Figura 19. (A) Representação esquemática das linhas de indução do campo magnético no centro de uma espira circular; (B) visualização prática com o uso de limalha de ferro.

ILUSTRAÇÕES: ADILSON SECCO/ARQUIVO DA EDITORA

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

A exemplo de um ímã, uma espira também tem dois polos:

- **Polo norte**: é a face da espira de onde partem as linhas de indução; caso em que um observador "vê" a corrente elétrica *i* no sentido anti-horário (Fig. 20).

Figura 20. Representação esquemática do polo norte de uma espira.

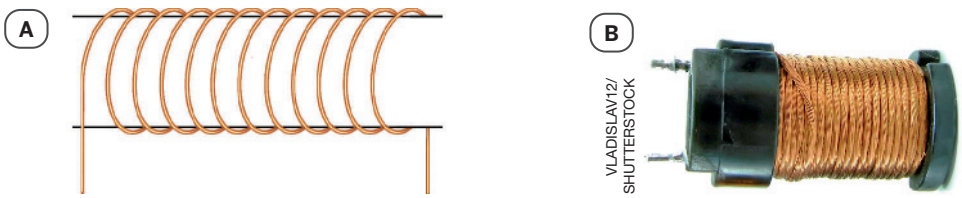
- **Polo sul**: é a face da espira aonde chegam as linhas de indução; caso em que um observador "vê" a corrente elétrica *i* no sentido horário (Fig. 21).

Figura 21. Representação esquemática do polo sul de uma espira.

ILUSTRAÇÕES: ADILSON SECCO/ARQUIVO DA EDITORA

Campo magnético no interior de uma bobina longa (solenoide)

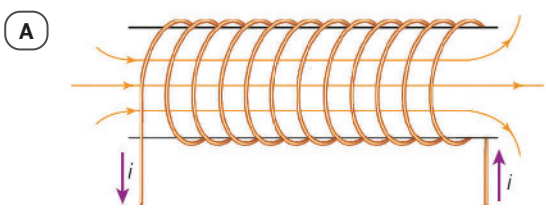
Bobina longa (ou solenoide) é um fio condutor enrolado em espiras iguais, uma ao lado da outra e igualmente espaçadas (Fig. 22).

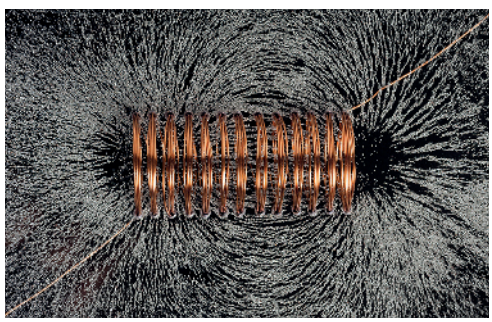


VLADISLAV12/SHUTTERSTOCK

Figura 22. (A) Representação esquemática de uma bobina longa. (B) Solenoide industrial.

Com o uso de limalha de ferro, podemos visualizar as linhas de indução do campo magnético gerado por uma bobina longa quando percorrida por corrente elétrica (Fig. 23).





YON MARSH/ALAMY/FOTOARENA

Figura 23. (A) Representação esquemática, mostrando que, no interior da bobina longa, as linhas de indução são retas paralelas; (B) visualização das linhas de indução com uso de limalha de ferro.

Note que, no interior da bobina longa, as linhas de indução são paralelas. Isso significa que, em todos os pontos do interior da bobina longa, o vetor indução magnética $\vec{B}$ tem a mesma direção e o mesmo sentido. Verifica-se que, nesses pontos, $\vec{B}$ tem também a mesma intensidade. Um campo nessas condições é chamado **campo magnético uniforme**. Suas linhas de indução são representadas por retas paralelas igualmente orientadas e igualmente espaçadas.

As considerações feitas referem-se a bobinas longas ideais, isto é, de comprimento "infinito". Nessas condições, o campo magnético no interior da bobina é uniforme. Na prática, obtém-se um campo magnético bem próximo do uniforme, desde que o comprimento da bobina seja muito maior que o raio das espiras.

ILUSTRAÇÕES: ADILSON SECCO/ARQUIVO DA EDITORA
Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Assim, o campo magnético no interior de uma bobina longa, de comprimento L e número de espiras n, pode ser considerado uniforme e tem, em cada ponto, as seguintes características:

- direção do eixo da bobina;
- sentido dado pela regra da mão direita;
- Intensidade: $B = \mu \cdot \frac{n}{L} \cdot i$

Veja respostas e comentários no Suplemento para o professor.

Aplicando conhecimentos

Registre as respostas em seu caderno.

8. A intensidade do vetor indução magnética, no centro da espira da **figura 1**, é B.
8. c A intensidade do vetor indução magnética, no centro da espira da **figura 2**, é B′.

Assim, temos:

a. $B' = B$ **c.** $B' = 1{,}5 \cdot B$ **e.** $B' = 3 \cdot B$

b. $B' = 1{,}2 \cdot B$ **d.** $B' = 2 \cdot B$

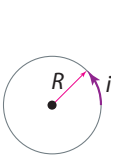


Figura 1

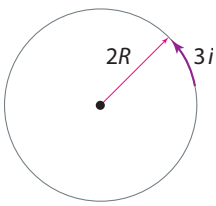
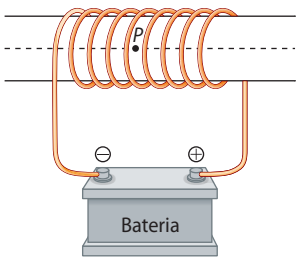


Figura 2

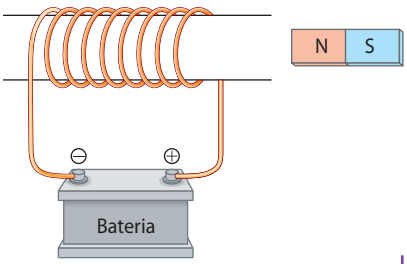
9. Um solenoide está ligado a uma bateria, conforme mostra o esquema a seguir.



a. Reproduza o esquema em seu caderno e represente o vetor indução magnética $\vec{B}$ no ponto interno P pertencente ao eixo do solenoide.

b. Sobre o esquema reproduzido em seu caderno, represente a orientação da agulha magnética de uma pequena bússola colocada em P. Despreze a ação do campo magnético terrestre.

c. Um ímã é aproximado do solenoide conforme indicado a seguir. Entre o ímã e o solenoide ocorre atração ou repulsão?



ILUSTRAÇÕES: ADILSON SECCO/ARQUIVO DA EDITORA

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

4. Força magnética

Uma partícula, eletrizada com carga elétrica q, é lançada de um ponto P de um campo magnético. Considerando $\vec{B}$ o vetor campo magnético em P, $\vec{v}$ a velocidade com que a partícula é lançada e θ o ângulo que $\vec{v}$ forma com $\vec{B}$, a partícula fica sujeita, em geral, a uma força $\vec{F}_m$ denominada **força magnética**, cuja direção é perpendicular a $\vec{v}$ e a $\vec{B}$ (Fig. 24).

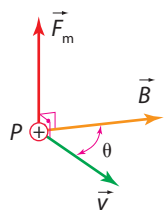
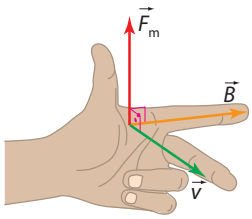


Figura 24. $\vec{F}_m$ tem direção da reta perpendicular a $\vec{v}$ e a $\vec{B}$.

O sentido de $\vec{F}_m$ é dado por uma regra prática chamada **regra da mão esquerda**. No caso em que a carga elétrica q é positiva (Fig. 25), colocando-se o dedo indicador no sentido de $\vec{B}$ e o dedo médio no sentido de $\vec{v}$, o dedo polegar indicará o sentido de $\vec{F}_m$.

A



B

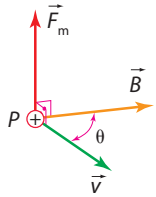


Figura 25. (A) Regra da mão esquerda; (B) $\vec{F}_m$ é perpendicular ao plano definido por $\vec{B}$ e $\vec{v}$.

ILUSTRAÇÕES: ADILSON SECCO/ARQUIVO DA EDITORA

Se a carga elétrica for negativa (Fig. 26), o sentido da força magnética será oposto ao dado pela regra da mão esquerda.

ILUSTRAÇÕES: ADILSON SECCO/ARQUIVO DA EDITORA

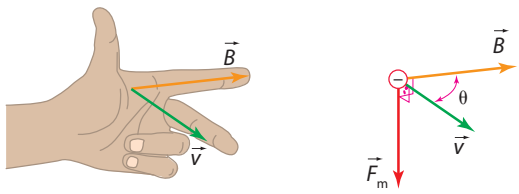


Figura 26. Para $q < 0$, o sentido de $\vec{F}_m$ é oposto ao dado pela regra da mão esquerda.

Experimentalmente, é possível obter que a intensidade da força magnética é dada por:

$$F_m = |q| \cdot v \cdot B \cdot \operatorname{sen} \theta$$

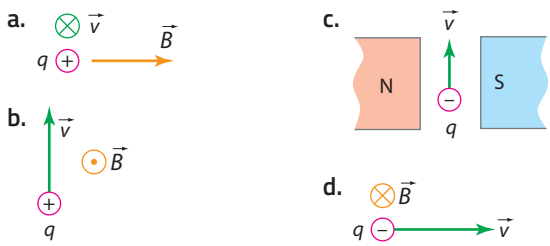
Veja respostas e comentários no Suplemento para o professor.

Aplicando conhecimentos

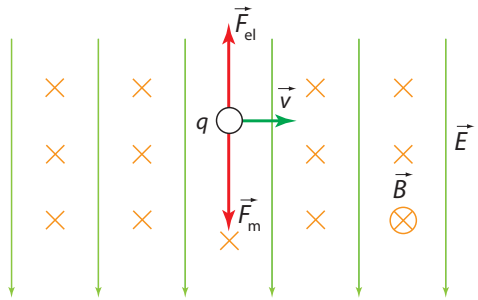
Registre as respostas em seu caderno.

10. Lança-se uma partícula, eletrizada com carga elétrica q, com velocidade $\vec{v}$ em um campo magnético uniforme $\vec{B}$. Em seu caderno, reproduza os desenhos e represente a força magnética $\vec{F}_m$ que age na partícula, no instante do lançamento, em cada caso:

ILUSTRAÇÕES: ADILSON SECCO/ARQUIVO DA EDITORA



11. Uma partícula de massa m e carga elétrica q foi lançada com velocidade $\vec{v}$ em uma região onde existem dois campos uniformes: um magnético $\vec{B}$ e outro elétrico $\vec{E}$. Verificou-se que a partícula atravessou a região com velocidade vetorial constante, em virtude de a força magnética $\vec{F}_m$ ter equilibrado a força elétrica $\vec{F}_{el}$ e conforme a figura:



a. Qual é o sinal da carga elétrica q?

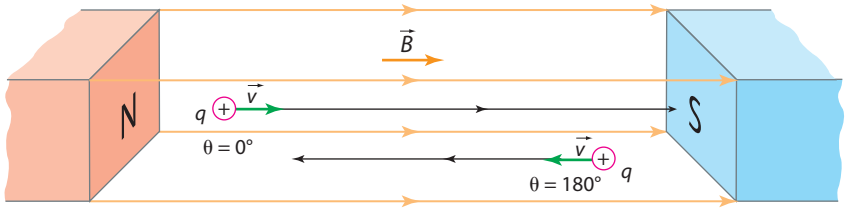
b. Qual é o módulo da velocidade $\vec{v}$ em função das intensidades dos campos magnético $\vec{B}$ e elétrico $\vec{E}$?

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Movimento de uma partícula eletrizada em um campo magnético uniforme

Considere uma partícula eletrizada com carga elétrica q, lançada com velocidade $\vec{v}$ em um campo magnético uniforme de indução $\vec{B}$. Dependendo do ângulo θ que $\vec{v}$ forma com $\vec{B}$, a partícula poderá descrever um dos seguintes movimentos: retilíneo, circular ou helicoidal. Todos esses movimentos são uniformes, isto é, realizam-se com velocidade escalar constante.

A partícula realizará **movimento retilíneo uniforme** (**MRU**) quando a velocidade $\vec{v}$ de lançamento for paralela ao vetor campo magnético $\vec{B}$, isto é, quando tivermos $\theta = 0°$ ou $\theta = 180°$ (Fig. 27).



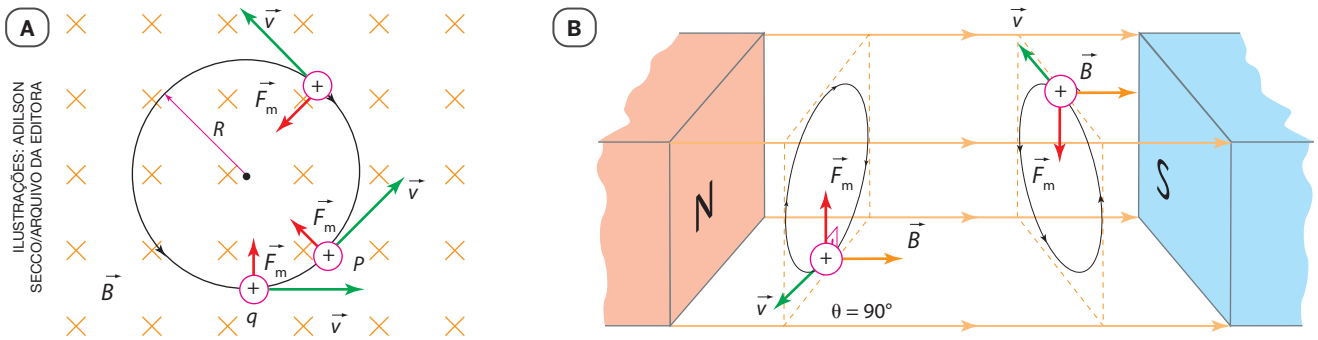
ADILSON SECCO/ARQUIVO DA EDITORA

Figura 27. Representação esquemática da movimentação de partículas eletrizadas em um campo magnético uniforme. Para $\theta = 0°$ e $\theta = 180°$, a partícula realiza MRU. (Representação fora de proporção; cores meramente ilustrativas.)

De $F_m = |q| \cdot v \cdot B \cdot \text{sen}\,\theta$, sendo sen 0° = 0 e sen 180° = 0, resulta $F_m = 0$. Assim, a partícula não fica sob ação de força magnética e, portanto, se desloca, por inércia, com velocidade igual à velocidade de lançamento. Isso significa que a partícula realiza MRU.

A partícula realizará **movimento circular uniforme** (**MCU**) quando a velocidade $\vec{v}$ de lançamento for perpendicular ao vetor campo magnético $\vec{B}$, isto é, $\theta = 90°$.

A força magnética $\vec{F}_m$ é, em cada instante, perpendicular à velocidade $\vec{v}$, tratando-se de uma força centrípeta. Além disso, o movimento da partícula é plano, pois $\vec{F}_m$ e $\vec{v}$ estão sempre no mesmo plano e o módulo de $\vec{F}_m$, dado por $F_m = |q| \cdot v \cdot B \cdot \text{sen}\,90° = |q| \cdot v \cdot B$, é constante. Isso significa que a partícula descreve um MCU, em um plano perpendicular às linhas de indução, isto é, perpendicular ao vetor campo magnético $\vec{B}$ (Fig. 28).



ILUSTRAÇÕES: ADILSON SECCO/ARQUIVO DA EDITORA

Figura 28. Para $\theta = 90°$, a partícula realiza MCU. (A) Em um plano perpendicular às linhas de indução; (B) em perspectiva. (Representação fora de proporção; cores meramente ilustrativas.)

Para o cálculo do raio R da trajetória, basta lembrar que a força magnética desempenha o papel de força resultante centrípeta: $F_m = F_{cp}$.

Sendo $F_m = |q| \cdot v \cdot B$ e $F_{cp} = m \cdot \frac{v^2}{R}$, em que m é a massa da partícula, temos:

$$R = \frac{m \cdot v}{|q| \cdot B}$$

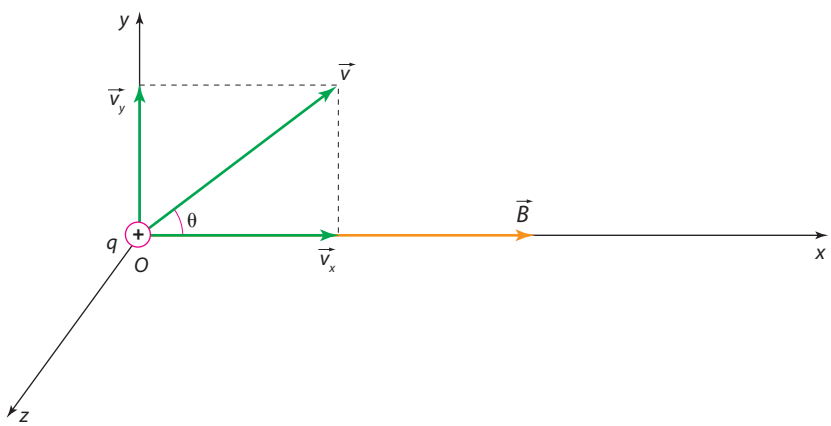
Vamos, a seguir, calcular o período T do movimento da partícula, isto é, o intervalo de tempo gasto para que a partícula complete uma volta:

$$v = \frac{2 \cdot \pi \cdot R}{T} \Rightarrow v = \frac{2 \cdot \pi}{T} \cdot \frac{m \cdot v}{|q| \cdot B} \Rightarrow T = \frac{2 \cdot \pi \cdot m}{|q| \cdot B}$$

Observe que o período do movimento da partícula não depende da sua velocidade!

A partícula realizará um **movimento helicoidal uniforme** quando a direção da sua velocidade $\vec{v}$ de lançamento for oblíqua à direção do vetor campo magnético $\vec{B}$, isto é, quando o ângulo θ for diferente de 0°, 90° e 180°.

De fato, basta decompor a velocidade $\vec{v}$ nos componentes $\vec{v}_x$ (paralela a $\vec{B}$) e $\vec{v}_y$ (perpendicular a $\vec{B}$) (Fig. 29).



ADILSON SECCO/ARQUIVO DA EDITORA

Figura 29. Gráfico que representa a decomposição da velocidade $\vec{v}$ de uma partícula carregada com carga elétrica q.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Como $\vec{v}_x$ é paralela a $\vec{B}$, não há componente $\vec{F}_x$ da força magnética nessa direção e a partícula realizará um MRU na direção do eixo *Ox* (Fig. 30):

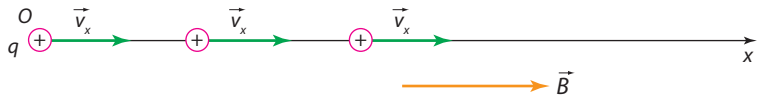


Figura 30. Representação esquemática do deslocamento da partícula na direção do eixo *Ox*. Nesse caso, a partícula realiza MRU.

Como $\vec{v}_y$ é perpendicular a $\vec{B}$, a partícula realizará um MCU em um plano perpendicular a $\vec{B}$, isto é, no plano *Oyz* (Fig. 31).

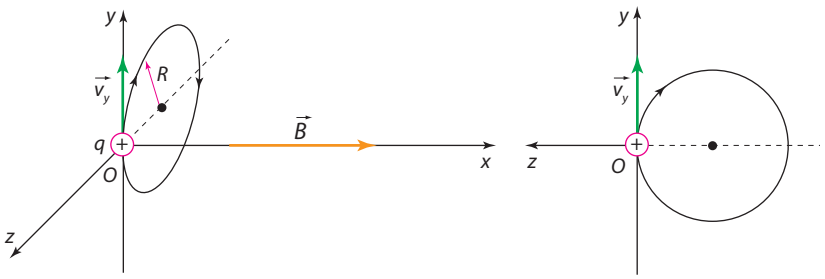


Figura 31. Representação esquemática do movimento da partícula devido a $\vec{v}_y$. Nesse caso, a partícula realiza MCU.

A composição de um MRU com um MCU em planos perpendiculares entre si é um movimento helicoidal uniforme (Fig. 32). A trajetória é uma hélice cilíndrica. A hélice é descrita na superfície de um cilindro cujo eixo tem a direção de $\vec{B}$ e cujo raio é dado por $R = \dfrac{m \cdot v_y}{|q| \cdot B}$. A distância que a partícula avança durante um período *T* é denominada **passo da hélice** (***p***), sendo dado por $p = v_x \cdot T$.

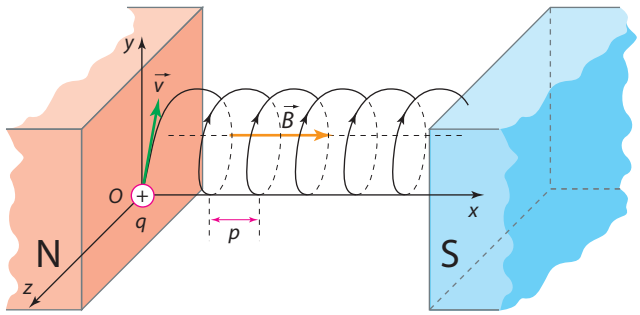


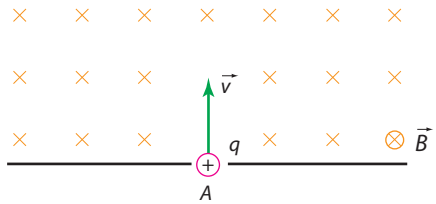
Figura 32. Nesse esquema, a partícula realiza um movimento helicoidal uniforme. (Representação fora de proporção; cores meramente ilustrativas.)

Vamos aplicar essa teoria a uma situação bastante típica que envolve o movimento de cargas elétricas em campos magnéticos uniformes.

Exercício resolvido

ESTRATÉGIA DE ESTUDO

Uma partícula de massa *m* e eletrizada com carga elétrica $q > 0$ penetra com velocidade $\vec{v}$ por um orifício *A* existente em um anteparo, em uma região do espaço na qual existe um campo magnético uniforme de indução $\vec{B}$, como mostra a figura. Esquematize a trajetória descrita pela partícula. Como seria a trajetória se a partícula estivesse eletrizada negativamente?



Identificar

Para esquematizar a trajetória descrita pela partícula eletrizada positivamente, precisamos, por meio da regra da mão esquerda, determinar o sentido da força magnética que age na partícula no instante em que ela penetra no campo magnético.

ILUSTRAÇÕES: ADILSON SECCO/ARQUIVO DA EDITORA
ADILSON SECCO/ARQUIVO DA EDITORA
ADILSON SECCO/ARQUIVO DA EDITORA
Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

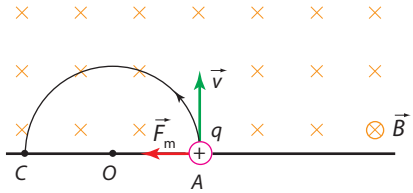
CONTINUA

Preparar

Como o ângulo $\theta = 90°$, a partícula descreverá um MCU. Com a regra da mão esquerda, notamos que a força magnética aponta sempre para o centro *O* da trajetória; portanto, a força é centrípeta.

Executar

A partir do centro em *O* e raio *OA*, desenhamos a trajetória descrita pela partícula, que é uma semicircunferência.



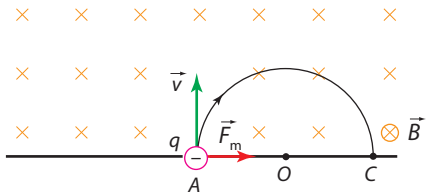
ILUSTRAÇÕES: ADILSON SECCO/ ARQUIVO DA EDITORA

A partícula incide no anteparo no ponto *C*. A distância entre *A* e *C* é o dobro do raio da trajetória descrita pela partícula:

$$AC = 2 \cdot R = 2 \cdot \frac{m \cdot v}{|q| \cdot B}$$

Analisar

Observe que o módulo da velocidade da partícula é constante, mas ela varia em direção e sentido. A energia cinética da partícula é constante e o trabalho da força magnética é nulo. Se a partícula estivesse eletrizada negativamente, o sentido da força magnética seria oposto ao dado pela regra da mão esquerda e a trajetória seria a esquematizada como segue.



Força magnética sobre um condutor percorrido por corrente elétrica

Vimos que uma partícula eletrizada, lançada convenientemente em um campo magnético, fica sujeita a uma força de origem magnética. Um condutor percorrido por corrente elétrica de intensidade *i* e imerso em um campo magnético uniforme de indução $\vec{B}$ também fica sujeito a uma força magnética $\vec{F}_m$, resultante da ação do campo magnético sobre as partículas eletrizadas que constituem a corrente elétrica no condutor.

Para determinar o sentido da força magnética $\vec{F}_m$, basta aplicar a regra da mão esquerda, já estudada, trocando $\vec{v}$ por *i* e dispondo os dedos da mão esquerda como indicado na figura 33. O dedo indicador é colocado no sentido de $\vec{B}$, e o dedo médio no sentido da corrente elétrica *i*. O polegar indicará o sentido da força magnética que atua sobre o condutor.

ADILSON SECCO/ ARQUIVO DA EDITORA

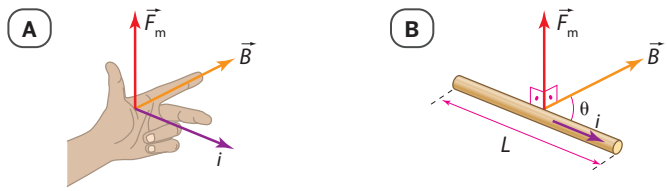


Figura 33. (A) Representação da regra da mão esquerda; (B) $\vec{F}_m$ é perpendicular ao condutor e ao campo magnético $\vec{B}$.

Observe que $\vec{F}_m$ tem direção perpendicular a $\vec{B}$ e a *i*, isto é, perpendicular a $\vec{B}$ e ao condutor.

O sentido da corrente elétrica *i* é o sentido convencional (cargas elétricas positivas) e, por isso, não se inverte o sentido da força magnética $\vec{F}_m$ dado pela regra da mão esquerda. A intensidade da força magnética que age no condutor é dada por:

$$F_m = B \cdot i \cdot L \cdot \operatorname{sen} \theta$$

em que θ é o ângulo que o sentido da corrente *i* faz com o vetor campo magnético $\vec{B}$.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

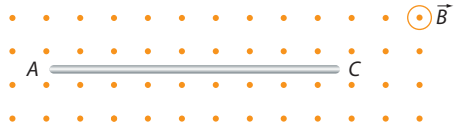
Veja respostas e comentários no Suplemento para o professor.

Aplicando conhecimentos

Registre as respostas em seu caderno.

12. Uma partícula de massa m é eletrizada com carga elétrica q e é lançada perpendicularmente às linhas de indução de um campo magnético uniforme $\vec{B}$. Sejam v o módulo da velocidade de lançamento, R o raio da trajetória descrita e T o período do movimento. Dobrando o valor de v, o raio da trajetória passa a ser R' e o período, T'. Relacione R com R' e T com T'.

13. Um condutor reto AC, de massa m e comprimento L, encontra-se em equilíbrio sob ação do campo magnético uniforme de intensidade B e do campo gravitacional terrestre, suposto uniforme. Seja g a aceleração da gravidade.



ADILSON SECCO/ ARQUIVO DA EDITORA

a. Represente as forças que agem no condutor e indique o sentido da corrente elétrica i, que percorre o condutor.

b. Determine o valor de B em função de m, i, L e g.

Veja respostas e comentários no Suplemento para o professor.

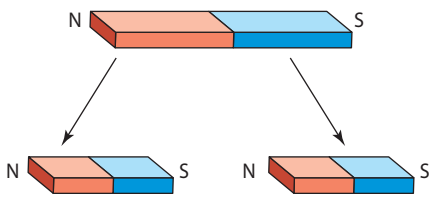
Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Atividades finais

Registre as respostas em seu caderno.

1. Sabemos que não existem ímãs com um polo somente. Ao cortarmos um ímã reto transversalmente ao seu comprimento, surgem na secção de corte polos de nomes contrários aos das extremidades, de modo que cada parte é um ímã completo.

1. c



Um ímã AB, onde A é um polo sul e B um polo norte, é cortado transversalmente como indica a a figura. Considere C e D as secções de corte das partes A e B, respectivamente.

Pode-se afirmar que:

a. C é um polo sul e D um polo norte.

b. Entre as partes do ímã AB ocorre repulsão.

c. Entre as partes do ímã AB ocorre atração.

d. C e D são dois polos sul.

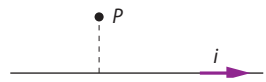
e. Existem duas alternativas corretas.

2. Aplicando-se a regra da mão direita, represente no ponto P o vetor campo magnético $\vec{B}$ nos casos indicados:

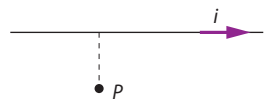
a.

b.

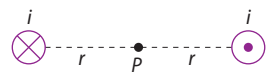
c.



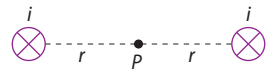
d.



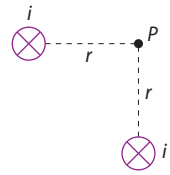
e.



f.

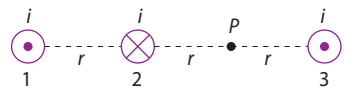


g.



ILUSTRAÇÕES: NELSON MATSUDA/ARQUIVO DA EDITORA

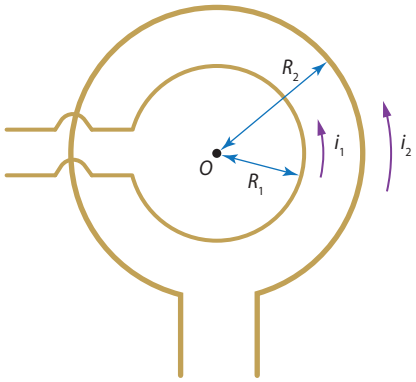
3. Três condutores 1, 2 e 3, percorridos por corrente elétrica de mesma intensidade i, estão dispostos conforme mostra a figura. O condutor 2 origina em P um campo magnético de intensidade B. Qual é, em função de B, a intensidade do vetor campo magnético resultante em P?



CONTINUA

CONTINUAÇÃO

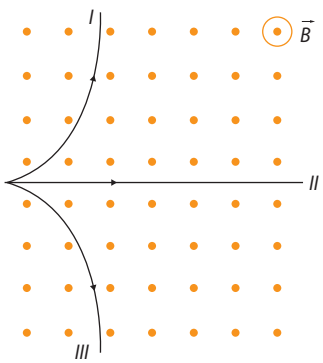
4. Duas espiras concêntricas de raios R_1 e R_2 são percorridas por correntes elétricas de intensidades i_1 e i_2, conforme mostra a figura.



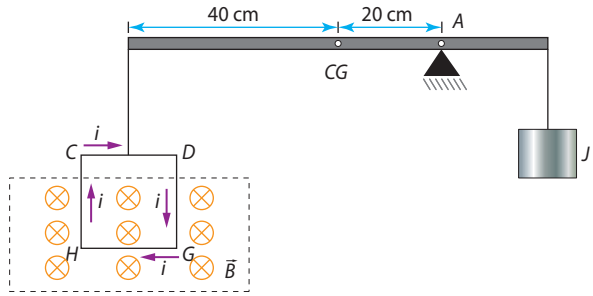
Sabe-se que: $i_1 = i_2 = 5$ A; $R_2 = 2R_1 = 10$ cm; e $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$ (T · m)/A.

Determine a intensidade do vetor campo magnético resultante no centro comum *O*.

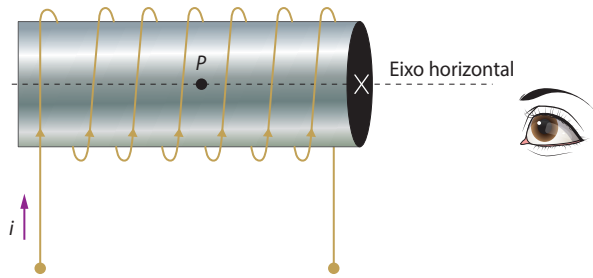
5. Um feixe de partículas constituído de elétrons, nêutrons e pósitrons (elétrons com carga positiva) penetra em uma região onde existe um campo magnético uniforme *B*. Determine quais partículas do feixe descrevem as trajetórias I, II e III. Considere que todas as partículas penetram no campo magnético com a mesma velocidade.



6. Uma barra homogênea de peso 2 N e de centro de gravidade CG está apoiada em *A*. A espira quadrada *CDGH*, de peso desprezível e de lado 50 cm, está parcialmente imersa em um campo magnético uniforme de intensidade $B = 4 \cdot 10^{-1}$ T. Quando pela espira circula uma corrente elétrica de intensidade $i = 4$ A, a barra fica em equilíbrio na posição indicada. Nestas condições, qual deve ser o peso do bloco *J*?



7. Considere o solenoide esquematizado na figura.



a. Quais são a direção e o sentido de $\vec{B}$ no ponto *P*, interno ao solenoide?

b. A face X é norte ou sul?

c. Represente as linhas de indução no interior do solenoide

d. Qual é a intensidade da corrente elétrica *i* que percorre o solenoide sabendo-se que o campo magnético no interior tem intensidade $B = 4\pi \cdot 10^{-3}$ T?

Dados: $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$ (T · m)/A; densidade de espiras: 1.000 espiras/metro.

ILUSTRAÇÕES: NELSON MATSUDA/ARQUIVO DA EDITORA

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

CAPÍTULO 20

Indução eletromagnética

JOÃO PRUDENTE/PULSAR IMAGENS

Transformador é um dispositivo utilizado para abaixar ou aumentar a tensão elétrica por meio da indução eletromagnética.

A indução eletromagnética revela-se como um fenômeno importante para a compreensão e aplicação da eletricidade moderna. Um exemplo emblemático desse princípio pode ser encontrado em um transformador de poste, uma engenhosa peça de tecnologia. Esse dispositivo não apenas exemplifica a transformação da tensão elétrica, como também ilustra vividamente os fundamentos da indução eletromagnética.

A estrutura do transformador de poste pode ser atrativa para algumas espécies de aves fazerem seus ninhos, como o bem-te-vi nesta foto. O ambiente oferece abrigo das condições climáticas e proteção contra predadores. Além disso, o efeito térmico da corrente elétrica pode ser um fator adicional para essa escolha inusitada de local para o ninho. A teoria de Faraday e Lenz sobre indução eletromagnética descreve como um campo magnético variável pode induzir uma corrente elétrica em um circuito adjacente. É por meio dessa tecnologia que a eletricidade é transmitida eficientemente em altas tensões por longas distâncias. Isto é feito pois, ao elevar a tensão, as perdas durante a transmissão são minimizadas, tornando o sistema elétrico mais eficaz e econômico.

Por outro lado, próximo a residências e estabelecimentos urbanos, a tensão elétrica é reduzida a níveis seguros e utilizáveis através de outros transformadores. Essa redução de tensão é essencial para garantir a segurança dos equipamentos e dos usuários finais. Assim, a aplicação prática dos princípios de indução eletromagnética não apenas viabiliza a distribuição eficiente de energia, mas também possibilita sua utilização praticamente sem riscos e de modo confiável em nosso cotidiano moderno.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

1. Indução eletromagnética

Sabemos que um condutor percorrido por uma corrente elétrica, ao ser inserido em um campo magnético, pode ficar sujeito a uma força magnética. Dessa maneira, se inserirmos, por exemplo, uma espira condutora em um campo magnético uniforme, é possível que a força magnética seja responsável pela rotação da espira em torno de um eixo (Fig. 1). Esse é o princípio de funcionamento de um motor elétrico.

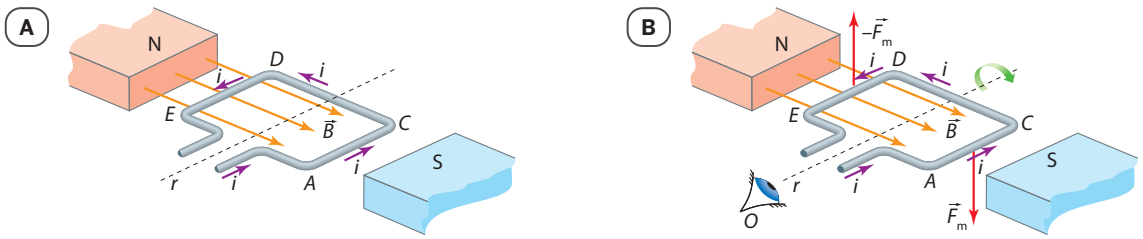


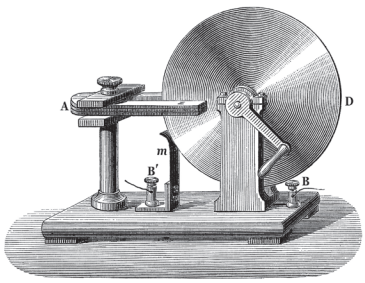
Figura 1 (A) Uma espira retangular *ACDE* está imersa em um campo magnético uniforme produzido pelos polos de dois ímãs; (B) a força magnética sobre os condutores *CD* e *EA* é nula, pois o seno do ângulo que $\vec{B}$ forma com as correntes nestes condutores é zero. O sistema constituído pelas forças $\vec{F}_m$ e $-\vec{F}_m$, que agem nos lados *AC* e *DE*, recebe o nome de binário e tende a girar a espira no sentido horário em relação ao observador *O*.

ADILSON SECCO/ARQUIVO DA EDITORA

No entanto, será que o fenômeno inverso também ocorre? Isto é, quando giramos a espira imersa em um campo magnético, surge nela uma corrente elétrica?

Com a descoberta de Oersted, em 1820, de que uma corrente elétrica sempre origina um campo magnético, o físico inglês Michael Faraday (1791-1867) começou a investigar a relação entre campo magnético e corrente elétrica e, em 1831, demonstrou que era possível converter energia mecânica em energia elétrica, criando o dínamo (Fig. 2).

Portanto, a resposta a essa última pergunta é afirmativa, e o fenômeno em questão, estudado por Faraday, é denominado **indução eletromagnética**. A corrente elétrica que surge na espira é chamada de **corrente elétrica induzida**.



ÉMILE ALGLAVE/CC0/WIKIMEDIA FOUNDATION

Figura 2. Dínamo criado por Michael Faraday.

2. O experimento de Faraday

Em sua busca pela produção de uma corrente elétrica a partir de um campo magnético, Faraday usou um circuito semelhante ao mostrado na figura 3.

Observe que o circuito é constituído por uma espira e um galvanômetro e, como não possui uma fonte de alimentação, a corrente elétrica no circuito é nula ($i = 0$).

Entretanto, Faraday observou que a movimentação de um ímã nas proximidades da espira (Fig. 4) originava uma corrente elétrica no circuito, em dado sentido, durante a aproximação do ímã e em sentido oposto durante seu afastamento.

Se o ímã permanecesse em repouso, mesmo próximo da espira, nenhuma corrente elétrica surgia na espira.

A conclusão foi que um campo magnético estacionário não produz corrente elétrica, mas um campo magnético variável pode produzir corrente elétrica, denominada corrente elétrica induzida.

Faraday realizou outros experimentos de indução eletromagnética, como o fenômeno passou a ser conhecido, e observou que a movimentação da espira nas proximidades de um ímã estacionário também produzia uma corrente elétrica. Ele concluiu, portanto, que a indução de uma corrente elétrica ou de uma força eletromotriz induzida no circuito requer "movimento" ou alteração do campo magnético, não importando se é o ímã ou a espira que se movimenta. Em outras palavras, a força eletromotriz induzida e a corrente elétrica induzida surgem se houver um movimento relativo entre a espira e o ímã ou alguma alteração na intensidade do campo magnético.

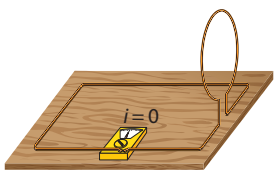


Figura 3. Representação esquemática do circuito utilizado por Faraday. O galvanômetro mede correntes elétricas de pequena intensidade (da ordem de mA).

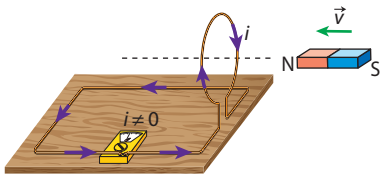


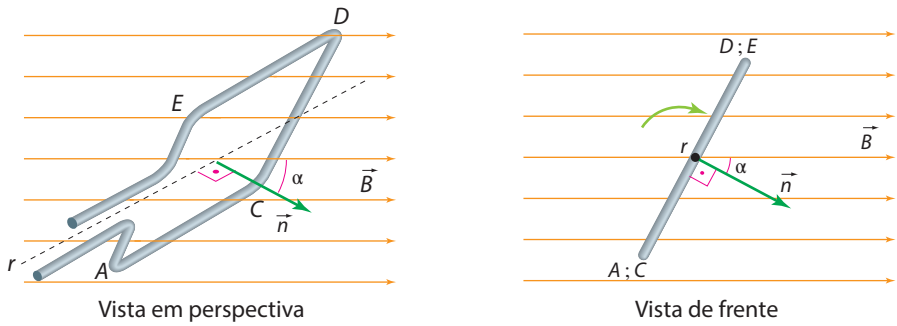
Figura 4. Durante a movimentação do ímã, surge uma corrente elétrica no circuito.

ILUSTRAÇÕES: NELSON MATSUDA/ARQUIVO DA EDITORA

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

3. Fluxo magnético

Considere uma espira plana de área A imersa em um campo magnético uniforme de intensidade B. Sejam $\vec{n}$ um vetor normal à superfície da espira e α o ângulo entre o campo magnético $\vec{B}$ e o vetor $\vec{n}$ (Fig. 5).



Vista em perspectiva — Vista de frente

ADILSON SECCO/ARQUIVO DA EDITORA

Figura 5. Representação esquemática de espira imersa em um campo magnético.

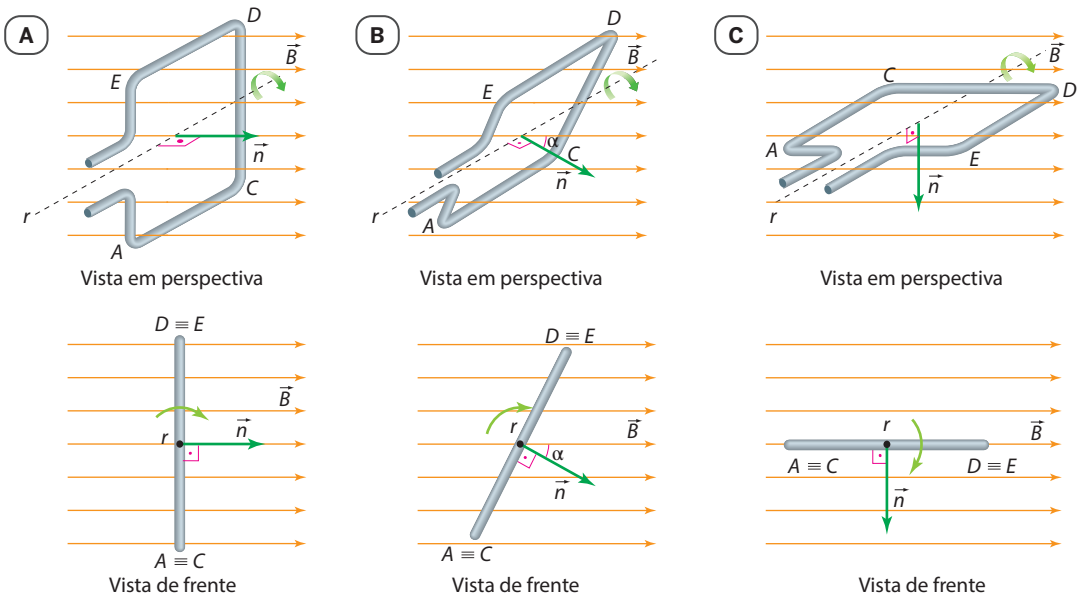
Por definição, o **fluxo magnético** Φ de um campo magnético uniforme $\vec{B}$ através de uma espira de área A é a grandeza escalar:

$$\Phi = B \cdot A \cdot \cos \alpha$$

A unidade de fluxo magnético no SI é $T \cdot m^2$ denominada **weber** (**Wb**), em homenagem ao físico alemão Wilhelm Eduard Weber (1804-1891).

Interpretação gráfica do conceito de fluxo

Observe que, à medida que a espira gira, o número de linhas de indução que atravessam sua superfície varia (Fig. 6).



Vista em perspectiva — Vista em perspectiva — Vista em perspectiva

Vista de frente — Vista de frente — Vista de frente

ADILSON SECCO/ARQUIVO DA EDITORA

Figura 6. Representação esquemática mostrando que, à medida que a espira gira, o número de linhas de indução que atravessam a sua superfície varia.

Na figura 6A, temos $\alpha = 0°$ ($\cos 0° = 1$), e o fluxo magnético é máximo: $\Phi_{máx.} = B \cdot A$ (o número de linhas de indução que atravessam a superfície da espira é máximo).

Na figura 6C, temos $\alpha = 90°$ ($\cos 90° = 0$), e o fluxo magnético é nulo (nenhuma linha de indução atravessa a superfície da espira).

O fluxo magnético pode ser interpretado graficamente como uma grandeza física cujo valor é proporcional ao número de linhas de indução que atravessam a superfície da espira.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Como podemos variar o fluxo magnético através de uma espira?

Na figura 6, variamos o fluxo magnético girando a espira, isto é, variamos o ângulo α. Podemos também variar o fluxo magnético variando a intensidade de $\vec{B}$ nos pontos da superfície da espira. Isso se consegue aproximando ou afastando um ímã da espira mantida fixa (Fig. 7). Podemos, ainda, manter o ímã fixo e aproximar ou afastar a espira.

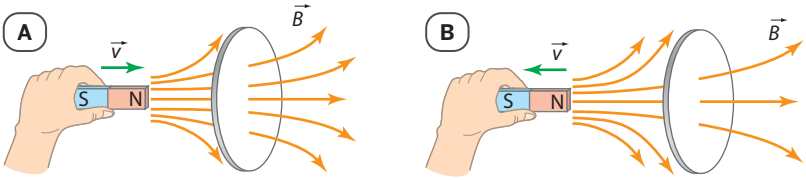


Figura 7. Representação esquemática da variação do fluxo Φ devido à variação do campo magnético $\vec{B}$. (A) Ao aproximarmos o ímã da espira, a intensidade campo magnético aumenta; (B) ao afastarmos o ímã, diminui.

Outra maneira de variar o fluxo magnético é variando a área *A* da espira (Fig. 8). Considere uma espira constituída de um condutor metálico *MNOP* e outro *CD*, que se desloca apoiado nos lados *MN* e *OP*. A área *A* da espira aumenta quando o condutor *CD* se desloca para a direita e diminui quando ele se desloca para a esquerda.

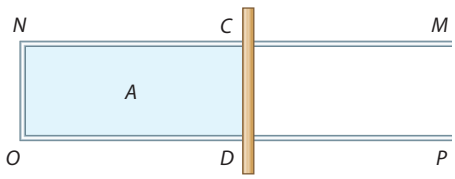


Figura 8. Representação esquemática da variação do fluxo Φ devido à variação da área *A*.

ILUSTRAÇÕES: ADILSON SECCO/ ARQUIVO DA EDITORA

Fenômeno da indução eletromagnética

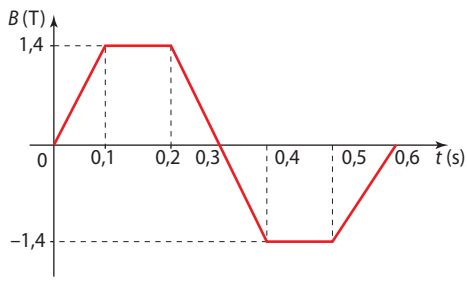
Experimentalmente, verifica-se que:

> Quando o fluxo magnético varia através da superfície de uma espira, surge na espira uma corrente elétrica, denominada **corrente elétrica induzida**.

Vamos aplicar esses conceitos a um exemplo.

Exercício resolvido

A intensidade do campo magnético $\vec{B}$, perpendicular ao plano de uma espira fixa quadrada de lado 20 cm, varia com o tempo de acordo com o diagrama.



NELSON MATSUDA/ARQUIVO DA EDITORA

Determine:

a. o valor absoluto do fluxo magnético máximo através da espira;

b. o(s) intervalo(s) de tempo durante o(s) qual(is) o fluxo magnético não varia;

c. o valor absoluto da máxima variação do fluxo magnético e o correspondente intervalo de tempo em que ocorre.

Resolução

a. O fluxo magnético, por definição, é dado por: $\Phi = B \cdot A \cdot \cos\alpha$. Portanto: $|\Phi| = |B| \cdot A \cdot |\cos\alpha|$.

Como o campo magnético $\vec{B}$ é perpendicular ao plano da espira, então $\alpha = 0°$ ou $\alpha = 180°$ e $|\cos\alpha| = 1$.

Assim, o módulo máximo de $\vec{B}$ é igual a 1,4 T. Então:

$|\Phi_{máx}| = 1{,}4 \cdot (0{,}20 \cdot 0{,}20) \cdot 1 \therefore |\Phi_{máx}| = 0{,}056\ \text{Wb}$

b. Como a espira é fixa, o fluxo magnético não varia se o campo magnético $\vec{B}$ permanecer constante. Portanto, o fluxo não varia nos intervalos de tempo de 0,1 s a 0,2 s e de 0,4 s a 0,5 s.

c. A máxima variação de fluxo ocorre no intervalo de tempo entre 0,2 s e 0,4 s, quando o campo magnético varia de 1,4 T a –1,4 T, isto é, $|\Delta\Phi_{máx}| = 1{,}4\ \text{T} - (-1{,}4\ \text{T}) = 2{,}8\ \text{T}$. Assim:

$|\Phi| = |B| \cdot A \Rightarrow |\Delta\Phi_{máx}| = |\Delta B_{máx}| \cdot A \Rightarrow |\Delta\Phi_{máx}| = 2{,}8 \cdot 0{,}04 \therefore |\Delta\Phi_{máx}| = 0{,}112\ \text{Wb}$

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Veja respostas e comentários no Suplemento para o professor.

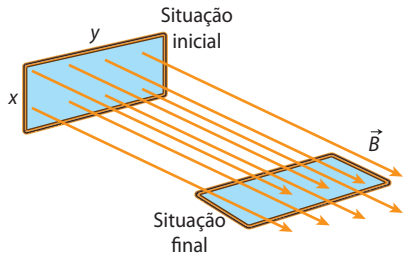
Aplicando conhecimentos

Registre as respostas em seu caderno.

1. Uma espira de área $A = 2\ m^2$ encontra-se disposta em uma região onde existe um campo de indução magnética $\vec{B}$ uniforme com intensidade $B = 5 \cdot 10^{-3}$ T. Determine o módulo do fluxo de indução magnética Φ através dessa área sabendo que o vetor $\vec{B}$ forma um ângulo de 30° com a superfície da espira.

2. Dois fios metálicos, cada um com comprimento L, são utilizados na construção de duas espiras: uma delas circular, e a outra quadrada. Essas espiras são dispostas, com seus planos, perpendicularmente às linhas de indução de um campo magnético uniforme de intensidade B. Calcule a relação $\frac{\Phi_1}{\Phi_2}$ entre o fluxo magnético através da área da espira circular e o fluxo magnético através da área da espira quadrada.

3. A espira retangular com dimensões $x = 2$ m e $y = 4$ m encontra-se imersa em um campo de indução magnética $\vec{B}$ uniforme de intensidade $B = 0{,}5$ T, perpendicular ao plano da espira. A espira é, então, deslocada de modo a ter seu plano paralelo às linhas de indução do campo magnético, conforme indicado na figura.



NELSON MATSUDA/ARQUIVO DA EDITORA

Determine:

a. o fluxo de $\vec{B}$ através da espira na situação inicial;

b. o fluxo de $\vec{B}$ através da espira na situação final;

c. o módulo da variação do fluxo de $\vec{B}$ através da espira entre as situações descritas.

4. Lei de Lenz – sentido da corrente elétrica induzida

O físico russo Heinrich Lenz (1804-1865) estabeleceu a lei, conhecida como lei de Lenz, que permite determinar o sentido da corrente elétrica induzida:

> O sentido da corrente elétrica induzida é tal que seus efeitos se opõem à causa que lhe deu origem.

Para melhor entender a aplicação da lei de Lenz, vamos a um exemplo.

Exercício resolvido

Determine o sentido da corrente induzida em uma espira, em relação a um observador O, quando se aproxima da espira o polo norte de um ímã.

Resolução

Quando o polo norte de um ímã se aproxima de uma espira, ocorre variação do fluxo magnético na superfície da espira e surge na espira uma corrente induzida i (Fig. A). A corrente induzida gera na face da espira voltada para o ímã um polo que se opõe à causa que a origina, isto é, a aproximação do polo norte do ímã. Logo, na face da espira voltada para o ímã, surge um polo norte. Portanto, a corrente induzida tem sentido antihorário em relação ao observador O (Fig. B).

Se o ímã fosse afastado da espira, surgiria na face da espira voltada para o ímã um polo sul, opondo-se ao afastamento do polo norte do ímã. Nesse caso, em relação ao observador O, a corrente induzida teria sentido horário (Fig. C).

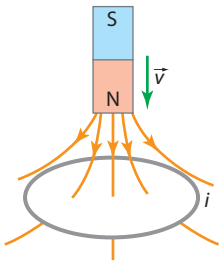


Figura A

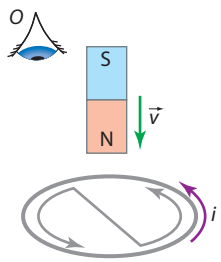


Figura B

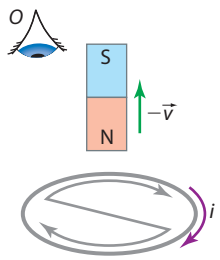


Figura C

ADILSON SECCO/ARQUIVO DA EDITORA

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Existe outra maneira de se enunciar a lei de Lenz:

O sentido da corrente elétrica induzida é tal que origina um fluxo magnético induzido Φ' que se opõe à variação do fluxo magnético indutor Φ.

Vamos exemplificar.

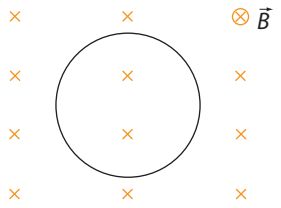
Exercício resolvido

Uma espira, contida no plano do papel, está imersa em um campo magnético $\vec{B}$, entrando perpendicularmente ao plano do papel.

Determine o sentido da corrente elétrica induzida na espira, nos seguintes casos:

a. o módulo de $\vec{B}$ cresce no decorrer do tempo;

b. o módulo de $\vec{B}$ decresce no decorrer do tempo.



Resolução

a. O fluxo indutor Φ é o fluxo do campo magnético $\vec{B}$. O fluxo induzido Φ' é o fluxo do campo magnético gerado pela corrente elétrica induzida. Se o módulo de $\vec{B}$ cresce no decorrer do tempo, o fluxo indutor Φ também cresce e, pela lei de Lenz, o fluxo induzido Φ' surge em sentido contrário, opondo-se ao crescimento de Φ. Conhecendo o sentido de Φ', que é o mesmo do campo induzido, determinamos, pela regra da mão direita, que o sentido da corrente elétrica induzida é antihorário, conforme mostrado na na figura A.

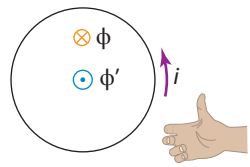


Figura A

b. Nesse caso, o módulo de $\vec{B}$ decresce no decorrer do tempo, e o fluxo indutor Φ também decresce. Pela lei de Lenz, o fluxo induzido Φ' surge no mesmo sentido, opondo-se ao decréscimo de Φ. Pela regra da mão direita, concluímos que o sentido da corrente elétrica induzida é horário, conforme mostrado na na figura B.

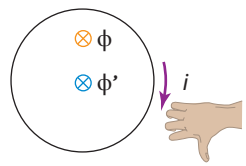


Figura B

ILUSTRAÇÕES: ADILSON SECCO/ARQUIVO DA EDITORA

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

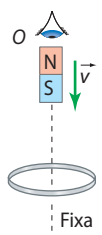
Veja respostas e comentários no Suplemento para o professor.

Aplicando conhecimentos

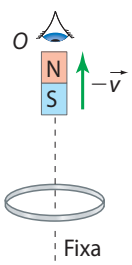
Registre as respostas em seu caderno.

4. Determine o sentido da corrente elétrica induzida, em relação ao observador *O*, nas cinco situações a seguir:

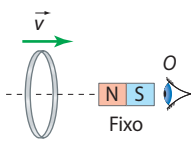
a. O ímã aproxima-se da espira que está fixa.



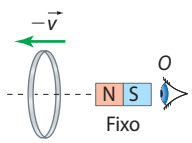
b. O ímã afasta-se da espira que está fixa.



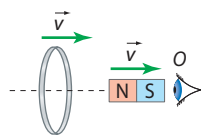
c. A espira aproxima-se do ímã que está fixo.



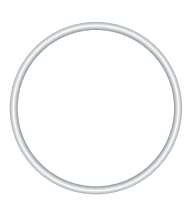
d. A espira afasta-se do ímã que está fixo.



e. O ímã e a espira deslocam-se no mesmo sentido e com a mesma velocidade $\vec{v}$.

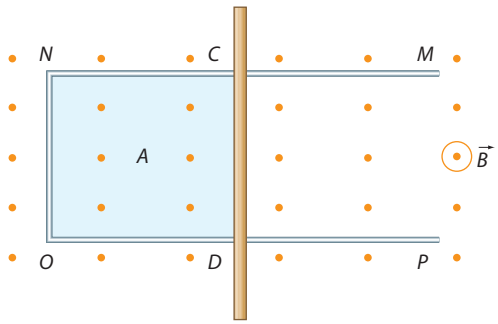


5. Um condutor retilíneo e uma espira circular situam-se em um mesmo plano. O condutor retilíneo é percorrido por uma corrente elétrica de intensidade *i*.
Determine o sentido da corrente elétrica *i'* induzida na espira no caso em que *i* cresce com o decorrer do tempo.



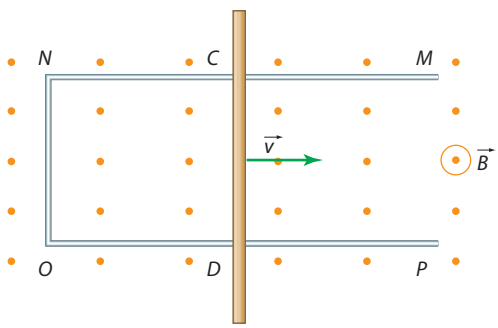
ILUSTRAÇÕES: ADILSON SECCO/ARQUIVO DA EDITORA

6. Uma espira é constituída de um condutor metálico *MNOP* e um condutor metálico *CD*, que se desloca apoiado nos lados *MN* e *OP*. A espira está imersa em um campo magnético uniforme de indução $\vec{B}$, conforme indica a figura. A área *A* da espira aumenta quando o condutor *CD* é deslocado para a direita e diminui quando ele é deslocado para a esquerda.

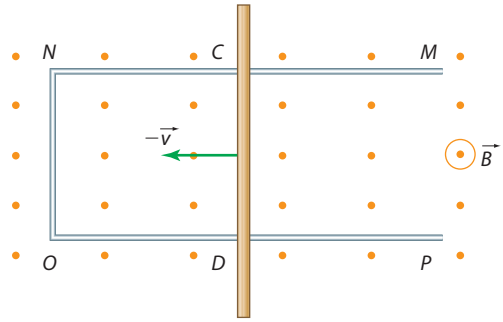


A variação da área implica a variação do fluxo magnético. Como consequência, é induzida na espira uma corrente elétrica. Utilizando os conceitos de fluxo indutor e fluxo induzido, determine o sentido da corrente induzida na espira nos seguintes casos:

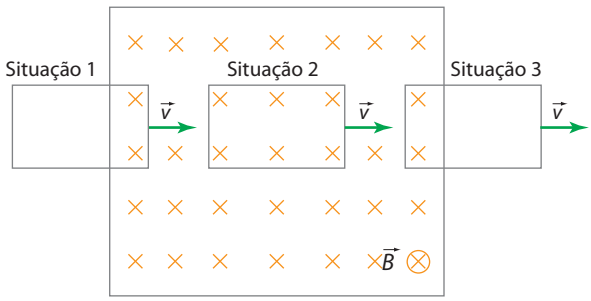
a. o condutor *CD* é deslocado, por um operador, para a direita;



b. o condutor *CD* é deslocado, por um operador, para a esquerda.



7. O esquema a seguir mostra uma espira metálica rígida, situada no plano do papel, sendo deslocada para a direita com velocidade vetorial $\vec{v}$. A espira entra em um campo magnético uniforme, normal a seu plano (situação 1), atravessa o campo magnético (situação 2) e sai dele (situação 3).



a. Determine o sentido da corrente induzida na espira durante a entrada (situação 1) e a saída (situação 3) da espira.

b. Descreva o que ocorre quando a espira estiver se deslocando totalmente imersa no campo magnético (situação 2).

ILUSTRAÇÕES: ADILSON SECCO/ARQUIVO DA EDITORA

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

5. Lei de Faraday

Vimos que, quando o fluxo magnético através da superfície de uma espira varia, surge na espira uma corrente elétrica induzida. Havendo corrente elétrica induzida no circuito, concluímos que deve haver uma força eletromotriz induzida que a produz.

Experimentalmente, Faraday observou que, quanto mais rápida é a variação do fluxo magnético, maior é a força eletromotriz induzida. Estabeleceu, então, que a força eletromotriz induzida média (ε_m) é proporcional à rapidez com que o fluxo varia.

Nessas condições, sendo $|\varepsilon_m|$ o valor absoluto da força eletromotriz induzida média e $\Delta\Phi$ a variação do fluxo magnético em certo intervalo de tempo Δt, a lei de Faraday estabelece que:

$$|\varepsilon_m| = \frac{|\Delta\Phi|}{\Delta t}$$

Vamos aplicar a lei de Faraday na resolução do exemplo a seguir.

Veja comentários no Suplemento para o professor.

Exercício resolvido

ESTRATÉGIA DE ESTUDO

Uma espira plana de área $A = 3{,}0 \cdot 10^{-3}\ m^2$ está colocada paralelamente às linhas de indução de um campo magnético uniforme de intensidade $B = 8{,}0 \cdot 10^{-2}$ T. Gira-se a espira e, após um intervalo de tempo $\Delta t = 0{,}40$ s, a espira é colocada perpendicularmente às linhas de indução. Determine, nesse intervalo de tempo, o valor absoluto da força eletromotriz induzida média.

Identificar

No instante $t_1 = 0$ (posição inicial), o fluxo magnético é nulo, pois o ângulo α entre $\vec{B}$ e $\vec{n}$ é igual a 90°. Isto é, as linhas de campo magnético não atravessam a área da espira.

Já no instante $t_2 = 0{,}40$ s (posição final), o fluxo magnético é máximo, pois o ângulo α entre $\vec{B}$ e $\vec{n}$ é nulo, isto é, as linhas de campo magnético atravessam totalmente a área da espira. Precisamos, então, calcular a variação do fluxo magnético durante esses dois momentos. Em seguida, vamos utilizar a lei de Faraday para obter a fem induzida.

Preparar

Para obter o fluxo magnético em cada posição, usaremos a equação $\Phi = B \cdot A \cdot \cos \alpha$, assim, a partir da variação do fluxo magnético, podemos obter a força eletromotriz (fem) induzida usando a lei de Faraday expressa pela equação $|\varepsilon_m| = \dfrac{|\Delta\Phi|}{\Delta t}$.

Executar

A partir da equação para o fluxo magnético, temos:

$\Phi_1 = B \cdot A \cdot \cos 90° = 0$

e

$\Phi_2 = B \cdot A \cdot \cos 0° \Rightarrow \Phi_2 = 8{,}0 \cdot 10^{-2} \cdot 3{,}0 \cdot 10^{-3} \therefore \Phi_2 = 2{,}4 \cdot 10^{-4}$ Wb

Logo, a variação do fluxo magnético, no intervalo de tempo $\Delta t = 0{,}40$ s, é igual a:

$\Delta\Phi = \Phi_2 - \Phi_1 \Rightarrow \Delta\Phi = 2{,}4 \cdot 10^{-4} - 0 \therefore \Delta\Phi = 2{,}4 \cdot 10^{-4}$ Wb

Assim, pela lei de Faraday, temos:

$$|\varepsilon_m| = \frac{|\Delta\Phi|}{\Delta t} \Rightarrow |\varepsilon_m| = \frac{2{,}4 \cdot 10^{-4}}{0{,}4} \therefore |\varepsilon_m| = 6{,}0 \cdot 10^{-4}\ \text{V} = 60\ \text{mV}$$

Analisar

Quando uma espira gira em um campo magnético, o ângulo entre a espira e o campo magnético muda continuamente. Essa mudança de ângulo causa uma variação no fluxo magnético que atravessa a espira. De acordo com a Lei de Faraday, essa variação no fluxo magnético induz uma fem na espira. Essa fem induzida gera uma corrente elétrica se a espira fizer parte de um circuito fechado. Quanto mais rápida for a rotação da espira, maior será a taxa de variação do fluxo magnético, resultando em uma corrente elétrica mais intensa. Esse é o princípio básico de operação dos dínamos e geradores elétricos.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Veja comentários no Suplemento para o professor.

Em destaque

Michael Faraday

[...] É no estudo de eletromagnetismo que o nome de Michael Faraday surge como um personagem importante. [...] Seu trabalho foi essencialmente experimental (o que não significa que ele não tivesse pressupostos teóricos emergentes da produção científica na área) e qualitativo (sem medidas), e ele não chegou a nenhuma lei quantitativa da indução.

[...] A trajetória percorrida por Faraday até chegar à elaboração de lei da indução mostra que seus progressos dependeram muito mais de trabalho de pesquisa, de leitura e estudo, de seu interesse e esforços, do que de uma superioridade intelectual incomum.

CONTINUA

CONTINUAÇÃO

[...] A descoberta de Oersted, publicada em artigo datado de 21 de junho de 1820, desencadeou um grande interesse na comunidade científica da época. [...] Faraday já estava ciente de que era possível produzir correntes elétricas tanto a partir de uma outra corrente elétrica [...] como pela variação magnética brusca [...].

Embora ele já tivesse tentado obter efeitos pela aproximação e afastamento de ímãs, não tinha obtido resultados, mas tais efeitos deviam existir. Por isso ele insistiu e, no dia 17 de outubro de 1831, Faraday realizou o seu experimento mais conhecido, a indução de corrente pela movimentação de uma barra magnética dentro de uma bobina.

[...] O princípio descoberto era que o movimento de um ímã gera uma corrente elétrica no condutor. O trabalho realizado por Faraday no final de 1831 complementou a descoberta do eletromagnetismo por Oersted, mostrando a existência de um fenômeno inverso (produção de efeitos elétricos pelo magnetismo) e fornecendo a base necessária para o desenvolvimento de uma nova área de pesquisas.

Fonte: DIAS, V. S.; MARTINS, R. A. Michael Faraday: o caminho da livraria à descoberta da indução eletromagnética. **Ciência & Educação**, Bauru, v. 10, n. 3, p. 517-530, 2004. Disponível em: https://www.scielo.br/j/ciedu/a/QcVb9BJk6C4RycyjBbLLy3d/?lang=pt. Acesso em: 22 out. 2024.

Em termos de História da Ciência, Faraday viveu há pouco tempo e em uma época em que o registro regular e sistemático era uma prática científica bem consolidada. Por esses motivos, sabemos tantos detalhes da evolução de seu trabalho. Além de livros e artigos publicados por Faraday, os historiadores das ciências também utilizam como fonte de informação seus diários de laboratório, que cobrem um período de mais de 40 anos, e correspondências que ele trocava com outros cientistas.

1. Quais partes do texto indicam que existe o acesso a documentos detalhados sobre o trabalho de Faraday?
2. Em duplas, discutam a importância do estudo e da conservação de documentos históricos para o campo da História das Ciências. Em seguida, pesquisem quais são os objetivos desse campo de estudo.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Veja comentários no Suplemento para o professor.

Atividade prática

Gerando corrente elétrica induzida

Objetivo

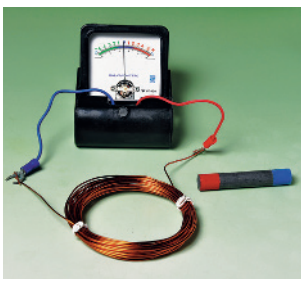
Analisar o fenômeno da indução eletromagnética.

Material

- um galvanômetro de zero central;
- um ímã reto;
- uma bobina de diâmetro 5 cm, contendo 50 espiras justapostas, confeccionada em fio de cobre com cerca de 8 m de comprimento e 0,5 mm de diâmetro, esmaltado ou encapado.

Procedimento

1. Ligue a bobina aos terminais do galvanômetro (Fig. A), coloque o galvanômetro para medir corrente elétrica na menor escala possível.
2. Em seguida, aproxime e afaste o ímã da bobina, mantida fixa (Fig. B). Verifique o que ocorre com o ponteiro do galvanômetro. Ele se desloca no mesmo sentido durante a aproximação e durante o afastamento?
3. Aproxime, agora, o ímã da bobina mais rapidamente do que na situação anterior, de modo que a variação do fluxo magnético seja mais frequente. O que ocorre com a intensidade da corrente elétrica registrada pelo galvanômetro em relação à situação anterior?



FOTOS: EDUARDO SANTALIESTRA/ ARQUIVO DA EDITORA

Figura A: Galvanômetro ligado à bobina.

Figura B: Movimento relativo entre o ímã e a bobina.

4. Fixe o ímã e aproxime e afaste a bobina dele. Há corrente elétrica induzida, isto é, o ponteiro do galvanômetro sofre deflexão?

Analise o experimento e responda:

Com base em suas observações do experimento, quais conclusões você pode tirar a respeito da geração da corrente elétrica induzida?

Veja respostas e comentários no Suplemento para o professor.

Aplicando conhecimentos

Registre as respostas em seu caderno.

8. O fluxo magnético através de uma espira (Fig. A) varia com o tempo de acordo com o gráfico (Fig. B).

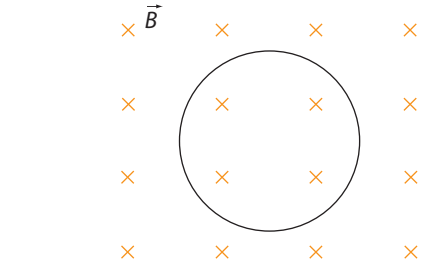


Figura A

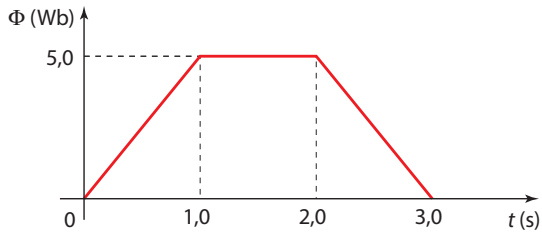


Figura B

ILUSTRAÇÕES: ADILSON SECCO/ARQUIVO DA EDITORA

Determine o valor absoluto da força eletromotriz induzida média na espira nos intervalos de tempo 0 a 1,0 s; 1,0 s a 2,0 s e 2,0 s a 3,0 s.

9. Uma espira de área $A = 1{,}0 \cdot 10^{-2}\ m^2$ é disposta perpendicularmente às linhas de indução de um campo magnético uniforme, de indução $B = 2{,}0 \cdot 10^{-2}$ T. Sabendo que em um intervalo de tempo $\Delta t = 1{,}0 \cdot 10^{-1}$ s a espira passa a ter seu plano paralelo às linhas de indução, determine:

a. os fluxos inicial e final;

b. a força eletromotriz induzida média, em valor absoluto.

10. Uma espira de área $A = 2{,}0 \cdot 10^{-2}\ m^2$ está imersa em um campo magnético uniforme de indução $B = 3{,}0 \cdot 10^{-2}$ T. As linhas de indução são perpendiculares ao plano da espira. A resistência elétrica da espira é $R = 10\ \Omega$. O campo magnético é reduzido a zero em 4,0 s. Determine nesse intervalo de tempo:

a. a variação do fluxo magnético;

b. o valor absoluto da força eletromotriz média induzida;

c. a intensidade média da corrente elétrica que atravessa a espira.

6. Aplicações da indução eletromagnética

Em nosso cotidiano, estamos constantemente utilizando equipamentos e dispositivos que fazem uso da indução eletromagnética. Agora, vamos conhecer, de forma simplificada, os princípios de funcionamento de alguns desses dispositivos.

Alternador

O alternador é um dispositivo que converte energia mecânica em energia elétrica. Presente nos veículos automotivos, o alternador fornece a energia elétrica que alimenta faróis, lanternas, lâmpadas, rádio e motor de partida, com o motor em funcionamento.

O alternador funciona junto ao motor do veículo e recebe deste, por meio de uma correia, a energia mecânica que será convertida em energia elétrica.

Vimos que o fluxo magnético Φ através de uma espira que gira imersa em um campo magnético uniforme de indução $\vec{B}$, em certo instante t, é dado por $\Phi = B \cdot A \cdot \cos\alpha$, em que α é o ângulo que $\vec{B}$ forma com o vetor $\vec{n}$, normal à superfície da espira.

Sendo ω a velocidade angular de rotação da espira, podemos escrever: $\omega = \frac{\Delta\alpha}{\Delta t} = \frac{\alpha - \alpha_0}{t - t_0}$.

Fazendo $t_0 = 0$ e $\alpha_0 = 0$, isto é, no instante inicial, as linhas de indução são perpendiculares à superfície da espira, obtemos: $\omega = \frac{\alpha}{t} \Rightarrow \alpha = \omega \cdot t$. Assim, temos para o fluxo magnético: $\Phi = B \cdot A \cdot \cos(\omega \cdot t)$.

Com base nessa fórmula e levando em conta a lei de Faraday, é possível demonstrar que a força eletromotriz induzida na espira é, em certo instante t, dada por: $\varepsilon = B \cdot A \cdot \omega \cdot \text{sen}(\omega \cdot t)$.

Ligando a espira a um resistor de resistência R, podemos calcular a corrente elétrica induzida que percorre o circuito:

$$i = \frac{\varepsilon}{R} \Rightarrow i = \frac{B \cdot A \cdot \omega}{R} \cdot \text{sen}(\omega \cdot t).$$

Sendo $\frac{B \cdot A \cdot \omega}{R}$ a intensidade máxima da corrente elétrica induzida ($i_{máx}$), temos: $i = i_{máx} \cdot \text{sen}(\omega \cdot t)$.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Observe que a intensidade da corrente induzida na espira girante varia senoidalmente com o tempo t, sendo $\omega = \frac{2\pi}{T} = 2\pi f$ denominada **pulsação** da corrente elétrica. Observe o gráfico da intensidade da corrente elétrica i em função de t, para um período T (Fig. 9).

ADILSON SECCO/ARQUIVO DA EDITORA

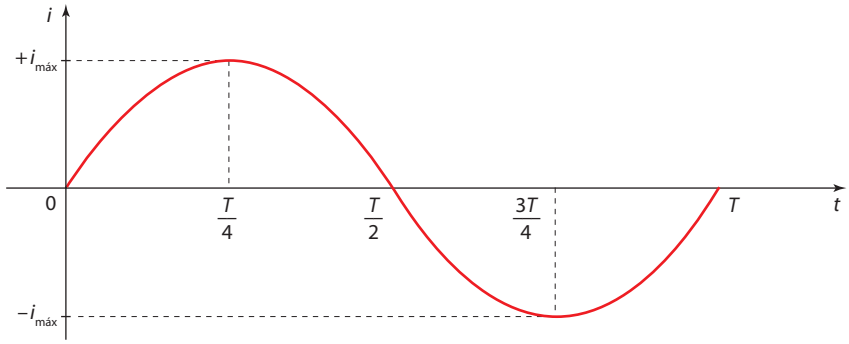


Figura 9. Gráfico da intensidade da corrente elétrica i induzida na espira em função do tempo t.

A corrente elétrica gerada pela espira girante muda periodicamente de intensidade e sentido, sendo denominada **corrente elétrica alternada** ou **alternante**. Os elétrons oscilam com amplitude da ordem de milésimos de milímetros. Entre os polos das tomadas de nossas casas temos uma corrente elétrica que alterna seu sentido 60 vezes por segundo, isto é, sua frequência é $f = 60$ Hz.

Chama-se **valor eficaz da corrente alternada** a intensidade i_{ef} da corrente contínua que dissipa, em um mesmo resistor, igual quantidade de energia elétrica, em um intervalo de tempo igual a um período. O valor eficaz relaciona-se com a intensidade máxima da corrente alternada por meio da equação: $i_{ef} = \frac{i_{máx.}}{\sqrt{2}}$.

Analogamente, pode-se calcular a **força eletromotriz eficaz** (tensão eficaz): $\varepsilon_{ef} = \frac{\varepsilon_{máx.}}{\sqrt{2}}$.

Para aumentar o valor da força eletromotriz induzida, usamos, em vez de uma espira, um conjunto de n espiras formando uma bobina "chata", chamada de **armadura**. Seus terminais são soldados a anéis metálicos, os quais se apoiam em escovas, geralmente de grafite. As escovas e os anéis formam o **coletor**. Temos, assim, um gerador de corrente alternada denominado **alternador** (Fig. 10).

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

ADILSON SECCO/ARQUIVO DA EDITORA

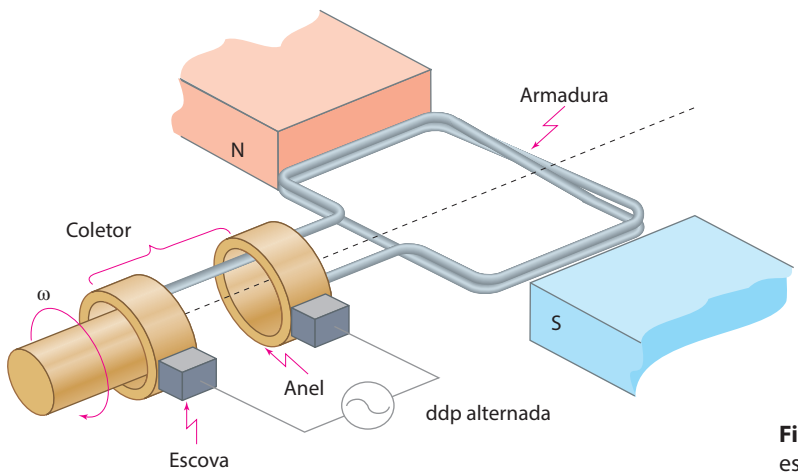


Figura 10. Representação esquemática de um alternador.

Se substituímos o par de anéis por um comutador (anel dividido em dois setores), podemos obter uma corrente elétrica de mesmo sentido, mas de intensidade variável, denominada **corrente contínua pulsante** (Fig. 11).

ADILSON SECCO/ARQUIVO DA EDITORA

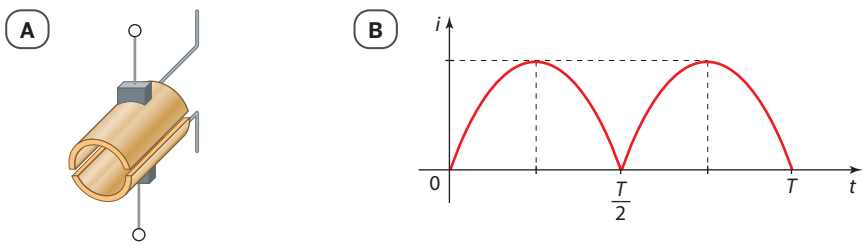


Figura 11. (A) Representação esquemática de um comutador; (B) gráfico da corrente pulsante.

Se dividirmos o comutador em vários pares de setores iguais e se utilizarmos uma armadura para cada par de setores diametralmente opostos, obteremos uma corrente elétrica de intensidade praticamente constante. Dizemos que a corrente alternada foi retificada, e o gerador de corrente contínua constante é chamado **dínamo** (Fig. 12).

ADILSON SECCO/ ARQUIVO DA EDITORA

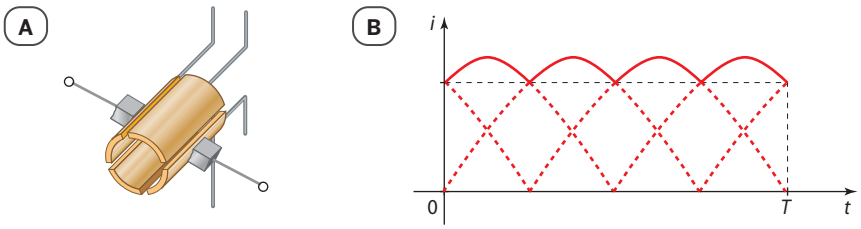


Figura 12. (A) Representação esquemática de um comutador dividido em dois pares de setores, cada par ligado a uma armadura; (B) gráfico da corrente elétrica resultante (corrente elétrica retificada).

Nos geradores das usinas elétricas, o campo magnético é produzido por eletroímãs, e não por ímãs permanentes. A corrente elétrica que os percorre e gera o campo magnético é fornecida por um gerador de corrente contínua. Na maioria das usinas, a armadura é fixa, e são os eletroímãs que giram. A rotação dos eletroímãs é obtida através da rotação de uma turbina. Nas usinas hidrelétricas, a água retida por enormes barragens escoa, de grandes alturas, através de tubulações incidindo sobre as pás da turbina, fazendo-a girar (Fig. 13). Assim, a energia mecânica de rotação da turbina se converte em energia elétrica.

ADILSON SECCO/ARQUIVO DA EDITORA

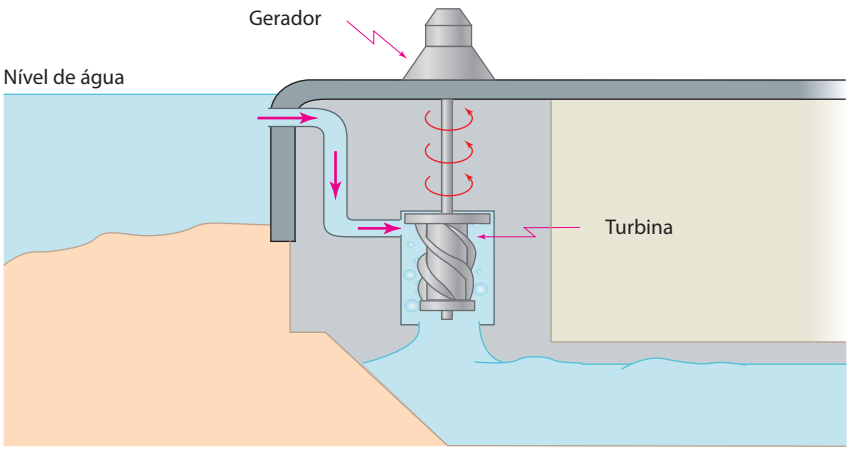


Figura 13. Representação esquemática de uma usina hidrelétrica. (Representação fora de proporção; cores meramente ilustrativas.)

Nas usinas termelétricas, a água é aquecida em uma caldeira, produzindo vapor de água sob temperatura e pressão elevadas. O vapor de água incide sobre as pás da turbina, provocando a sua rotação. O aquecimento da água nas caldeiras é feito através da queima de combustíveis fósseis como o carvão e o petróleo. O calor também pode ser obtido através de reatores nucleares. Ademais, tem-se tornado comum utilizar a energia dos ventos para movimentar a turbina, são os chamados geradores eólicos.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

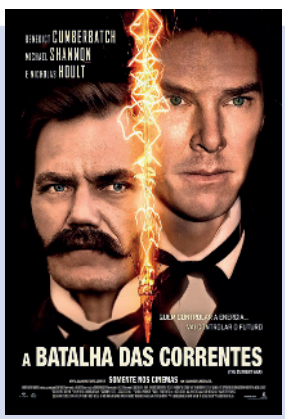
Veja respostas e comentários no Suplemento para o professor.

Dialogando com o texto

O termo "batalha das correntes" refere-se a uma intensa disputa ocorrida no final do século XIX entre dois renomados inventores e empresários: Nikola Tesla e Thomas Edison. O conflito girava em torno da melhor forma de distribuir eletricidade: Edison promovia a corrente contínua (CC), enquanto Tesla e seu parceiro George Westinghouse defendiam a corrente alternada (CA). Essa disputa não era apenas técnica, mas também comercial e ideológica, e influenciou o desenvolvimento da infraestrutura elétrica moderna.

O filme *A batalha das correntes* (direção: Alfonso Gomez-Rejon, EUA, 2017) dramatiza essa rivalidade histórica, destacando as personalidades dos protagonistas, seus argumentos técnicos e como suas propostas impactaram a infraestrutura elétrica global.

Em duplas, pesquisem e anotem no caderno quais eram os argumentos de Tesla e Edison para o uso da corrente elétrica alternada e da corrente elétrica contínua.

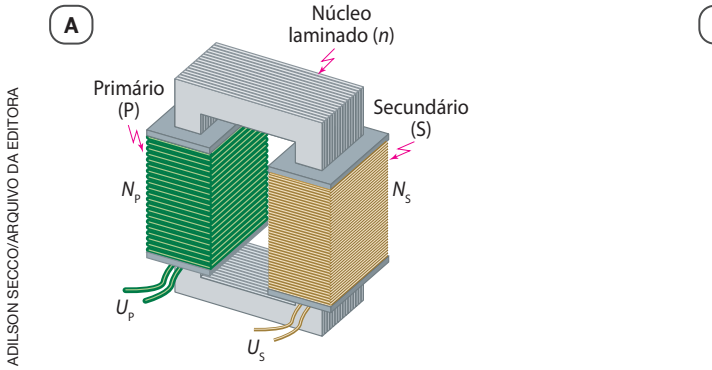


REPRODUÇÃO/DIAMONDS FILMES

Cartaz do filme *A batalha das correntes*.

Transformador

O transformador é um equipamento que modifica uma tensão alternada, aumentando-a ou diminuindo-a, de acordo com a necessidade. É constituído de duas bobinas independentes, enroladas em um núcleo de ferro (Fig. 14). A bobina que recebe a tensão a ser transformada é chamada de **enrolamento primário** (P). A que fornece a tensão transformada é chamada de **enrolamento secundário** (S).



ADILSON SECCO/ARQUIVO DA EDITORA

Figura 14. (A) Representação de um transformador; e (B) sua representação simbólica convencional. (Representação fora de proporção; cores meramente ilustrativas.)

O funcionamento do transformador se baseia no fenômeno da indução eletromagnética. A corrente alternada que atravessa o primário gera um fluxo magnético variável no núcleo. Este concentra as linhas de indução e torna o campo magnético mais intenso. Assim, um fluxo magnético variável atravessa o secundário, gerando nele uma corrente induzida alternada.

Sejam N_P e N_S os números de espiras do primário e do secundário e U_P e U_S as tensões eficazes nessas bobinas, respectivamente. Vale a seguinte relação:

$$\frac{U_S}{U_P} = \frac{N_S}{N_P}$$

- Se $N_S > N_P$, resulta $U_S > U_P$, e o transformador é um **elevador de tensão**.
- Se $N_S < N_P$, resulta $U_S < U_P$, e o transformador é um **abaixador de tensão**, conforme exemplificado na figura 15.

O fluxo magnético variável no núcleo de ferro também gera no ferro correntes elétricas induzidas parasitas, chamadas de correntes de Foucault. Com isso, o núcleo se aquece, pois há dissipação de grandes quantidades de energia. Para minimizar as perdas energéticas decorrentes das correntes de Foucault, o núcleo é laminado, e as lâminas são isoladas entre si.

Desprezando todas as perdas de energia (caso em que o transformador é considerado ideal), podemos dizer que a potência no primário é igual no secundário:

$$P_P = P_S \Rightarrow U_P \cdot i_P = U_S \cdot i_S$$

JIPEN/SHUTTERSTOCK

Figura 15. Os carregadores de aparelhos eletroeletrônicos têm um transformador abaixador de tensão.

Ressaltemos que **o transformador não funciona quando o primário é alimentado com corrente contínua constante**, pois, nesse caso, não ocorre variação do fluxo magnético para gerar uma corrente elétrica induzida no secundário.

Observe o exemplo a seguir para aplicação dessas relações.

Exercício resolvido

Consideremos um transformador ideal que possui 600 espiras no primário e 300 espiras no secundário. Aplica-se ao primário uma tensão alternada de valor eficaz igual a 220 V, e o valor eficaz da corrente elétrica que o atravessa é igual a 0,50 A. Determine a tensão eficaz no secundário e a corrente eficaz que o percorre.

Resolução

Sendo $N_P = 600$, $N_S = 300$ e $U_P = 220$ V, temos:

$$\frac{U_S}{U_P} = \frac{N_S}{N_P} \Rightarrow \frac{U_S}{220} = \frac{300}{600} \therefore U_S = 110\,\text{V}$$

Como o transformador é ideal, obtemos:

$$U_P \cdot i_P = U_S \cdot i \Rightarrow 220 \cdot 0{,}50 = 110 \cdot i_S \therefore i_S = 1{,}0\,\text{A}$$

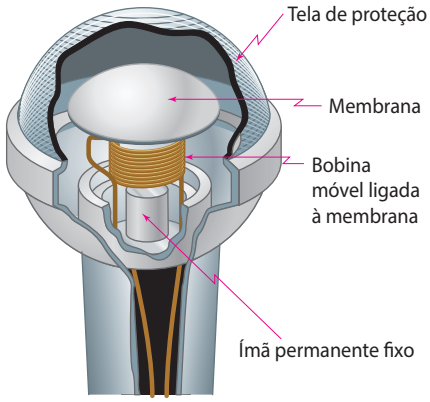
Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Uma das aplicações dos transformadores está na distribuição da energia elétrica gerada em uma usina elétrica. A tensão elétrica fornecida por uma usina é elevada a valores muito altos, por meio de transformadores existentes na chamada subestação elevadora, localizada próximo da usina. Sob essa alta-tensão, a energia elétrica é transportada através das linhas de transmissão. Operando sob alta-tensão, aumenta-se o rendimento da linha de transmissão, isto é, diminui-se a dissipação de energia elétrica ao longo da linha.

A tensão relativamente baixa fornecida pela usina (da ordem de 10.000 V eficazes) é elevada para cerca de 300.000 V eficazes, no caso de longos percursos. Próximo dos centros consumidores existem as subestações abaixadoras, que reduzem a tensão eficaz para 15.000 V, destinada aos consumidores industriais. A partir daí, através das linhas de distribuição existentes nas cidades, a energia chega a novas estações, que abaixam a tensão eficaz para 3.800 V, destinada aos consumidores comerciais. Por fim, para os consumidores residenciais, a tensão elétrica eficaz é mais uma vez reduzida para 127 V e 220 V por meio de transformadores nos postes.

Microfone de indução

O microfone de indução é constituído essencialmente de um ímã permanente fixo e de uma membrana à qual está ligada uma bobina móvel que envolve o ímã. O microfone possui uma tela metálica que protege a membrana (Fig. 16). Quando uma pessoa o utiliza, as ondas sonoras emitidas (ondas de pressão) fazem a membrana vibrar e, consequentemente, a bobina vibra com a mesma frequência da membrana. A movimentação da bobina, no interior do campo magnético criado pelo ímã, faz surgir nela uma corrente elétrica induzida variável. Assim, os sons recebidos pelo microfone são convertidos em sinais elétricos que são, em seguida, amplificados para uso, por exemplo, nos alto-falantes.



ADILSON SECCO/ARQUIVO DA EDITORA

Figura 16. Representação esquemática de um microfone de indução. (Representação fora de proporção; cores meramente ilustrativas.)

Alto-falante

O alto-falante faz exatamente a conversão contrária do microfone: os sinais elétricos que ele recebe do microfone são reconvertidos em sons. Para isso, o alto-falante possui essencialmente um ímã permanente fixo e uma bobina móvel ligada a um cone de papelão (Fig. 17). A corrente elétrica proveniente do microfone atravessa a bobina, que é imersa no campo magnético radial existente entre o ímã e o polo de ferro. A bobina fica sujeita à ação de forças magnéticas que a fazem vibrar. A vibração da bobina provoca a vibração do cone de papelão. O ar junto ao cone também vibra, gerando ondas sonoras que reproduzem o som que foi captado pelo microfone.

ADILSON SECCO/ARQUIVO DA EDITORA

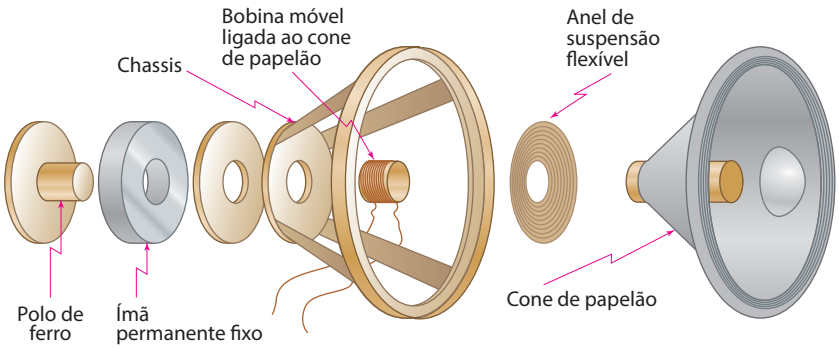


Figura 17. Representação esquemática dos componentes de um alto-falante. (Representação fora de proporção; cores meramente ilustrativas.)

Cartão magnético

Os cartões magnéticos possuem, em um de seus lados, uma tarja magnética (Fig. 18). As minúsculas partículas magnetizáveis que fazem parte da tarja estão distribuídas em uma sequência de regiões magnetizadas e não magnetizadas (código binário), fornecendo todas as informações pessoais do portador do cartão e outras informações úteis. A máquina leitora desse código é constituída de uma bobina enrolada em um núcleo de ferro. Quando o cartão é movimentado por um usuário, ao inseri-lo, por exemplo, no terminal de um caixa eletrônico, uma corrente elétrica variável é induzida na bobina. Esses sinais elétricos são recebidos por um computador, que decodifica as informações existentes no cartão.

STUDIOLOCO/SHUTTERSTOCK

Figura 18. A faixa escura no verso do cartão é sua tarja magnética.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Detector de metais

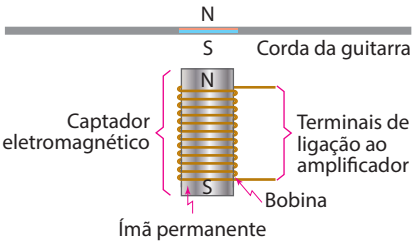
Vamos considerar um tipo de detector de metais manual, que consiste essencialmente em uma bobina enrolada em um núcleo de ferro (Fig. 19). Quando ele está em funcionamento, a bobina é percorrida por determinada corrente elétrica, que gera um campo magnético. Quando o detector é aproximado de um objeto metálico, ocorre uma variação do fluxo magnético através do objeto metálico, induzindo nele correntes elétricas (correntes de Foucault). Essas correntes, por sua vez, geram um campo magnético variável, que induz corrente elétrica na bobina, alterando o valor da corrente elétrica que a atravessava. Essa alteração de corrente elétrica, registrada por um amperímetro, indica a presença do objeto metálico através de um alarme sonoro ou visual.

HELMUT CORNELI/ALAMY/FOTOARENA

Figura 19. Detector de metal sendo usado em região ao redor de um naufrágio no Mar Mediterrâneo, Ponza (Itália, 2018).

Guitarra elétrica

A maioria dos modelos de guitarras elétricas utiliza captadores eletromagnéticos. Eles são constituídos de um ímã permanente, em torno do qual é enrolada uma bobina. As cordas da guitarra são metálicas e feitas de material magnetizável. O trecho da corda acima do ímã magnetiza-se (Fig. 20). A corda vibra ao ser percutida. O movimento do ímã que se forma na corda faz com que o fluxo magnético através da bobina varie, induzindo nela uma corrente elétrica, que oscila com a mesma frequência com que a corda vibra. O sinal elétrico é amplificado e transmitido a um alto-falante.



ADILSON SECCO/ARQUIVO DA EDITORA

Figura 20. Representação esquemática de captador eletromagnético de uma guitarra elétrica. (Representação fora de proporção; cores meramente ilustrativas.)

Veja respostas e comentários no Suplemento para o professor.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

EDUCAÇÃO MIDIÁTICA

Cibersegurança: navegando seguro pelas ondas da rede

"Não existe nuvem. É apenas o computador de outra pessoa." Essa frase, que pode ser vista em postagens na internet e até estampada em camisetas, chama a atenção para o fato de que as informações que circulam na rede mundial de computadores não são apenas virtuais; elas precisam ser armazenadas em dispositivos reais. Suas senhas e informações pessoais, portanto, estão neste exato momento "guardadas no computador de outra pessoa". Além disso, a exposição excessiva de informações privadas na internet pode fornecer a outras pessoas o poder de influenciar suas escolhas e facilitar ações mal-intencionadas. Por isso, é importante ter certeza de que seus dados estejam bem protegidos.

Apresentamos, agora, um pequeno guia de cibersegurança (a segurança em ambiente digital), mas é importante se lembrar de que a tecnologia avança rapidamente, exigindo constantes atualizações sobre as ameaças e as formas de combatê-las.

Pequeno guia de cibersegurança

Mantenha seus aplicativos atualizados. As atualizações dos fabricantes de *softwares* incluem a melhoria da segurança. Exclua aplicativos que você não esteja usando mais. Aplicativos antigos, mais vulneráveis, são alvos preferenciais de *hackers* (pessoas com habilidades em computação que buscam vulnerabilidades em sistemas digitais).

Crie senhas robustas. Já foi o tempo em que os crimes cibernéticos eram praticados simplesmente por pessoas. Atualmente, algoritmos de Inteligência Artificial são capazes de combinar palavras de um dicionário inteiro e analisar seu comportamento na internet para descobrir sua senha em segundos – ou mesmo tentar por anos, se necessário. Para dificultar o trabalho desses algoritmos, não use padrões óbvios nas senhas, optando por senhas fortes e não repetidas. Troque suas senhas sempre que possível.

CONTINUA

Adote autenticação multifator. Os nomes de usuário e as senhas digitadas em seu celular dizem ao seu banco, ou à sua rede social, que é você que está tentando acessá-los. Mas quando você troca de dispositivo (seu celular, por exemplo), muitos desses serviços pedem uma segunda ou até terceira forma de provar quem você é. Pode ser um código enviado por SMS, reconhecimento facial ou outro método. Essa camada adicional de segurança é a autenticação multifator.

Selecione os seguidores em redes sociais. As redes sociais são uma via por onde pessoas mal-intencionadas podem acessar informações privativas de alguém para obter alguma vantagem. Os perfis falsos normalmente têm essa função. Por isso, seja seletivo com as pessoas com as quais se conecta em redes sociais.

Navegue em *sites* seguros. Prefira *sites* que usam criptografia de dados, ou seja, um algoritmo que embaralha as informações transmitidas entre o servidor e o usuário, impedindo sua leitura por *hackers*. Os *sites* que possuem um protocolo de criptografia são identificados pela sigla **https** no início do endereço de URL (no lugar do tradicional **https**) e também pelo ícone de um cadeado fechado na barra de endereço. Ao clicar em um *link* que está em uma página segura, verifique se ele leva a outra página também protegida.

Controle a aceitação de *cookies*. *Cookies* são arquivos criados pelos *sites* visitados para salvar informações suas para sua próxima visita. Podem identificar suas buscas e escolhas, rastreá-lo para saber por onde navega e, assim, oferecer conteúdos personalizados para influenciar suas escolhas, ou ainda repassar as informações para terceiros. Autorize somente os *cookies* essenciais, quando possível.

Use barreiras de segurança. Instale programas antivírus e faça checagens frequentes dos seus dispositivos. Ative e configure *firewalls*, que são aplicativos que bloqueiam ou restringem o funcionamento de *sites* e programas, liberando somente aqueles que você informar como confiáveis.

1. Em grupos, sigam as seguintes etapas:

a. Do guia apresentado, escolham duas indicações de segurança que lhes parecem mais difíceis de executar e justifiquem suas escolhas.

b. Verifiquem se há alguma palavra ou algum termo desconhecido no texto dessas duas indicações de segurança. Façam uma pesquisa para buscar mais informações sobre elas.

c. Escolham uma das indicações de segurança e apresentem à turma as novas informações que descobriram sobre ela. Caso seja viável, cada grupo pode tratar sobre uma indicação diferente dos demais grupos para evitar repetição.

d. Considerando as informações trazidas pelas apresentações, pensem no uso de dispositivos eletrônicos por pessoas idosas: as dificuldades seriam as mesmas? Como vocês poderiam orientar ou dar suporte a esse público a respeito da cibersegurança?

2. Manter aplicativos atualizados e saber escolher as opções dos *cookies* com segurança, como orienta o guia, requer uma atitude pouco praticada: ler e saber interpretar os termos de uso e autorizações. A Lei Geral de Proteção de Dados (LGPD) regulamenta o uso de dados pessoais para proteger nossa liberdade e privacidade e exige que toda empresa comunique como utiliza os dados de seus usuários.

Escolham pelo menos dois *websites* de empresas (de preferência brasileiras e de grande porte) em que a configuração dos *cookies* esteja explícita e respondam:

a. Existe uma classificação dos *cookies*? Se sim, descrevam-as.

b. Imaginem um cenário em que uma empresa faz uso indesejável de informações pessoais de seus clientes/usuários. Qual vantagem essa empresa poderia ter? Para orientar esse exercício, pensem em qual tipo de informação sobre as pessoas poderia ser relevante para uma empresa, com qual objetivo uma empresa faria isso e como as pessoas poderiam ser prejudicadas com esse abuso.

3. Nem todos os *hackers* se aproveitam de suas habilidades para causar algum dano ou praticar atos ilícitos. Pesquisem quem são os "*hackers* do bem" e qual é sua contribuição para a segurança digital. Produzam uma apresentação digital ou um painel com colagens de informações e notícias sobre o assunto.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

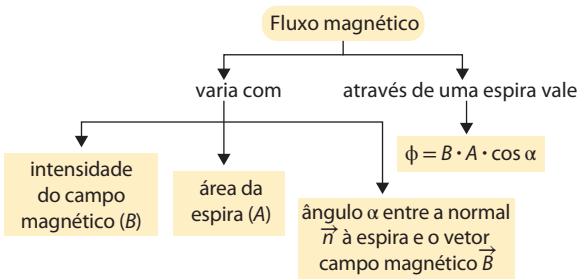
ESTRATÉGIA DE ESTUDO

Como mais uma estratégia, você pode organizar os assuntos graficamente, em uma estrutura chamada mapa conceitual, e refletir sobre o que aprendeu.

Montar um mapa conceitual

Comece selecionando as palavras-chave de um tópico. Em seu caderno, agrupe-as pelos assuntos que têm correlação e organize-as da mais genérica ou abrangente para a mais específica. Em seguida, pense em uma frase curta que estabeleça uma relação entre elas. Para o tópico *Fluxo magnético*, por exemplo, podem ser selecionadas as palavras-chave: fluxo magnético, $\Phi = B \cdot A \cdot \cos \alpha$, o ângulo entre a normal $\vec{n}$ à espira e o vetor campo magnético $\vec{B}$, área da espira e intensidade do campo magnético. Então, formule uma frase que comece com uma palavra-chave e termine com outra. Essa frase é chamada proposição.

Para montar o mapa mental, escreva essas palavras dentro de formas geométricas e relacione-as por meio de setas ou linhas, além da proposição. Uma possível apresentação do exemplo dado é



NELSON MATSUDA/ ARQUIVO DA EDITORA

Ao fazer isso para mais de um tópico do capítulo, podem surgir relações entre palavras-chave de tópicos diferentes. Assim, o mapa conceitual cresce e ganha novas ramificações.

Em mapas conceituais, pode surgir uma palavra central com a função de ligar essas ramificações (como o título do capítulo, por exemplo) e setas compridas para relacionar palavras-chave que estão distantes.

Após a primeira montagem do mapa conceitual, analise se é possível melhorá-lo, por exemplo, alterando a disposição de algumas palavras-chave, retirando partes menos importantes, encurtando proposições e fazendo relações cruzadas.

Verificar o que aprendeu

1. Avalie seu nível de compreensão dos assuntos apresentados no capítulo utilizando a escala:

- Entendi completamente.
- Entendi a maior parte, mas alguns itens estão confusos.
- Não entendi a maior parte.
- Não entendi.

2. Avalie suas habilidades para:

- resolver os problemas.
- relacionar o conteúdo do capítulo com situações do cotidiano.
- organizar graficamente os assuntos tratados.
- identificar conexões entre os assuntos.

Veja respostas e comentários no Suplemento para o professor.

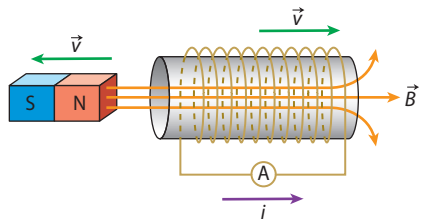
Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Atividades finais

Registre as respostas em seu caderno.

1. **(Enem)** O funcionamento dos geradores de usinas elétricas baseia-se no fenômeno da indução eletromagnética, descoberto por Michael Faraday no século XIX. Pode-se observar esse fenômeno ao se movimentar um ímã e uma espira em sentidos opostos com módulo da velocidade igual a *v*, induzindo uma corrente elétrica de intensidade *i*, como ilustrado na figura.

1. a



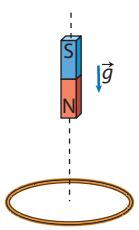
NELSON MATSUDA/ARQUIVO DA EDITORA

A fim de se obter uma corrente elétrica com o mesmo sentido da apresentada na figura, utilizando os mesmos materiais, outra possibilidade é mover a espira para a

a. a esquerda e o ímã para a direita com polaridade invertida.
b. direita e o ímã para a esquerda com polaridade invertida.
c. esquerda e o ímã para a esquerda com mesma polaridade.
d. direita e manter o ímã em repouso com polaridade invertida.
e. esquerda e manter o ímã em repouso com mesma polaridade.

2. Um ímã é abandonado a partir do repouso e cai verticalmente, sob ação da gravidade, passando pelo centro de uma espira metálica, posicionada horizontalmente, como mostra a figura.

2. e



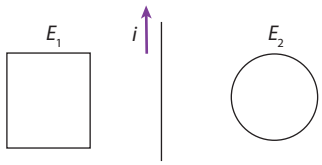
NELSON MATSUDA/ ARQUIVO DA EDITORA

Pode-se afirmar que, na espira, a corrente elétrica:

a. é sempre nula.
b. existe somente quando o ímã se aproxima da espira.

c. existe somente quando o ímã está dentro da espira.
d. existe somente quando o ímã se afasta da espira.
e. existe quando o ímã se aproxima e quando se afasta da espira.

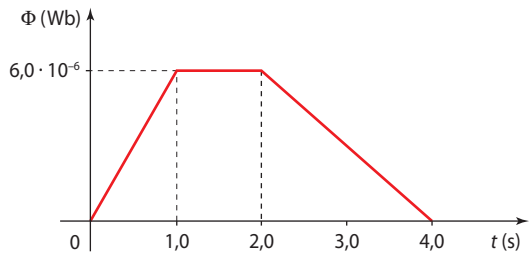
3. Observe a figura, que mostra um condutor retilíneo e longo percorrido por uma corrente elétrica cuja intensidade i varia com o tempo de acordo com a função horária $i = 0{,}5 \cdot t$, com i em A e t em s. Tal condutor está colocado no mesmo plano onde repousam as espiras E_1 e E_2.



Determine o sentido da corrente elétrica induzida em cada uma das espiras.

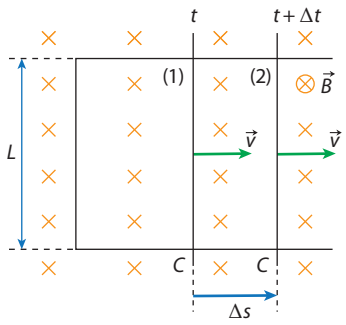
4. O fluxo magnético na superfície de uma espira varia com o tempo conforme mostra o gráfico.

ILUSTRAÇÕES: NELSON MATSUDA/ ARQUIVO DA EDITORA



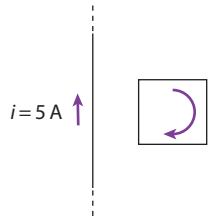
Determine o módulo da força eletromotriz média induzida nos intervalos de tempo:
a. de 0 a 1,0 s;
b. de 1,0 s a 2,0 s;
c. de 2,0 s a 4,0 s.

5. O condutor AC de comprimento L desloca-se com velocidade constante $\vec{v}$. No instante t, ele passa pela posição 1 e, no instante $t + \Delta t$, pela posição 2.



Sabe-se que o conjunto está imerso em um campo magnético uniforme de intensidade B, conforme indica a figura.
a. Qual é o módulo da força eletromotriz média induzida na espira nesse intervalo de tempo? Dê a resposta em função de B, L e v.
b. Considerando que a resistência total da espira é igual a R, qual é a intensidade média e o sentido da corrente elétrica que circula na espira no intervalo de tempo considerado?

6. **(UFSM–RS)** Na figura, o fio retilíneo e a espira condutora estão no plano horizontal.
6. e



NELSON MATSUDA/ARQUIVO DA EDITORA

A corrente induzida na espira tem sentido horário quando ela:
a. fica em repouso.
b. é deslocada para cima, paralelamente ao fio.
c. é deslocada para baixo, paralelamente ao fio.
d. é deslocada para a esquerda, na horizontal.
e. é deslocada para a direita, na horizontal.

7. Tem-se um transformador ideal. Ao primário é aplicada uma tensão alternada de valor eficaz 220 V, sendo de 3,0 A a intensidade da corrente eficaz que o atravessa. No secundário, constata-se uma tensão eficaz de 120 V. Qual é a intensidade da corrente eficaz que atravessa o secundário?

8. Um detector de metais manual consta de uma bobina e de um medidor de campo magnético. A corrente elétrica que percorre a bobina origina um campo magnético denominado campo de referência. Se aproximamos o detector de um objeto e ele acusa uma alteração no valor do campo magnético de referência, concluímos que o objeto é metálico. Explique como funciona o detector de metais.

9. **(Enem)** O manual de funcionamento de um captador de guitarra elétrica apresenta o seguinte texto:
9. c

> Esse captador comum consiste de uma bobina, fios condutores enrolados em torno de um ímã permanente. O campo magnético do ímã induz o ordenamento dos polos magnéticos na corda da guitarra, que está próxima a ele. Assim, quando a corda é tocada, as oscilações produzem variações, com o mesmo padrão, no fluxo magnético que atravessa a bobina. Isso induz uma corrente elétrica na bobina, que é transmitida até o amplificador e, daí, para o alto-falante.

Um guitarrista trocou as cordas originais de sua guitarra, que eram feitas de aço, por outras feitas de náilon. Com o uso dessas cordas, o amplificador ligado ao instrumento não emitia mais som, porque a corda de náilon:
a. isola a passagem de corrente elétrica da bobina para o alto-falante.
b. varia seu comprimento mais intensamente do que ocorre com o aço.
c. apresenta uma magnetização desprezível sob a ação do ímã permanente.
d. induz correntes elétricas na bobina mais intensas que a capacidade do captador.
e. oscila com uma frequência menor do que a que pode ser percebida pelo captador.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

CAPÍTULO 21

Ondas eletromagnéticas

RUPERT SAGAR-MUSGRAVE/ALAMY/FOTOARENA

Com a tecnologia do radiotelescópio do Institut de Radioastronomie Millimétrique (IRAM), localizado na Espanha, cientistas identificaram a molécula formamida (NH_2CHO) em uma estrela em formação à distância de 800 anos-luz da Terra. A molécula é um composto orgânico essencial a organismos vivos para a síntese de aminoácidos e proteínas.

O ponto alto da teoria eletromagnética no século XIX foi a previsão teórica e a comprovação experimental de que campos eletromagnéticos oscilantes podem se propagar pelo espaço. Isso abriu possibilidades inteiramente novas na área das comunicações: primeiramente, com o telégrafo sem fio; a seguir, com o rádio; e, posteriormente, com a televisão. Hoje em dia, ondas dessa natureza provenientes dos confins do Universo são captadas por imensos radiotelescópios e usadas para analisar os corpos celestes. Da mesma forma, ondas eletromagnéticas geradas por nós aqui na Terra propagam-se para todos os cantos do Universo. Aparelhos de telefonia móvel celular, os fornos de micro-ondas domésticos, os diversos tipos de telescópios e muitos outros aparelhos e instrumentos científicos operam por meio dos diversos tipos de radiações eletromagnéticas.

A discussão sobre a existência de vida extraterrestre permeou diversas culturas, atravessou milênios e permitiu o desenvolvimento de diferentes visões do Universo por pensadores, filósofos, teólogos, escritores e cientistas, que seguem debatendo o assunto até hoje.

Uma das maneiras de pesquisar a existência de vida fora da Terra é analisar moléculas e elementos químicos encontrados em ambientes espaciais. Ainda não temos tecnologia para realizar missões espaciais que possam retornar à Terra com amostras biológicas e bioquímicas de outros planetas, e, por essa razão, a busca é feita de forma indireta, por meio das bioassinaturas, que são sinais indicadores da possibilidade de vida, como as moléculas remanescentes do metabolismo de organismos vivos. A procura dessas bioassinaturas é feita, principalmente, por meio de sinais detectados nas frequências das ondas de rádio e do infravermelho.

Neste capítulo, vamos aprofundar o estudo de conceitos como as ondas eletromagnéticas, o espectro eletromagnético e as tecnologias, que permitem a exploração de atividades terrestres e extraterrestres por meio de ondas eletromagnéticas.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

1. Introdução

Desde o início do século XIX, em virtude dos fenômenos de interferência, dispersão e polarização, já se sabia que a luz era uma manifestação ondulatória, suspeitava-se de que, de algum modo, a luz estivesse ligada à eletricidade e ao magnetismo, porém não havia uma teoria que explicasse essa relação. Um dos fenômenos eletromagnéticos mais importantes e conhecidos, a indução eletromagnética, foi descoberto e estudado, quase simultaneamente, por Michael Faraday e Joseph Henry por volta de 1830, embora ambos trabalhassem independentemente. Esse fenômeno é a base de quase toda a tecnologia eletroeletrônica da qual desfrutamos diariamente. Motores elétricos, alternadores elétricos e transformadores elétricos são exemplos de aplicações práticas da indução eletromagnética.

Apesar da significativa contribuição de cientistas como Hans Orsted, André Ampère e Michael Faraday para o desenvolvimento da eletricidade e do magnetismo, suas descobertas formavam um conjunto de fatos isolados, destituídos de uma base teórica que os explicasse. Entre 1861 e 1868, o físico e matemático escocês James C. Maxwell (1831-1879) organizou esses conhecimentos, sintetizando-os em um conjunto de quatro equações, hoje denominadas equações de Maxwell. Essas equações são parte de uma teoria completa publicada em 1865 pela *Royal Society of London* no livro *Uma teoria dinâmica do campo eletromagnético*, na qual Maxwell demonstra a interdependência dos campos elétricos e magnéticos variáveis, bem como a existência das ondas eletromagnéticas.

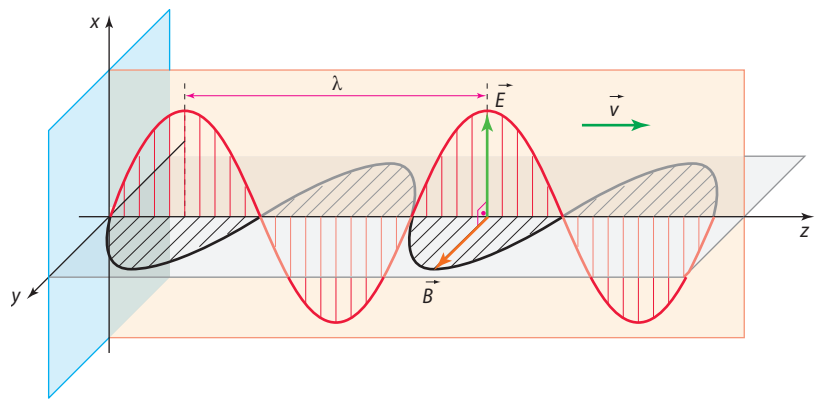
Em 1887, Heinrich Hertz (1857-1894) comprovou experimentalmente a propagação de campos elétricos e magnéticos pelo espaço, prevista teoricamente por James C. Maxwell mais de vinte anos antes. Na época, essas ondas foram denominadas ondas hertzianas. Essa descoberta abriu possibilidades inteiramente novas nas comunicações: o telégrafo sem fio, o rádio e, bem depois, a televisão. Hoje em dia, ondas dessa natureza são denominadas ondas eletromagnéticas e são detectadas aqui na Terra vindas praticamente de todos os pontos do Universo.

O radiotelescópio chinês FAST (*Five-hundred-meter Aperture Spherical radio Telescope*), na província de Guìzhōu Shěng, tem 500 metros de diâmetro e capta ondas eletromagnéticas na faixa das radiofrequências. Já o telescópio espacial James Webb, lançado em 2021, capta imagens dos confins do Universo na faixa espectral do infravermelho.

Quando geradas na Terra, as ondas eletromagnéticas podem transmitir informações, como na telefonia, e são largamente aplicadas na Medicina em tratamentos com *laser*, nas imagens tomográficas e nos exames de ressonância magnética nuclear.

2. Características das ondas eletromagnéticas

A partir das suas quatro equações, Maxwell elaborou uma hipótese inovadora e ousada para a Física da época: campos magnéticos oscilantes geram campos elétricos oscilantes, esses mesmos campos elétricos oscilantes geram campos magnéticos oscilantes, que, por sua vez, continuam a gerar campos elétricos oscilantes, e assim sucessivamente. Maxwell demonstrou que essa sucessão de campos elétricos e magnéticos oscilantes se propaga pelo espaço, inclusive no vácuo, obedecendo a uma equação semelhante às equações das ondas mecânicas e apresentando propriedades típicas de ondas como reflexão, refração, polarização e interferência. Maxwell denominou a propagação desses campos oscilantes **ondas eletromagnéticas**. A figura a seguir (Fig. 1) mostra o modelo de Maxwell para a propagação dessas ondas.



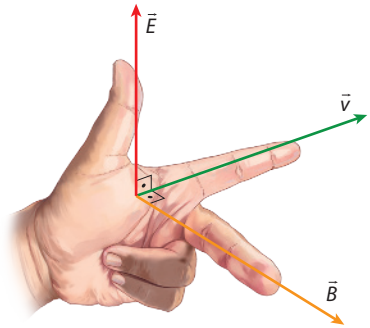
ADILSON SECCO/ARQUIVO DA EDITORA

Fonte: elaborado com base em HEWITT, P. G. **Física conceitual**. 13. ed. Porto Alegre: Bookman, 2022.

Figura 1. Modelo da propagação das ondas eletromagnéticas de Maxwell. Os vetores $\vec{E}$ e $\vec{B}$ são ortogonais entre si, e a propagação se dá em uma direção perpendicular ao plano determinado por esses vetores.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Nesse modelo, os vetores $\vec{E}$ e $\vec{B}$ são ortogonais entre si, e a propagação da onda se dá em uma direção perpendicular ao plano determinado por esses vetores. Essa configuração qualifica as ondas eletromagnéticas como transversais. Os campos elétrico e magnético oscilam em fase, isto é, as intensidades de $\vec{E}$ e $\vec{B}$ atingem valores máximos e mínimos simultaneamente. Os três vetores $\vec{E}$, $\vec{B}$ e $\vec{v}$ formam no espaço um triedro triortogonal, isto é, são vetores mutuamente perpendiculares entre si. Há uma regra prática, conhecida como regra da mão esquerda (Fig. 2), para se determinar os sentidos dos vetores $\vec{E}$, $\vec{B}$ e $\vec{v}$ em qualquer instante.



NELSON MATSUDA/ARQUIVO DA EDITORA

Figura 2. Regra prática para se determinarem os sentidos dos vetores $\vec{E}$, $\vec{B}$ e $\vec{v}$ no modelo de Maxwell.

Como para qualquer outra onda, a equação fundamental da propagação ondulatória vale também para as ondas eletromagnéticas:

$$v = \lambda \cdot f$$

que relaciona a velocidade de propagação (v), a frequência (f) e o comprimento de onda (λ).

A teoria de Maxwell também demonstrou que a razão entre as intensidades dos campos $\vec{E}$ e $\vec{B}$, em determinado ponto do meio, em qualquer instante, é a velocidade de propagação dessas ondas:

$$v = \frac{E}{B}$$

Se essas ondas se propagarem no vácuo, a velocidade v será igual à velocidade de propagação da luz no vácuo (c), já conhecida nos tempos de Maxwell. Desde 1983, considera-se a velocidade de propagação da luz no vácuo uma constante física universal com valor exato 299.792.458 m/s, representado pelo símbolo c. Para fins de simplificação nos cálculos, esse valor costuma ser aproximado para $c = 3{,}0 \cdot 10^8$ m/s.

Com base em suas deduções, Maxwell unificou eletricidade, magnetismo e óptica em um conceito mais amplo que denominou **eletromagnetismo**.

O exemplo a seguir aplica quantitativamente os conceitos estudados até aqui.

Exercício resolvido

Considere uma onda luminosa cujo comprimento de onda, no vácuo, é de 600 nm. A intensidade máxima do campo elétrico dessa onda é de $9 \cdot 10^{-4}$ V/m.

Adote $3{,}0 \cdot 10^8$ m/s para a velocidade de propagação da luz no vácuo.

Determine para essa onda:

a. a sua frequência, em Hz;

b. a intensidade máxima do campo magnético oscilante.

Resolução

Como a onda luminosa se propaga no vácuo, podemos concluir que sua velocidade de propagação é de $3 \cdot 10^8$ m/s.

Vamos, então, aplicar as relações entre v, λ e f e, depois, entre v, E e B.

a. Pela equação fundamental da propagação ondulatória, temos:

$$v = \lambda \cdot f \Rightarrow 3 \cdot 10^8 = 600 \cdot 10^{-9} \cdot f \therefore f = 5 \cdot 10^{14}\ \text{Hz}$$

b. Para qualquer onda eletromagnética, sabemos que $\frac{E}{B} = v$. Então:

$$\frac{9 \cdot 10^{-4}}{B} = 3 \cdot 10^8 \Rightarrow B = \frac{9 \cdot 10^{-4}}{3 \cdot 10^8}$$

$$\therefore B = 3 \cdot 10^{-12}\ \text{T} = 3\ \text{pT}$$

Veja respostas e comentários no Suplemento para o professor.

Aplicando conhecimentos

Registre as respostas em seu caderno.

Salvo orientação contrária, considere $3{,}0 \cdot 10^8$ m/s a velocidade de propagação da luz no vácuo e no ar.

1. Durante as missões Apollo, os astronautas se comunicavam com a base na Terra, em Houston, no Texas, por meio de ondas de rádio. Sabe-se que as ondas de rádio são ondas eletromagnéticas que se propagam, no vácuo, com velocidade de 300.000 km/s e que a distância da superfície da Terra à superfície da Lua é de aproximadamente 371.890 km. Qual era o intervalo de tempo médio entre a emissão de um sinal de rádio por Houston e sua recepção por um astronauta na Lua?

2. Uma radiação eletromagnética com frequência de 120 MHz propaga-se nas proximidades da superfície terrestre, com velocidade de $3{,}0 \cdot 10^8$ m/s, no sentido de oeste para leste. A amplitude $B_{máx}$ do campo magnético oscilante dessa onda é igual a $7 \cdot 10^{-9}$ T e, em um dado instante, tem sentido do norte para o sul. Determine para essa onda, nesse instante:

a. seu comprimento de onda;

b. a frequência f de oscilação do campo elétrico induzido;

c. a intensidade, a direção e o sentido da amplitude $E_{máx}$ do campo elétrico.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

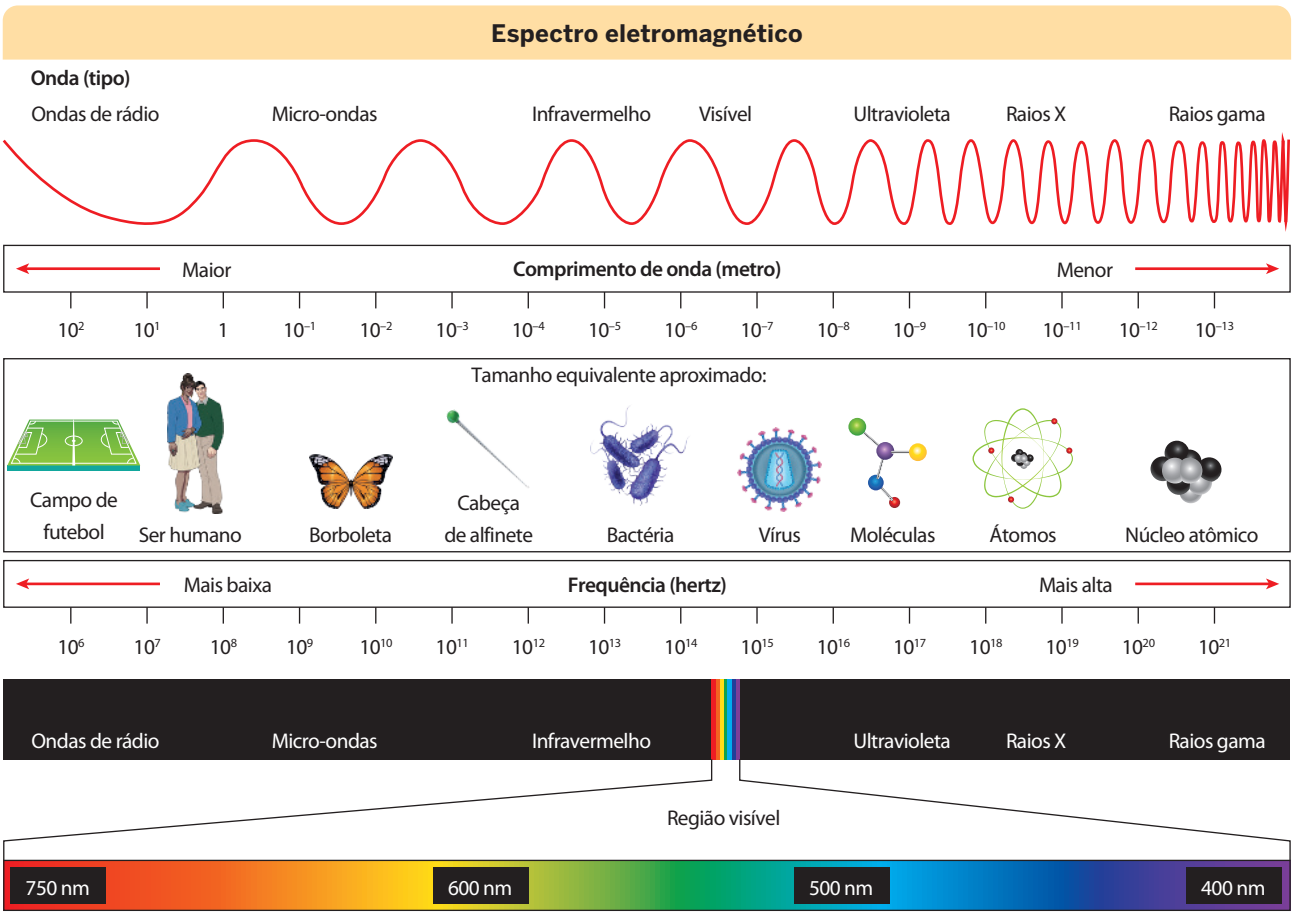
3. Espectro eletromagnético

Em 1801, o físico e médico inglês Thomas Young (1773-1829) já havia obtido provas convincentes de que a luz se comportava como uma onda, mas ninguém sabia como era esse tipo de onda e o que oscila em uma onda luminosa. Durante a primeira década do século XIX, Thomas Young já havia determinado que os comprimentos de onda das radiações visíveis estavam situados entre 400 nm (violeta) e 750 nm (vermelho). Portanto, podemos classificar as radiações visíveis como ondas eletromagnéticas cujas frequências estão situadas na estreita faixa entre $4{,}0 \cdot 10^{14}$ Hz (vermelho) e $7{,}5 \cdot 10^{14}$ Hz (violeta), aproximadamente.

Em 1887, Hertz gerou e detectou experimentalmente ondas eletromagnéticas de vários comprimentos de onda, porém não visíveis. Hertz demonstrou mais tarde que essas ondas se propagavam com velocidade igual à velocidade de propagação da luz no vácuo e tinham todas as características semelhantes às da luz, incluindo a reflexão, a refração e a interferência, porém invisíveis. Essas ondas, por muito tempo denominadas ondas hertzianas, foram a grande confirmação das previsões de Maxwell e são hoje conhecidas como ondas de rádio, por serem usadas para transmitir sinais de rádio, TV e telefonia.

As ondas de rádio e as ondas luminosas são apenas dois componentes de um amplo conjunto de radiações eletromagnéticas, denominado **espectro eletromagnético**.

A figura a seguir (Fig. 3) mostra as ondas eletromagnéticas organizadas segundo seus comprimentos de onda e suas frequências.



Fonte: elaborada com base em HEWITT, P. G. **Física conceitual**. 13. ed. Porto Alegre: Bookman, 2022.
Figura 3. Comprimentos de onda, frequências e dimensões comparativas do espectro eletromagnético. (Representação fora de proporção; cores meramente ilustrativas.)

As faixas não têm limites bem definidos; há sobreposições. Os nomes são dados de acordo com o modo como as ondas foram geradas ou segundo suas aplicações.

A seguir, vamos analisar, um pouco mais detalhadamente, cada tipo de onda eletromagnética, destacando seus aspectos mais relevantes.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.
NELSON MATSUDA/ARQUIVO DA EDITORA

Ondas de rádio

As ondas de rádio podem ser geradas pelo movimento oscilatório de elétrons, como o que ocorre em uma antena transmissora submetida a uma corrente elétrica alternante. Ondas de rádio são usadas para comunicação entre dois pontos não conectados fisicamente. A comunicação se baseia na transmissão das ondas eletromagnéticas a partir de uma antena transmissora e sua posterior captação por uma antena receptora. Quando as ondas são captadas, uma pequena força eletromotriz é induzida no circuito da antena receptora devido à variação do campo magnético. A força eletromotriz induzida é, então, amplificada, e as informações originais, contidas nas ondas de rádio, são recuperadas, decodificadas e apresentadas de uma maneira que possa ser entendida, seja na forma de som, em um rádio, ou de imagem, em uma tela de TV. Como vimos, Hertz produziu ondas de rádio em 1887, mas seu uso em comunicações a longa distância só foi proposto pelo engenheiro eletricista italiano Guglielmo Marconi (1874-1937), que, entre 1894 e 1896, patenteou o telégrafo sem fio. Marconi transmitiu a primeira mensagem telegráfica através do Canal da Mancha em 1899, e, em dezembro de 1901, o telégrafo sem fio foi usado para uma transmissão experimental transatlântica por código Morse da Inglaterra para o Canadá.

As ondas com frequências entre 10 kHz e 10 MHz são refletidas nas camadas superiores da atmosfera terrestre (ionosfera), podendo, assim, ser captadas a distâncias consideráveis da estação transmissora. No entanto, aquelas com frequências acima de 100 MHz são absorvidas pela ionosfera e, devido à curvatura da Terra, requerem o uso de estações repetidoras ou de satélites para serem captadas a grandes distâncias da estação transmissora. No Brasil, a atribuição, a destinação e a distribuição das faixas de frequência são regulamentadas pela Agência Nacional de Telecomunicações (Anatel). Algumas dessas faixas são dedicadas às tecnologias *wireless* (sem fio) e usadas, por exemplo, em aviões, controles remotos, sistemas de alarme, telefones sem fio e babás eletrônicas. Na Medicina, ondas de rádio são utilizadas por cirurgiões em alguns tipos de bisturis, para intervenção em tumores, por exemplo, e por fisioterapeutas em equipamentos de terapia analgésica.

Micro-ondas

As micro-ondas, cujos comprimentos de onda estão entre 30 centímetros e 1,0 milímetro, também são usadas em telecomunicações e são geradas em válvulas eletrônicas especiais. No campo das telecomunicações, são empregadas para carregar informações de sistemas de telefonia e de televisão.

A vantagem na utilização das micro-ondas é que transportam mais informações que as ondas de rádio, por terem maior frequência, uma vez que a quantidade de informações transmitidas é proporcional à frequência. A grande desvantagem das micro-ondas é que o sinal não sofre reflexão na atmosfera, e, por esse motivo, elas não podem ser captadas além da linha do horizonte. A transmissão de micro-ondas a grandes distâncias requer a construção de uma rede de antenas receptoras, posicionadas em locais altos e separadas por, no máximo, 40 km, ou o uso de satélites de comunicação que funcionem como estações repetidoras.

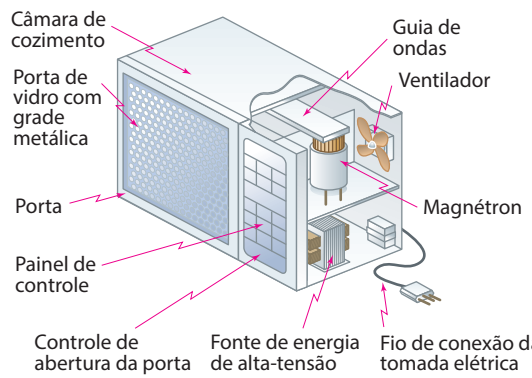
Atividade em grupo

A evolução de tecnologias de comunicação e processamento de informações, como rádio, televisão, computadores e telefones, teve um enorme impacto na sociedade. Divididos em grupos, escolham uma dessas tecnologias, e pesquisem sobre sua invenção e evolução até os dias atuais.

O grupo pode apresentar suas descobertas à turma utilizando vídeos e/ou *slides*. Após as apresentações, discutam com os colegas como essas inovações moldam o comportamento social humano e quais são as possíveis evoluções futuras dessas tecnologias.

Em um forno de micro-ondas (Fig. 4), a radiação é produzida pelo magnétron e direcionada para uma guia de ondas que as remete para a câmara de cozimento. A câmara de cozimento tem paredes metálicas que refletem as micro-ondas continuamente, de maneira que essas permanecem no interior da câmara até serem absorvidas pelo alimento em preparação. A porta de vidro do forno é permeada por uma grade metálica que age também como refletor das micro-ondas.

Na câmara de cozimento de um forno de micro-ondas, a flutuação do campo elétrico é adequada para o aquecimento da água. O forno de micro-ondas opera com uma frequência específica de radiação, que não é usada em comunicações, para alterar a orientação das moléculas de água bilhões de vezes a cada segundo.



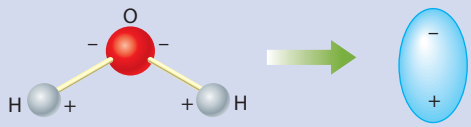
ADILSON SECCO/ARQUIVO DA EDITORA

Figura 4. Representação das partes de um forno de micro-ondas. (Representação fora de proporção; cores meramente ilustrativas.)

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

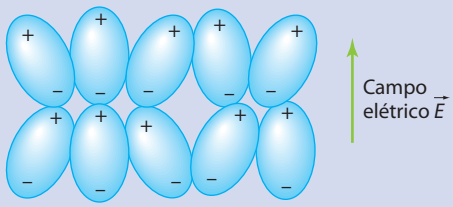
Dialogando com o texto

Para entender como um forno de micro-ondas pode cozinhar ou descongelar um alimento, devemos lembrar que a molécula de água é polarizada, ou seja, tem uma região eletrizada negativamente e outra região eletrizada positivamente. A água apresenta esse comportamento por causa da disposição dos átomos que constituem sua molécula: as duas ligações químicas covalentes (de compartilhamento de elétrons) entre o átomo de oxigênio e cada átomo de hidrogênio da molécula formam um ângulo de 104,5°, e a molécula é angular. Assim, o átomo de oxigênio, devido à sua maior eletronegatividade, tende a atrair elétrons dos átomos de hidrogênio. O modelo mostrado a seguir retrata a polarização da molécula de água e sua representação simplificada.



(Representação fora de proporção; cores meramente ilustrativas.)

Se a água for colocada na presença de um campo elétrico intenso, suas moléculas tendem a girar e se alinhar com o campo. Esse alinhamento das moléculas pode ser entendido a partir da força elétrica que atua em cada região da molécula: na região positivamente eletrizada, a força elétrica age no mesmo sentido do campo elétrico, e, na região negativamente eletrizada, a força elétrica age em sentido oposto ao do campo elétrico. O esquema a seguir mostra a orientação das moléculas de água quando na presença de um campo elétrico.



(Representação fora de proporção; cores meramente ilustrativas.)

Quando gira em virtude da presença do campo elétrico, a molécula de água atrita com outras e converte parte de sua energia potencial eletrostática em energia térmica, ou seja, na presença de um campo elétrico, as moléculas de água passam a apresentar um "grau de agitação" maior. Em outras palavras, a temperatura da água aumenta.

Um prato de porcelana, vidro ou plástico não contém moléculas de água na sua estrutura e, por esse motivo, mesmo com o forno em funcionamento, não se aquece pelo processo descrito. Em duplas, expliquem por que o prato que contém um alimento que foi aquecido no forno de micro-ondas também fica quente.

ILUSTRAÇÕES: ADILSON SECCO/ARQUIVO DA EDITORA

EDUCAÇÃO MIDIÁTICA

Diversidade e estereótipos na mídia e na inteligência artificial

A matemática estadunidense Gladys West (1930-) é considerada uma das responsáveis pelo desenvolvimento, na década de 1980, do Sistema de Posicionamento Global, da sigla em inglês GPS. Você pode achar comum, hoje em dia, usar mapas digitais no celular para saber sua posição, quanto tempo demora para chegar a um destino e o melhor meio de transporte, mas tudo isso era algo impensável antes do GPS.

West é uma mulher negra e de origem pobre. Embora nada disso possibilite julgar sua competência como cientista, ela teve de enfrentar preconceitos de gênero, raça e classe social em sua carreira profissional.

U.S. NAVY/CC0/WIKIMEDIA FOUNDATION

Gladys West examinando dados do GPS com seu colega de equipe Sam Smith, em 1985.

1. Em duplas, analisem a fotografia e respondam.

a. O que é possível dizer sobre o ambiente de trabalho de Gladys a partir de sua vestimenta?

b. Como aparenta ser a relação hierárquica de trabalho entre Gladys e Sam?

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

CONTINUA

Mensagens na mídia

Uma forma de promover uma sociedade mais justa é fazer com que todas as pessoas se sintam representadas e percebam que são parte importante da estrutura social, perante direitos universais. A mídia tem um papel relevante nesse esforço pela representatividade por meio das mensagens que dissemina. É possível comunicar empoderamento, assim como é possível reforçar estereótipos. Apresentar, em uma fotografia, uma mulher negra discutindo dados de pesquisa com seus colegas colabora para a quebra de estereótipos e estigmas que associam gênero, raça e carreira profissional.

2. Em grupos de 4 a 5 estudantes, escolham um jornal da sua região para analisarem como as pessoas estão representadas em 2 ou 3 imagens. Cada membro do grupo deve expor sua opinião sobre as mensagens que esse veículo de comunicação transmite nessas imagens em termos de estereótipos ou de empoderamento de pessoas, com base nas características elencadas a seguir.

Imagens que contribuem para empoderamento: pessoa valorizada pelo que ela é ou faz; pessoa que escolhe como agir ou de que forma interagir (por exemplo: um homem que cuida de seus filhos).

Imagens que reforçam estereótipos: pessoa com superexposição do corpo e exploração apelativa de sensualidade; enredo que reproduz uma atitude machista (por exemplo: homens em cargos de direção e mulheres cuidando de crianças); padrões comportamentais ou estéticos geralmente ideais ou inalcançáveis.

A inteligência artificial (IA) e a reprodução de estereótipos

Com base em dados e algoritmos que são fornecidos por pessoas, a inteligência artificial é alimentada como se imitasse a inteligência humana. Portanto, determinados preconceitos podem ser reproduzidos na IA, uma vez que ela não distingue dados objetivos (como números) de dados subjetivos (como imagens que podem representar estereótipos). Esses dados são chamados de dados de aprendizagem da IA.

> Em tribunais nos EUA, já existem juízes usando sistemas inteligentes [...] para auxiliar na tomada de decisão sobre liberdade condicional. O sistema inteligente aprende a sugerir a partir da base de casos de reincidência ao crime. Porém isso só reforça o preconceito estrutural que acaba prendendo mais negros que brancos, portanto, a base terá mais dados relacionando negros a crimes do que brancos. Preocupadas, associações de direitos humanos vêm denunciando os vieses raciais que estão aparecendo.

Fonte: GARCIA, Ana Cristina B. Ética e Inteligência Artificial. **Computação Brasil**, Porto Alegre, n. 43, p. 14-22, 2020. Disponível em: https://journals-sol.sbc.org.br/index.php/comp-br/article/view/1791. Acesso em: 22 out. 2024.

Com a disponibilidade cada vez maior de IA para geração de textos, imagens e vídeos, é fundamental que seus sistemas de dados não reproduzam ideias preconceituosas. Uma das maneiras de os desenvolvedores de IA minimizarem possíveis distorções é garantir um enorme volume de dados de aprendizagem, monitorando, contínua e rigorosamente, o que a IA gera a partir de diretrizes éticas bem estabelecidas.

3. Discuta com seus colegas como vocês acham que uma equipe de desenvolvedores diversa em termos de gênero, etnia/raça, formação acadêmica e condição econômica pode influenciar o reconhecimento de estereótipos no monitoramento de uma IA.

4. O que um usuário de IA pode fazer para se certificar de que não está recebendo dela informações, textuais ou imagéticas, preconceituosas?

Veja respostas e comentários no Suplemento para o professor.

Aplicando conhecimentos

Registre as respostas em seu caderno.

Salvo indicação contrária, adote $3{,}0 \cdot 10^8$ m/s para a velocidade de propagação da luz no vácuo e no ar.

3. Um aparelho de rádio é sintonizado em uma emissora de AM na frequência 980 kHz e, logo após, sintoniza uma emissora de FM na frequência 98 MHz. Compare os comprimentos λ_{AM} e λ_{FM} das ondas emitidas por essas emissoras.

4. O aquecimento dos alimentos em um forno de micro-ondas é provocado pela absorção de energia por alguns tipos de moléculas, especialmente as moléculas de água, gorduras e açúcares, pelo fenômeno da ressonância. A frequência das micro-ondas utilizadas nesses fornos é de 2,45 GHz. Considere que a velocidade de propagação das micro-ondas é $3 \cdot 10^8$ m/s.

a. Qual é o comprimento de ondas dessas micro-ondas?

b. Por que os fabricantes de fornos de micro-ondas aconselham os usuários a não colocar objetos metálicos no interior do forno durante seu funcionamento?

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Luz (espectro visível)

Damos o nome de luz a um conjunto de radiações eletromagnéticas que, ao penetrarem em nossos olhos, podem sensibilizar a retina e estimular neurologicamente nosso sentido da visão. Essas radiações, como qualquer outra radiação eletromagnética, são originadas por cargas elétricas aceleradas. Os elétrons presentes nos átomos que formam a matéria absorvem energia e passam a ocupar níveis energéticos mais altos. Quando esses elétrons retornam aos níveis energéticos originais, a energia que haviam recebido é devolvida ao meio na forma de luz, capaz de impressionar nossas retinas.

A teoria ondulatória da luz foi proposta em 1687 pelo físico e astrônomo holandês Christiaan Huygens (1629-1695). Em 1801, o físico inglês Thomas Young realizou experimentos que reforçaram essa teoria. Os comprimentos das radiações visíveis, por ele determinados, colocaram essas radiações do espectro eletromagnético na faixa entre 400 nm e 750 nm. Considerando $3{,}0 \cdot 10^8$ m/s a velocidade de propagação da luz no vácuo, concluímos que as respectivas frequências para essas radiações estão no intervalo entre $7{,}5 \cdot 10^{14}$ Hz e $4{,}0 \cdot 10^{14}$ Hz. A sensação visual de cor que a luz provoca nos seres humanos está relacionada ao comprimento de onda da radiação ou, o que é equivalente, à sua frequência. Assim, ondas luminosas com comprimentos de onda diferentes provocam sensações visuais com cores diferentes. A luz de maior comprimento de onda, ou menor frequência, provoca a sensação visual do vermelho, e a luz de menor comprimento de onda, ou maior frequência, provoca a sensação visual do violeta. Entre esses extremos, as frequências das radiações visíveis variam de modo contínuo.

O diagrama a seguir (Fig. 5) mostra os intervalos de comprimentos de onda e de frequências em cada uma das sete regiões do espectro visível (luz). A luz solar branca resulta da superposição das infinitas cores do espectro visível, e isso pode ser evidenciado quando um feixe de luz solar atravessa um prisma de vidro. A decomposição da luz branca, denominada **dispersão**, é explicada pela diferença na velocidade de propagação nos meios materiais de cada radiação componente da luz branca: a velocidade de propagação nos materiais aumenta do violeta para o vermelho. Assim, temos:

$$v_{violeta} < v_{anil} < v_{azul} < v_{verde} < v_{amarelo} < v_{laranja} < v_{vermelho}$$

Como a velocidade de propagação tem valores diferentes para as diferentes cores, os correspondentes valores do índice de refração do material também são diferentes para cada cor, fazendo cada radiação refratar-se com um ângulo diferente, de acordo com a lei de Snell-Descartes.

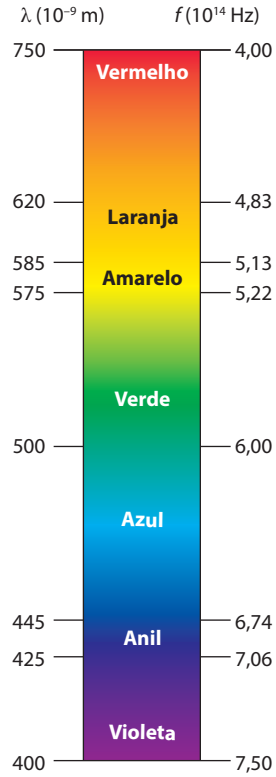


Figura 5. Diagrama do espectro visível. Observe que a faixa de luz visível (com frequências entre $4{,}00 \cdot 10^{14}$ Hz e $7{,}50 \cdot 10^{14}$ Hz) ocupa uma porção extremamente estreita no espectro eletromagnético.

ADILSON SECCO/ARQUIVO DA EDITORA

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Infravermelho

As radiações eletromagnéticas com frequências logo abaixo da frequência da luz vermelha são denominadas radiações **infravermelhas**. Essas radiações têm comprimentos de onda que variam desde ~ 1 μm (1 milionésimo de metro) até ~ 1.000 μm $= 1$ mm. Esses limites não são muito bem delimitados, porque as características da radiação variam nas proximidades dos extremos do intervalo. A descoberta da radiação infravermelha é atribuída ao astrônomo inglês Friedrich William Herschel (1738-1822). No final de 1799, ele começou a estudar a dispersão da luz solar em filtros coloridos e observou que alguns filtros ficavam mais quentes que outros, o que o levou a questionar se algumas cores provocariam maior aquecimento que outras. Usando um grande prisma, Herschel projetou em uma parede as radiações visíveis do espectro solar e, após medir a temperatura em cada faixa do espectro visível, notou que a temperatura aumentava à medida que o termômetro era deslocado da luz violeta para a luz vermelha. Herschel resolveu, então, colocar um termômetro no espaço escuro bem ao lado da faixa vermelha. Ao contrário do esperado, o termômetro, que deveria registrar uma temperatura baixa, uma vez que não estava exposto a nenhuma luz, registrou a maior de todas as temperaturas. Ele acabara de descobrir a radiação infravermelha, invisível aos olhos humanos (Fig. 6).

NELSON MATSUDA/ARQUIVO DA EDITORA

Figura 6. Representação do experimento em que Herschel relatou a existência da radiação infravermelha. (Representação fora de proporção; cores meramente ilustrativas.)

Durante várias semanas, Herschel estudou a radiação infravermelha e descobriu que ela se refratava e se refletia como a luz comum. Em 1847, os físicos franceses Armand Fizeau (1819-1896) e Jean Foucault (1819-1868) mostraram que a radiação infravermelha, apesar de invisível, comportava-se como a luz quanto à capacidade de produzir efeitos de interferência. A radiação infravermelha é originada da agitação térmica das partículas que constituem os corpos. Devido a essa agitação, as cargas elétricas dos átomos e moléculas oscilam e emitem radiação eletromagnética, geralmente associada com calor. Nas proximidades de uma fogueira, por exemplo, percebemos a radiação infravermelha como calor porque nossa pele absorve essas ondas eletromagnéticas. Muitos materiais absorvem infravermelho em uma larga faixa de comprimentos de onda, o que provoca um aumento na sua temperatura. Qualquer corpo com temperatura acima do zero absoluto (−273,15 °C) emite radiação infravermelha. Mesmo objetos incandescentes emitem normalmente mais infravermelho que radiação visível; cerca de 60% da radiação emitida pelo Sol, por exemplo, situa-se na faixa do infravermelho.

A emissão de radiação infravermelha pode ser usada para detectar a temperatura de objetos distantes e, por esse motivo, tem muita aplicação na Astronomia. Em laboratórios, a espectroscopia por infravermelho é um importante método para a identificação de substâncias químicas. Fotografias obtidas com infravermelho (termografias) revelam informações que não são detectadas com a luz visível. Um de seus usos, a termografia médica, permite identificar condições patológicas invisíveis a olho nu ou que não podem ser detectadas por raios X. O uso desse método tem se revelado de grande auxílio no diagnóstico de doenças inflamatórias, como artrite e distensões musculares, que provocam aumento de temperatura dos tecidos. O bloqueio de vasos sanguíneos, como na aterosclerose, também pode ser identificado em uma termografia, pois a região mal irrigada torna-se um pouco mais fria e passa a ser facilmente visualizada.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

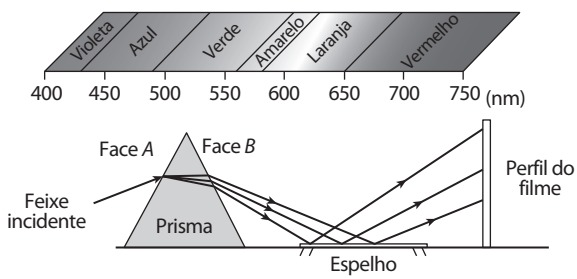
Veja respostas e comentários no Suplemento para o professor.

Aplicando conhecimentos

Registre as respostas em seu caderno.

5. (Enem) A figura representa um prisma óptico, constituído de um material transparente, cujo índice de refração é crescente com a frequência da luz que sobre ele incide. Um feixe luminoso, composto por luzes vermelha, azul e verde, incide na face *A*, emerge na face *B* e, após ser refletido por um espelho, incide em um filme para fotografia colorida, revelando três pontos.

5. a



NELSON MATSUDA/ARQUIVO DA EDITORA

Observando os pontos luminosos revelados no filme, de baixo para cima, constatam-se as seguintes cores:

a. vermelha, verde, azul.
b. verde, vermelha, azul.
c. azul, verde, vermelha.
d. verde, azul, vermelha.
e. azul, vermelha, verde.

6. No ar, o comprimento de onda da luz amarela de sódio é $\lambda_{ar} = 589{,}0$ nm, e a velocidade de propagação dessa radiação é $v_{ar} = 2{,}945 \cdot 10^8$ m/s. Quando essa radiação se propaga em um meio transparente X de índice de refração $n_x = 1{,}25$, relativo ao ar, ela tem uma frequência f_x e um comprimento de onda λ_x. Considere o índice de refração do ar aproximadamente 1,0 e determine para essa radiação, no meio X,

a. a sua frequência f_x, em Hz.
b. o seu comprimento de onda λ_x, em nanometro (nm).

Ultravioleta

A radiação ultravioleta corresponde às ondas eletromagnéticas com comprimentos de onda na faixa entre 4.000 Å e 40 Å (1 Å = 1 ångstrøm = 10^{-10} m). Essa faixa do espectro é ainda dividida em três regiões: UV-A (ultravioleta longo), de 4.000 Å a 3.000 Å; UV-B (ultravioleta médio), de 3.000 Å a 2.000 Å; e UV-C (ultravioleta curto), de 2.000 Å a 40 Å (Fig. 7).

ADILSON SECCO/ ARQUIVO DA EDITORA

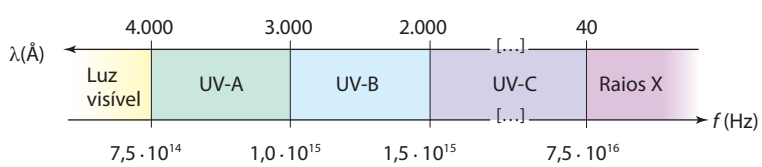
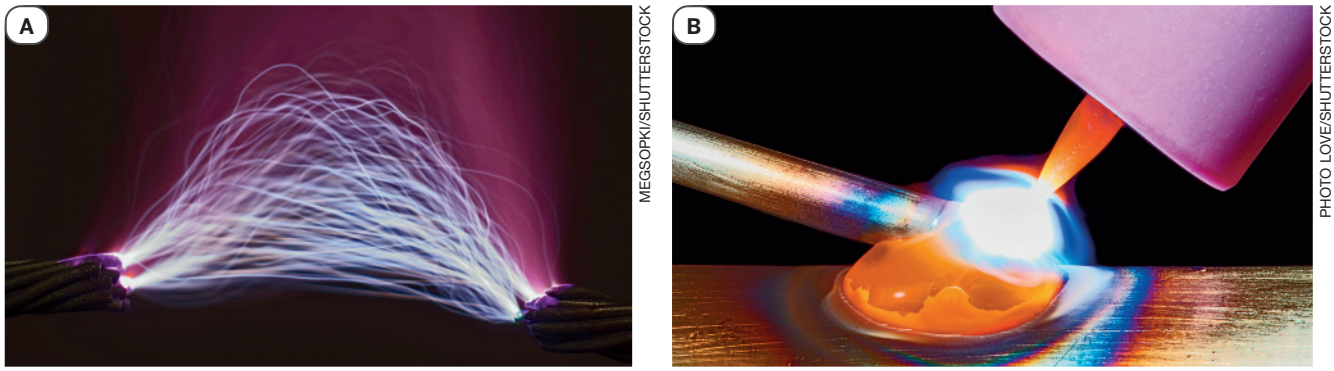


Figura 7. Faixas espectrais das radiações ultravioleta.

Essa faixa do espectro eletromagnético foi descoberta em 1801 pelo físico alemão Johann Wilhelm Ritter (1776-1810). Durante experimentos de fotoquímica, ele observou que o cloreto de prata exposto à luz violeta tornava-se escuro mais rapidamente do que quando exposto a outras radiações da faixa visível do espectro eletromagnético. Concluiu, então, que um tipo de "luz" devia situar-se além do extremo violeta do espectro eletromagnético. As radiações ultravioleta são geradas pelos mesmos processos que geram as radiações visíveis, ou seja, pela transição de elétrons excitados que passam de níveis atômicos mais energéticos para níveis menos energéticos. Lâmpadas fluorescentes, lâmpadas de vapor de mercúrio e sistemas que geram arcos voltaicos, em geral, emitem grandes quantidades de radiação ultravioleta durante as descargas elétricas (Fig. 8).



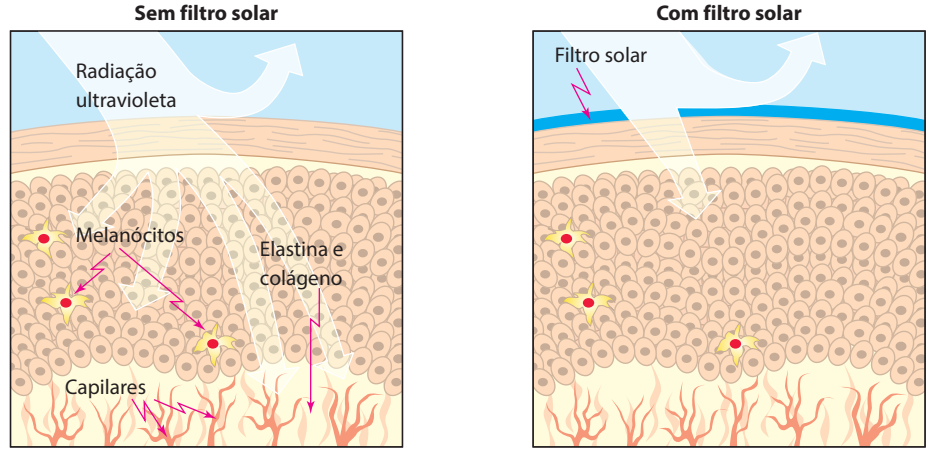
MEGSOPKI/SHUTTERSTOCK

PHOTO LOVE/SHUTTERSTOCK

Figura 8. (A) Arco voltaico entre as extremidades de um cabo de alta-tensão rompido. (B) Soldagem por arco voltaico (solda elétrica). Nessas descargas elétricas, há emissão de grande quantidade de radiação ultravioleta, daí a necessidade do uso de proteção para os olhos e para o rosto.

Quando as lâmpadas fluorescentes são usadas para fins de iluminação, a radiação ultravioleta é devidamente filtrada, absorvida e emitida como radiação visível. A radiação ultravioleta pode ser muito perigosa para os seres vivos. A radiação solar que atinge a Terra contém cerca de 10% de ultravioleta, quantidade que seria suficiente para causar sérios danos à maior parte das formas de vida em nosso planeta. Nos seres humanos, os efeitos biológicos das ondas de UV-A, radiação menos energética, estão associados ao bronzeamento da pele, pois atingem as camadas mais profundas da derme e estimulam a produção de melanina, substância que provoca o escurecimento da pele. Entretanto, o excesso de luz solar pode provocar, ainda, o surgimento de rugas e o envelhecimento precoce da pele, pois o UV-A atinge também as fibras de elastina e colágeno que sustentam a pele, fazendo com que essas proteínas percam a rigidez. A exposição prolongada à luz solar, por muitos anos, pode desencadear catarata e câncer de pele. Por esse motivo, sempre é recomendado o uso de filtros solares sobre a pele e óculos de sol (Fig. 9).

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.



ADILSON SECCO/ARQUIVO DA EDITORA

Figura 9. Representação esquemática dos efeitos da radiação ultravioleta na pele: (A) pele não protegida; (B) pele protegida com filtro solar. (Representação fora de proporção; cores meramente ilustrativas.)

A radiação UV-B, mais energética, atinge as camadas mais superficiais da derme e provoca uma dilatação dos capilares sanguíneos, causando vermelhidão na pele. Alguns filtros bloqueiam apenas a ação do UV-A, e outros, apenas a ação do UV-B; o ideal é usar um filtro solar que bloqueie tanto o UV-A como o UV-B.

A radiação ultravioleta UV-C, muito energética, tem a capacidade de destruir alguns tipos de germes e bactérias e, por esse motivo, é usada para esterilizar alimentos e equipamentos médicos e dentários. A maior parte dessa faixa mais perigosa do espectro UV é absorvida em uma camada da atmosfera terrestre situada a cerca de 11 km de altura, com 30 km de espessura, denominada camada de ozônio (Fig. 10).

Na camada de ozônio, a energia da radiação ultravioleta UV-C desencadeia uma reação química na qual o oxigênio (O_2) é convertido em ozônio (O_3). Descobriu-se, porém, que alguns gases usados como fluido refrigerante (ou resfriador) ou como propelente em aerossóis, os chamados gases CFC (clorofluorcarbonetos), podiam interferir nessa reação. Na região da camada de ozônio, as moléculas de CFC, excitadas pela radiação UV-C, liberam um átomo de cloro, que passa a agir como catalisador em uma reação que transforma duas moléculas de O_3 em três moléculas de O_2, diminuindo, assim, a quantidade de ozônio nessa camada da atmosfera. Apesar dos esforços feitos para reduzir essas emissões, se a taxa de destruição da camada de ozônio continuar maior que a produção, a incidência de câncer de pele, catarata e outras doenças poderá aumentar significativamente em muitas regiões do mundo. Por outro lado, a radiação ultravioleta tem também efeitos benéficos aos seres vivos. Ela é necessária para o crescimento das plantas, e boa parte da vitamina D, indispensável aos humanos e a outros animais, é produzida pela exposição da pele aos raios ultravioleta.

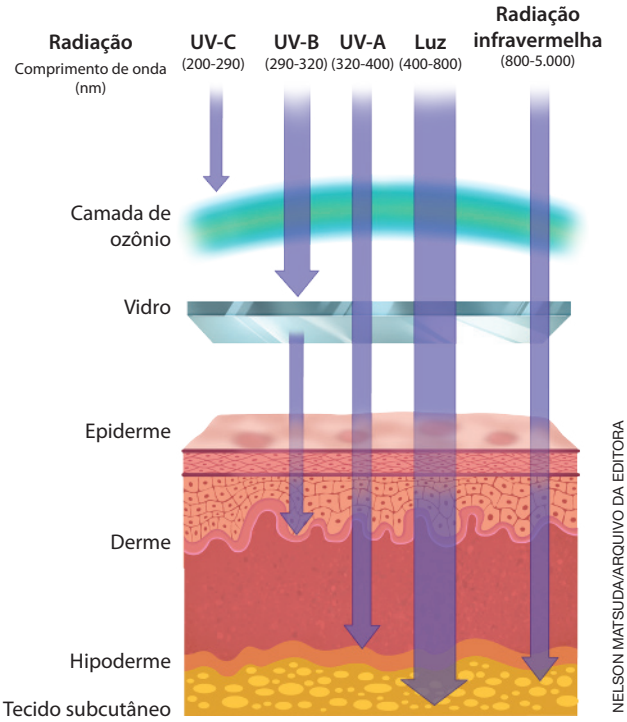


Figura 10. Representação esquemática do poder de penetração das radiações UV na atmosfera e na pele. (Representação fora de proporção; cores meramente ilustrativas.)

Raios X

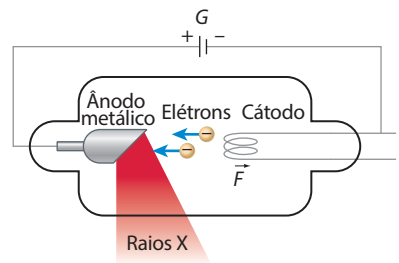
Os raios X, invisíveis aos olhos humanos, são ondas eletromagnéticas com comprimentos de onda menores que os da luz. Os comprimentos de onda dos raios X situam-se na faixa de 100 Å (10 nm) a 0,03 Å (3,0 pm), sobrepondo-se, nos extremos do intervalo, aos menores comprimentos de onda das radiações ultravioleta e aos maiores comprimentos de onda dos raios gama. Assim, o intervalo de frequências dos raios X vai desde $3{,}0 \cdot 10^{16}$ Hz até $3{,}0 \cdot 10^{19}$ Hz, aproximadamente. Os raios X podem ser produzidos por transições de elétrons nas camadas mais internas dos átomos ou por colisões de elétrons de alta energia com átomos de um alvo metálico (Fig. 11).

Essa radiação foi descoberta acidentalmente em novembro de 1895, pelo físico alemão Wilhelm Conrad Röntgen (1845-1923). A figura a seguir (Fig. 12) é uma representação de quando Röntgen tirou uma radioagrafia, da mão de sua esposa.

No esquema (Fig. 13), são mostrados os componentes de um moderno equipamento de raios X usado para obter radiografias.

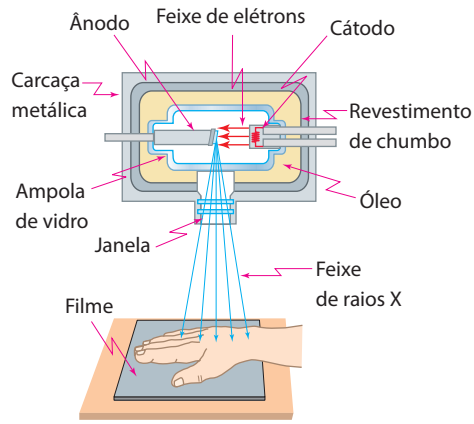
GADO/GETTY IMAGES

Figura 12. Radiografia obtida por Röntgen.



Fonte: elaborado com base em HEWITT, P. G. **Física conceitual**. 13. ed. Porto Alegre: Bookman, 2022.

Figura 11. Esquema simplificado de uma ampola de raios X. (Representação fora de proporção; cores meramente ilustrativas.)



Fonte: elaborado com base em HEWITT, P. G. **Física conceitual**. 13. ed. Porto Alegre: Bookman, 2022.

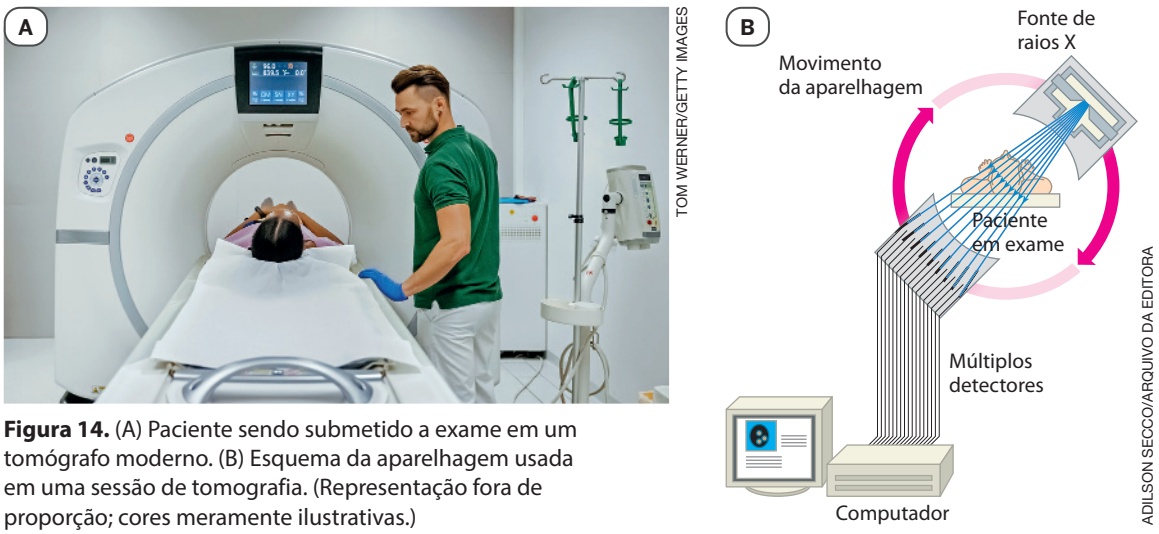
Figura 13. Esquema de produção de uma radiografia. (Representação fora de proporção; cores meramente ilustrativas.)

ILUSTRAÇÕES: ADILSON SECCO/ARQUIVO DA EDITORA

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

As radiografias são pouco eficientes para a visualização de tecidos moles, como os do fígado, do baço, dos intestinos e do cérebro, pois os contrastes são pouco definidos. O uso dos raios X para a visualização de tecidos moles só ocorreu a partir de 1972, com a invenção da tomografia computadorizada. Por essa evolução no uso dos raios X, o engenheiro britânico Godfrey Newbold Hounsfield e o físico sul-africano naturalizado estadunidense Allan MacLeod Cormack receberam o Prêmio Nobel de Fisiologia ou Medicina em 1979, pela invenção do tomógrafo de raios X (nome técnico: microscópio tomográfico de raios X síncrotron).

Na tomografia (do grego, *tomos*, secção ou parte, e *graphō*, imagem), o paciente a ser examinado fica no interior de um anel que gira em torno dele. Acoplada ao anel, uma fonte de raios X emite um fino feixe de radiação que é captado por detectores, os quais avaliam a taxa de absorção do feixe, que depende da espessura dos tecidos ou dos ossos, e enviam esses dados a um computador (Fig. 14).



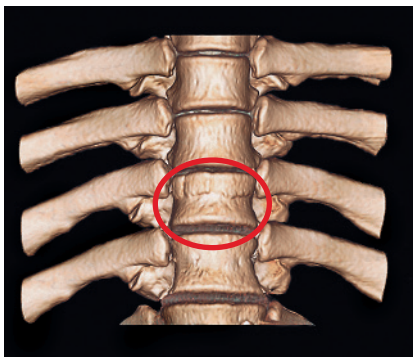
TOM WERNER/GETTY IMAGES

ADILSON SECCO/ARQUIVO DA EDITORA

Figura 14. (A) Paciente sendo submetido a exame em um tomógrafo moderno. (B) Esquema da aparelhagem usada em uma sessão de tomografia. (Representação fora de proporção; cores meramente ilustrativas.)

No computador, esses dados são processados e convertidos em imagens. Cada giro de 360° da fonte de raios X ao redor do paciente fornece cerca de 1.000 imagens, e o computador pode elaborar uma imagem tridimensional de praticamente qualquer parte do organismo com detalhes precisos. As imagens tridimensionais obtidas pela moderna tomografia computadorizada permitem a visualização de muitos detalhes (Fig. 15).

Na Medicina, além do uso na obtenção de radiografias e tomografias, os raios X também podem ser usados na radioterapia tumoral. Devido à alta energia e ao poder de penetração desse tipo de radiação, os raios X são usados para destruir células cancerosas. Já em 1905, a radioterapia era utilizada contra o câncer de mama; entretanto, células sadias e outros órgãos próximos ao tumor também eram irradiados, sem necessidade. Atualmente, sofisticados programas de computador delimitam, com grande precisão, a região do tumor e definem a dosagem adequada de radiação a ser aplicada, contribuindo para diminuir os efeitos colaterais desse tratamento.



ZEPHYR/SPL/FOTOARENA

Figura 15. Imagem computadorizada de parte da coluna vertebral de uma pessoa.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Em destaque

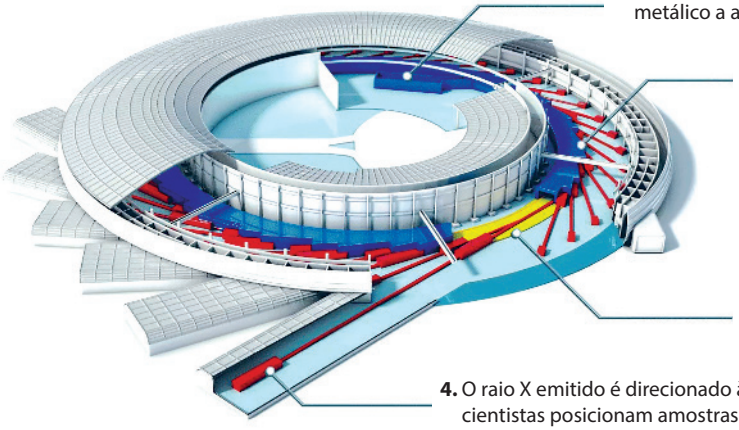
Sirius, o acelerador de elétrons brasileiro

No Centro Nacional de Pesquisa em Energia e Materiais (CNPEM), em Campinas, São Paulo, está o acelerador de elétrons brasileiro, feito 85% com tecnologia nacional. Seu nome é Sirius, e ele está em operação desde 2020 a serviço da comunidade acadêmica. Diferentemente dos aceleradores de partículas de colisão, o Sirius acelera elétrons a velocidades muito próximas à da luz para gerar raios X de alto brilho. Os pesquisadores e pesquisadoras usam os raios X em estudos para investigar a composição e a estrutura da matéria.

CONTINUA

CONTINUAÇÃO

DIVULGAÇÃO/CNPEM



1. No **acelerador linear**, os elétrons são arrancados de um filamento metálico a alta temperatura e recebem uma primeira aceleração.

2. No ***booster***, os elétrons são acelerados cada vez mais rápido, por diferentes tipos de ímãs. A cada volta, o feixe de elétrons ganha mais energia.

3. O **anel de armazenamento** é onde os elétrons ficam circulando por horas, em órbitas bem estáveis. Cada vez que os elétrons são desviados por ímãs para fazer uma curva eles geram radiação eletromagnética na faixa do raio X.

4. O raio X emitido é direcionado às **estações de pesquisa**, onde os cientistas posicionam amostras a serem estudadas.

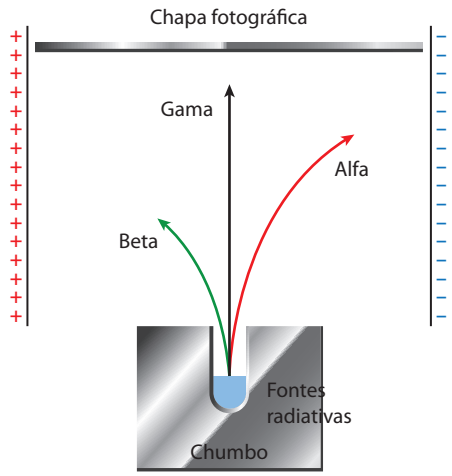
Fonte: elaborada com base em COMO funciona o Sirius? **Laboratório Nacional de Luz Síncrotron (LNLS/CNPEM)**. Disponível em: https://lnls.cnpem.br/sirius/como-funciona-o-sirius/. Acesso em: 19 out. 2024.

Em grupos, sigam os seguintes passos.

1. Busquem dois exemplos de pesquisas realizadas com o Sirius e organizem-se de modo que os grupos escolham pesquisas diferentes.
2. Elaborem um pequeno resumo com as informações mais relevantes sobre as pesquisas; por exemplo, qual é o objetivo do estudo, o que é medido a partir da interação da amostra com os raios X, quem são os pesquisadores envolvidos, quais são suas formações acadêmicas, e a quais instituições científicas eles estão vinculados.
3. Façam uma roda de conversa para que cada grupo apresente seus resultados.

Raios gama

No final do século XIX, cientistas observaram uma intensa emissividade de radiação por certos materiais. Com o passar do tempo, notaram que átomos dessas substâncias liberavam partículas – na época, o termo usado era raios – sem que houvesse, aparentemente, nenhuma alteração no material. Os cientistas também não encontraram nenhuma forma de interferir nesse processo. Marie Curie (1867-1934), uma das cientistas mais influentes da época, contribuiu significativamente para o entendimento da radioatividade. Ela e seu marido, Pierre Curie (1859-1906), realizaram pesquisas pioneiras que levaram à descoberta de dois novos elementos químicos: o rádio e o polônio. Marie foi a primeira a usar o termo "radioatividade", e suas investigações foram cruciais para esclarecer a natureza dessa emissão. Em 1899, o físico neozelandês Ernest Rutherford (1871-1937), realizando experimentos com urânio radioativo, identificou dois tipos de radiação: o primeiro, ele denominou raios alfa (α), e o segundo foi denominado raios beta (β). Um ano mais tarde descobriu-se um terceiro tipo: os raios gama (γ). Cada um desses tipos de radiação (α, β e γ) comporta-se de maneira diferente quando lançado no interior de campos elétricos (Fig. 17).



NELSON MATSUDA/ARQUIVO DA EDITORA

Figura 17. Comportamento das radiações α, β e γ no interior de um campo elétrico uniforme.

Dentro de um campo elétrico uniforme, os raios α e β, lançados transversalmente às linhas do campo, são defletidos em sentidos opostos, revelando assim que essas "radiações", na verdade, são feixes de partículas dotadas de carga elétrica **positiva**, para as partículas **alfa**, e **negativa**, para as partículas **beta**. Os raios gama (γ) não sofrem influência de campos elétricos e magnéticos, atravessando a região em trajetória retilínea. Os raios γ são realmente radiações eletromagnéticas.

Embora mais energéticos, os raios γ têm características semelhantes às dos raios X, sendo difícil distingui-los uns dos outros. A única distinção entre eles está na origem da radiação. Os raios X são originados pela transição de elétrons entre níveis de energia nos átomos ou por freamento de partículas eletrizadas a altíssimas velocidades. A origem dos raios γ reside em processos de fissão nuclear, fusão nuclear e decaimento radioativo de núcleos atômicos instáveis.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Os raios γ, da mesma forma que os raios X, são classificados como radiação ionizante e, por isso, podem interferir nas ligações das moléculas existentes em tecidos vivos. Por apresentarem altíssimas frequências e pequenos comprimentos de onda – muito menores que os dos raios X –, são muito energéticos, o que acarreta um grande poder de penetração na matéria. Sob condições controladas, os raios γ podem destruir células cancerosas, mas, sem controle, podem provocar o câncer. A emissão de raios γ por núcleos radioativos tem outra importante aplicação no campo da Medicina Nuclear: o mapeamento por radioisótopos. Essa é uma técnica de diagnóstico que detecta a radiação emitida por substâncias radioativas – os chamados radiofármacos –, como iodo ou bário, introduzidas no corpo. Ingeridos por via oral ou injetados na corrente sanguínea, os radioisótopos concentram-se em quantidades diferentes nos diversos órgãos e tecidos do corpo, e, dessa maneira, áreas específicas acabam por se destacar da vizinhança e podem ser estudadas com mais precisão. Os raios γ emitidos pelo órgão mapeado são então captados por uma câmara especial, que gera uma imagem digital. Embora seja difícil visualizar detalhes anatômicos com essa técnica, ela é bastante útil no estudo do funcionamento do órgão observado.

Em destaque

Marie Curie e o Primeiro Nobel Feminino

A Biblioteca Nacional relembra o primeiro Prêmio Nobel conferido a uma mulher: Marie Curie. A cientista polonesa nasceu em 1867 com o nome de Maria Salomea Skłodowska e, apesar da proibição ao acesso de mulheres à educação formal em seu país – naquela época sob dominação da Rússia –, desafiou o *status quo* participando de grupos de estudos secretos. Chegou a cursar uma universidade clandestina, até que, impedida de prosseguir com sua formação, mudou-se para Paris, graduando-se em física em 1893.

Casou-se com o físico Pierre Curie e em 1903 dividiu com ele e Henri Becquerel o seu primeiro Nobel – de física –, ao demonstrarem a existência da radioatividade natural – termo cunhado por ela. Em 1911 foi premiada com o Nobel de Química por conta de suas pesquisas que levaram ao descobrimento dos elementos rádio e polônio. Marie Curie foi a primeira pessoa e única mulher a ganhar o Nobel duas vezes.

Curie também desenvolveu um radiógrafo – equipamento portátil para radiografias – utilizado durante a Primeira Guerra Mundial e apelidado de "*petites* Curies" ("pequenos Curies", em francês). Fundou o Instituto do Rádio em Paris e em 1924 foi homenageada por Alfred Schoep, que nomeou um mineral de Skłodowskita. O elemento químico Cúrio, descoberto em 1944, também foi batizado em sua homenagem.

Morreu em 1934, vítima de leucemia decorrente da exposição à radiação durante sua carreira. Foi a primeira mulher a ser sepultada no Panteão de Paris.

Fonte: FUNDAÇÃO BIBLIOTECA NACIONAL. **18 de Junho – Dia do Químico: Marie Curie e o Primeiro Nobel Feminino**. **Biblioteca Nacional**, Rio de Janeiro, 17 jun. 2020. Disponível em: https://www.gov.br/bn/pt-br/central-de-conteudos/noticias/18-de-junho-dia-do-quimico-marie-curie-e-o-primeiro-nobel-feminino. Acesso em: 7 ago. 2024.

Faça uma pesquisa sobre a trajetória de duas cientistas mulheres. Inclua informações sobre quais são os objetos de estudo, se há desafios enfrentados, prêmios recebidos e o impacto de seu trabalho na ciência e na sociedade. Considere como essas cientistas podem ter desafiado as normas sociais e culturais de suas épocas, assim como Marie Curie fez.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Veja respostas e comentários no Suplemento para o professor.

Aplicando conhecimentos

Registre as respostas em seu caderno.

7. Quando se olha para a radiografia de uma mão, observa-se que, na chapa, as posições correspondentes aos ossos são claras.
7. b

Isso se deve ao fato de, nos corpos constituídos por átomos pesados:

a. ser menor a absorção de raios X.
b. ser maior a absorção de raios X.
c. haver reflexão de raios X.
d. haver difração de raios X.
e. haver interferência de raios X.

NARCOZ52/SHUTTERSTOCK

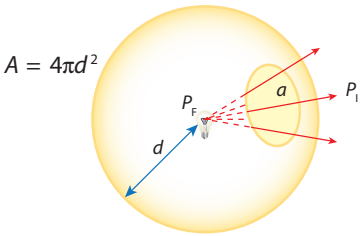
8. Raios gama (γ), raios X e radiação ultravioleta de altas frequências são denominadas radiações ionizantes, pois afetam a estrutura dos tecidos orgânicos por elas atingidos. No Brasil, o uso das radiações ionizantes na Medicina e na Odontologia tem se expandido, e por isso há necessidade de uma política nacional de proteção radiológica dos pacientes, dos técnicos operadores e do público em geral. A legislação, estabelecida pelo Conselho Nacional de Energia Nuclear (CNEN), exige que pacientes, durante a realização de exames radiológicos, usem equipamentos de segurança, como vestimentas com proteção de chumbo. Qual é a função do chumbo inserido nessas vestimentas?

4. Potência e intensidade das ondas eletromagnéticas

Qualquer que seja a natureza da onda, a potência a ela associada, isto é, a taxa de transferência de energia com o tempo, é a potência da fonte que lhe dá origem. A razão entre a potência P_F da fonte e a área A da superfície sobre a qual se distribui a energia transmitida pela onda é, por definição, sua intensidade:

$$I = \frac{P}{A}$$

Para uma fonte de ondas pontual, A é a área da superfície esférica determinada pelos pontos do meio atingidos pela onda em um dado instante, cujo raio é igual à distância d entre a fonte e o ponto da superfície considerado: $A = 4\pi d^2$ (Fig. 17).



NELSON MATSUDA/ARQUIVO DA EDITORA

Figura 17. Energia irradiada por uma fonte de ondas pontual.

Assim, para uma onda esférica, sua intensidade, em qualquer ponto da superfície esférica considerada, é:

$$I = \frac{P_F}{4\pi d^2}$$

Se tomarmos uma pequena área a sobre a superfície esférica, a potência irradiada P_I através dessa área será uma fração da potência da fonte P_F. Como a intensidade da onda em todos os pontos da superfície esférica é a mesma, temos: $I = \frac{P_F}{A} = \frac{P_I}{a}$, isto é, as potências são diretamente proporcionais às áreas atravessadas pela onda. Portanto,

$$P_I = \frac{a}{A} \cdot P_F$$

Qualquer tipo de onda, ao atingir algum objeto, transmite a ele energia, impulso e exerce pressão sobre sua superfície. As ondas eletromagnéticas também exercem pressão; chama-se **pressão de radiação**, cujo valor é diretamente proporcional à intensidade da onda.

O exercício resolvido a seguir explora, um pouco mais, as relações entre as características das ondas eletromagnéticas.

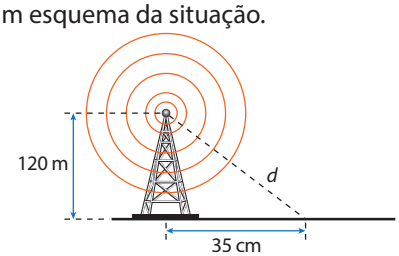
Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Exercício resolvido

O transmissor de uma rádio FM opera na frequência 100 MHz com potência irradiada 50π kW e está instalado em uma antena vertical de 120 m de altura. O IEEE (*Institute of Electrical and Electronics Engineers*), por medida de segurança, recomenda que a potência irradiada medida em determinado ponto seja de, no máximo, 0,2 W/m^2. Admita que esse transmissor emita ondas eletromagnéticas igualmente distribuídas em todas as direções do espaço de modo que podemos considerá-lo pontual e adote $3{,}0 \cdot 10^8$ m/s para a velocidade de propagação da luz no ar. Com essas informações, determine a distância mínima a que uma pessoa pode ficar desse transmissor, sem perigo.

Identificar

Podemos tratar a fonte emissora como uma fonte pontual, emitindo uma onda esférica. Sabemos que a antena tem altura de 120 m e que a pessoa deve estar a uma distância mínima d da antena. A figura a seguir é um esquema da situação.



NELSON MATSUDA/ ARQUIVO DA EDITORA

ESTRATÉGIA DE ESTUDO

Preparar

A intensidade da onda é dada pela potência emitida por unidade de área, logo:

$$I = \frac{P}{4\pi \cdot d^2} \Rightarrow d^2_{mín} = \frac{P}{4\pi \cdot I_{máx}}$$

Executar

Substituindo os valores fornecidos pelo enunciado, temos:

$$d^2_{mín} = \frac{50\pi \cdot 10^3}{4\pi \cdot 0{,}2} \Rightarrow d^2_{mín} = 6{,}25 \cdot 10^4 \text{ m}^2 \therefore$$

$$\therefore d_{mín} = 250 \text{ m}$$

Analisar

Vamos analisar se uma pessoa que está a 35 m do pé da antena na qual está instalado esse transmissor está em uma posição segura ou não? A distância d da pessoa ao transmissor pode ser determinada pelo teorema de Pitágoras. Assim:

$$d^2 = 120^2 + 35^2 \therefore d = 125 \text{ m}$$

A intensidade da radiação no ponto onde a pessoa está é:

$$I = \frac{P}{4\pi d^2} = \frac{50\pi \cdot 10^3}{4\pi \cdot 125^2} \therefore I = 0{,}8 \text{ W/m}^2$$

Portanto, a pessoa está em uma posição de risco, pois está exposta a uma intensidade de radiação que é quatro vezes a intensidade máxima recomendada.

Veja respostas e comentários no Suplemento para o professor.

Aplicando conhecimentos

Registre as respostas em seu caderno.

Salvo orientação contrária, considere $3{,}0 \cdot 10^8$ m/s a velocidade de propagação da luz no vácuo e no ar.

9. Em cada m^2 da superfície terrestre, incidem 1.362 J de energia solar, por segundo. Sabendo que a distância da Terra ao Sol é aproximadamente igual a 150 milhões de quilômetros, isto é, $1{,}50 \cdot 10^{11}$ m, a quantidade de energia eletromagnética emitida pelo Sol em todas as direções do espaço, por segundo, é um valor próximo de

9. d

a. $1{,}5 \cdot 10^{26}$ J. **b.** $2{,}0 \cdot 10^{26}$ J. **c.** $3{,}0 \cdot 10^{26}$ J. **d.** $4{,}0 \cdot 10^{26}$ J.

Veja respostas e comentários no Suplemento para o professor.

Atividades finais

Registre as respostas em seu caderno.

1. A distância entre a Terra e o Sol é, em média, cerca de 150 milhões de quilômetros, ou seja, $1{,}5 \cdot 10^{11}$ m. Determine o tempo, em minuto, que a luz emitida pelo Sol leva para atingir a Terra. Dê a resposta na forma "xx minutos e yy seguntos".

2. Uma onda eletromagnética plana propaga-se no sentido positivo do eixo *x*, com comprimento de onda de 20 cm, no vácuo. O campo elétrico oscila na direção do eixo *y*, atingindo um valor máximo de 0,3 V/m. Com essas informações, determine para essa onda

a. a sua frequência, em GHz (giga-hertz).

b. a intensidade máxima atingida pelo campo magnético induzido, em nT (nanotesla).

c. a direção de oscilação do campo magnético.

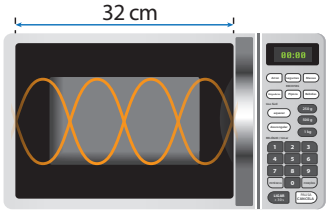
3. Estações de televisão transmitem seus programas na faixa de comprimentos de onda que vai desde 5,56 m, para o canal 2, até 33,7 cm, para o canal 83. Portanto, as frequências $f_{(2)}$ e $f_{(83)}$ das ondas transmitidas por esses canais são tais que a razão $\frac{f_{(2)}}{f_{(83)}}$ é um valor próximo de:

3. b

a. 16,5. **b.** $\frac{1}{16{,}5}$. **c.** 33,7. **d.** $\frac{1}{33{,}7}$.

4. Em um forno de micro-ondas doméstico, as moléculas de água presentes nos tecidos dos alimentos passam a vibrar com maior velocidade após entrarem em ressonância com as ondas emitidas pela fonte geradora das micro-ondas, aquecendo-os. No interior do forno, são produzidas ondas eletromagnéticas estacionárias devido aos fenômenos de reflexão e interferência. Um forno de micro-ondas cujo espaço interior tem 32 cm de largura opera com ondas de frequência 1,75 GHz, e, dentro dele, formam-se ondas estacionárias, conforme representado na figura.

4. b



NELSON MATSUDA/ ARQUIVO DA EDITORA

Assim, dentro desse forno, as ondas interferentes propagam-se com velocidade de

a. $2{,}8 \cdot 10^8$ cm/s.

b. $2{,}8 \cdot 10^8$ m/s.

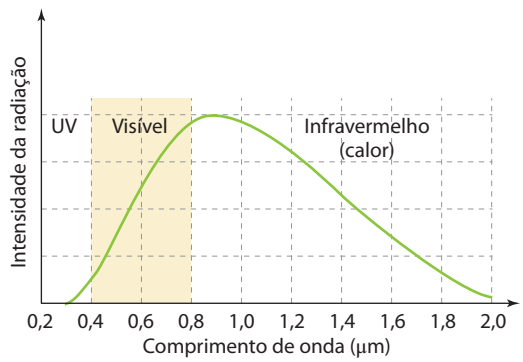
c. $2{,}8 \cdot 10^8$ km/s.

d. $2{,}8 \cdot 10^9$ m/s.

e. $2{,}8 \cdot 10^{10}$ m/s.

5. (Enem) A passagem de uma quantidade adequada de corrente elétrica pelo filamento de uma lâmpada deixa-o incandescente, produzindo luz. O gráfico abaixo mostra como a intensidade da luz emitida pela lâmpada está distribuída no espectro eletromagnético, estendendo-se desde a região do ultravioleta (UV) até a região do infravermelho.

5. c



ADILSON SECCO/ARQUIVO DA EDITORA

A eficiência luminosa de uma lâmpada pode ser definida como a razão entre a quantidade de energia emitida na forma de luz visível e a quantidade total de energia gasta para o seu funcionamento. Admitindo-se que essas duas quantidades possam ser estimadas, respectivamente, pela área abaixo da parte da curva correspondente à faixa de luz visível e pela área abaixo de toda a curva, a eficiência luminosa dessa lâmpada seria de aproximadamente:

a. 10%. **d.** 50%.

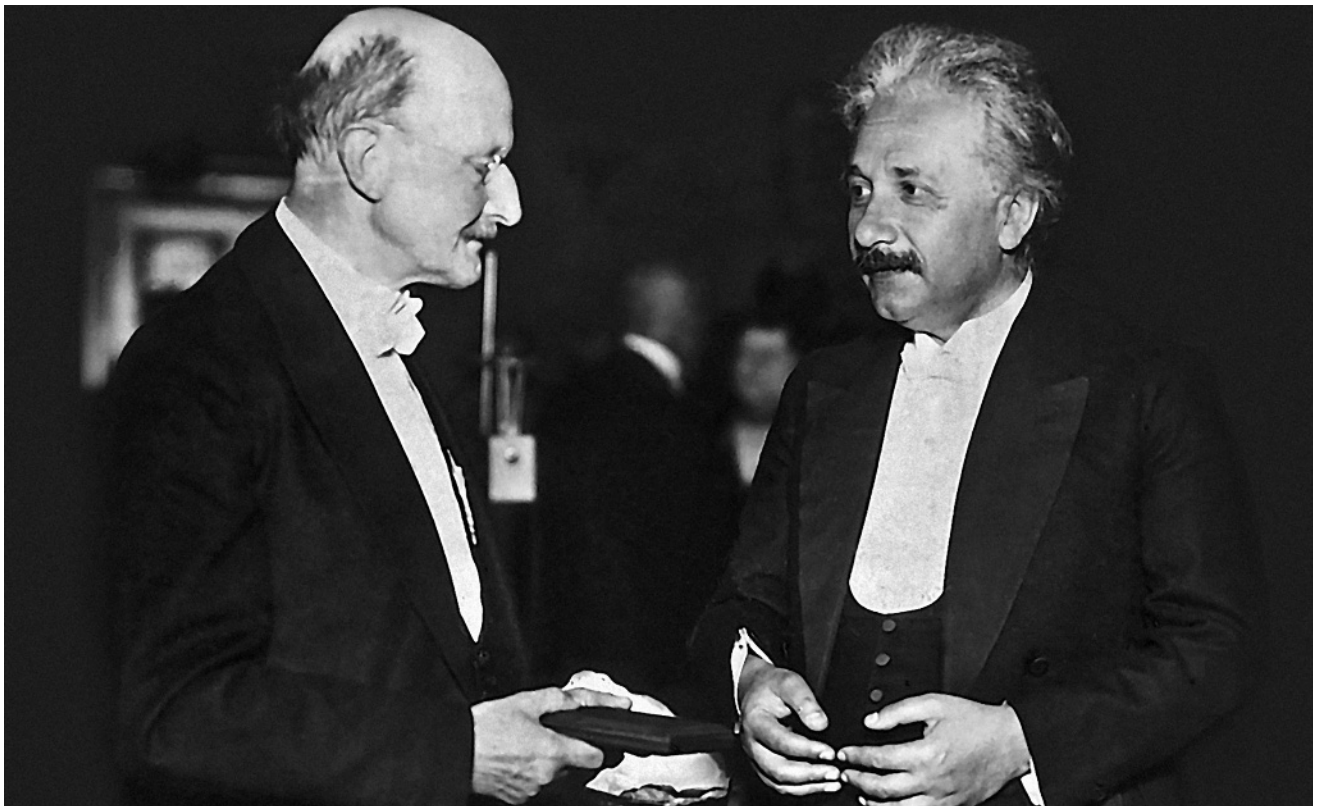
b. 15%. **c.** 75%.

c. 25%.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

CAPÍTULO 22

Física Quântica, Física Nuclear e Nanotecnologia



SCIENCE PHOTO LIBRARY/FOTOARENA

Encontro de gigantes: Max Planck (à esquerda) e Albert Einstein (à direita), na cerimônia da entrega das duas primeiras Medalhas Max Planck, em 1929, pela Sociedade Alemã de Física.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Ao final do século XIX, os cientistas acreditavam que já haviam compreendido quase toda a Física. As leis dos movimentos e a lei da Gravitação Universal de Isaac Newton (1643-1727), a teoria de James C. Maxwell (1831-1879) unificando a Eletricidade, o Magnetismo e a Luz, as leis da Termodinâmica e da teoria cinética dos gases de Sadi Carnot (1796-1832), Rudolf Clausius (1822-1888) e Ludwig Boltzmann (1844-1906), por exemplo, explicavam perfeitamente uma enorme diversidade de fenômenos físicos. Entretanto, na virada para o século XX, duas teorias abalaram os alicerces da Física, que hoje denominamos "Física Clássica", provocando uma revolução no pensamento científico da época. A primeira, em 1900, foi a teoria quântica da radiação, de Max Planck (1858-1947); e a outra, em 1905, foi a teoria especial da relatividade, de Albert Einstein (1879-1955).

O assunto deste capítulo também é trabalhado nos capítulos 3, 23 e 24 do volume de Química desta coleção.

Essas teorias, no entanto, durante muito tempo, causaram incredulidade no mundo científico e perplexidade no senso comum. O próprio Max Planck tinha suas reservas quanto à real existência dos *quanta*, os "pacotes" de energia. A teoria especial da relatividade foi recebida com enorme desconfiança pela comunidade científica Basta dizer que o prêmio Nobel de Física de 1921, 16 anos após sua publicação, foi concedido a Einstein por seus trabalhos em Física Teórica, principalmente pela explicação do efeito fotoelétrico, e não exatamente por suas duas teorias da relatividade.

Veremos, neste capítulo, o surgimento da Física Quântica e os principais fenômenos relacionados a ela, como a quantização da radiação de Max Planck e o efeito fotoelétrico. Em seguida, veremos como a Física Quântica foi aplicada ao modelo atômico de Niels Bohr (1885-1962) e o conceito de dualidade onda-partícula. Também estudaremos o núcleo atômico, o conceito de radioatividade, a fissão e a fusão nucleares. Por fim, discutiremos a importância da nanotecnologia nos dias atuais.

1. A Física antes de 1900

Os primeiros registros de tentativas de uma explicação lógica para os fenômenos observados na natureza começaram na Grécia Antiga. Aristóteles (384 a.C.-322 a.C.) considerava que os movimentos estavam ligados a uma tendência de todas as coisas chegarem ao seu "lugar natural". Por exemplo, a chuva cai porque seu lugar natural é o centro da Terra; a fumaça sobe porque seu lugar natural é acima da Terra. Entretanto, as ideias de Aristóteles foram gradativamente abandonadas após os revolucionários e profundos trabalhos sobre os movimentos dos corpos terrestres e celestes, que colocaram a Física em um patamar de Ciência autônoma e fundamentada em bases experimentais, nos séculos XVII e XVIII. Nos duzentos anos que se seguiram, muitas teorias e descobertas experimentais foram surgindo e forneceram a base para a Ciência como a conhecemos hoje. Teorias sobre fenômenos térmicos, elétricos, magnéticos e luminosos foram desenvolvidas pela comunidade científica.

Certos resultados experimentais, no entanto, não concordavam com as previsões da Física da época, hoje denominada **Física Clássica**. Um desses casos era o fato de a teoria eletromagnética de Maxwell não explicar o efeito fotoelétrico descoberto por Heinrich Hertz (1857-1894) em 1887. Mas havia outros. A Termodinâmica, por exemplo, não esclarecia a discrepância entre teoria e experiência para o espectro das radiações emitidas pelos corpos aquecidos para frequências próximas às do ultravioleta ou superiores, problema que ficou conhecido como "catástrofe do ultravioleta". As equações de Maxwell não se enquadravam no princípio da relatividade de Galileu e de Newton. Além disso, a existência dos raios X e a radioatividade de certos elementos não podiam ser explicadas pelas teorias existentes até então. O cenário da Física não estava completo como se imaginava, e essas discrepâncias entre a teoria e os dados experimentais levaram a uma profunda revisão dos paradigmas científicos da época.

2. O surgimento da Física Quântica: emissão térmica de radiação e teoria quântica de Planck

Todo corpo, em qualquer temperatura que esteja, emite radiação eletromagnética, frequentemente denominada **emissão térmica de radiação**. As características da radiação emitida dependem da temperatura do corpo emissor e de certas propriedades físicas desse corpo. Em baixas temperaturas, a maior taxa de emissão ocorre na faixa do infravermelho, onda eletromagnética não captada por nossos olhos. Com o aumento gradativo da temperatura, o corpo começa a emitir luz, de início de cor avermelhada, passando a amarela, verde, azul, até chegar à branca, em temperaturas suficientemente altas, como ocorre com os metais (Fig. 1).

Uma análise mais detalhada da radiação emitida revela que ela consiste em uma distribuição contínua de comprimentos de onda que vão desde o infravermelho, passando pelo visível, até a região do ultravioleta do espectro eletromagnético. Um modelo muito bom para estudar a emissão de radiação por aquecimento é o interior de um objeto oco e aquecido, onde a radiação escapa por uma cavidade em sua superfície, como no interior de um forno a lenha. (Fig. 2).

Do ponto de vista clássico, a radiação térmica origina-se do movimento acelerado de partículas eletricamente carregadas (elétrons). Segundo a Física Clássica, essas partículas emitiriam radiação de modo contínuo, como se fossem pequenas "antenas". Por esse modelo, as frequências mais altas (azul, anil e violeta), deveriam ser emitidas com maior intensidade. No entanto, não é isso que se observa na prática.

MYCAN/GETTY IMAGES

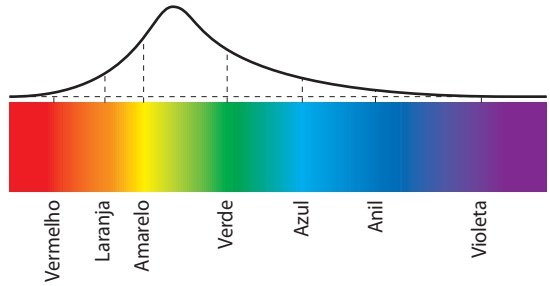
Figura 1. Emissão térmica de radiação de metal fundido.

GILDAF/SHUTTERSTOCK

Figura 2. Forno a lenha: uma cavidade que emite radiação em uma extensa faixa do espectro eletromagnético, mas, em virtude da sua temperatura, as radiações visíveis são emitidas com maior intensidade.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

O gráfico qualitativo da figura 3, obtido em 1814 pelo físico alemão Joseph von Fraunhofer (1787-1826), mostra simplificadamente a distribuição da intensidade da radiação emitida pelo Sol.



ADILSON SECCO/ARQUIVO DA EDITORA

Figura 3. Distribuição espectral da luz solar. A maior porcentagem de emissão de luz solar está na faixa entre as cores laranja e azul.

Em fins do século XIX, estava cada vez mais evidente que a explicação clássica era totalmente inadequada diante dos resultados experimentais. Em 1900, Max Planck desenvolveu um modelo matemático para a emissão de radiação eletromagnética que se ajustava perfeitamente aos dados experimentais. No entanto, para isso, teve que admitir que a emissão de energia não era contínua. No modelo de Planck, a radiação era emitida e absorvida em pequenos "pacotes de energia", denominados *quanta*, termo que seria adotado como nome do modelo, **Teoria dos *Quanta*** ou **Teoria Quântica da Radiação**.

Assim, Planck admitiu que as partículas que emitem radiação podem ter apenas determinados valores de energia, múltiplos de um valor mínimo (*quantum*), determinado pela equação da quantização da energia:

$$E = h \cdot f$$

em que f é a frequência da radiação emitida, igual à frequência de oscilação da carga elétrica emissora, e h é uma constante universal denominada **constante de Planck**. Seu valor, em unidades do SI, é:

$$h = 6{,}62607 \cdot 10^{-34}\ \text{J} \cdot \text{s}$$

A equação de Planck pode ser escrita em função do comprimento de onda λ da radiação. Para isso, basta substituirmos a frequência f por $\frac{c}{\lambda}$:

$$E = \frac{h \cdot c}{\lambda}$$

Sendo $h \cdot c \simeq 1{,}986 \cdot 10^{-25}\ \text{J} \cdot \text{m} \simeq 2{,}0 \cdot 10^{-16}\ \text{J} \cdot \text{nm}$.

O termo ***Física Quântica*** é genérico, muito usado hoje em dia com vários significados, alguns deles inadequados. A Física Quântica é um conjunto de Ciências que inclui a **Mecânica Quântica**, a **Química Quântica**, a **Tecnologia Quântica**, a **Teoria Quântica dos Campos** e a **Eletrodinâmica Quântica** e estuda os fenômenos que ocorrem em escala molecular, atômica e sub atômica. Embora seus princípios, seus conceitos e suas equações estejam muito além do nosso senso comum cotidiano, essa é a teoria física mais bem-sucedida dos últimos quatro séculos e responsável pelos maiores avanços tecnológicos no século XX. Ainda que suas bases tenham sido lançadas em 1900, suas previsões são, em nossos dias, comprovadas com altíssima precisão.

Vamos ver uma aplicação da equação da quantização da energia de Max Planck.

Exercício resolvido

Atualmente, as lâmpadas incandescentes estão sendo substituídas pelas lâmpadas de *LED* (*Light-Emitting Diode*), mais eficientes, mais econômicas e mais ecológicas, por consumirem menos energia. Uma lâmpada de *LED* de potência 6 W emite a mesma quantidade de luz que uma lâmpada incandescente de 40 W. Em um *LED*, diodo emissor de luz, o processo de emissão de luz chama-se eletroluminescência. Considere um *LED* de luz verde ($\lambda = 500$ nm) com potência de 240 mW e determine para esse *LED*:

a) a energia E_f de cada fóton emitido;

b) o número n de fótons emitidos em um dia de funcionamento ininterrupto.

Dados: $h \cdot c \simeq 2{,}0 \cdot 10^{-16}\ \text{J} \cdot \text{nm}$; 1 dia = 86.400 s.

Resolução

a) Da equação de Planck, temos:

$$E_{\text{fóton}} = h \cdot f = \frac{h \cdot c}{\lambda} = \frac{2{,}0 \cdot 10^{-16}\ \text{J} \cdot \text{nm}}{500\ \text{nm}} = 4{,}0 \cdot 10^{-19}\ \text{J}$$

b) Em um segundo, o LED emite $E_{\text{LED}} = 240$ mJ de energia. Portanto:

$E_{\text{LED}} = n \cdot E_{\text{fóton}} \Rightarrow 240 \cdot 10^{-3}\ \text{J} =$

$= n \cdot 4{,}0 \cdot 10^{-19}\ \text{J/fóton} \Rightarrow n = 6{,}0 \cdot 10^{17}$ fótons (em um segundo)

Assim:

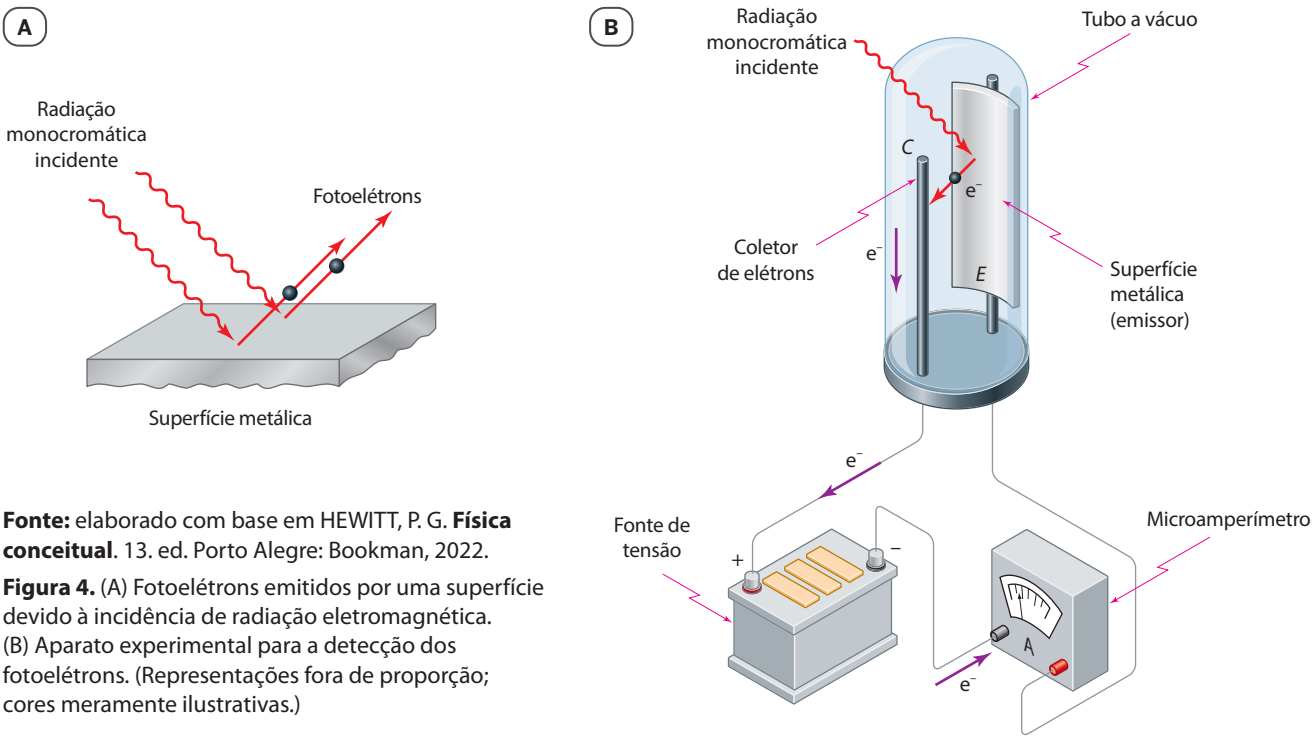
$$N_{(1\ \text{dia})} = 86.400\ \frac{\text{s}}{\text{dia}} \cdot 6{,}0 \cdot 10^{17}\ \frac{\text{fótons}}{\text{s}} =$$

$$= 5{,}2 \cdot 10^{22}\ \frac{\text{fótons}}{\text{dia}}.$$

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

3. Efeito fotoelétrico

Nas últimas duas décadas do século XIX, experimentos demonstraram que a incidência de radiação eletromagnética em superfícies metálicas provocava a emissão de elétrons por essas superfícies. Esse fenômeno ficou conhecido como **efeito fotoelétrico**, e os elétrons emitidos pela superfície iluminada são denominados **fotoelétrons**. As primeiras evidências experimentais da ocorrência do efeito fotoelétrico foram constatadas por Heinrich Hertz em 1887 (Fig. 4), embora nessa época ainda não se sabia da existência dos elétrons.



ADILSON SECCO/ARQUIVO DA EDITORA

Fonte: elaborado com base em HEWITT, P. G. **Física conceitual**. 13. ed. Porto Alegre: Bookman, 2022.

Figura 4. (A) Fotoelétrons emitidos por uma superfície devido à incidência de radiação eletromagnética. (B) Aparato experimental para a detecção dos fotoelétrons. (Representações fora de proporção; cores meramente ilustrativas.)

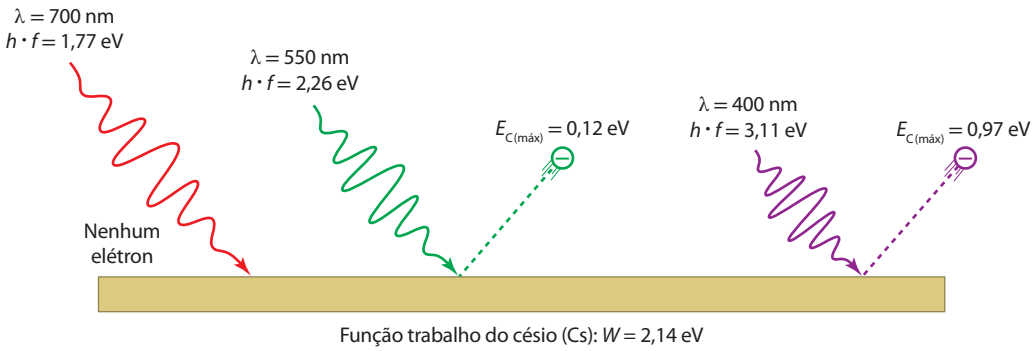
Pelos modelos clássicos da teoria ondulatória da luz, não era possível explicar certas características observadas no efeito fotoelétrico. Investigações mais aprofundadas sobre esse fenômeno, realizadas por Phillip von Lenard (1862-1947), estabeleceram algumas características para o efeito fotoelétrico:

1. Nenhum fotoelétron é observado se a frequência da radiação iluminante for inferior a um certo valor f_0, denominado **frequência de corte**, que é uma característica do metal utilizado.
2. O fluxo de fotoelétrons aparece praticamente no mesmo instante em que a radiação incidente atinge o metal. Medições indicam que a emissão ocorre em menos de 1 ns (1 nanossegundo = 10^{-9} s) após o instante em que a radiação incide no metal. Pelo modelo clássico, o intervalo de tempo deveria ser bem maior, até que o elétron "acumulasse" energia suficiente para escapar da estrutura do metal.
3. A energia cinética máxima dos fotoelétrons ($E_{c(máx)}$) aumenta **linearmente** com o aumento da frequência da radiação iluminante.

A explicação teórica para o efeito fotoelétrico foi dada em 1905 por Albert Einstein, que estendeu para as ondas eletromagnéticas em geral o conceito de quantização da energia radiante, proposto em 1900 por Planck. Einstein admitiu que a luz e as demais radiações eletromagnéticas deveriam ser consideradas um fluxo de pequenos "pacotes de energia", aos quais deu o nome de *quantum* de luz, cada um transportando uma quantidade de energia igual a $h \cdot f$, sendo h a constante de Planck e f a frequência da radiação eletromagnética. Posteriormente, esses "pacotes de luz" foram denominados **fótons**, nome usado até hoje. Assim, cada fóton cede toda a sua energia $h \cdot f$ a um único elétron do metal. Parte dessa energia é usada para retirar o elétron do átomo – energia de ligação. A essa parcela de energia Einstein deu o nome de **função trabalho** do material, representada por W. O restante da energia do fóton incidente aparece na forma de energia cinética do fotoelétron.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Note que, na figura 5, o fóton da radiação de comprimento de onda 700 nm não tem energia suficiente para extrair elétrons da placa de césio. Os fótons das radiações de comprimentos de onda 550 nm e 400 nm conseguem extrair elétrons desse metal. Nesses dois últimos casos, a diferença entre a energia dos fótons ($h \cdot f$) e a energia cinética máxima dos elétrons ($E_{C(máx)}$) é igual a 2,14 eV. Essa é a energia mínima necessária para extrair elétrons desse metal, isto é, 2,14 eV é o valor da função trabalho (W) do césio.



ADILSON SECCO/ARQUIVO DA EDITORA

Figura 5. Esquema de emissão fotoelétrica em uma placa de césio (Cs) iluminada pelas radiações vermelha, verde e violeta. (Representação fora de proporção; cores meramente ilustrativas.)

Assim:

$$E_{C(máx)} = h \cdot f - W$$

Essa é a equação de Einstein para o efeito fotoelétrico.

Para a frequência de corte f_0, não há emissão de fotoelétrons, isto é, a energia cinética máxima desses elétrons é nula ($E_{C(máx)} = 0$). Portanto, da equação anterior, temos:

$$0 = h \cdot f_0 - W \Rightarrow f_0 = \frac{W}{h}$$

Vejamos, a seguir, uma aplicação da equação do efeito fotoelétrico.

Veja respostas e comentários no Suplemento para o professor.

Exercício resolvido

Em uma indústria de lâmpadas de LED, uma placa de sódio (função trabalho $W = 2{,}36$ eV) é "iluminada" com radiação de comprimento de onda 300 nm em um teste. Determine, para o sódio, nesse teste:

a) a frequência de corte (f_0);

b) o comprimento de onda de corte (λ_0);

c) a energia E_f dos fótons incidentes;

d) a energia cinética máxima $E_{C(máx)}$ dos fotoelétrons emitidos pela superfície da lâmina.

Dados: $h = 4{,}14 \cdot 10^{-15}$ eV · s; $c = 3{,}0 \cdot 10^8$ m/s.

Resolução

a) Na equação de Einstein do efeito fotoelétrico, quando $f = f_0$, $E_{C(máx)} = 0$. Então:

$$W = h \cdot f_0 \Rightarrow 2{,}36 = 4{,}14 \cdot 10^{-15} \cdot f_0 \ \therefore \ f_0 = 5{,}70 \cdot 10^{14} \text{ Hz}$$

b) Sendo $c = \lambda_0 \cdot f_0$, temos:

$$\lambda_0 = \frac{c}{f_0} = \frac{3{,}0 \cdot 10^8 \text{ m/s}}{5{,}70 \cdot 10^{14} \text{ Hz}} \simeq 5{,}26 \cdot 10^{-7} \text{ m} \simeq 526 \text{ nm}$$

c) A energia dos fótons incidentes é calculada por:

$$E = h \cdot f = \frac{h \cdot c}{\lambda} = \frac{4{,}14 \cdot 10^{-15} \text{ eV} \cdot \text{s} \cdot 3{,}0 \cdot 10^8 \text{ m/s}}{300 \cdot 10^{-9} \text{ m}} = 4{,}14 \text{ eV}$$

d) A energia cinética máxima dos fotoelétrons $E_{C(máx)}$ é dada por:

$$E_{C(máx)} = h \cdot f - W \Rightarrow E_{C(máx)} = 4{,}14 \text{ eV} - 2{,}36 \text{ eV} \Rightarrow E_{C(máx)} = 1{,}78 \text{ eV}$$

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Veja respostas e comentários no Suplemento para o professor.

Aplicando conhecimentos

Registre as respostas em seu caderno.

1. Considere as radiações amarelo, verde, azul e violeta da faixa visível do espectro eletromagnético. Escreva essas radiações em ordem crescente dos valores:

a. dos comprimentos de onda;

b. das energias dos respectivos fótons.

Considere que as radiações citadas propagam-se no vácuo.

2. Sobre o efeito fotoelétrico, são apresentadas as afirmações a seguir:

2. c

I. Para que haja emissão fotoelétrica por uma superfície metálica, basta aumentar a intensidade da radiação incidente, independentemente de sua frequência.

II. Para cada metal, existe uma frequência mínima necessária, denominada frequência de corte do metal, para que a radiação incidente possa extrair elétrons dele.

III. A energia necessária para um fóton extrair elétrons de um metal deve ser maior que a função trabalho do metal, que é representada por W.

IV. A frequência de corte f_0 e a função trabalho W são grandezas físicas características de cada metal.

Podemos dizer que:

a. Todas as afirmações estão corretas.

b. Todas as afirmações estão incorretas.

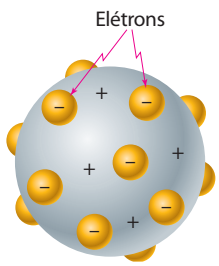
c. Apenas a afirmação I está incorreta.

d. Estão corretas apenas as afirmações II e III.

e. Estão corretas apenas as afirmações II e IV.

4. Modelo atômico de Bohr

Na época de Isaac Newton, os átomos eram considerados apenas esferas rígidas, indestrutíveis e destituídas de carga elétrica. Esse modelo foi uma excelente base para o desenvolvimento da teoria cinética dos gases. Entretanto, outros modelos foram sendo criados à medida que certos experimentos revelavam a natureza elétrica do átomo. Joseph John Thomson (1856-1940) sugeriu um modelo no qual os elétrons com cargas negativas estariam distribuídos uniformemente em um grande volume de carga positiva, mais ou menos como as sementes em uma melancia, tornando assim o átomo eletricamente neutro (Fig. 6).

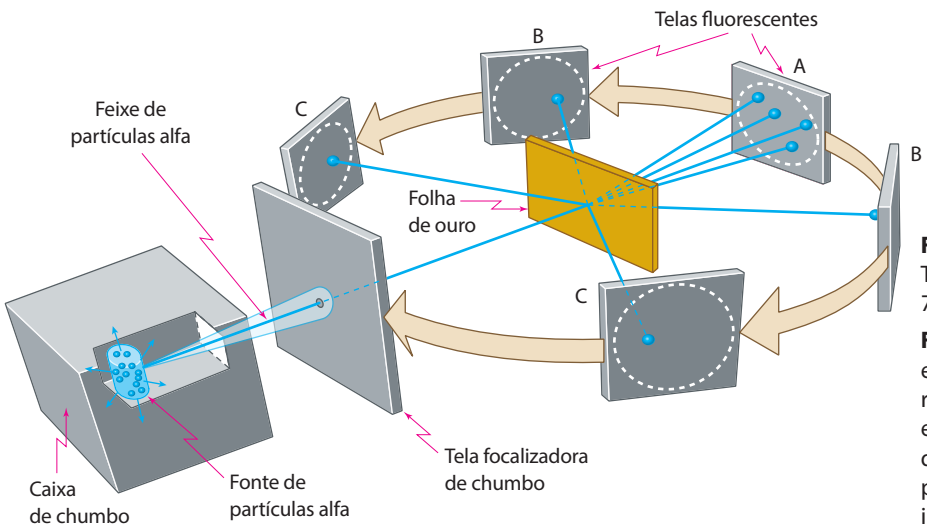


ADILSON SECCO/ARQUIVO DA EDITORA

Figura 6. No modelo atômico de Thomson, a carga elétrica total do átomo é nula. (Representação fora de proporção; cores meramente ilustrativas.)

Em 1911, o físico neozelandês Ernest Rutherford (1871-1937) e seus alunos Johannes (Hans) Geiger (1882-1945) e Ernest Marsden (1889-1970) realizaram um experimento que invalidou o modelo de Thomson. Partículas alfa, emitidas por núcleos radioativos, lançadas contra uma fina folha de ouro, passavam, em sua maioria, através desse metal como se estivessem no vazio. Algumas eram violentamente desviadas de suas trajetórias após passarem pela folha, e uma pequena parcela era refletida como luz incidindo em um espelho (Fig. 7).

ADILSON SECCO/ARQUIVO DA EDITORA



Fonte: elaborado com base em TRO, N. J. **Introductory Chemistry**. 7. ed. Harlow: Pearson, 2024. p. 134.

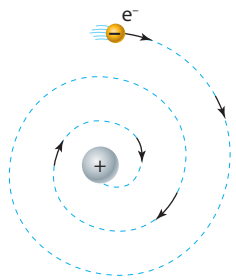
Figura 7. Esquema de um dos experimentos de Rutherford, que revelou o átomo com grandes espaços vazios e um núcleo muito denso. (Representação fora de proporção; cores meramente ilustrativas.)

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

O resultado desse experimento levou Rutherford a criar um novo modelo de átomo, formado por uma parte com carga elétrica positiva localizada em uma região relativamente pequena no centro do átomo, que chamou de **núcleo atômico**, e por uma parte com carga elétrica negativa constituída pelos elétrons, ocupando uma vasta região externa envolvendo o núcleo, conhecida até hoje como **eletrosfera**. Para garantir a estabilidade do átomo, os elétrons estariam em movimento ao redor do núcleo, em órbitas circulares, de modo semelhante aos planetas ao redor do Sol. Esse modelo ficou conhecido como **modelo planetário do átomo** ou **modelo atômico de Rutherford**.

Havia, porém, um sério problema com o modelo de Rutherford: os elétrons em órbita estão sob a ação de uma aceleração centrípeta e, de acordo com a teoria de Maxwell, cargas elétricas aceleradas emitem radiação, perdendo energia. Nesse caso, os átomos estariam continuamente emitindo radiação e, o que é mais grave, os elétrons deveriam ir de encontro ao núcleo, provocando o colapso da matéria (Fig. 8), fenômeno – felizmente – nunca observado. Portanto, era preciso aperfeiçoar esse modelo.

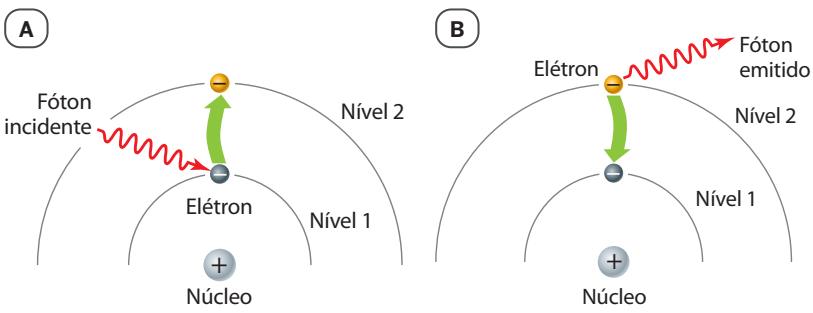
Em 1913, para escapar da teoria da contínua emissão de radiação dos elétrons, o físico dinamarquês Niels Bohr (1885-1962) admitiu que a teoria de Maxwell não seria aplicável a sistemas em escala atômica ou subatômica. Utilizando a ideia da quantização da energia de Planck, Bohr admitiu como verdade que, no átomo, os elétrons estão confinados em certos níveis estáveis de energia, nos quais não há emissão de radiação. Esses níveis foram chamados de **estados estacionários**. Ao passar de um nível de menor energia para outro de maior energia, o elétron absorve energia do meio externo, em quantidade estritamente suficiente para a transição entre esses níveis energéticos (Fig. 9A). Ao retornar ao nível original, esse elétron emite de volta a energia absorvida na forma de radiação (Fig. 9B).



ADILSON SECCO/ARQUIVO DA EDITORA

Fonte: HEWITT, P. G. **Física conceitual**. 13. ed. Porto Alegre: Bookman, 2022.

Figura 8. No modelo atômico de Rutherford, o elétron, ao emitir radiação, perderia energia e iria de encontro ao núcleo atômico. Esse seria o colapso da matéria. (Representação fora de proporção; cores meramente ilustrativas.)



ADILSON SECCO/ARQUIVO DA EDITORA

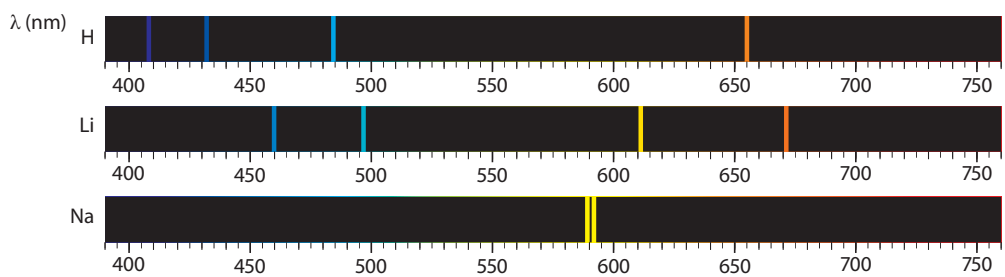
Fonte: SILBERBERG, M. S.; AMATEIS, P. G. **Chemistry**: the Molecular Nature of Matter and Change. 9. ed. Nova York: McGraw-Hill, 2021. p. 304-305.

Figura 9. Representação esquemática de um salto quântico. Modelo de Bohr para a emissão de radiação pelos átomos. (A) O elétron absorve a energia do fóton incidente e salta para um nível de maior energia; (B) o elétron emite a mesma quantidade de energia absorvida, na forma de radiação eletromagnética, retornando ao nível energético de origem. (Representação fora de proporção; cores meramente ilustrativas.)

O átomo de hidrogênio

Tomemos um tubo de vidro preenchido com algum gás, como hidrogênio, hélio etc. Se nas extremidades do tubo colocamos eletrodos metálicos e aplicamos uma tensão elétrica suficiente para gerar uma corrente elétrica através do gás, observamos emissão de luz, cuja cor é característica do gás utilizado. Esse é o processo de emissão de luz dos luminosos de propaganda, popularmente conhecidos como luz néon, além de algumas outras lâmpadas ainda utilizadas em iluminação pública no Brasil (lâmpadas vapor de mercúrio e vapor de sódio).

Analisando-se a luz emitida em um espectroscópio (aparelho que decompõe a luz através de um prisma, difratando-a a seguir), observa-se uma série de linhas discretas e bem definidas, cada linha correspondendo a uma cor, caracterizada por um comprimento de onda específico. Essas linhas são denominadas **raias espectrais**, e o conjunto delas é denominado **espectro de emissão** (Fig. 10).



ADILSON SECCO/ARQUIVO DA EDITORA

Fonte: BURDGE, J. **Chemistry**. 6. ed. Nova York: McGraw-Hill, 2023. p. 266.

Figura 10. Espectro de emissão do hidrogênio (H), do lítio (Li) e do sódio (Na).

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

O espectro de emissão de uma dada substância é sua "assinatura ou impressão digital eletromagnética". Dois elementos químicos diferentes nunca terão o mesmo espectro. Esse é um excelente método para identificar os elementos químicos componentes de uma substância gasosa.

É por meio desse processo que astrônomos e astrofísicos determinam a composição da atmosfera de planetas e estrelas.

Para testar suas hipóteses, Niels Bohr aplicou sua teoria ao átomo de hidrogênio. As hipóteses fundamentais, ou postulados da teoria de Bohr, para o átomo de hidrogênio são:

1. O elétron se move em órbitas circulares em torno do próton, sob a influência da força de atração coulombiana, que é a força centrípeta responsável pelo movimento do elétron.
2. Apenas certas órbitas estáveis são permitidas aos elétrons, os estados estacionários. Nesses estados estacionários, o elétron não emite radiação, conservando sua energia (cinética + potencial eletrostática).
3. Cada estado estacionário caracteriza-se por um valor de energia E_n bem definido, isto é, as energias dos estados são quantizadas. As energias E_n dos níveis permitidos são determinadas pela fórmula de Bohr:

$$E_n = -\frac{13{,}6\ \text{eV}}{n^2}$$

Assim, para $n = 1$, obtemos $E_1 = 13{,}6$ eV. Ao passar de um estado estacionário para outro, o átomo absorve ou emite radiação. A energia do fóton absorvido ou emitido será igual à diferença de energias dos níveis envolvidos. Portanto, se o átomo passa de um nível de energia E_2 para outro, com energia $E_1 < E_2$, devemos ter:

$$E_2 - E_1 = h \cdot f$$

em que f é a frequência do fóton emitido pelo elétron na transição.

4. O átomo sempre tende a voltar ao estado fundamental. Estando o átomo em um nível excitado, o elétron fará transições para níveis inferiores de energia até chegar ao estado fundamental, emitindo radiação nessas transições.
5. Cada transição entre níveis envolve apenas um fóton, isto é, apenas um fóton é absorvido na transição para níveis de energia mais elevados e apenas um fóton é emitido na transição para níveis de energia mais baixos.

Com esses postulados, Bohr calculou, para o átomo de hidrogênio, as energias dos níveis permitidos e os correspondentes comprimentos de onda associados às transições entre esses níveis, obtendo excelente concordância com os dados experimentais.

A figura 11 mostra um diagrama com alguns dos níveis de energia ou estados estacionários possíveis para o átomo de hidrogênio. O fato de essas energias terem valores negativos indica que o elétron está ligado ao núcleo do átomo como se estivesse "preso em um buraco" (ou em um "poço") e precisasse receber energia para "sair dele", isto é, para escapar da atração do núcleo atômico e se tornar um elétron livre.

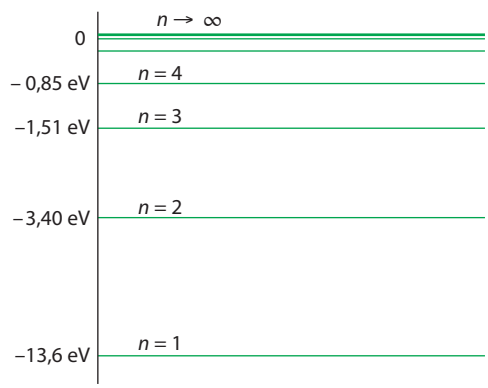


Figura 11. Diagrama dos níveis de energia (n) para o átomo de hidrogênio segundo o modelo atômico de Bohr.

Apesar de a teoria de Bohr ter sido um total sucesso para o átomo de hidrogênio, não era possível descrever por meio dela átomos mais complexos. No entanto, essa teoria foi o elo entre a velha teoria quântica (de 1900 até cerca de 1925) e a nova teoria quântica, mais conhecida como **Mecânica Quântica**.

ADILSON SECCO/ARQUIVO DA EDITORA

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

O exemplo resolvido mostra como usar a fórmula de Bohr e interpretar seus resultados.

Veja respostas e comentários no Suplemento para o professor.

Exercício resolvido

ESTRATÉGIA DE ESTUDO

Calcule, pela fórmula de Bohr, a energia, a frequência e o comprimento de onda do fóton emitido pelo elétron do átomo de hidrogênio, quando este passa do primeiro estado estacionário excitado, $n_2 = 2$, para o estado fundamental, $n_1 = 1$. (Dados: $h = 4{,}14 \cdot 10^{-15}$ eV · s; $c = 3{,}0 \cdot 10^8$ m/s)

Identificar

Queremos calcular a energia, a frequência e o comprimento de onda do fóton emitido por um elétron no átomo de hidrogênio quando ele transita do segundo nível de energia ($n_2 = 2$) para o primeiro nível ($n_1 = 1$) usando a fórmula de Bohr.

Preparar

A fórmula de Bohr calcula a energia dos níveis do átomo de hidrogênio:

$$E_n = -\frac{13{,}6 \text{ eV}}{n^2}$$

em que E_n é a energia do elétron no nível n e 13,6 eV é a energia de ionização do hidrogênio no estado fundamental.

Pelo terceiro postulado de Bohr, a frequência (f) do fóton emitido será dada por: $E_2 - E_1 = h \cdot f$.

A partir da frequência obtida, o comprimento de onda pode ser calculado usando a equação fundamental da ondulatória: $\lambda = \frac{c}{f}$.

Executar

Para o estado fundamental, $n_1 = 1$, a energia vale:

$$E_1 = -\frac{13{,}6 \text{ eV}}{1^2} \Rightarrow E_1 = -13{,}6 \text{ eV}$$

Para o primeiro estado estacionário excitado, $n_2 = 2$, a energia vale:

$$E_2 = -\frac{13{,}6 \text{ eV}}{2^2} \Rightarrow E_2 = -3{,}4 \text{ eV}$$

Portanto, a energia emitida pelo elétron será:

$E_2 - E_1 = -3{,}4 \text{ eV} - (-13{,}6 \text{ eV}) \Rightarrow E_2 - E_1 = 10{,}2 \text{ eV}$

Portanto, a frequência do fóton emitido será:

$E_2 - E_1 = h \cdot f \Rightarrow 10{,}2 \text{ eV} = 4{,}14 \cdot 10^{-15} \text{ eV} \cdot \text{s} \cdot f \Rightarrow$

$\Rightarrow f \cong 2{,}5 \cdot 10^{15}$ Hz

A frequência calculada anteriormente equivale a um comprimento de onda dado por:

$$\lambda = \frac{c}{f} \Rightarrow \lambda = \frac{3{,}0 \cdot 10^8}{2{,}5 \cdot 10^{15}} \therefore \lambda = 1{,}2 \cdot 10^{-7} \text{ m} = 120 \text{ nm}$$

Analisar

Os resultados fazem sentido no contexto da Física Quântica e do modelo de Bohr. A transição do elétron do nível $n_2 = 2$ para $n_1 = 1$ é conhecida por emitir fótons na faixa do ultravioleta, o que corresponde a um comprimento de onda de 122 nm, uma frequência de $2{,}46 \cdot 10^{15}$ Hz e a uma energia de 10,2 eV.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Veja respostas e comentários no Suplemento para o professor.

Aplicando conhecimentos

Registre as respostas em seu caderno.

Salvo orientação contrária, onde for necessário, adote $c = 3{,}0 \cdot 10^8$ m/s para a velocidade de propagação da luz; $h = 4{,}0 \cdot 10^{-15}$ eV · s para a constante de Planck; e 1.240 eV · nm = $2{,}0 \cdot 10^{-25}$ J · m para o produto $h \cdot c$.

3. O elétron é uma partícula dotada de carga elétrica negativa, e o próton é uma partícula dotada de carga elétrica positiva. Por que o elétron não "cai" sobre o próton no átomo de hidrogênio como consequência exclusiva da atração elétrica entre eles?

4. Leia e responda às questões propostas:

a. Qual é o valor mínimo de energia que o elétron de um átomo de hidrogênio precisa receber para ser extraído desse átomo em seu estado fundamental?

b. Qual deve ser o comprimento de onda $\lambda_{máx}$ da radiação cujo fóton tem a menor energia capaz de ionizar um átomo de hidrogênio a partir de seu estado fundamental?

5. Dualidade onda-partícula

A teoria do efeito fotoelétrico de Albert Einstein é uma forte evidência em favor da ideia dos fótons, as partículas de luz. Esse fenômeno nos mostra que a luz de frequência *f*, quando interage com a matéria, faz isso como se fosse constituída por partículas com energia $E = h \cdot f$.

Entretanto, a difração e a interferência só podem ser explicadas considerando a luz como onda. Essa aparente "dupla personalidade" da luz, denominada **dualidade onda-partícula**, levanta uma questão crucial: "Afinal, a luz é onda ou partícula?".

Se, por um lado, somente o modelo de fótons explica adequadamente o efeito fotoelétrico, por outro, somente o modelo ondulatório explica a difração e a interferência. Então, qual é o modelo correto? A resposta é simples, mas incômoda. Devemos aceitar ambos os modelos! A verdadeira natureza da luz, e das demais radiações eletromagnéticas, não deve ser descrita apenas por *um* modelo teórico. O fóton, necessário para explicar o efeito fotoelétrico, e a onda, necessária para explicar a difração e a interferência, complementam-se mutuamente.

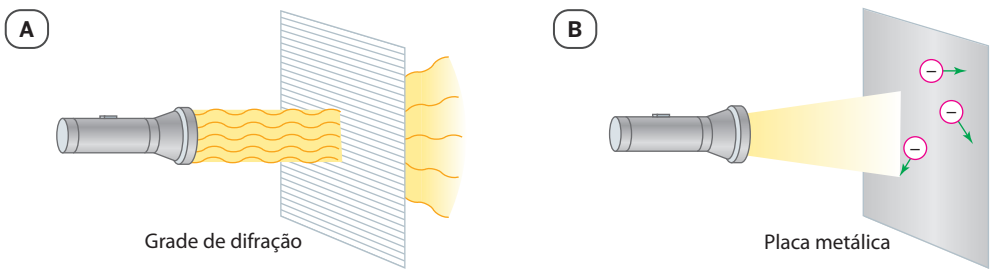
A luz tem uma **natureza dual**, isto é, exibe características ora de onda, ora de partícula, dependendo do fenômeno observado.

O enunciado a seguir exprime o princípio da complementaridade de Bohr:

> No nível quântico, ambos os aspectos, o corpuscular e o ondulatório, são necessários para uma descrição completa do sistema estudado.

Entretanto, apenas um desses aspectos é revelado em um experimento isolado. É o tipo de experimento que determina qual aspecto prevalece.

Assim, por exemplo, um feixe de luz, vindo de um canhão *laser*, propagando-se no laboratório, deve ser considerado onda ou um feixe de partículas? Essa pergunta só tem resposta se, de alguma forma, interagirmos com o feixe. Se o interceptarmos com uma grade de difração, o feixe difratará, apresentando comportamento de onda (Fig. 12A). Se o interceptarmos com uma placa de material fotoemissor (silício, por exemplo), fotoelétrons serão emitidos da placa, apresentando comportamento corpuscular (Fig. 12B).



ILUSTRAÇÕES: ERICSON GUILHERME LUCIANO/ARQUIVO DA EDITORA

Figura 12. (A) Modelo ondulatório; (B) modelo corpuscular da luz. (Representação fora de proporção; cores meramente ilustrativas.)

Nenhum dos modelos deve ser considerado isoladamente para descrever as propriedades da luz. Uma descrição completa e correta do comportamento da luz só é válida quando ambos os modelos são combinados de maneira complementar.

Se a natureza dual da luz é, por si só, um conceito difícil de aceitar, mais intrigante ainda é o fato de que também a matéria apresenta natureza dual.

Em 1924, em sua tese de doutorado, o físico francês Louis Victor Pierre Raymond (1892-1987), duque De Broglie, ou Louis De Broglie, como ficou mais conhecido, estendeu o conceito de dualidade onda-partícula dos *quanta* de luz de Einstein (os fótons) às partículas de matéria (elétrons, prótons etc.).

Partindo dessa ideia, De Broglie sugeriu que partículas materiais também apresentariam propriedades ondulatórias e, consequentemente, um comprimento de onda característico, determinado por sua quantidade de movimento. Tal comprimento de onda, denominado comprimento de onda de De Broglie (λ_B), associado à partícula, é dado por:

$$\lambda_B = \frac{h}{m \cdot v}$$

em que *h* é a constante de Planck.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

A proposta de De Broglie foi inicialmente encarada como mera especulação. Seus opositores argumentavam que, se a matéria realmente tivesse caráter dual, deveríamos esperar que elétrons, em condições adequadas, sofressem difração ao passar por fendas, fato não observado até então. Entretanto, em 1927, três anos após De Broglie publicar seu trabalho, os físicos estadunidenses Clinton J. Davisson (1881-1958) e Lester H. Germer (1896-1971), usando um alvo de níquel, obtiveram uma figura de difração que permitiu medir o comprimento de onda associado a elétrons acelerados, confirmando experimentalmente a teoria de Louis De Broglie.

Quase que simultaneamente (no mesmo ano), porém de forma independente, o físico inglês George Paget Thomson (1892-1975), filho de J. J. Thomson — o descobridor do elétron —, também obteve padrões de difração de elétrons em lâminas de celuloide. Por essa descoberta, G. P. Thomson dividiu com C. J. Davisson o Prêmio Nobel de Física em 1937. Em 1929, Louis De Broglie já havia recebido o Prêmio Nobel de Física por sua teoria dual da matéria.

O exemplo a seguir permite compreender melhor a teoria de De Broglie em um caso mais concreto.

Veja respostas e comentários no Suplemento para o professor.

Exercício resolvido

Calcule o comprimento de onda de De Broglie em duas situações extremas:

a) para uma pessoa de massa 80 kg, a uma velocidade de 20 m/s;

b) para um elétron, com velocidade de 20 m/s.

Dados: $h = 6{,}63 \cdot 10^{-34}$ J · s; $m_{elétron} = 9{,}11 \cdot 10^{-31}$ kg.

Resolução

a) Para a pessoa, o comprimento de onda de De Broglie é dado por:

$$\lambda_B = \frac{h}{m \cdot v} \Rightarrow \lambda_B = \frac{6{,}63 \cdot 10^{-24}}{80 \cdot 20} \therefore \lambda_B \simeq 4{,}1 \cdot 10^{-37}\ \text{m}$$

b) Para o elétron, temos:

$$\lambda_B = \frac{h}{m \cdot v} \Rightarrow \lambda_B = \frac{6{,}63 \cdot 10^{-24}}{9{,}11 \cdot 10^{-31} \cdot 20} \therefore \lambda_B \simeq 3{,}6 \cdot 10^{-5}\ \text{m}$$

Em vista dos resultados obtidos nesse exemplo, percebemos que o comprimento de onda associado à pessoa é muito menor que qualquer abertura pela qual ela pudesse passar. Isso significa que não podemos observar efeitos ondulatórios para objetos em escala macroscópica.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

6. Princípio da incerteza

As medidas são afetadas pelo erro. Quando medimos uma posição, uma velocidade, a intensidade de uma força, de uma corrente elétrica, uma diferença de potencial elétrico ou qualquer outra grandeza física, estamos interagindo com o sistema e, portanto, alterando o resultado da medição.

Na Física Clássica, a não ser pelo maior ou menor refinamento do aparato experimental ou do procedimento usado, não existe restrição para o grau de precisão das medições. Isso significa que, classicamente, podemos fazer medições com um grau arbitrariamente pequeno de imprecisão, ou seja, o resultado da medição é praticamente isento de erro.

No mundo governado pela Física Quântica, por sua vez, a realidade é bem diferente.

Vamos analisar um experimento simples para medir a posição e a velocidade de um elétron. Esse experimento, idealizado por Werner Heisenberg (1901-1976), ficou conhecido como microscópio de Heisenberg. A figura 13 mostra, de forma esquemática, um arranjo experimental imaginário que consta apenas de um "poderosíssimo microscópio óptico". Para medir a posição do elétron, pelo menos um fóton deverá colidir com ele (Fig. 13A), refletir para dentro do microscópio e chegar ao olho do observador (Fig. 13B). Ao colidir com o elétron, entretanto, o fóton transfere uma parcela não conhecida de sua quantidade de movimento ao elétron, que se movimenta, alterando sua velocidade e mudando sua posição.

Assim, essas medidas (posição e velocidade) ficam afetadas de erros, devido às próprias características do método utilizado. Não há medição sem interação com o sistema: **o ato de medir altera o estado do sistema**.

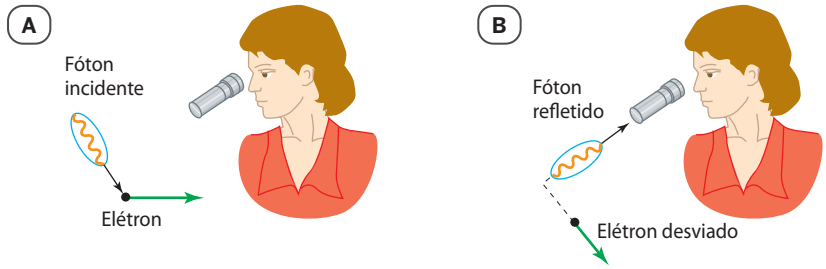


Figura 13. Representação do microscópio óptico de Heisenberg. (A) Antes da colisão do fóton com o elétron; (B) depois da colisão. (Representação fora de proporção; cores meramente ilustrativas.)

ADILSON SECCO/ARQUIVO DA EDITORA

Talvez a consequência mais importante e mais revolucionária do princípio da dualidade onda-partícula de De Broglie seja o **princípio da incerteza**, enunciado em 1927 por Werner Heisenberg (1901-1976), que afirma que as variáveis posição (x) e velocidade linear (v_x) não podem ser conhecidas, simultaneamente, com precisão ilimitada.

Isso significa que, quanto mais precisamente conhecemos o valor de uma dessas grandezas, menos precisamente conhecemos o valor da outra.

Heisenberg demonstrou que as variáveis posição (x) e velocidade linear (v_x) de uma partícula de massa m têm seus valores estimados em dado instante com incertezas mínimas Δx e Δv_x, que obedecem à seguinte relação:

$$\Delta x \cdot \Delta v_x \simeq \frac{h}{2\pi \cdot m}$$

Portanto, é impossível medir simultaneamente a posição e a velocidade de uma partícula subatômica com um grau ilimitado de precisão ou total certeza. Quanto mais preciso for o valor da sua posição, menos preciso será o valor da sua velocidade e vice-versa. Essa limitação não está relacionada à habilidade do experimentador ou à qualidade e à adequação do aparato experimental utilizado, mas é uma característica inerente à natureza dos sistemas investigados e aos métodos usados nessa escala de dimensões.

Veja respostas e comentários no Suplemento para o professor.

Aplicando conhecimentos

Registre as respostas em seu caderno.

Salvo orientação contrária, onde for necessário, adote $c = 3{,}0 \cdot 10^8$ m/s para a velocidade de propagação da luz; $h = 4{,}0 \cdot 10^{-15}$ eV · s para a constante de Planck; e $1.240 = \text{eV} \cdot \text{nm} = 2{,}0 \cdot 10^{-25}$ J · m para o produto $h \cdot c$.

5. George Paget Thomson, filho de J. J. Thomson, ganhou o Prêmio Nobel de Física em 1937 por demonstrar que os elétrons podem se comportar como ondas, em contraste com seu pai, J. J. Thomson, que havia recebido o mesmo prêmio em 1906 por provar que a eletricidade é composta de partículas chamadas de elétrons. Esse fato gerou curiosidade, pois pai e filho foram premiados por demonstrarem comportamentos opostos da matéria. Com base nisso, o curioso episódio científico entre J. J. Thomson e seu filho G. P. Thomson poderia ser resumido em apenas uma frase: "A obra do filho destruiu a obra do pai". Com base nos conceitos estudados até aqui, você considera essa frase correta ou incorreta? Justifique sua opinião.

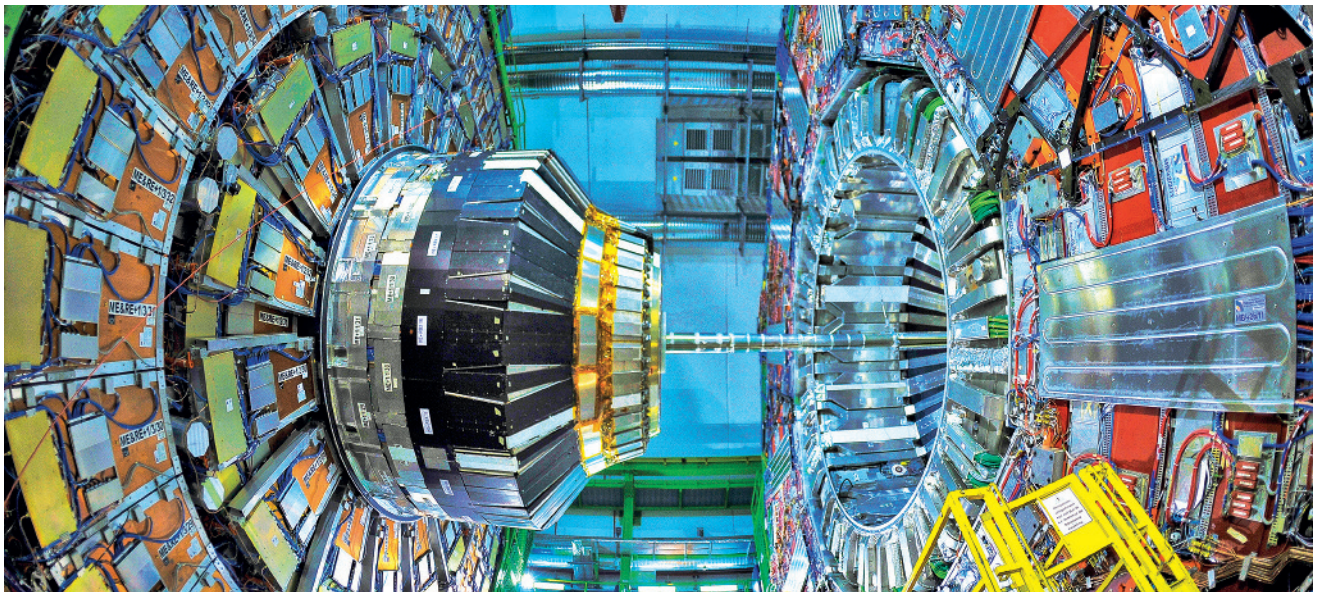
6. Considere conhecidas a massa m do elétron e a constante de Planck h. Usando a hipótese de Louis De Broglie, como podemos expressar o comprimento de onda λ_B associado a um elétron, em função de sua energia cinética E_C? Analise o que ocorre com o comprimento de onda de De Broglie se duplicarmos a energia cinética de um elétron e se duplicarmos a velocidade de um elétron.

7. Do princípio de Heisenberg, vemos que o produto das incertezas na posição e na velocidade de uma partícula é inversamente proporcional à massa dessa partícula: $\Delta x \cdot \Delta v_x \simeq \frac{10^{-34}}{m}$. Comente o que esse fato representa na prática.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

7. Noções de Física Nuclear

Atualmente, o estudo das propriedades dos núcleos atômicos e de seus componentes é realizado por meio de poderosos aceleradores de partículas, como os cíclotrons, os bévatrons, os tévatrons e o moderníssimo LHC (*Large Hadron Collider* ou Grande Colisor de Hádrons), que aceleram partículas que atingem energias de bilhões ou trilhões de elétrons-volt (Fig. 14).

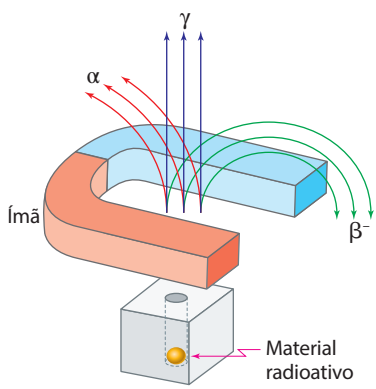


D-VISIONS/SHUTTERSTOCK

Figura 14. O LHC localiza-se na Organização Europeia para a Pesquisa Nuclear (CERN), na fronteira entre a Suíça e a França. É o maior e mais potente acelerador de partículas do mundo.

No entanto, podemos considerar que o início da Física Nuclear ocorre em 1896 com os trabalhos do físico francês Antoine Henri Becquerel (1852-1908) e seus estudos sobre radioatividade. Muitos elementos radioativos sofrem um processo chamado **decaimento radioativo**, no qual núcleos instáveis se transformam em núcleos mais estáveis ao emitir radiação sofrendo, portanto, uma **transmutação nuclear**.

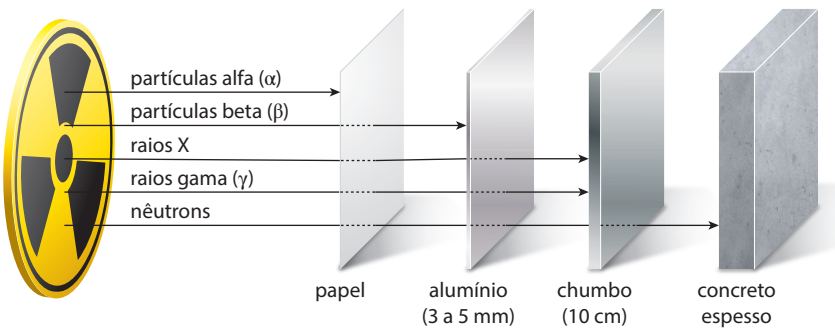
A descoberta da radioatividade natural em compostos de urânio por Becquerel despertou interesse dos cientistas no final do século XIX e início do século XX, que desenvolveram estudos para entender essas emissões. Os trabalhos pioneiros de Rutherford nessa área revelaram três tipos distintos de "radiação", que ele chamou de **alfa** (α), **beta** (β) e **gama** (γ) (Fig. 15), classificadas de acordo com o tipo de carga elétrica, de sua maior ou menor capacidade de penetrar a matéria e de ionizar ou não o ar (Fig. 16).



ADILSON SECCO/ARQUIVO DA EDITORA

Fonte: elaborado com base em HEWITT, P. G. **Física conceitual**. 13. ed. Porto Alegre: Bookman, 2022.

Figura 15. Esquema das emissões radioativas. Na presença de um campo magnético, as emissões alfa e beta são defletidas em sentidos opostos. A radiação gama não sofre influência do campo magnético. (Representação fora de proporção; cores meramente ilustrativas.)



NELSON MATSUDA/ARQUIVO DA EDITORA

Fonte: elaborado com base em HEWITT, P. G. **Física conceitual**. 13. ed. Porto Alegre: Bookman, 2022.

Figura 16. Poder de penetração das radiações nucleares α, β, raios X, raios γ e nêutrons rápidos. (Representação fora de proporção; cores meramente ilustrativas.)

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Experimentos posteriores mostraram que as emissões α não são radiações eletromagnéticas, e sim **núcleos de átomos de hélio** (2 prótons + 2 nêutrons) emitidos por núcleos instáveis mais pesados. As emissões β também não são radiações eletromagnéticas, e sim **elétrons** (β^-) ou **pósitrons** (β^+) emitidos por núcleos atômicos instáveis. Pósitrons são **elétrons positivos**, também chamados de antielétrons. Apenas a radiação γ é, de fato, radiação eletromagnética, semelhante à luz ou aos raios X. As radiações γ são fótons emitidos por núcleos atômicos radioativos ou são resultado de processos de **aniquilação matéria-antimatéria**. As denominações α, β e γ, adotadas por Rutherford, são usadas até hoje.

Excetuando-se o hidrogênio atômico, cujo núcleo é formado por apenas um próton, todos os outros núcleos atômicos são formados por prótons e nêutrons. Prótons e nêutrons são genericamente denominados **núcleons**. Qualquer núcleo atômico X pode ser representado como ${}^{A}_{Z}\mathrm{X}$, sendo Z o número de prótons (ou número atômico) e A o número total de núcleons do núcleo (ou número de massa). O símbolo ${}^{A}_{Z}\mathrm{X}$ é chamado de **nuclídeo**.

A massa do próton é aproximadamente 1.836 vezes a massa do elétron, embora ambos tenham a mesma quantidade de carga elétrica. Prótons e nêutrons têm massas muito próximas entre si. A massa de um próton é de 1,007276 u, e a do nêutron é de 1,008665 u, onde u é a chamada unidade de massa atômica ($1\ \mathrm{u} = 1{,}6605391 \cdot 10^{-27}$ kg).

Conhecendo as massas do próton e do nêutron, poderíamos pensar que um núcleo com Z prótons (cada um com massa m_p) e N nêutrons (cada um com massa m_n) deveria ter uma massa M_T (valor teórico):

$$M_T = Z \cdot m_p + N \cdot m_n$$

No entanto, não é o que se observa na realidade. Se fizermos esse cálculo para o núcleo de ferro ($Z = 26$ e $N = 30$), teremos:

$$M_T = 26 \cdot 1{,}00727647\ \mathrm{u} + 30 \cdot 1{,}00866492\ \mathrm{u} = 56{,}449135\ \mathrm{u}$$

Todavia, encontramos para a massa do núcleo de ferro o valor $M_{Fe} = 55{,}934936$ u. Essa diferença, menor que 1%, deve-se à **energia de ligação do núcleo**. O valor teórico (M_T) dá apenas uma ideia aproximada da massa do núcleo. A energia de ligação nuclear, isto é, a energia que deve ser fornecida ao núcleo para separar seus núcleons componentes, é calculada pela equação da conversão massa-energia de Albert Einstein:

$$E_{\text{ligação}} = \Delta m \cdot c^2$$

sendo Δm a diferença entre a soma das massas dos núcleons e a massa do núcleo formado, chamada de **déficit de massa** do núcleo.

Para um núcleo de ferro 56, temos:

$$\Delta m = 56{,}4491\ \mathrm{u} - 55{,}9349\ \mathrm{u} = 0{,}5142\ \mathrm{u} = 8{,}5385 \cdot 10^{-28}\ \mathrm{kg} = 478{,}975\ \mathrm{MeV/c^2}\ (1\ \mathrm{kg} = 5{,}6096 \cdot 10^{29}\ \mathrm{MeV/c^2})$$

Embora pareça pequena, essa diferença de massas corresponde à maior energia de ligação por núcleon de todos os elementos da tabela periódica, isto é, o ferro é o núcleo mais estável entre todos os elementos (8,6 MeV/núcleon).

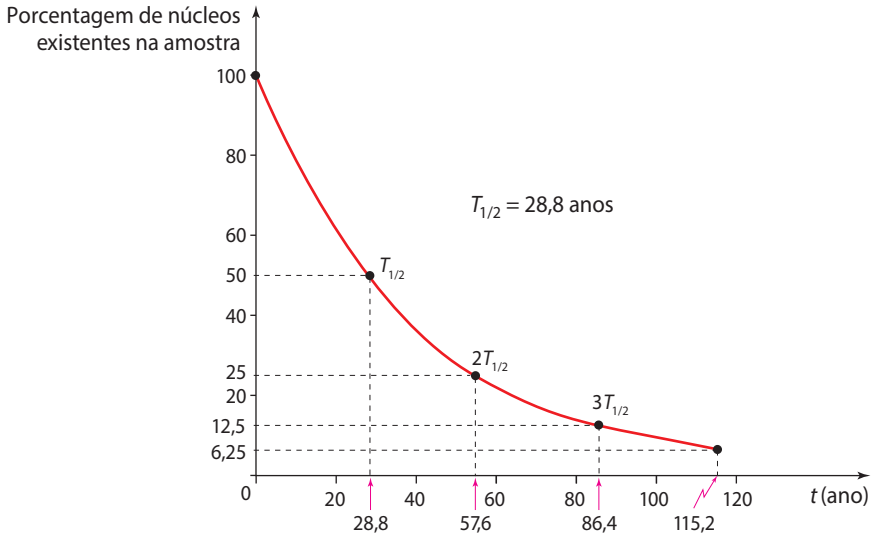
A equação que relaciona a massa e energia é um dos resultados obtidos por Albert Einstein na **teoria especial da relatividade**, assunto que será tratado no próximo capítulo.

8. Lei do decaimento radioativo

O casal Curie, Marie Curie (1867-1934) e Pierre Curie (1859-1906), observou que a atividade radioativa dos elementos estudados obedecia a uma lei relativamente simples: a taxa de desintegração de uma amostra radioativa é proporcional ao número de núcleos existentes na amostra. À medida que a amostra sofre desintegração, a taxa de emissão decai exponencialmente. O intervalo de tempo necessário para que o número de núcleos radioativos na amostra caia para a metade do valor inicial é chamado de **período de semidesintegração** ou **meia-vida** ($T_{1/2}$). Alguns elementos têm períodos muito curtos — alguns segundos ou menos —, enquanto outros têm períodos muito longos — anos, milhares de anos, milhões de anos e até bilhões de anos, como o ${}^{238}\mathrm{U}$.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

O $T_{1/2}$ do urânio-238 é de 4,5 bilhões de anos, e o do estrôncio-90 é de 28,8 anos (Fig. 17).



ADILSON SECCO/ARQUIVO DA EDITORA

Figura 17. Representação gráfica do decaimento do estrôncio-90 para ítrio-90, segundo a equação: $^{90}Sr \rightarrow {}^{90}Y + \beta^-$.

Para o radônio-222, formado após o decaimento alfa do rádio-226, o $T_{1/2}$ vale 3,8 dias. Já o polônio-214 tem meia-vida de $1{,}5 \cdot 10^{-4}$ s.

Para determinar a taxa (r) de decaimento (ou taxa de desintegração) da amostra após n meias-vidas, usamos a relação:

$$r = \left(\frac{1}{2}\right)^n \cdot r_0$$

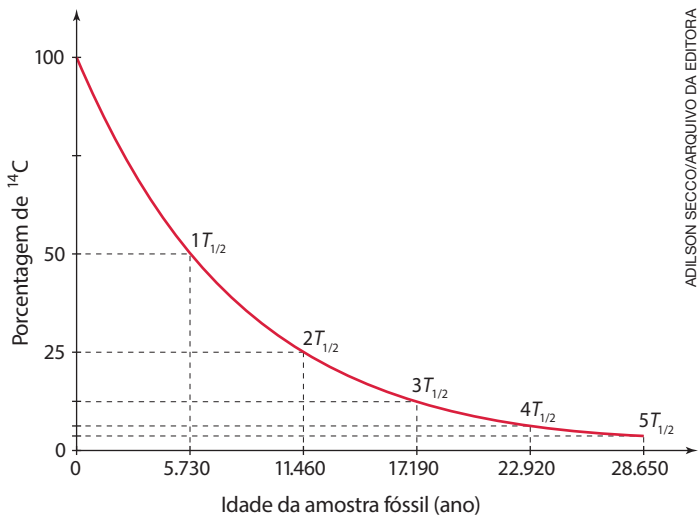
na qual r_0 é a taxa de emissão em $t_0 = 0$ e n é o número de meias-vidas. As taxas de emissão podem ser expressas em porcentagens, adotando-se $r_0 = 100\%$.

Vamos entender melhor como se aplica a lei da desintegração radioativa acompanhando o exemplo a seguir.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Exercício resolvido

Desde 1940, o isótopo radioativo carbono-14 (^{14}C) é utilizado para datação de amostras de fósseis orgânicos. Em 1960, Willard F. Libby (1908-1980), da Universidade de Chicago, recebeu o Prêmio Nobel de Química pela criação desse método. Os organismos vivos absorvem o ^{14}C durante toda a sua vida, principalmente pelos alimentos ingeridos. Em um organismo vivo, a proporção entre o ^{14}C e o ^{12}C é constante. Após a morte desse organismo, os núcleos de ^{14}C começam a emitir partículas β^-, decaindo para ^{14}N, que é um núcleo estável. O período de semidesintegração (meia-vida) do ^{14}C é $T_{1/2} = 5.730$ anos. O gráfico representado mostra o decaimento (desintegração) percentual do ^{14}C, como função da idade da amostra observada.



ADILSON SECCO/ARQUIVO DA EDITORA

Com os dados do gráfico:

a) determine a porcentagem de ^{14}C na amostra após 5 meias-vidas;

b) estime a idade de uma amostra fóssil que apresente 30% de ^{14}C na sua composição.

CONTINUA

Resolução

a) Vamos designar por P_n a porcentagem de ^{14}C na amostra após n meias-vidas. Assim:

$P_n = \left(\frac{1}{2}\right)^n \cdot 100\%$

Logo, após 5 meias-vidas teremos:

$P_5 = \left(\frac{1}{2}\right)^5 \cdot 100\% = \frac{1}{32} \cdot 100\% = 3{,}125\%$ de ^{14}C na amostra.

b) Nesse item, vamos adotar $\log\left(\frac{1}{2}\right) = -0{,}30$, $\log 0{,}30 = -0{,}52$ e usar a propriedade $\log(a^n) = n \cdot \log a$.

Novamente, temos $P_n = \left(\frac{1}{2}\right)^n \cdot 100\% \Rightarrow 30\% = \left(\frac{1}{2}\right)^n \cdot 100\% \Rightarrow$

$\Rightarrow \left(\frac{1}{2}\right)^n = 0{,}3 \Rightarrow n \cdot \log\left(\frac{1}{2}\right) = \log(0{,}3) \Rightarrow n \simeq 1{,}737$ meia-vida, que, em anos, será:

$1{,}737 \cdot 5.730$ anos $\simeq 9.953$ anos.

Observação: a porcentagem de ^{14}C na amostra é determinada pela taxa de decaimento desse isótopo na amostra. Para um organismo vivo, essa taxa é de 15 emissões beta/(minuto), por grama da amostra. Assim, medindo-se a taxa atual na amostra fóssil, temos a porcentagem de decaimentos e podemos estimar sua idade.

Veja comentários no Suplemento para o professor.

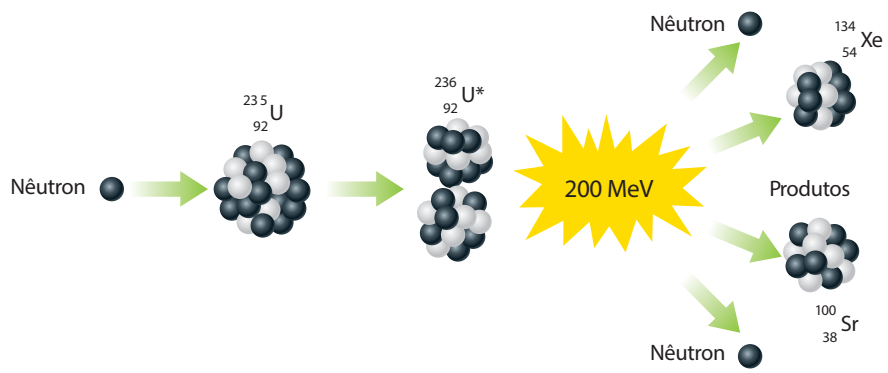
Atividade em grupo

O método de datação por carbono-14 é usado para determinar a idade de materiais antigos, como artefatos e fósseis. Em grupos de 3 a 4 integrantes, pesquisem como o carbono-14 é formado e absorvido pelos organismos. Em seguida, procurem entender como funciona o método de datação a partir do carbono-14, aplicado na Arqueologia e na Paleontologia, e as limitações do método na datação de materiais orgânicos muito antigos. Preparem uma apresentação para expor seus resultados para o restante da turma.

OBJETO DIGITAL *Podcast*: Hiroshima: da devastação ao símbolo da paz

9. Fissão e fusão nucleares

Basicamente, existem dois modos de obter grandes quantidades de energia a partir dos núcleos atômicos: reações nucleares de **fissão** e reações nucleares de **fusão**. Na **fissão nuclear**, bombardeia-se um núcleo pesado, em geral com nêutrons rápidos ou partículas α, provocando a quebra desse núcleo, originando núcleos menores (produtos), mais nêutrons rápidos e grande quantidade de energia na forma de radiação eletromagnética, em geral radiação γ. A energia liberada na fissão do núcleo corresponde à diferença entre a energia de ligação do núcleo fissionado (núcleo pai) e a soma das energias de ligação dos núcleos dos produtos da reação (núcleos filhos).



Fonte: elaborado com base em HEWITT, P. G. **Física conceitual**. 13. ed. Porto Alegre: Bookman, 2022.

Figura 18. Esquema de uma reação de fissão do urânio-235, originando xenônio e estrôncio.

ADILSON SECCO/ARQUIVO DA EDITORA

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Podemos representar simbolicamente a reação (Fig. 18) pela seguinte equação:

$$^{1}_{0}n + {}^{235}_{92}U \rightarrow {}^{236}_{92}U^{*} \rightarrow {}^{134}_{54}Xe + {}^{100}_{38}Sr + 2({}^{1}_{0}n) + 200\ MeV$$

O núcleo $^{236}_{92}U^{*}$ é altamente instável e decai em 10^{-12} s.

A energia de 200 mega elétrons-volt (MeV), obtida a partir de cada núcleo de ^{235}U fissionado, corresponde a, aproximadamente, 23.000 quilowatts-hora (kWh) por grama desse elemento. Se essa quantidade de energia pudesse ser totalmente transformada em energia elétrica, seria suficiente para suprir uma residência de médio consumo (500 kWh/mês) por um período em torno de quatro anos.

A **fusão nuclear** é o processo inverso da fissão e consiste na produção de núcleos mais pesados a partir da colisão entre núcleos mais leves. Esse é o processo de geração de matéria e energia nos núcleos estelares, denominado **nucleossíntese**. Por exemplo, no núcleo do Sol, entre outras reações nucleares, quatro núcleos de hidrogênio colidem entre si, formando um núcleo de hélio e outros subprodutos mais 26,2 MeV de energia eletromagnética.

$$4\,{}^{1}_{1}H \rightarrow {}^{4}_{2}He + 2\,{}^{0}_{1}\beta + 2{}^{0}_{0}\nu + 26{,}2\ MeV$$

Assim como ocorre na fissão nuclear, na fusão nuclear, a soma das massas dos núcleos reagentes é **maior** que a massa do núcleo final. A massa "desaparecida" foi convertida em energia eletromagnética. Essa quantidade de energia também é calculada pela equação da conversão massa-energia da teoria especial da relatividade ($E = m \cdot c^2$), que será estudada em outro capítulo.

Nas reações nucleares, há conservação dos números atômico e de massa dos núcleos envolvidos, isto é:

- a soma dos números atômicos dos reagentes é igual à soma dos números atômicos dos produtos;
- a soma dos números de massa dos reagentes é igual à soma dos números de massa dos produtos.

Assim, na reação nuclear $^{a}_{b}A + {}^{c}_{d}B \rightarrow {}^{w}_{x}C + {}^{y}_{z}D$ temos:

- $a + c = w + y$ (conservação do número de massa)
- $b + d = x + z$ (conservação do número atômico)

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Veja respostas e comentários no Suplemento para o professor.

Aplicando conhecimentos

Registre as respostas em seu caderno.

8. Um núcleo atômico de massa M e número de massa A é formado por P prótons, cada um de massa m_p, e N nêutrons, cada um de massa m_N. Determine para esse núcleo:

a. o seu número atômico Z;

b. o seu número de nêutrons N;

c. a sua energia de ligação E_{lig}.

9. O dr. Spock entra nos aposentos dos visitantes devonianos, e o alarme do seu detetor de radiação (dosímetro) dispara. Ele desliga o alarme e aproxima o medidor do único corpo estranho na sala, que seria um "presente" dos devonianos aos tripulantes da nave *USS Enterprise*. A leitura no aparelho indica uma atividade radioativa de 4.000 contagens/segundo. Depois de 10 minutos, a taxa cai para 1.000 contagens/segundo.

a. Qual é a meia-vida do material do "presente"?

b. Qual é a taxa de contagens na amostra, após meia hora da primeira medição?

10. Bombardeiam-se núcleos de boro com prótons, obtendo-se núcleos de berílio, segundo a reação:

$$^{11}_{5}B + {}^{1}_{1}p \rightarrow {}^{8}_{4}Be + {}^{a}_{b}X$$

a. Determine os valores de a e b, índices do nuclídeo X na equação acima.

b. Identifique o nuclídeo $^{a}_{b}X$ e o nome pelo qual é mais conhecido.

10. Nanotecnologia

O termo Nanotecnologia se refere a um conjunto de técnicas empregadas na manufatura de estruturas com dimensões da ordem de 1 a 100 nanômetros.

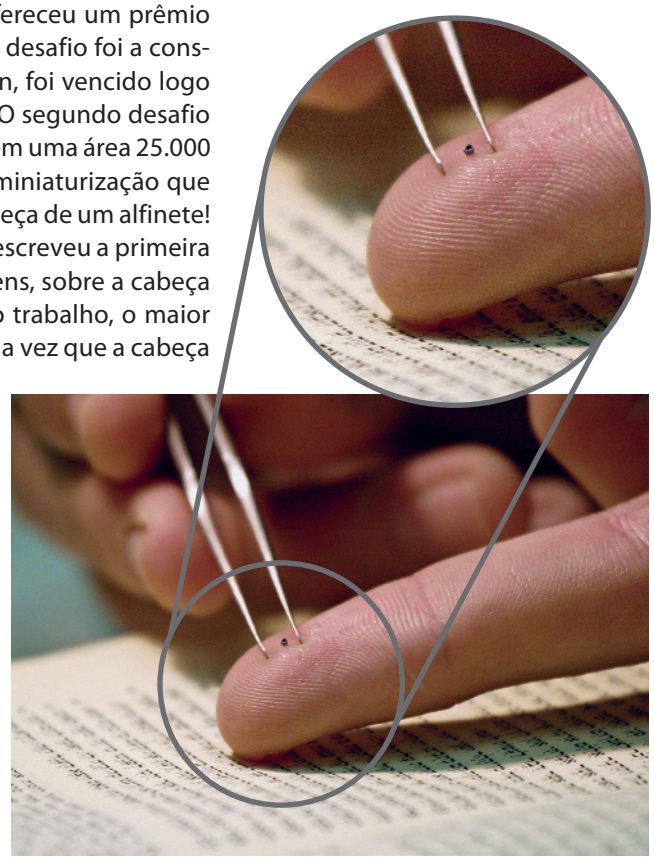
De modo geral, podemos dizer que, na Nanotecnologia, são estudados e desenvolvidos tecnologias, dispositivos e estruturas com dimensões da ordem de 100 nanômetros ou menos, visando à manipulação da matéria em escala atômica e molecular, quase que átomo por átomo.

Os campos de atuação da Nanotecnologia são amplos e complexos, abrangendo a construção de nanomecanismos, a síntese de novos materiais industriais, a criação de novas técnicas e tecnologias que abriram novas frentes de pesquisa, como a Nanomedicina, a Nanomecânica, a Nanoeletrônica e a Nano-óptica.

As primeiras observações e medições de nanopartículas foram feitas na primeira década do século XX pelo químico austríaco Richard Adolf Zsigmondy (1865-1929), ao pesquisar coloides com partículas dispersas de dimensões de 10 nm ou menos, utilizando um ultramicroscópio capaz de amplificar imagens de objetos com dimensões menores que o comprimento de onda da luz. Zsigmondy foi o primeiro a empregar o termo "nanômetro" para caracterizar o tamanho das partículas. Apesar de o seu maior desenvolvimento tecnológico ser relativamente recente (década de 1980), costuma-se datar a origem da Nanotecnologia entre 1959 e 1960 por ocasião de uma palestra proferida por Richard Feynman (1918-1988), no Caltech (Instituto de Tecnologia da Califórnia), em 29 de dezembro de 1959. Em seu visionário discurso, Feynman descreveu um processo para desenvolver a habilidade de manipular átomos e moléculas individualmente, usando um conjunto apropriado de ferramentas precisas e capazes de construir e operar sistemas ainda menores.

Nesse encontro, Feynman anunciou dois desafios e ofereceu um prêmio em dinheiro aos primeiros que os resolvessem. O primeiro desafio foi a construção de um nanomotor que, para a surpresa de Feynman, foi vencido logo em novembro de 1960 por William McLellan (1924-2011). O segundo desafio era a possibilidade de se inscrever uma página de um livro em uma área 25.000 vezes menor que o seu tamanho original. Uma escala de miniaturização que permitiria escrever toda a *Enciclopédia Britânica* sobre a cabeça de um alfinete! Esse prêmio foi reclamado em 1985 por Tom Newman. Ele escreveu a primeira página do livro *Um conto de duas cidades*, de Charles Dickens, sobre a cabeça de um alfinete, usando um feixe de elétrons. Terminado o trabalho, o maior problema de Tom foi conseguir localizar o texto escrito, uma vez que a cabeça do alfinete era uma gigantesca área vazia.

Em 2007, cientistas escreveram uma versão completa da Bíblia hebraica em uma lâmina de silício de 0,5 mm de lado, uma superfície com área quase um quinto da área de uma cabeça de alfinete coberta por uma película de ouro com espessura de 20 nm. Só se consegue ler a "nanobíblia" com o auxílio de um microscópio eletrônico de varredura (Fig. 19).



HANDOUT/GETTY IMAGES

Figura 19. "Nanobíblia" sobre o dedo indicador. Cerca de 1,25 milhão de caracteres inscritos em uma área do tamanho de um grão de açúcar.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Veja respostas e comentários no Suplemento para o professor.

Dialogando com o texto

Um exemplo de como a Nanotecnologia utiliza interações fundamentais é o desenvolvimento de nanopartículas para tratamento de câncer. Essas partículas têm dimensões da ordem de 10 a 100 nanômetros e utilizam forças eletromagnéticas para se ligar a células cancerígenas específicas. O princípio é que as nanopartículas, devido ao seu tamanho, podem interagir com as células de maneira muito mais precisa do que os tratamentos tradicionais, e a força eletromagnética é crucial para essa seletividade e eficácia.

Faça uma pesquisa sobre como nanopartículas são usadas em diversos campos, como na Medicina, em novos medicamentos, e na Engenharia, em sensores ou materiais de alta resistência.

Veja respostas e comentários no Suplemento para o professor.

Atividades finais

Registre as respostas em seu caderno.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

1. Quando uma onda sofre refração, algumas das grandezas que caracterizam sua propagação conservam os valores que tinham no meio de origem; entretanto, outras sofrem alterações. Considere uma onda eletromagnética propagando-se no meio *A*, com velocidade de propagação v_A e comprimento de onda λ_A, passando para outro meio *B*, no qual sua velocidade de propagação é v_B ($v_B > v_A$) e seu comprimento de onda é λ_B. De posse dessas informações, analise as afirmações seguintes e assinale a opção correta no código dado.

1. d

I. O quociente $\frac{v}{\lambda}$ tem o mesmo valor nos meios *A* e *B*.

II. Nos meios *A* e *B*, devemos ter $v_A \cdot \lambda_A = v_B \cdot \lambda_B$.

III. Nos meios *A* e *B*, os fótons dessa radiação têm energias E_A e E_B, tais que $E_A = E_B$.

Código:

a. Todas as afirmações estão corretas.

b. Todas as afirmações estão incorretas.

c. Estão corretas apenas as afirmações I e II.

d. Estão corretas apenas as afirmações I e III.

e. Estão incorretas as afirmações I e III.

2. **(Enem)** As células fotovoltaicas (placas semicondutoras compostas de silício) são os componentes principais dos painéis solares e são capazes de converter, com certa eficiência, parte da energia dos raios solares em energia elétrica. Essa conversão é causada pelo fenômeno físico denominado "efeito fotoelétrico", que pode ocorrer em uma variedade de materiais, incluindo metais e semicondutores. Na superfície dos metais, a sequência de eventos que caracteriza esse efeito, de forma simplificada, é a

2. a

a. absorção de fótons e a emissão de elétrons.

b. absorção de elétrons e a emissão de fótons.

c. emissão de fótons e a absorção de elétrons.

d. absorção e a emissão de elétrons.

e. absorção e a emissão de fótons.

3. O núcleo de ouro-198 decai segundo a reação:

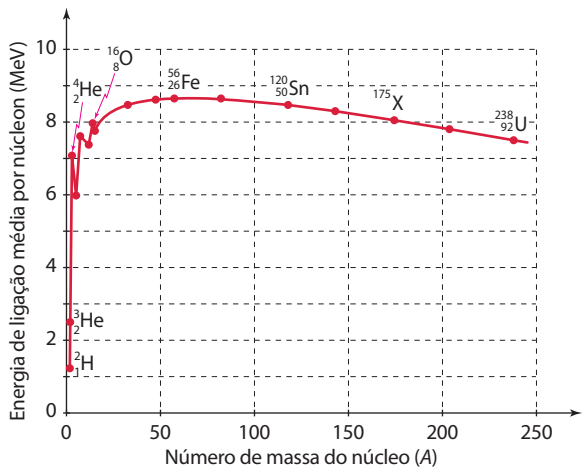
$$^{198}_{79}\text{Au} \rightarrow {}^{X}_{Y}\text{Z} + {}^{0}_{-1}\beta + {}^{0}_{0}\nu$$

O nuclídeo ${}^{X}_{Y}\text{Z}$ representa o elemento a ser determinado, ${}^{0}_{-1}\beta$ representa uma partícula β negativa (elétron) e ${}^{0}_{0}\nu$ representa um neutrino.

a. Determine *X* e *Y* na equação.

b. Identifique o elemento representado pelo nuclídeo ${}^{X}_{Y}\text{Z}$. Para isso, consulte a tabela periódica.

4. O gráfico representa simplificadamente a energia de ligação média, por núcleon, de alguns elementos químicos. Com base no gráfico, responda às questões formuladas a seguir.



ADILSON SECCO/ARQUIVO DA EDITORA

a. O que é energia de ligação de um núcleo atômico?

b. Analisando o gráfico, é correto afirmar que o núcleo $^{16}_{8}$O tem a mesma energia de ligação nuclear que o elemento ^{175}X indicado na curva? Comente.

c. Pela análise do gráfico, é possível visualizar um motivo para o uso do $^{235}_{92}$U como combustível nuclear na geração de energia elétrica, e não o $^{238}_{92}$U? Justifique.

5. O urânio-235 (^{235}U) sofre fissão, originando bário e criptônio, de acordo com a seguinte reação:

$$^{235}_{92}\text{U} + {}^{1}_{0}\text{n} \rightarrow {}^{140}_{56}\text{Ba} + {}^{94}_{36}\text{Kr} + 2\ {}^{a}_{b}X$$

O símbolo ${}^{1}_{0}\text{n}$ representa um nêutron. Determine os valores de *a* e *b* e identifique o nuclídeo ${}^{a}_{b}\text{X}$.

CAPÍTULO 23

Teoria da Relatividade, Astrofísica e Cosmologia

DANIEL ZEPPO/ARQUIVO DA EDITORA

Representação do paradoxo dos gêmeos.

Imagine a seguinte situação: ao fazer 25 anos, Beatriz inicia uma viagem espacial em uma nave que se desloca a uma velocidade correspondente a 80% da velocidade de propagação da luz. Ao retornar, após 9 anos, registrados no relógio da nave, Beatriz reencontra sua irmã gêmea, Alice, que permaneceu na Terra. Para surpresa de ambas, pela contagem de tempo de Alice (aqui na Terra), a viagem teve duração de 15 anos. Portanto, Alice está com 40 anos, enquanto Beatriz está com 34!

Fato estranho, porém, real. Para quem viaja a velocidades próximas à da luz, o tempo passa mais lentamente do que para quem fica. Esse efeito do movimento em velocidades altíssimas, muito explorado nas obras de ficção científica, chamado dilatação do tempo, é explicado pela Teoria Especial da Relatividade e comprovado de forma experimental

No entanto, para Beatriz, a gêmea que embarca na nave, foi Alice, a gêmea que ficou na Terra, quem viajou no sentido contrário e, portanto, Alice é que deveria estar mais jovem! Este é o princípio da relatividade: se A se afasta de B com velocidade $+v$, B se afasta de A com velocidade $-v$. Por esse motivo, essa situação é denominada paradoxo dos gêmeos, embora não haja paradoxo algum. Um paradoxo é um argumento ou uma proposição que contraria princípios básicos ou leis naturais. Por exemplo, comprar um automóvel novo e não usá-lo por medo de desgastá-lo ou de danificá-lo. No caso das gêmeas, não há paradoxo, pois as situações não são simétricas. Beatriz, a gêmea na nave, experimenta intervalos de tempo de aceleração e desaceleração durante seu ponto de retorno, enquanto Alice, a gêmea que fica na Terra, não sofre os efeitos de acelerações e desacelerações. São exatamente esses efeitos que explicam a diferença das idades, mostrando a inexistência do paradoxo, e que fazem parte da Teoria da Relatividade Geral.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

1. Introdução

Embora, atualmente, a **Teoria Especial da Relatividade**, ou **Teoria da Relatividade Restrita**, esteja presente em quase todos os campos da Física e da tecnologia, sua origem está ligada ao Eletromagnetismo e à Óptica.

O fato de as ondas eletromagnéticas, previstas por James Clerk Maxwell (1831-1879) em 1865 e trazidas à realidade em 1887 nos experimentos de Heinrich Hertz (1857-1894), não necessitarem de um meio material para se propagar desafiava os paradigmas da Física da época, pois qualquer onda necessita de um meio elástico para se propagar; então, em que meio as ondas eletromagnéticas estão oscilando?

Em 1887, Albert A. Michelson (1852-1931) e Edward W. Morley (1838-1923) aperfeiçoaram um experimento já realizado em 1881 por Michelson, destinado a medir a variação da velocidade de propagação da luz através do "éter", um meio absolutamente estático, que preencheria todo o espaço e que seria o "suporte" para a propagação das ondas eletromagnéticas.

Se o éter existisse, a velocidade da luz seria afetada pela "correnteza do éter", quer se propagasse paralelamente ao movimento de translação da Terra ou perpendicularmente a ele. Esse experimento foi contínua e exaustivamente repetido entre abril e julho de 1887, registrando um persistente e intrigante resultado negativo, isto é, não se detectou variação alguma na velocidade de propagação da luz, o que indicava a inexistência do éter. O experimento foi sistematicamente repetido até, aproximadamente, 1930, apresentando o mesmo resultado negativo.

Em 1892, Hendrik Lorentz (1853-1928) apresentou um argumento puramente matemático envolvendo um fator chamado **contração do espaço**, que já havia sido proposto em 1889 pelo físico irlandês George F. Fitzgerald (1851-1901), na tentativa de preservar o conceito de éter e justificar os resultados inesperados dos experimentos de Michelson e Morley.

Logo em seguida, em 1897, outro físico irlandês, Joseph Larmor (1857-1942), desenvolveu uma teoria sobre a origem eletromagnética de todas as forças e, como consequência direta do seu modelo, obteve o mesmo fator de contração do espaço.

Somente em 1905, com a publicação da Teoria Especial da Relatividade, o físico alemão Albert Einstein (1879-1955) mostrou que a contração do espaço e outros efeitos tão contra intuitivos quanto esse são consequências naturais de uma nova interpretação dos conceitos de **matéria**, **espaço** e, principalmente, **tempo**. A Teoria Especial da Relatividade, juntamente com Teoria Quântica de Planck, dava ao mundo uma nova Física, hoje denominada **Física Moderna**.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

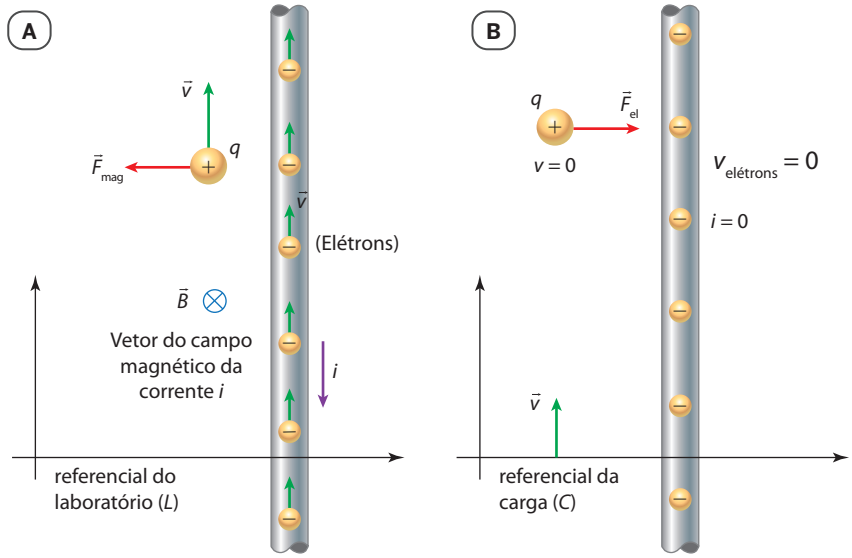
2. Teoria especial da relatividade

Galileu foi um dos pioneiros a lidar com o conceito de **referencial inercial**, também conhecido como **referencial galileano**, em relação aos quais um corpo livre da ação de forças tem **velocidade vetorial constante**, isto é, nula se ele estiver em repouso ou não nula se estiver em movimento retilíneo e uniforme. Quaisquer referenciais que se movam relativamente entre si em linha reta e com velocidade de módulo constante serão considerados referenciais inerciais e equivalentes entre si do ponto de vista dos fenômenos físicos. As leis físicas da mecânica galileana devem ser as mesmas em qualquer referencial inercial. Este é o **princípio da relatividade de Galileu**, que pode ser assim enunciado:

> Qualquer experimento da mecânica, observado de um determinado referencial inercial, conserva os mesmos princípios e as mesmas leis físicas quando observado de qualquer outro referencial inercial.

Esse princípio é verificado com excelente exatidão para qualquer fenômeno ou lei de conservação no campo da Mecânica. Entretanto, alguns fenômenos eletromagnéticos o contradizem.

Considere, por exemplo, um fio condutor em repouso no referencial *L* do laboratório é percorrido por uma corrente elétrica de intensidade *i*, constituída por elétrons que se movem com velocidade $\vec{v}$ constante, medida em *L* (Fig. 1). Essa corrente gera um campo magnético de indução $\vec{B}$ ao redor do fio, que exerce uma força magnética de repulsão $\vec{F}_{mag}$ sobre uma carga elétrica positiva *q*, que se move com velocidade $\vec{v}$ igual à dos elétrons.



NELSON MATSUDA/ARQUIVO DA EDITORA

Figura 1. Alguns fenômenos eletromagnéticos não preservam o princípio da relatividade de Galileu. (A) No referencial do laboratório (*L*), a carga é repelida pela força gerada pelo campo magnético da corrente. (B) No referencial da própria carga (*C*), a força é de atração eletrostática.

No referencial *C*, que se move com velocidade $\vec{v}$ relativamente a *L*, a carga elétrica *q* e os elétrons do fio estão em repouso e, portanto, nesse referencial, a carga elétrica sofre uma força de atração, de natureza eletrostática ($\vec{F}_{el}$), por parte dos elétrons. Embora no referencial *C* as cargas elétricas positivas do fio estejam em movimento com velocidade $-\vec{v}$, a carga elétrica *q* não sofre ação de força magnética por estar em repouso nesse referencial.

Chegamos, assim, a uma contradição: no referencial *L*, a carga elétrica *q* é repelida pelo fio, enquanto no referencial *C* ela é atraída para ele.

Esse "experimento mental" mostra que, nesse caso, os referenciais inerciais *L* e *C* não são equivalentes entre si, como exige o princípio da relatividade de Galileu.

No final do século XIX, os cientistas estavam em dúvida entre alterar a teoria eletromagnética de Maxwell ou aceitar que os fenômenos eletromagnéticos eram incompatíveis com o princípio da relatividade de Galileu. No ano de 1905, Einstein apresentou ao mundo cinco trabalhos que mudariam a história da Física. Um desses trabalhos, intitulado *Sobre a eletrodinâmica dos corpos em movimento*, resolveu o conflito entre a teoria de Maxwell e os referenciais inerciais e revolucionou os conceitos de espaço, tempo, matéria e energia, como concebidos até então. Chamou-a de **teoria da relatividade restrita**, uma vez que tratava apenas de eventos observados a partir de referenciais inerciais.

Essa teoria é também conhecida como **teoria especial da relatividade** e fundamenta-se em dois postulados:

1º postulado – princípio da relatividade: As leis da Física são as mesmas em todos os referenciais inerciais. Não existe um referencial inercial privilegiado ou absoluto.

O primeiro princípio refere-se às leis da Mecânica, da Termodinâmica, da Óptica, da Eletricidade e do Magnetismo e é uma generalização do princípio da relatividade de Galileu, que se aplicava somente às leis da Mecânica. Essa generalização só foi possível após uma nova interpretação dos conceitos de espaço e tempo.

2º postulado – princípio da constância da velocidade da luz: A velocidade da luz no vácuo tem o mesmo valor em todos os referenciais inerciais e é independente do movimento relativo entre fonte e observador.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

O segundo princípio é uma consequência do primeiro, uma vez que, se a velocidade da luz no vácuo fosse igual a c somente para algum referencial especial, este poderia ser identificado ou distinguido entre outros por algum experimento envolvendo a velocidade da luz, o que estaria em contradição com o primeiro princípio.

Em 1983, com a modificação da definição do metro, o valor da velocidade da luz foi oficialmente adotado na Conferência Geral de Pesos e Medidas como $c = 299.792.458$ m/s.

Outra consequência dos postulados da teoria especial da relatividade é que o valor c é o **limite** máximo para as velocidades no Universo. Nenhuma partícula ou sinal pode se mover com velocidade superior a c. Se não fosse assim, um observador movendo-se de encontro a um raio de luz, no vácuo, mediria uma velocidade de propagação maior que c, resultado que estaria em conflito com o segundo princípio.

Consequências da relatividade de Einstein

Relatividade da simultaneidade

Se dois eventos ocorrem no mesmo instante em um dado referencial, dizemos que eles são simultâneos nesse referencial. Entretanto, esses mesmos eventos não serão necessariamente simultâneos em outros referenciais. Vamos analisar uma situação simples e ilustrativa.

Um veículo move-se em linha reta, com velocidade constante v relativamente ao solo. Em $t' = 0$, uma lâmpada é acesa no ponto médio entre as paredes A e B do veículo, e a luz emitida com velocidade c chega simultaneamente a essas paredes, para um observador dentro do veículo (referencial S') (Fig. 2).

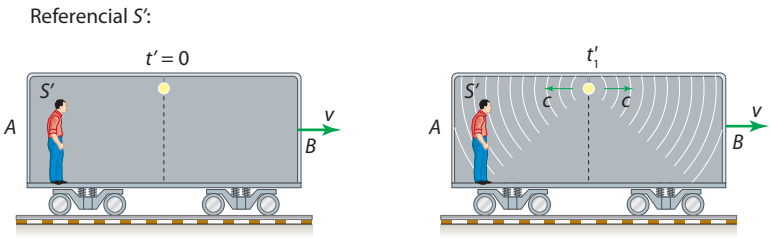


Figura 2. No interior do veículo, A e B recebem o sinal luminoso simultaneamente.

Devido ao movimento do veículo, para um observador parado no solo (referencial S), A vai ao encontro das ondas luminosas e B "foge" delas. Assim, a luz com a mesma velocidade c (princípio da constância da velocidade da luz) chegará antes em A que em B (Fig. 3). Portanto, no referencial do veículo, a chegada das ondas em A e B é simultânea, já no referencial do solo, as paredes A e B são atingidas pela luz em instantes diferentes. Esse exemplo mostra que a simultaneidade dos eventos depende do referencial de observação.

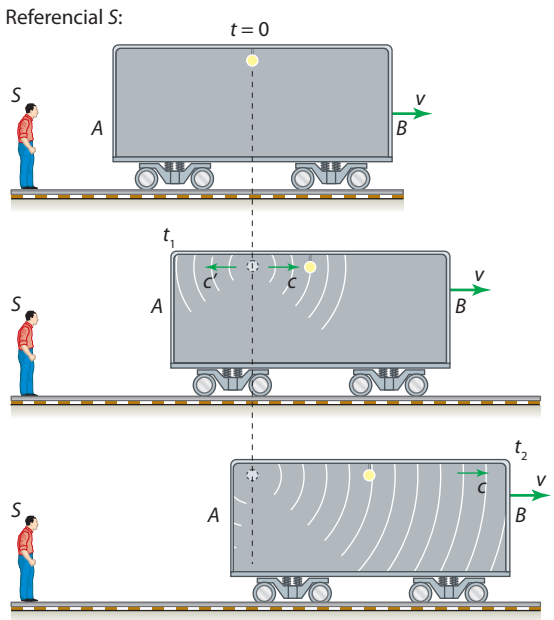


Figura 3. No referencial do solo, A e B recebem o sinal luminoso em instantes diferentes.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

ILUSTRAÇÕES: ADILSON SECCO/ARQUIVO DA EDITORA

Dilatação do tempo

Quando medimos o intervalo de tempo entre dois eventos, a partir de referenciais inerciais distintos (*A* e *B*), obtemos valores diferentes, isto é, $\Delta t_A \neq \Delta t_B$. Embora essa não seja uma ideia óbvia para o senso comum, a dilatação do tempo é fato comprovado em inúmeras situações, algumas até bem corriqueiras atualmente, como ocorre no GPS (da sigla em inglês para designar Sistema de Posicionamento Global).

Dado um referencial inercial *B* que se move com velocidade constante de módulo *v* em relação a um referencial inercial *A*, a relação entre esses intervalos de tempo pode ser expressa da seguinte forma:

$$\Delta t_A = \gamma \cdot \Delta t_B$$

onde γ, denominado fator de Lorentz, é dado por:

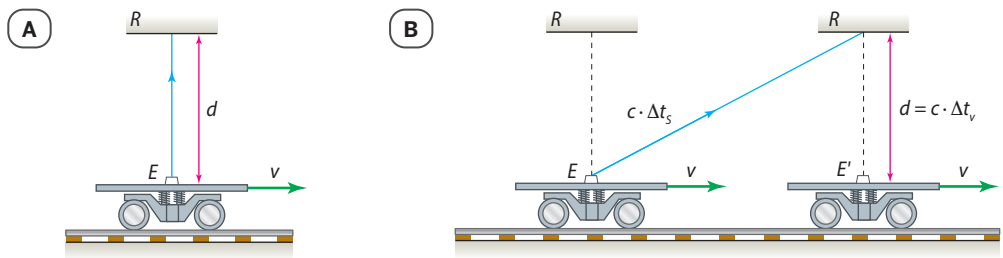
$$\gamma = \frac{1}{\sqrt{1 - \left(\frac{v}{c}\right)^2}}$$

Como o valor da velocidade *v* do referencial inercial *B* em relação a *A* é sempre menor que a velocidade da luz *c*, temos que $\gamma > 1$ e, portanto, $\Delta t_A > \Delta t_B$, isto é, no referencial inercial *A* o intervalo de tempo decorrido é maior que o intervalo de tempo decorrido no referencial inercial *B*.

O exercício resolvido a seguir nos permite deduzir a expressão da dilatação do tempo usando um "relógio de luz".

Exercício resolvido

Um "relógio de luz" é um sistema emissor-receptor de luz montado dentro de um veículo que se move em trajetória retilínea horizontal, com velocidade constante *v*. Observe a figura.

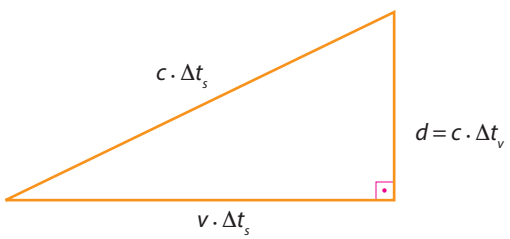


ILUSTRAÇÕES: ADILSON SECCO/ARQUIVO DA EDITORA

No instante $t = 0$, a fonte emissora (*E*) emite verticalmente um pulso luminoso que chega ao receptor *R* após um intervalo de tempo $\Delta t_v = \frac{d}{c}$ medido por um observador dentro do veículo. Para um observador parado no solo, isto é, fora do veículo, o intervalo de tempo medido é Δt_S. Com base no princípio da constância de velocidade da luz, deduza uma expressão que relacione Δt_S e Δt_v.

Resolução

No referencial do solo, o pulso de luz se propaga de *E* até *R*, percorrendo a distância $ER = c \cdot \Delta t_S$, enquanto o veículo percorre a distância $EE' = v \cdot \Delta t_S$. Essas duas distâncias, juntamente com a distância vertical *d* entre *E* e *R*, formam o triângulo retângulo mostrado na figura.



Aqui, estamos usando o segundo postulado da Teoria Especial da Relatividade, isto é, a velocidade de propagação da luz é a mesma em qualquer referencial inercial.

Assim, aplicando o teorema de Pitágoras às distâncias envolvidas, obtemos:

$$(c \cdot \Delta t_S)^2 = (v \cdot \Delta t_S)^2 + (c \cdot \Delta t_V)^2 \Rightarrow (c^2 - v^2) \cdot (\Delta t_S)^2 = c^2 \cdot (\Delta t_V)^2$$

$$c^2 \cdot \left(1 - \frac{v^2}{c^2}\right) \cdot (\Delta t_S)^2 = c^2 \cdot (\Delta t_V)^2 \Rightarrow \Delta t_S = \frac{\Delta t_V}{\sqrt{1 - \left(\frac{v}{c}\right)^2}} = \gamma \cdot \Delta t_V$$

em que $\gamma = \frac{1}{\sqrt{1 - \left(\frac{v}{c}\right)^2}}$ é o fator de Lorentz.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Costuma-se adotar uma notação mais geral quando usamos a expressão da dilatação do tempo. Adotamos Δt para designar o valor do intervalo de tempo medido pelo observador em repouso, que é chamado **intervalo de tempo relativo**. Para o intervalo de tempo medido pelo observador em movimento, adotamos Δt_0, que é chamado de **intervalo de tempo próprio** ou **intervalo de tempo em repouso**. Portanto, a expressão é comumente escrita como:

$$\Delta t = \frac{\Delta t_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} = \gamma \cdot \Delta t_0$$

Como $\gamma > 1$, $\Delta t > \Delta t_0$, isto é, o intervalo de tempo decorrido é maior para o observador parado no solo e menor para o observador em movimento. O intervalo de tempo próprio é menor que o intervalo de tempo relativo. Por isso dizemos que, para o observador em repouso, houve uma dilatação do tempo.

Contração do espaço

Uma consequência direta da dilatação do tempo é a contração do espaço, um efeito que já havia sido previsto por Lorentz e Fitzgerald, antes da publicação da Teoria da Relatividade de Einstein.

Para melhor entendermos esse efeito da velocidade, vamos imaginar um experimento. Uma nave tripulada parte da sua base terrestre e faz uma viagem até um exoplaneta que está a uma distância D_{Terra} de nós, medida por astrônomos aqui na Terra. A velocidade da nave é constante igual a v; portanto, a duração do percurso, medido no referencial da Terra, é:

$$\Delta t_{Terra} = \frac{D_{Terra}}{v} \Rightarrow D_{Terra} = v \cdot \Delta t_{Terra}.$$

No referencial da nave, o intervalo de tempo Δt_{Nave} decorrido no percurso é tal que $\Delta t_{Nave} = \frac{\Delta t_{Terra}}{\gamma}$, devido à dilatação do tempo. Assim, no referencial da nave, a distância percorrida D_{Nave} é:

$$D_{Nave} = v \cdot \Delta t_{Nave} = v \cdot \frac{\Delta t_{Terra}}{\gamma} \Rightarrow D_{Nave} = \frac{D_{Terra}}{\gamma} \Rightarrow D_{Terra} = \gamma \cdot D_{Nave}$$

Como $\gamma > 1$, $D_{Nave} < D_{Terra}$, isto é, no referencial da nave houve uma contração no comprimento do percurso. O comprimento de uma barra, por exemplo, medido em um referencial no qual ela esteja em repouso, é denominado **comprimento próprio** (L_0), e o comprimento da mesma barra medido em um referencial no qual ela esteja em movimento denomina-se **comprimento relativo** (L_r). Assim, genericamente, podemos escrever:

$$L_r = \frac{L_0}{\gamma}$$

Como $\gamma > 1$, o comprimento relativo é menor que o comprimento próprio. Esse fenômeno é denominado contração do espaço.

Energia em altas velocidades

Na Física newtoniana, a energia cinética de uma partícula de massa m e velocidade de módulo v é determinada pela conhecida expressão $E_C = \frac{m \cdot v^2}{2}$. Entretanto, para velocidades próximas da velocidade de propagação da luz c, a energia cinética de uma partícula calcula-se pela expressão:

$$E_C = (\gamma - 1) \cdot m \cdot c^2$$

Essa igualdade também pode ser escrita nas formas:

$$E_C = \gamma \cdot m \cdot c^2 - m \cdot c^2 \quad \text{ou} \quad E_C + m \cdot c^2 = \gamma \cdot m \cdot c^2$$

O termo $m \cdot c^2$ chama-se **energia de repouso** (E_0) da partícula, isto é:

$$E_0 = m \cdot c^2$$

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Por exemplo, a energia de repouso para um elétron é aproximadamente igual a $8{,}187 \cdot 10^{-14}$ J $\simeq$ $\simeq$ 0,511 MeV; a de um próton vale aproximadamente $1{,}503 \cdot 10^{-10}$ J $\simeq$ 938,272 MeV.

O termo $\gamma \cdot m \cdot c^2$ é a **energia mecânica total** (E) de uma partícula livre, isto é, uma partícula sujeita a um sistema de forças de resultante nula. Portanto:

$$E = \gamma \cdot m \cdot c^2$$

A conversão massa-energia é constatada experimentalmente nas reações nucleares, em que núcleos e partículas como prótons e nêutrons interagem produzindo quantidades de energia milhões de vezes maiores que as quantidades de energia envolvidas em reações químicas.

Veja respostas e comentários no Suplemento para o professor.

Aplicando conhecimentos

Registre as respostas em seu caderno.

1. Dois postes de iluminação, P_1 e P_2, estão distantes entre si 1 km. Em dado instante, que podemos chamar de **instante zero**, as luminárias dos postes são acesas, e os eventos "A: a luminária do poste P_1 é acesa" e "B: a luminária do poste P_2 é acesa" são vistos por dois observadores, João, parado em um ponto do solo equidistante dos postes, e Maria, que passa diante de João no instante zero, em movimento uniforme ao longo da reta definida pelos postes, com uma velocidade extremamente grande, no sentido de P_1 para P_2. Pergunta-se:

a. Os eventos (A) e (B) são simultâneos? Comente sua resposta.

b. Maria vê o evento (A) ocorrer antes de (B), depois de (B) ou vê os dois simultaneamente?

2. A estrela mais próxima do nosso sistema solar, *Proxima Centauri*, está a uma distância de 4,24 anos-luz de nós. Suponha que uma nave saia aqui da Terra rumo a essa estrela com velocidade constante de $0{,}80c$. Desconsiderando os intervalos de tempo necessários para acelerar e desacelerar a nave, determine:

a. a duração da viagem, medida pelo controle da missão aqui na Terra;

b. a duração da viagem, medida no relógio da nave.

3. Considere a seguinte situação: Você parte da Terra em uma nave interestelar, a uma velocidade $0{,}8c$, rumo a uma estrela distante 4,8 anos-luz daqui. Seu percurso, medido no referencial da nave, foi:

$$D_{Terra} = \gamma \cdot D_{nave} \Rightarrow 4{,}8 \text{ anos-luz} = \frac{1}{\sqrt{1 - \left(\frac{0{,}8c}{c}\right)^2}} \cdot D_{nave} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow 4{,}8 \text{ anos-luz} = \frac{1}{\sqrt{1 - 0{,}64}} \cdot D_{nave} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow 4{,}8 \text{ anos-luz} = \frac{1}{\sqrt{0{,}36}} \cdot D_{nave} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow D_{nave} = 0{,}6 \cdot 4{,}8 \text{ anos-luz} = 2{,}88 \text{ anos-luz}$$

Assim, para você (referencial da nave), o intervalo de tempo do percurso foi:

$$\Delta t_{nave} = \frac{D_{nave}}{v} = \frac{2{,}88 \text{ anos} \cdot c}{0{,}8c} = 3{,}6 \text{ anos}$$

Portanto, você viajou mais rápido que a luz!
Faça uma crítica, validando ou invalidando o raciocínio anterior.

4. Apesar de muitos até hoje acharem que é pura ficção, a antimatéria, prevista teoricamente por Paul A. M. Dirac em 1928 e detectada experimentalmente em 1930, existe e faz parte do nosso dia a dia. Quando uma partícula e sua antipartícula colidem entre si, ocorre a aniquilação de ambas, gerando um par de fótons de raios γ de alta energia. Fóton é o nome dado aos "pacotes" de energia emitidos nos processos de aniquilação matéria-antimatéria e em outros fenômenos subatômicos. Atualmente, inúmeras são as aplicações práticas que envolvem antipartículas. A tomografia por emissão de pósitrons (PET, em inglês) é um exemplo disso. O pósitron é o antielétron, um elétron positivo! Suponha que os dois fótons formados em um processo de aniquilação propaguem-se em sentidos opostos entre si, com velocidades $V_1 = +c$ e $V_2 = -c$, relativamente ao referencial do laboratório (Terra), como se vê na figura.

Responda aos itens a e b com base no 2º postulado da relatividade especial.

a. Qual é a velocidade $V_{2,1}$ do fóton 2 relativamente ao fóton 1?

b. Qual é a velocidade $V_{1,2}$ do fóton 1 relativamente ao fóton 2?

c. Quais seriam as respostas dos itens a e b pela relatividade de Galileu?

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

ADILSON SECCO/ARQUIVO DA EDITORA

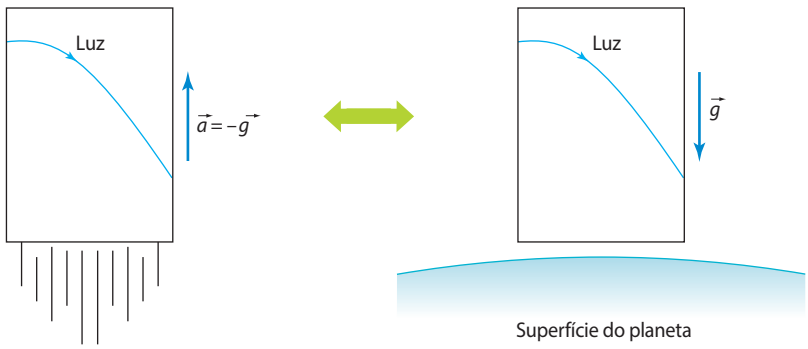
3. Noções de relatividade geral

Em 1915, Albert Einstein apresentou à comunidade científica uma generalização da sua teoria de 1905, à qual chamou de **teoria geral da relatividade**. Essa teoria tratava dos fenômenos físicos observados a partir de referenciais não inerciais, isto é, referenciais acelerados.

Logo após a publicação dessa teoria, o astrônomo e astrofísico britânico Sir Arthur Stanley Eddington (1882-1944) tratou de se especializar nela e aplicá-la às equações da termodinâmica estelar, obtendo resultados reveladores sobre a vida e a morte das estrelas. Entretanto, sempre houve quem colocasse em dúvida as previsões e as conclusões de Einstein. Ao longo do século XX, muitos testes foram realizados para validar quantitativamente seus cálculos. Todos comprovaram as previsões da teoria.

A teoria geral da relatividade tem como ponto de partida o **princípio da equivalência**, proposto por Einstein em 1911, de acordo com o qual um referencial uniformemente acelerado em linha reta equivale a um campo gravitacional uniforme, cuja intensidade é igual à aceleração do referencial.

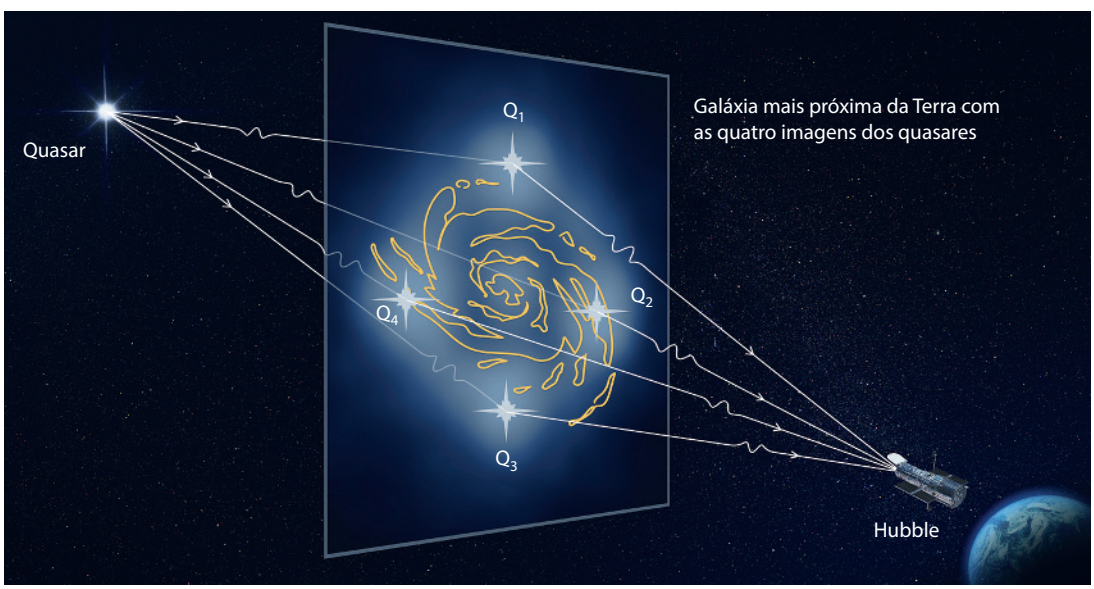
Uma consequência imediata desse princípio é o desvio da luz pela gravidade. Se dispararmos um feixe de luz dentro de um elevador que sobe com aceleração uniforme *a*, para um observador ali presente o feixe de luz descreverá uma trajetória curva, um arco de parábola. De acordo com o princípio da equivalência, um campo de gravidade uniforme com uma aceleração gravitacional de mesma intensidade provocaria o mesmo desvio (Fig. 4).



ERICSON GUILHERME LUCIANO/ARQUIVO DA EDITORA

Figura 4. Representação esquemática do princípio da equivalência da relatividade geral. (Representação fora de proporção; cores meramente ilustrativas.)

A maior dificuldade para se testar a teoria geral da relatividade reside no fato de que o "laboratório" de testes é o Universo. O desvio gravitacional da luz só pôde ser testado experimentalmente muito tempo depois, no eclipse solar total de 1919, com resultados totalmente em concordância com a teoria. A figura 5 mostra o que ocorre com a luz emitida por uma estrela ao passar por um campo gravitacional intenso, como uma galáxia supermassiva.



REPRODUÇÃO/ESA, AND D. PLAYER (STSCI)/NASA

Figura 5. Desenho esquemático do efeito de lente gravitacional previsto pela teoria geral da relatividade, onde estão representadas as imagens Q_1, Q_2, Q_3 e Q_4 do quasar. (Representação fora de proporção; cores meramente ilustrativas.)

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Para um observador na posição da Terra (nesse caso, o telescópio), a luz parece vir de Q_1, Q_2, Q_3 e Q_4, que são imagens gravitacionais do mesmo objeto cósmico (o quasar). Esse efeito é conhecido como **lente gravitacional**. Devido a esse efeito, o observador verá distintas imagens formando cruzes, anéis ou arcos (Fig. 6).

REPRODUÇÃO/ESA, AND S. RODNEY (JHU) AND THE FRONTIERSN TEAM; T. TREU (UCLA), P. KELLY (UC BERKELEY), AND THE GLASS TEAM; J. LOTZ (STSCI) AND THE FRONTIER FIELDS TEAM; M. POSTMAN (STSCI) AND THE CLASH TEAM; AND Z. LEVAY (STSCI)/NASA

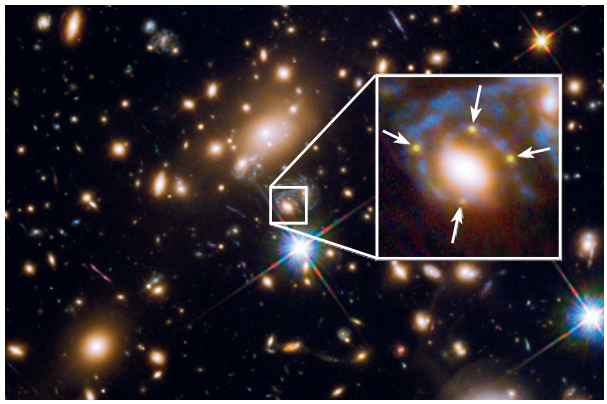


Figura 6. Imagem captada pelo telescópio espacial Hubble no ano do centenário da teoria geral da relatividade (2015), mostrando quatro imagens de uma mesma supernova (indicadas pelas setas), resultado do efeito de lente gravitacional causado por um aglomerado de galáxias mais próximo da Terra.

Sendo um pouco mais nova que a relatividade restrita, a teoria geral da relatividade abriu campos de pesquisa teóricos e práticos, como a Cosmologia, a Astrofísica relativística e a teoria do campo unificado. As duas teorias da relatividade passaram com sucesso por todos os testes experimentais aos quais foram exaustivamente submetidas. Muito já se descobriu e ainda há muito mais para descobrir com os fundamentos que as teorias relativistas de Einstein nos deixaram. Essas duas teorias ampliaram nossa visão do mundo real, obrigando-nos a rever conceitos herdados da Física Clássica.

Dialogando com o texto

A cidade de Sobral, no Ceará, foi palco de um fato histórico na Ciência. Lá foi feita a observação do eclipse solar de 1919, cujas medidas experimentais validaram teoria geral da relatividade. Nessa observação, demonstrou-se que a gravidade de grandes corpos celestes, como o Sol, pode curvar a luz de estrelas, algo que até então era apenas uma previsão teórica.

Em duplas, pesquisem sobre o eclipse de Sobral em 1919, explorando detalhes sobre o comitê científico que realizou as medidas e quais foram os resultados obtidos, com foco na explicação do fenômeno da deflexão da luz por um corpo massivo.

Sabemos que o campo gravitacional afeta a propagação da luz e das ondas eletromagnéticas em geral. Entre 1959 e 1965, Robert Pound (1919-2010), professor e pesquisador da Universidade de Harvard, juntamente com seu doutorando Glen Rebka Jr. (1931-2015), comprovaram experimentalmente que a **gravidade** também afeta o tempo! Simplificadamente, um relógio em repouso na superfície da Terra registra para determinado evento um intervalo de tempo menor que aquele registrado, para o mesmo evento, por outro relógio, também em repouso, a uma certa altura h acima da superfície terrestre. Esse efeito gravitacional no tempo, previsto na teoria geral da relatividade, apontou uma diferença da ordem de 10^{-15} s nos intervalos de tempo medidos por relógios atômicos separados por uma altura de apenas 22,5 metros. Atualmente, são conhecidos outros experimentos que comprovam a ação da gravidade sobre o tempo.

A teoria geral da relatividade estabelece que uma defasagem temporal Δ entre relógios separados verticalmente por uma distância h é dada pela expressão:

$$\Delta = \Delta t_{(h)} - \Delta t_{(Terra)} = \frac{g_0 \cdot h}{c^2}$$

sendo $\Delta t_{(h)}$ o intervalo de tempo medido no relógio que está na altura h, $\Delta t_{(Terra)}$ o intervalo de tempo medido pelo relógio que está na superfície da Terra, g_0 o módulo da aceleração gravitacional na superfície do astro que gera o campo gravitacional (a Terra, por exemplo), e c é a velocidade de propagação da luz no vácuo. Essa é uma expressão aproximada para h muito menor que o raio R do astro, suposto esférico ($h \ll R$). Da expressão, concluímos que, quanto maior for a altitude h, maior será o atraso do relógio que está na superfície em relação ao relógio na altitude h. Portanto, na altitude h o tempo passa mais rapidamente que na superfície.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Exercício resolvido

Existe uma diferença entre os intervalos de tempo medidos por um relógio "em repouso" na superfície da Terra e outro relógio idêntico, também "em repouso", a uma certa altura h acima da superfície terrestre. Esse fato foi comprovado em 1960 em um experimento que apontou uma diferença nos intervalos de tempo medidos por relógios atômicos separados por uma altura de apenas 22,5 m.

a. Determine a defasagem Δ, para esse experimento de 1960, e o intervalo de tempo necessário para se verificar uma defasagem de 1 segundo.

b. Considere um satélite do sistema GPS em órbita da Terra a uma altitude $h = 20.000$ km, portando um relógio atômico, idêntico a outro relógio atômico em repouso na superfície terrestre. Nesse caso, a defasagem de tempo (Δ) causada pela influência da gravidade é dada pela expressão $\Delta = \frac{g_0 \cdot h}{c^2} \cdot \left(\frac{R_T}{r}\right)$. Sendo R_T o raio da Terra e r o raio da órbita, isto é, $r = R_T + h$, determine a defasagem Δ entre as indicações desses relógios, causada apenas pela ação da gravidade. Nos cálculos, adote $g_0 = 10$ m/s^2, $c = 3{,}0 \cdot 10^5$ km/s $= 3{,}0 \cdot 10^8$ m/s.

Resolução

a. A partir da equação para a defasagem, temos:

$$\Delta = \frac{g_0 \cdot h}{c^2} = \frac{10 \cdot 22{,}5}{(3{,}0 \cdot 10^8)^2} \simeq 2{,}5 \cdot 10^{-15} \text{ s}$$

Esse resultado indica um avanço de $2{,}5 \cdot 10^{-15}$ segundo na altitude h a cada segundo que decorre na superfície. Assim:

$2{,}5 \cdot 10^{-15}$ s (defasagem) $\longrightarrow$ a cada 1,0 s

1,0 s (defasagem) $\longrightarrow$ em Δt

Resolvendo a regra de três, obtemos: $\Delta t \simeq 4{,}0 \cdot 10^{14}$ segundos $\simeq$ 12,5 milhões de anos!

b. Aqui temos $R_T = 6.400$ km, $h = 20.000$ km $= 2 \cdot 10^7$ m e $r = 26.400$ km, temos:

$$\Delta = \frac{g_0 \cdot h}{c^2} \cdot \left(\frac{R_T}{r}\right) = \frac{10 \cdot 2 \cdot 10^7}{\left(3{,}0 \cdot 10^8\right)^2} \cdot \left(\frac{6.400}{26.400}\right) \simeq 5{,}4 \cdot 10^{-10} \text{ s}$$

Esse valor indica uma diferença de $5{,}4 \cdot 10^{-10}$ segundo a cada segundo, que corresponde a uma diferença de, aproximadamente, 46,7 microssegundos em um dia:

$5{,}4 \cdot 10^{-10}$ s (defasagem) $\longrightarrow$ a cada 1,0 s

Δt (defasagem) $\longrightarrow$ em 1 dia (86.400 s)

Resolvendo a regra de três, temos:

$\Delta t \cdot 1 \text{ s} \simeq 5{,}4 \cdot 10^{-10} \text{ s} \cdot 86.400 \text{ s} = 46{,}7 \cdot 10^{-6} \text{ s} = 46{,}7 \text{ µs}$

Se essa diferença não fosse corrigida no GPS, haveria uma imprecisão de quase 14 km na posição de um corpo aqui na superfície da Terra, ao final de um dia.

Veja respostas e comentários no Suplemento para o professor.

Aplicando conhecimentos

Registre as respostas em seu caderno.

5. Ainda não temos tecnologia para isso, mas, se acelerássemos uma "nave" a partir do repouso, com uma aceleração constante a, sua velocidade em um dado instante t seria $v = \frac{a \cdot t}{\sqrt{1 + \left(\frac{at}{c}\right)^2}}$. Supondo que uma nave seja acelerada uniformemente com aceleração constante $a = 3g \simeq 30$ m/s^2, que é uma aceleração que o corpo humano pode suportar por um logo tempo, quantos dias seriam necessários para a nave atingir uma velocidade $0{,}60c$? Considere que um dia tenha 86.400 s, $c = 3{,}0 \cdot 10^8$ m/s e dê a resposta em dias.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

4. Interações fundamentais, partículas elementares e o modelo padrão

Atualmente reconhecemos quatro **forças** ou **interações fundamentais** na natureza: a interação **gravitacional**, a interação **eletromagnética**, a interação **nuclear fraca** e a interação **nuclear forte**. A interação gravitacional, presente em todas as interações da matéria, é estudada desde os tempos de Aristóteles. Das quatro interações fundamentais, ela é a menos intensa, embora seu alcance seja infinito. Todas as partículas do Universo, inclusive os fótons, estão sujeitas a essa interação.

A interação eletromagnética, responsável pela atração e repulsão entre partículas dotadas de carga elétrica, explica a estabilidade dos átomos e das moléculas e é cerca de 10^{36} vezes mais intensa que a força gravitacional. Seu raio de ação vai de 10^{-15} m, dimensões do núcleo atômico, até o infinito. Mas por que os prótons no núcleo atômico **não se separam**, já que são partículas com cargas elétricas de mesmo sinal? Sim, há repulsão elétrica entre eles, porém a interação nuclear forte, que é uma força exclusivamente atrativa e pelo menos 20 vezes mais intensa que a eletromagnética, os mantém unidos entre si e aos nêutrons, garantindo a estabilidade do núcleo. Entretanto, o campo de atuação da força nuclear forte limita-se ao interior do núcleo atômico ($\leqslant 10^{-15}$ m). Para além dessa distância, predomina a força eletromagnética.

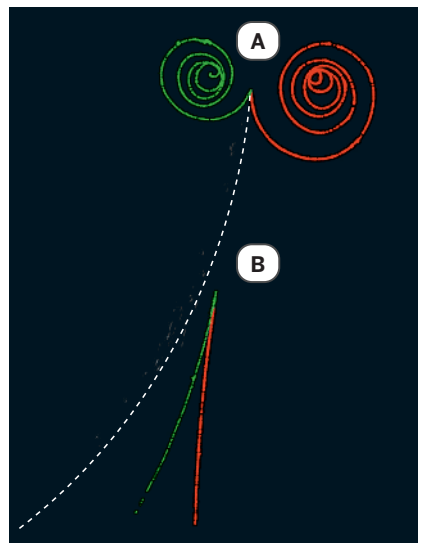
A interação nuclear fraca tem raio de ação pequeno e somente participa dos processos de decaimento de certos núcleos instáveis, emissores de partículas β. Embora de curto alcance, ela chega a ser 10^{33} vezes mais intensa que a força gravitacional. Independentemente do tipo de interação, existe uma partícula que faz sua mediação. A teoria que organiza as interações e as partículas conhecidas é chamada **modelo padrão** e se baseia em dois tipos de partículas: as mediadoras de interações fundamentais e as partículas de matéria.

O modelo padrão pressupõe a existência de **antipartículas** que compõe o que chamamos de antimatéria. Até 1932, a antimatéria existia apenas em teoria, até que o físico estadunidense Carl David Anderson (1905-1991) detectou experimentalmente o pósitron e^+, antipartícula do elétron e^-, utilizando um detector de partículas chamado **câmara de Wilson** (Fig. 7), descoberta que lhe valeu o Prêmio Nobel de Física em 1936.

A antipartícula do próton (p) é o **antipróton** ($\tilde{p}$), a antipartícula do nêutron é o **antinêutron** ($\tilde{n}$), a antipartícula do neutrino (ν) é o **antineutrino** ($\tilde{\nu}$). A antipartícula do fóton é o próprio fóton. Além dessas, existem muitas outras.

O processo inverso da produção de pares matéria-antimatéria é a aniquilação matéria-antimatéria. Matéria e antimatéria se aniquilam quando colidem entre si, gerando radiação eletromagnética, isto é, fótons, que são representados por γ. Por exemplo, a reação de aniquilação de um elétron (e^-) com um pósitron (e^+) produz dois fótons:

$$e^- + e^+ \longrightarrow 2\gamma$$



SPL/FOTOARENA

Figura 7. (A) Produção de par elétron-pósitron. (B) Aniquilação de par elétron-pósitron. (Representação fora de proporção; cores meramente ilustrativas.)

As partículas, e suas correspondentes antipartículas, podem ser classificadas em três grandes categorias, de acordo com o tipo da natureza da interação de que participam: **fótons**, **léptons** e **hádrons**.

Os hádrons, classificados em **mésons** e **bárions**, não são partículas elementares; eles possuem uma estrutura interna formada por blocos fundamentais denominados **quarks**. Prótons (p^+) e nêutrons (n^0) são bárions e, portanto, são hádrons.

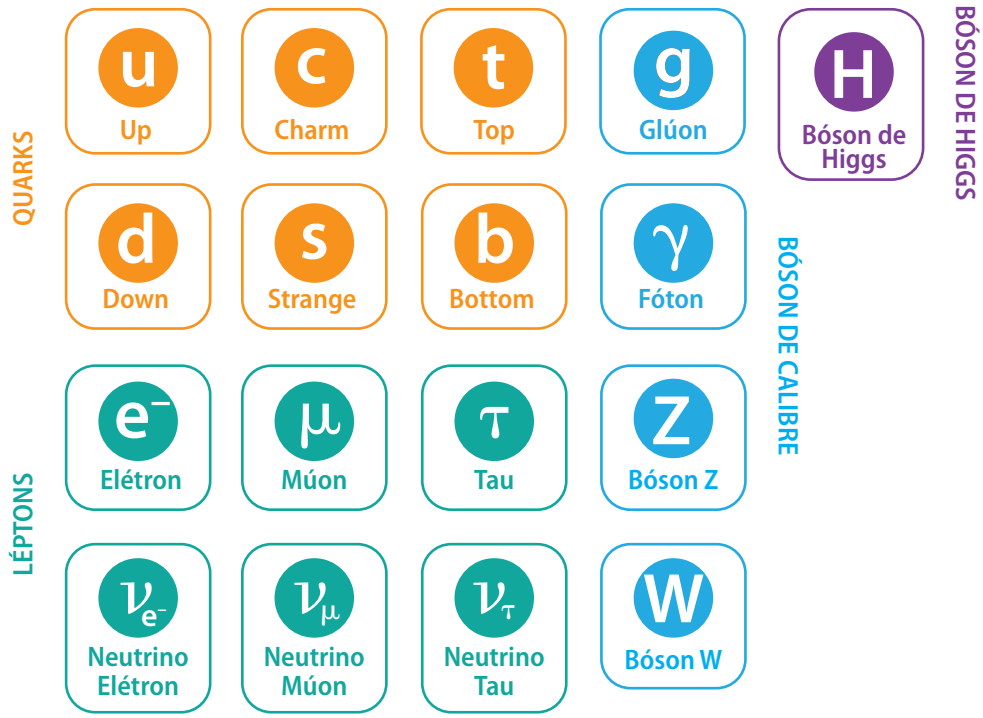
Fótons (γ) e léptons são partículas elementares e, portanto, não são formados por quarks. Elétrons (e^-), neutrinos (ν^0) e müons (μ^-) são léptons.

Em 1963, o físico estadunidense Murray Gell-Mann (1929-2019) propôs a existência de três tipos de quarks: up (**u**), down (**d**) e strange ou sideways (**s**). Atualmente, a Física de partículas trabalha com seis tipos de quarks, os três já apresentados e mais três acrescentados posteriormente: o charm (**c**), o bottom (**b**) e o top (**t**). Os quarks **u** e **d** aparecem na formação das partículas que constituem toda a matéria comum, prótons e nêutrons. Os demais só comparecem na formação de hádrons mais complexos.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

A figura 8 resume as partículas que compõem a matéria e intermediam as interações fundamentais no Universo: 6 quarks, 6 léptons, 4 partículas mediadoras, chamadas bósons de calibre, mais o bóson de Higgs, que foi descoberto em 2012 e está relacionado com a origem da massa das partículas elementares.

Partículas fundamentais do modelo padrão



NELSON MATSUDA/ARQUIVO DA EDITORA

Fonte dos dados: CAIRES, L. Maior acelerador de partículas do mundo passa por um *upgrade*. O que vem por aí? **Jornal da USP**, São Paulo, 26 ago. 2019. Disponível em: https://jornal.usp.br/ciencias/ciencias-exatas-e-da-terra/maior-acelerador-de-particulas-do-mundo-passa-por-um-upgrade-o-que-vem-por-ai/. Acesso em: 28 ago. 2024.

Figura 8. Partículas que formam a matéria, mediam as interações fundamentais e dão origem à massa de partículas elementares.

A tabela a seguir mostra as intensidades relativas, o alcance e a partícula mediadora das quatro interações fundamentais.

Informações sobre as interações fundamentais

Interação	Intensidade relativa	Alcance (m)	Mediadores
Forte (subatômica)	10^{38}	$\leqslant 10^{-15}$	glúon
Eletromagnética	10^{36}	∞	fóton
Fraca (subatômica)	10^{25}	$\leqslant 10^{-18}$	bósons W e Z
Gravitacional	1	∞	gráviton

Fonte dos dados: SERWAY, R. A.; JEWETT, J. W. **Óptica e Física moderna**. São Paulo: Cengage, 2015. (Princípios de Física, v. 4).

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Em destaque

César Lattes e a descoberta do méson pi

O final da década de 1940 foi uma época muito movimentada para a ciência brasileira, marcada por acontecimentos que alavancaram a Física experimental do Brasil nos anos seguintes. Entre grandes avanços no entendimento sobre as forças que mantêm o Universo como o conhecemos, Prêmios Nobel e o domínio de tecnologias capazes de recriar as condições de dentro de estrelas, no centro desta rede de grandes eventos estava uma pequena partícula, o **méson pi**.

Na época, uma das grandes questões da Física estava intimamente ligada à existência do próprio átomo, cujo núcleo é formado por prótons e nêutrons: como essas partículas poderiam manter-se unidas no núcleo? Prótons possuem cargas positivas, e portanto deveriam se repelir, enquanto nêutrons não possuem cargas positivas nem negativas, portanto não contribuem para a interação. Para explicar este dilema, o físico japonês Hideki Yukawa propôs a teoria para a existência de uma nova partícula, o méson pi, na década de 1930. Essa partícula seria responsável por mediar a interação entre prótons e nêutrons dentro do átomo, permitindo que permaneçam unidas. No final da década seguinte, a existência do méson pi seria comprovada graças a um trabalho que contou com o protagonismo do físico curitibano **César Lattes**.

Em 1946, incentivado por seus professores e colegas de pesquisa, o então jovem Lattes desembarcava em Bristol, na Inglaterra, a convite do físico italiano – e seu ex-professor na USP – Giuseppe Occhialini, para trabalhar no Laboratório de Física H. H. Wills, da Universidade de Bristol. No laboratório, Lattes passou a fazer parte do grupo de pesquisa do físico inglês Cecil Powell, que conduzia pesquisas relacionadas à detecção de raios cósmicos usando placas fotográficas especiais. Estas placas fotográficas eram revestidas por uma camada de emulsão nuclear, uma substância gelatinosa com sais de prata, que reage com partículas carregadas que a atravessam, marcando os rastros de suas trajetórias. Por muitos anos, esse método permaneceu como um dos mais econômicos e efetivos na detecção de raios cósmicos, bem como de partículas mais leves geradas na colisão destes raios com moléculas da atmosfera.

Trabalhando com essas placas, Lattes teve a ideia de modificar a substância que compunha as emulsões nucleares, aumentando sua sensibilidade e permitindo que as trajetórias de partículas nelas marcadas não se apagassem tão rápido com o tempo. Ao levarem algumas das placas modificadas para fazer detecções na montanha Pic du Midi, nos Pirineus franceses, a equipe ficou surpresa ao perceber traços nas emulsões que não pareciam pertencer a nenhuma partícula conhecida. Após muita discussão decidiram que deveria se tratar do méson pi de Yukawa, que estaria sendo liberado de dentro de núcleos atômicos após estes serem desintegrados em colisões com raios cósmicos. Mas as poucas detecções que tinham em mãos não continham informação suficiente para determinar todas as propriedades da nova partícula encontrada.

Com a missão de conseguir mais detecções desta partícula, Lattes voou para a Bolívia para expor as emulsões modificadas em Chacaltaya, uma montanha nos Andes bolivianos a mais de 5 mil metros acima do nível do mar, uma altitude quase duas vezes maior do que a de Pic du Midi, a 2,8 mil metros acima deste nível. Estar nas alturas era importante, pois em altitudes maiores a atmosfera é menos concentrada, diminuindo as chances de raios cósmicos se chocarem com as moléculas de ar no meio do caminho, e assim chegarem até os detectores. Lattes retornou a Bristol com emulsões repletas das marcas que apontavam a passagem de mésons pi, permitindo à equipe confirmar de vez a existência da partícula, e também as suas propriedades, como o fato de que [o] méson pi, quando fora do átomo, eventualmente se desintegra dando origem a outra partícula, na época já conhecida, o [lépton] **múon**.

Com a comprovação da existência do méson pi e, consequentemente, da teoria de Yukawa, uma peça importante se encaixava em um quebra cabeça cósmico: a explicação que se tinha para a existência do núcleo atômico como o conhecemos de fato estava correta. O trabalho da equipe de Bristol foi publicado em 1947 e resultou no Prêmio Nobel da Física de 1949, concedido a Hideki Yukawa, pela previsão teórica do méson pi, e também no de 1950, concedido a Cecil Powell, líder da equipe do laboratório responsável pela descoberta experimental.

[...]

Fonte: SÉRIO, A. L.; ALEGRE, A.; STARIOLO, M. **O méson pi**: a partícula que acelerou a ciência no Brasil. São Paulo: Outreach at ICTP-SAIFR, [202-]. Disponível em: https://outreach.ictp-saifr.org/particulas-meson-pi/. Acesso em: 28 ago. 2024.

Em duplas, sigam os seguintes passos:

1. Discutam, analisando o texto, qual a interação mediada pelo méson pi.
2. A descoberta do méson pi feita com as placas fotográficas foi posteriormente confirmada utilizando aceleradores de partículas, que são capazes de gerar partículas subnucleares a partir de colisões superenergéticas. Pesquisem dois exemplos de partículas que foram descobertas em acelerados desse tipo.
3. Para além da pesquisa acadêmica, Lattes atuou em iniciativas políticas científicas nacionais. Pesquisem exemplos de alianças internacionais e instituições científicas brasileiras que César Lattes liderou.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Veja respostas e comentários no Suplemento para o professor.

Aplicando conhecimentos

Registre as respostas em seu caderno.

6. A reação mostrada a seguir é o resultado de um experimento realizado inúmeras vezes, nos últimos 50 anos, em aceleradores de partículas pelo mundo todo:

$$e^- \text{ (rápido)} + e^- \text{ (“repouso”)} \rightarrow e^- + e^- + e^- + e^+$$

Vamos entendê-la.

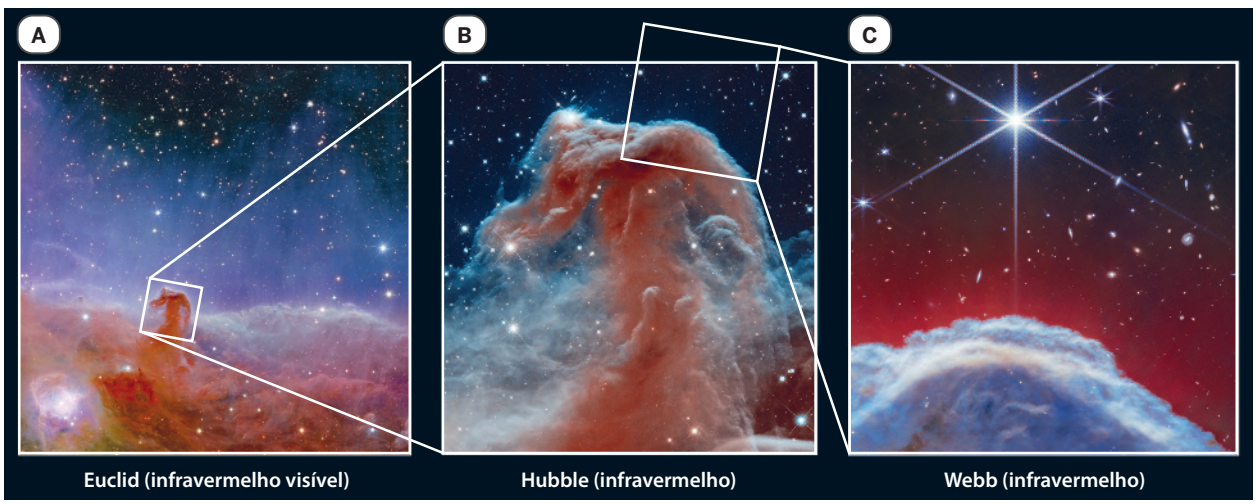
Um elétron de altíssima velocidade ($v \simeq c$) colide com um elétron de um átomo em “repouso” (alvo). Assim, deveríamos esperar que saíssem apenas dois elétrons: aquele que chegou e aquele que foi expulso do átomo. No entanto, não é isso o que ocorre. Na verdade, são detectados três elétrons e um pósitron! Aparentemente, não houve conservação da massa do sistema. Pense e avalie a situação descrita e responda às questões.

a. Por que a palavra “repouso” está escrita entre aspas na reação e no enunciado?

b. Como se explica o aparecimento de duas partículas que, antes da colisão, não faziam parte do sistema?

5. Princípios de Astrofísica

Estrelas são formadas pela aglutinação de gases, principalmente hidrogênio, e poeira interestelar por causa da ação gravitacional do próprio sistema. A atração gravitacional determina a evolução do sistema, que inicia seu colapso sem qualquer oposição (Fig. 9).



REPRODUÇÃO/ESA, CSA, KARL MISSELT (UNIVERSITY OF ARIZONA), ALAIN ABERGEL (IAS, CNRS), MAHDI ZAMANI THE EUCLID CONSORTIUM, HUBBLE HERITAGE PROJECT (STSCI, AURA)/NASA

Figura 9. Fotos da nebulosa conhecida pelo nome Cabeça do cavalo, localizada na constelação de Órion. (A) Foto tirada pelo telescópio Euclid. (B) Foto tirada pelo telescópio Hubble. (C) Foto tirada pelo telescópio James Webb.

No centro da nuvem gasosa, o aumento da temperatura tende a retardar o colapso. Em regiões onde as tendências de expansão e contração se equilibram, surgem núcleos densos e quase estáveis, denominados **protoestrelas** (Fig. 10).

A temperatura aumenta gradativamente e chega a valores da ordem de algumas dezenas de milhões de kelvins, desencadeando reações termonucleares de fusão entre diferentes elementos, freando por completo o colapso gravitacional e mantendo a luminosidade da estrela por bilhões de anos.

REPRODUÇÃO/ESA, CSA, STSCI/NASA

Figura 10. Foto da região da protoestrela L1527, na constelação do Touro, obtida pelo telescópio James Webb com sua câmera de radiação infravermelha. A protoestrela está no “gargalo” dessa nuvem em forma de ampulheta e sua luz é bloqueada pelo disco denso que a circunda.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

As estrelas consideradas pequenas, com massas de até 1,5 vez a massa solar, seguem o processo descrito até que o hidrogênio do núcleo tenha se convertido totalmente em hélio. O "núcleo estelar" começa a se contrair, e as reações nucleares que prosseguem ao seu redor provocam a fusão do hélio em carbono. Enquanto isso, as camadas externas se expandem, esfriam e passam a brilhar menos intensamente: nessa fase, a estrela em expansão torna-se uma **gigante vermelha**, permanecendo nessa situação por milhões de anos.

Com o tempo, as camadas externas começam a se desgarrar do núcleo, formando uma **nebulosa planetária** (Fig. 11). O núcleo, em contínua contração, esfria-se gradativamente pelo esgotamento progressivo do combustível nuclear. A estrela tem seu diâmetro reduzido e emite luz branca: é a fase de **anã branca**.

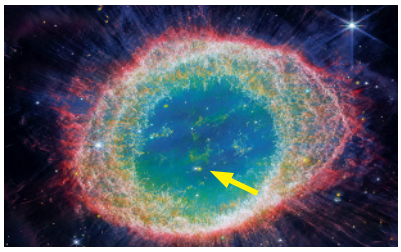
Com o passar do tempo, o brilho cessa completamente, e a estrela torna-se uma **anã negra**.

Nas estrelas com massas muito superiores à do Sol, a evolução é bem mais rápida devido à gravidade mais intensa e, consequentemente, uma temperatura mais alta. Ao cessarem as reações, a contração gravitacional prossegue até as fases finais da vida da estrela. O destino final de uma estrela depende da sua massa.

As recentes teorias de evolução estelar permitem prever que estrelas novas que ainda queimam hidrogênio em seu núcleo, com massas superiores a 4 vezes a massa do Sol, explodirão de modo espetacular (ou cataclísmico, na linguagem astronômica), ejetando parte de sua massa para o espaço, sendo chamadas de **supernovas** (Fig. 12).

O material remanescente da explosão continua a se contrair. Se o núcleo desse material tiver massa menor que 1,4 vez a massa do Sol, ele esfriará durante milhões de anos, contraindo-se cada vez mais e terminando sua vida como uma anã negra. Se essa massa estiver entre 1,5 e 3 vezes a massa solar, o colapso gravitacional aproximará prótons e elétrons, transformando-a em uma **estrela de nêutrons**, na qual a matéria estará comprimida em uma esfera de raio da ordem de 10 km e será tão densa que uma colher de chá dessa matéria teria uma massa de cerca de 5 bilhões de toneladas.

Se a massa do material remanescente da explosão superar cerca de 3 massas solares, o colapso gravitacional continuará até formar um **buraco negro** (Fig. 13), no qual uma enorme massa estará concentrada em um volume infinitesimal. Essa região é denominada **singularidade**.



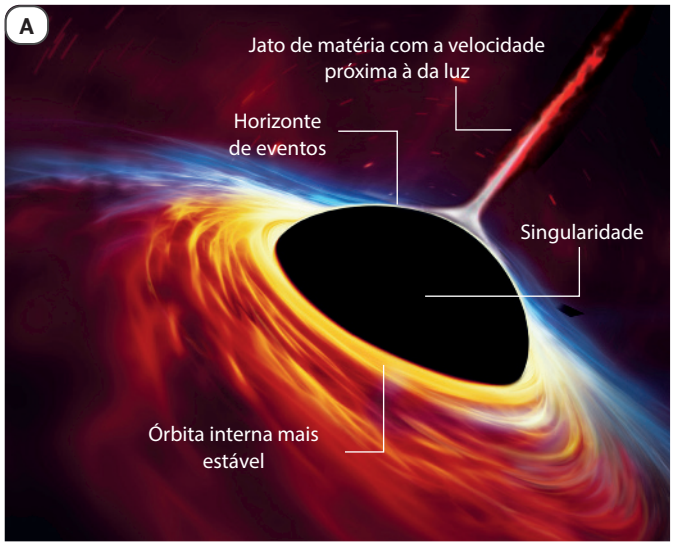
REPRODUÇÃO/ESA/WEBB, CSA, M. BARLOW (UCL), N. COX (ACRI-ST), R. WESSON (CARDIFF UNIVERSITY)/NASA

Figura 11. Foto da Nebulosa do anel capturada pela câmera de radiação infravermelha do telescópio James Webb. A estrela que originou a nebulosa, atualmente na fase de anã branca, é uma das duas que aparecem bem juntas em seu interior (indicadas pela seta). Ela possui uma companheira de pequena massa que a circunda a uma distância equivalente à distância Terra-Plutão.

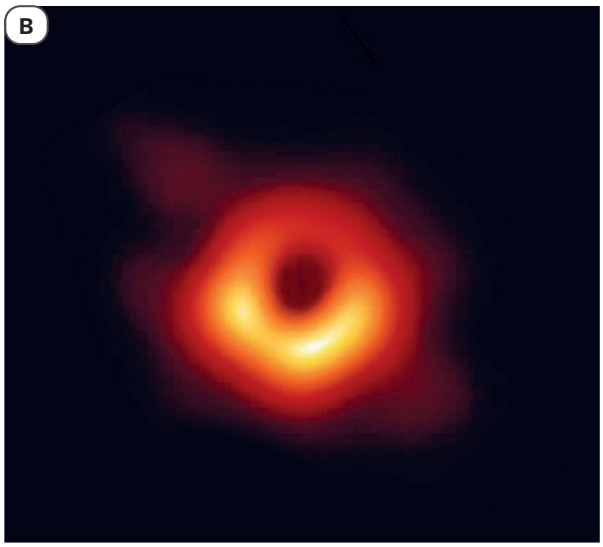
REPRODUÇÃO/ESA, CSA, STSCI, DANNY MILISAVLJEVIC (PURDUE UNIVERSITY), ILSE DE LOOZE (UGENT), TEA TEMIM (PRINCETON UNIVERSITY), NASA

Figura 12. Fotografia da supernova Cassiopeia A, que revela a expansão da nuvem do gás expelido pela estrela. A nuvem é iluminada pelo remanescente da estrela em seu interior.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.



REPRODUÇÃO/ESO, ESA/HUBBLE, M. KORNMESSER/NASA



REPRODUÇÃO/EHT COLLABORATION; CXC/VILLANOVA UNIVERSITY/NASA

Figura 13. (A) Representação esquemática de um buraco negro. (Representação fora de proporção; cores meramente ilustrativas.) (B) Primeira foto registrada do horizonte de eventos de um buraco negro, localizado na galáxia M87, que foi obtida a partir da associação das "imagens" captadas por uma rede de oito radiotelescópios espalhados pelo planeta Terra.

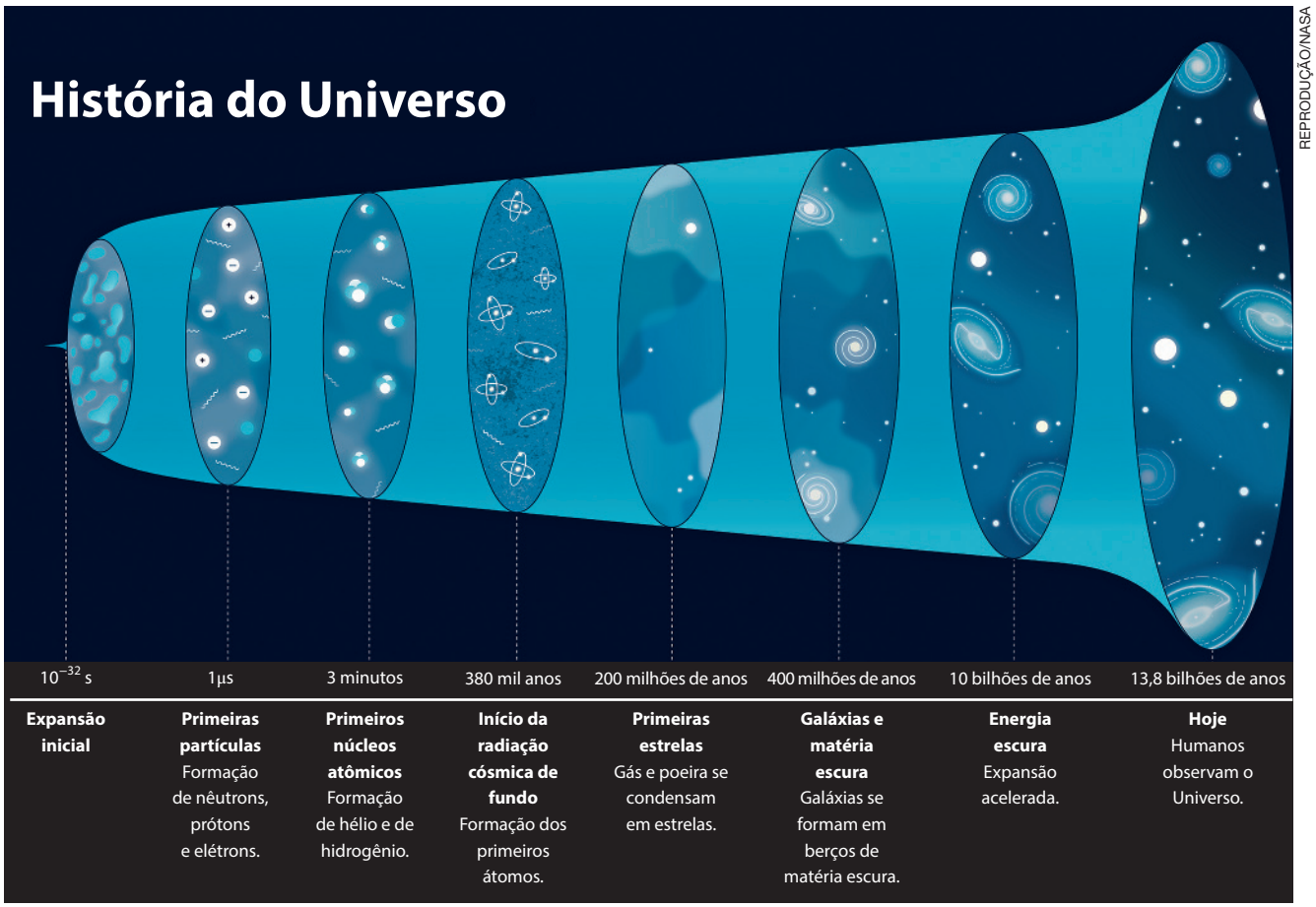
A gravidade no interior de um buraco negro é tão intensa que nem mesmo a luz pode escapar dele. A fronteira que caracteriza o limite a partir do qual nada escapa da atração gravitacional do buraco negro é denominada **horizonte de eventos**.

Com base em evidências observacionais, astrônomos e astrofísicos acreditam que no centro de nossa galáxia, a Via Láctea, há um buraco negro supermassivo, cuja massa é estimada em 4 milhões de massas solares. De modo geral, suspeita-se que no centro de toda grande galáxia exista um buraco negro, com uma massa de milhões a bilhões de massas solares.

6. Princípios de Cosmologia

Este assunto também é trabalhado no capítulo 2 de Biologia desta coleção.

A teoria do *Big Bang*, atualmente apoiada em comprovações experimentais, sustenta que o Universo começou com uma colossal explosão de matéria, a partir de um estado hipercondensado, há cerca de 13,8 bilhões de anos. Nos primeiros minutos, dadas as enormes temperaturas reinantes, as forças fundamentais estavam unificadas (superforça) e toda a matéria estava "fundida" em uma "sopa de quarks". À medida que a temperatura baixava, as interações fundamentais começavam a assumir suas individualidades em força gravitacional, força nuclear forte, força eletrofraca, posteriormente força eletromagnética e força nuclear fraca. Nesse estágio, o Universo estava com apenas 10^{-20} s de idade e uma temperatura de 10^{15} kelvins. Entre 10^{-6} s e 3 min após seu nascimento, formaram-se os hádrons (mésons e bárions), e entre o terceiro minuto e os seguintes 700 mil anos formaram-se os núcleos atômicos. Até nossos dias, passaram-se mais ou menos 14 bilhões de anos, com o Universo se expandindo e a sua temperatura caindo de aproximadamente 3.000 K até 3 K. Um resumo das etapas de formação do Universo está apresentado na figura 14.



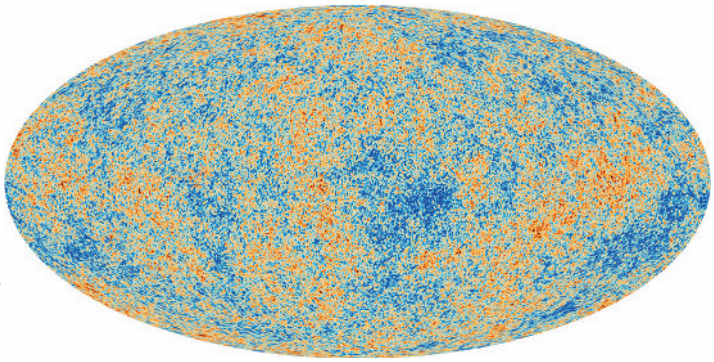
REPRODUÇÃO/NASA

Fonte: NASA. **Cosmic history**. [S. l.]: Nasa, c2024. Disponível em: https://science.nasa.gov/universe/overview/. Acesso em: 28 ago. 2024.

Figura 14. Representação das etapas de formação do Universo até os dias atuais.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Em 1965, os radioastrônomos estadunidenses Arno Penzias (1933-2024) e Robert W. Wilson (1936-) captaram casualmente uma radiação de fundo, na faixa de comprimento de onda de 7,5 cm, igualmente distribuída em todas as direções do Universo. Essa radiação, identificada como remanescente da grande explosão que originou o Universo, previa uma temperatura média de cerca de 3 K para o Universo (Fig. 15). Era a maior evidência da ocorrência do *Big Bang* até então. Por essa descoberta, foi concedido aos dois cientistas o prêmio Nobel de Física de 1978.



REPRODUÇÃO/THE PLANCK COLLABORATION/ESA

Figura 15. Mapa da radiação cósmica de fundo obtida com a sonda espacial Planck. As cores indicam flutuações de temperatura.

No final da década de 1920, o astrônomo estadunidense Edwin Hubble (1889-1953), com base em dados de observações astronômicas, propôs que o Universo está em expansão, em todas as direções, e que as velocidades de afastamento são proporcionais às distâncias dos objetos observados. A relação matemática entre a velocidade (v) e a distância (d) de um objeto afastando-se do observador é dada pela lei de Hubble:

$$v = H_0 \cdot d$$

em que H_0 é a "constante" de Hubble, cujo valor é objeto de frequentes ajustes e, por esse motivo, é mais correto chamá-la de parâmetro de Hubble. Em 2023 o telescópio espacial James Webb confirmou o resultado já obtido pelo telescópio espacial Hubble em 2007 de $H_0 \simeq 2{,}27 \cdot 10^{-2} \dfrac{\text{m/s}}{\text{ano-luz}} \simeq 2{,}40 \cdot 10^{-18}\ \text{s}^{-1}$, com uma margem de erro de 3%, aproximadamente.

O inverso desse valor dá uma estimativa da idade do Universo:

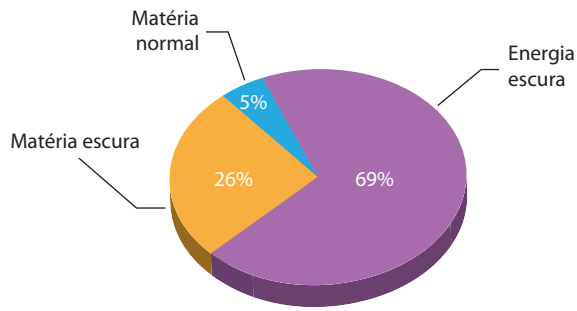
$$\frac{1}{H_0} \simeq 4{,}20 \cdot 10^{17}\ \text{s} \simeq 13{,}3 \text{ bilhões de anos}$$

Embora estejamos mais ou menos certos do início do Universo, estamos muito incertos quanto ao seu fim, se é que haverá um. O Universo se expandirá para sempre? Haverá um ponto de parada na expansão e, a partir daí, uma dramática contração, o *Big Crunch*? Essas e outras perguntas permanecem sem uma resposta conclusiva, e as pesquisas e debates continuam para tentar solucioná-las.

Atualmente, há fortes evidências de que o Universo seja preenchido, em sua maior parte, por um tipo estranho de matéria que não pode ser diretamente detectada ou observada, a **matéria escura**. Sua existência é prevista e admitida por efeitos gravitacionais observados em estrelas e galáxias. Estima-se que a matéria escura ocupe 26% da massa do Universo e 5% da massa da matéria observada. O restante do Universo, 69%, seria ocupado por algo ainda mais estranho, denominado **energia escura**, responsável pela expansão do Universo (Fig. 16).

Então, qual é a importância disso? Bem, a questão da existência da matéria escura pode parecer irrelevante para a nossa vida terrestre. Entretanto, sua existência ou não pode determinar o destino do Universo como um todo. A matéria ordinária existente no Universo observável não é suficiente para deter a expansão do Universo, e, assim, ela continuaria *ad infinitum* na ausência da matéria escura. Em princípio, matéria escura em quantidade suficiente poderia parar ou até reverter a expansão do Universo.

Distribuição de energia no Universo



NELSON MATSUDA/ARQUIVO DA EDITORA

Fonte: EVIDENCE for cosmic acceleration and dark energy. Cambridge: Chandra X-ray observatory, c2017. Disponível em: https://chandra.harvard.edu/xray_astro/dark_energy/index2.html. Acesso em: 28 ago. 2024.

Figura 16. Gráfico com a representação da quantidade estimada de energia no Universo.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Veja respostas e comentários no Suplemento para o professor.

Aplicando conhecimentos

Registre as respostas em seu caderno.

7. Adotando-se $2{,}27 \cdot 10^{-2} \frac{\text{m/s}}{\text{ano-luz}}$ para o valor do parâmetro H_0 da lei de Hubble, determine o aumento na velocidade de uma galáxia após ela ter se afastado 1 milhão de anos-luz de nós.

ESTRATÉGIA DE ESTUDO

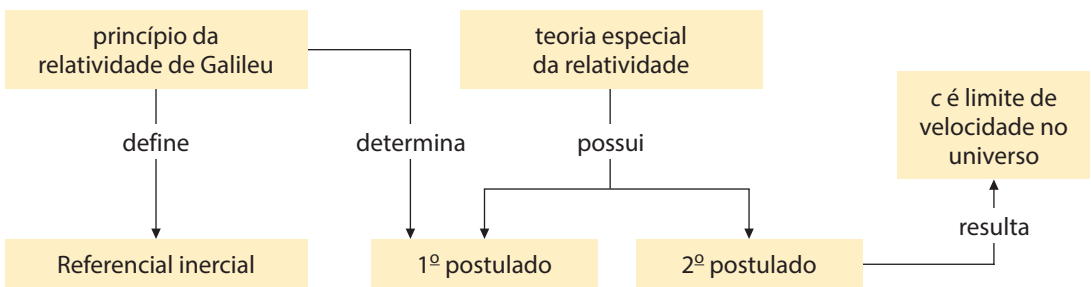
Como mais uma estratégia, você pode organizar os assuntos graficamente, em uma estrutura chamada mapa conceitual, e refletir sobre o que aprendeu.

Montar um mapa conceitual

Comece selecionando as palavras-chave de um tópico. Em seu caderno, agrupe-as pelos assuntos que têm correlação e organize-as da mais genérica ou abrangente para a mais específica. Em seguida, pense em uma frase curta que estabeleça uma relação entre elas. Para o tópico *Teoria Especial da Relatividade*, por exemplo, podem ser selecionadas as palavras-chave: referencial inercial, princípio da relatividade de Galileu, 1º postulado e 2º postulado.

Então, formule uma frase que comece com uma palavra-chave e termine com outra. Essa frase é chamada proposição.

Para montar o mapa conceitual, escreva essas palavras dentro de formas geométricas e relacione-as por meio de setas ou linhas, além da proposição. Uma possível apresentação do exemplo dado é:



NELSON MATSUDA/ARQUIVO DA EDITORA

Ao fazer isso para mais de um tópico do capítulo, podem surgir relações entre palavras-chave de tópicos diferentes. Assim, o mapa conceitual cresce e ganha novas ramificações.

Em mapas conceituais, pode surgir uma palavra central com a função de ligar essas ramificações (como o título do capítulo, por exemplo) e setas compridas para relacionar palavras-chave que estão distantes.

Após a primeira montagem do mapa conceitual, analise se é possível melhorá-lo, por exemplo, alterando a disposição de algumas palavras-chave, retirando partes menos importantes, encurtando proposições e fazendo relações cruzadas.

Verificar o que aprendeu

1. Avalie seu nível de compreensão dos assuntos apresentados no capítulo utilizando a escala:

- Entendi completamente.
- Entendi a maior parte, mas alguns itens estão confusos.
- Não entendi a maior parte.
- Não entendi.

2. Avalie suas habilidades para:

- resolver os problemas;
- relacionar o conteúdo com situações do cotidiano;
- identificar conexões entre os assuntos;
- organizar graficamente os assuntos.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Veja respostas e comentários no Suplemento para o professor.

Atividades finais

Registre as respostas em seu caderno.

1. Uma espaçonave afasta-se 12 anos-luz da sua base terrestre com velocidade de 0,60*c*. Ambos os valores são medidos no referencial da base, na Terra. Determine para essa nave:

a. o fator γ de Lorentz nessa velocidade;

b. a duração da sua viagem, medida por um observador aqui na Terra;

c. a duração da sua viagem, medida por um tripulante da nave;

d. a distância percorrida pela nave, medida no seu próprio referencial.

2. Um astronauta mede o valor L_0 para o comprimento da sua nave interestelar. Qual deveria ser a velocidade dessa nave para que um observador em repouso na Terra medisse um comprimento L, 20% menor que L_0, para esse veículo espacial?

Adote $c = 3{,}0 \cdot 10^5$ km/s.

3. Responda às questões formuladas, justificando com cálculos, se necessário.

a. O que é energia de repouso de uma partícula e como ela é calculada?

b. Determine a energia de repouso do elétron, em joule (J).

c. Determine a energia de repouso do elétron, em MeV ($1\ \text{J} = 6{,}25 \cdot 10^{12}$ MeV).

Considere a massa do elétron $m_e = 9{,}1 \cdot 10^{-31}$ kg e a velocidade de propagação da luz $c = 3{,}0 \cdot 10^8$ m/s.

4. Um satélite orbita a Terra a uma altitude constante h acima da superfície da Terra com velocidade constante v sendo $v \leqslant c$, ambos os valores medidos relativamente à Terra. Qual deve ser a relação entre h e v para que um relógio no satélite não atrase nem adiante em relação a um relógio na superfície da Terra?

Considere conhecido o módulo g da aceleração gravitacional na superfície da Terra, adote as aproximações $\gamma_L = 1 + \frac{v^2}{2c^2}$ para o fator de Lorentz e $\gamma_G = 1 + \frac{g \cdot h}{c^2}$ para o fator de correção gravitacional de tempo.

5. Em um acelerador de partículas, um elétron e um pósitron colidem e se aniquilam gerando dois fótons de radiação gama (γ), que se afastam em sentidos opostos. Considere 1,52 MeV a energia total do par elétron-pósitron.

Com os conceitos estudados até aqui, responda às questões formuladas a seguir.

a. O que ocorreu com a massa das partículas que colidiram?

b. Houve conservação da energia nessa colisão? Comente.

c. Qual é o valor da energia de cada fóton gerado após a colisão?

6. Em Astronomia, costuma-se usar a unidade ano-luz para medir distâncias. Adote 1 ano-luz $\simeq 9{,}46 \cdot 10^{12}$ km e $2{,}40 \cdot 10^{-18}\ \text{s}^{-1}$ para o valor mais recente obtido para o parâmetro H_0 da lei de Hubble. Com esses dados e partindo da lei de Hubble, determine o aumento na velocidade de uma galáxia, em km/h, a cada 1.000 anos-luz que ela se afasta.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

CAPÍTULO 24

Geração de energia, poluição ambiental e reciclagem

SERGIO RANALLI/SHUTTERSTOCK

Máquina pulverizadora de defensivos agrícolas (Santa Mariana, PR, 2020).

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

A demanda cada vez maior por alimentos fez com que a produção agrícola recorresse ao uso de defensivos agrícolas e fertilizantes para evitar a propagação de pragas e doenças na lavoura e suprir a carência de nutrientes do solo. Sem esses recursos, a produção em larga escala de muitos produtos agrícolas seria inviável.

Apesar dos benefícios para a agricultura, os defensivos podem ser nocivos para os seres vivos e os ambientes naturais, contaminando e poluindo o solo, a água e até mesmo o ar. Por isso, eles são classificados de acordo com sua toxidade e devem ser usados com controles rigorosos e por pessoas habilitadas.

O assunto deste capítulo também é trabalhado no capítulo 24 do volume de Biologia desta coleção.

Esse potencial poluente dos defensivos agrícolas é tema de debates e preocupação na sociedade; assim, a comunidade acadêmica trabalha para encontrar maneiras mais ecológicas de proteger as lavouras. Outras soluções seriam a modificação genética de sementes agrícolas e o uso de controles biológicos, situações nas quais determinados seres vivos são inseridos em um ambiente para combater espécies que causam danos às plantações.

O uso de combustíveis fósseis, como o petróleo, o gás natural e o carvão mineral, a aplicação de adubos e defensivos na agricultura e as atividades industriais lançam no ambiente compostos químicos poluentes que contaminam o ar, a água e o solo e modificam, em alguns casos, a proporção dos elementos que constituem o meio ambiente, afetando a saúde dos seres vivos e de seus ciclos biológicos naturais.

Este capítulo apresenta um panorama do consumo de energia no Brasil, reflexões sobre fontes alternativas de energia, as principais formas de poluição do ambiente e a reciclagem de alguns materiais.

1. Introdução à questão energética

Supõem-se que os primeiros seres humanos dependiam apenas da própria força para realizar tarefas e obter energia. Mais tarde, animais passaram a ser utilizados com esse propósito. Assim, bois, camelos, elefantes e cavalos foram domesticados e passaram a ser atrelados a moendas, carroças e arados.

O vento também passou a ser usado como fonte de energia para impulsionar embarcações e mover pás de moinhos. Ela pode, então, ser usada para bombear água, moer grãos ou movimentar rodas. Se um moinho for conectado a um gerador, a energia do vento (também chamada energia eólica) pode ser convertida em energia elétrica.

A energia de quedas-d'água também foi aproveitada para a realização de trabalho. Inicialmente, ela foi utilizada para movimentar uma roda-d'água, que, por sua vez, podia movimentar eixos e outras rodas ou, por meio de polias e cintas, colocar máquinas em funcionamento. Mais tarde, passou a servir para acionar geradores elétricos.

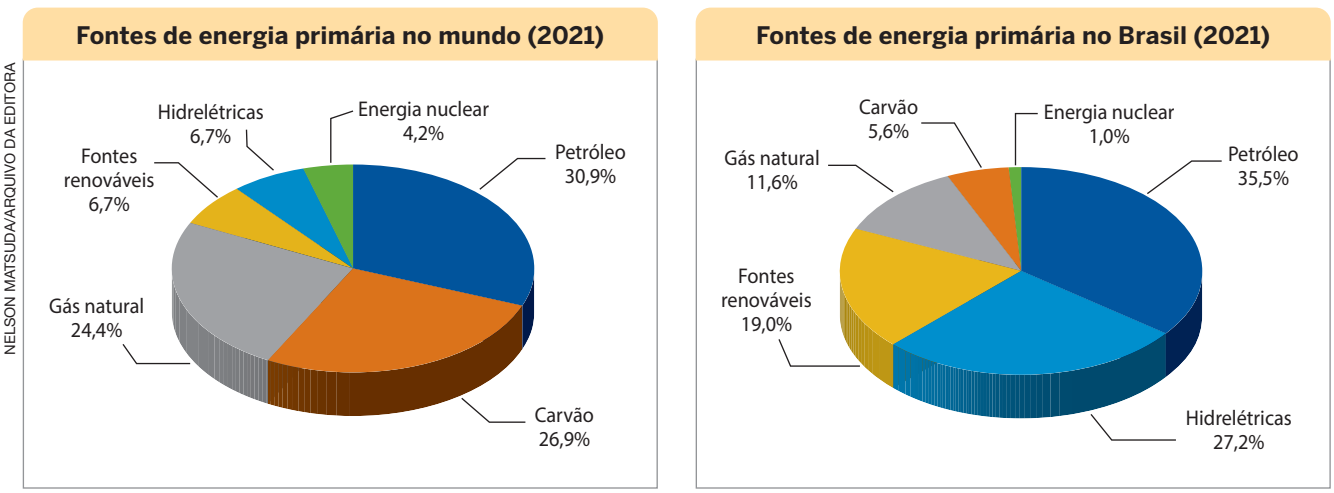
O vapor já era utilizado para gerar energia desde o final do século XVII, mas foi com o aperfeiçoamento realizado por James Watt (1736-1819) que a máquina a vapor, em meados do século XVIII, teve seu uso intensificado para tal finalidade. O calor obtido pela queima de um combustível era usado para aquecer água e transformá-la em vapor. Ao se expandir, o vapor podia movimentar máquinas e rodas. Atualmente, esse mesmo raciocínio é empregado, por exemplo, para acionar geradores elétricos e produzir eletricidade em uma usina termelétrica. As primeiras máquinas a vapor utilizavam madeira como combustível, mas o carvão, com maior poder calorífico, a substituiu e, posteriormente, em meados do século XX, o óleo e o gás natural assumiram esse papel.

A partir da década de 1950, a energia nuclear começou a ser utilizada para a obtenção do vapor que movimenta as turbinas, que, por sua vez, acionam o gerador elétrico em uma usina. Nesse caso, a energia que aquece a água provém da desintegração de átomos de elementos pesados, geralmente o urânio, em um processo denominado fissão nuclear. A desintegração de 1 kg de urânio natural libera tanta energia quanto a queima de 150 toneladas de carvão.

Os gráficos da figura 1 mostram a participação, em porcentagem, das várias fontes de energia primária no mundo e no Brasil em 2021. As fontes de energia primária são as que existem na natureza antes de serem convertidas ou transformadas e geram energia utilizável sem a necessidade de passar por etapas intermediárias de transformação.

Observe que, mundialmente falando, apenas uma pequena parcela dessa energia primária tem origem em fontes renováveis e hidrelétricas, isto é, em fontes que se regeneram naturalmente, em comparação com o Brasil.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.



NELSON MATSUDA/ARQUIVO DA EDITORA

NELSON MATSUDA/ARQUIVO DA EDITORA

Fonte dos dados: BP P.L.C. **bp Statistical Review of World Energy 2022**. ed. 71. Londres: 2022. Disponível em: https://www.bp.com/content/dam/bp/business-sites/en/global/corporate/pdfs/energy-economics/statistical-review/bp-stats-review-2022-full-report.pdf. Acesso em: 5 ago. 2024.

Figura 1. Fontes de energia primária no mundo e no Brasil em 2021.

2. Energia no Brasil

OBJETO DIGITAL Mapa clicável: Usinas elétricas no Brasil

Existe uma proporcionalidade entre a riqueza e o nível de desenvolvimento de um país e seu consumo energético *per capita*; geralmente, o consumo de energia é maior nos países mais desenvolvidos e industrializados. Algumas exceções, como o Japão, podem ser explicadas pelo desenvolvimento de técnicas rigorosas de conservação para limitar as cotas de importação de combustíveis.

Em comparação aos países desenvolvidos, o consumo energético brasileiro é, ainda, relativamente baixo. Entretanto, esse dado precisa ser contextualizado: em algumas regiões mais industrializadas do país, como o Sul e o Sudeste, ele atinge valores observados em países mais desenvolvidos, mas, nas regiões mais carentes, como o interior do Norte e do Nordeste, o consumo é bem menor que a média nacional.

Entre 1970 e 2010, o consumo de energia no Brasil aumentou cerca de 300%, enquanto no mesmo período a população brasileira cresceu "apenas" 100%. Isso significa, principalmente, que o consumo de energia *per capita* subiu, e tal aumento está associado à expansão na produção industrial e a uma melhor qualidade de vida, com mais conforto e facilidades.

Cada vez que você acende uma lâmpada ou aciona o motor de um automóvel, é como se estivesse usando a energia do Sol. É provável que a energia elétrica dissipada em uma lâmpada no Brasil tenha sido gerada em uma usina hidrelétrica, e a energia solar é indispensável para a ocorrência do ciclo da água. O petróleo, do qual foi obtida a gasolina que alimenta o motor do carro, também armazena energia do Sol, e, para obter o etanol, também é necessária a energia solar. Mas será que toda essa energia está sendo utilizada racionalmente?

Você já percebeu que toda vez que joga no lixo um saco plástico ou um copinho descartável, está desperdiçando petróleo? Isso ocorre porque esses objetos são produzidos a partir de derivados dessa matéria-prima. Portanto, para economizar petróleo, é conveniente evitar o uso e o descarte excessivo de objetos de plástico; além disso, essa atitude também contribui para minimizar a poluição ambiental.

As fontes de energia elétrica disponíveis não produzem o suficiente para o consumo da população mundial; além disso, as fontes alternativas ainda não são exploradas de forma eficiente. Vivemos um período de crise energética e, por isso, é fundamental que todos estejamos empenhados na utilização racional da energia, pois ela é indispensável para nosso bem-estar e nossa sobrevivência. Devemos manter continuamente uma boa relação com o ambiente e a sociedade, não apenas quando ocorrem campanhas e programas governamentais.

Praticamente tudo o que fazemos exige grandes quantidades de energia. Além de seu uso constante, todos os materiais que utilizamos, desde uma simples folha de papel até um copo descartável, exigem, durante sua fabricação, um alto gasto energético, processo que provoca impactos negativos ao ambiente. Por isso é aconselhável agir sempre com bom senso ao utilizar qualquer forma de energia e objetos no dia a dia.

A maior parte da energia elétrica utilizada no Brasil é obtida de usinas hidrelétricas, nas quais a energia potencial gravitacional da água, represada em grandes lagos, é convertida em energia elétrica. Entretanto, o regime de chuvas nem sempre abastece os reservatórios das usinas de forma satisfatória. É comum, em determinadas épocas do ano ou em períodos quando ocorrem fenômenos climáticos, como o El Niño, não chover em quantidade suficiente, o que exige racionamento não só de energia, mas também de água para as atividades humanas.

Nos próximos itens, vamos discutir formas de utilização racional de energia no cotidiano, esperando, com isso, contribuir de alguma maneira para otimizar o uso de energia elétrica e minimizar os impactos ambientais provenientes da produção e do consumo de energia elétrica.

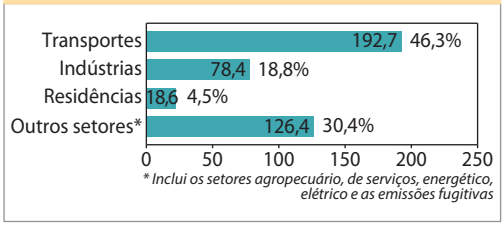
Veja respostas e comentários no Suplemento para o professor.

Aplicando conhecimentos

Registre as respostas em seu caderno.

1. Considere um país fictício no qual, em 2024, as emissões antrópicas relacionadas à matriz energética foi de 416,1 milhões de toneladas em equivalência de dióxido de carbono ($MtCO_2$-eq).
Com base no gráfico, aponte os setores que mais contribuem com a emissão de CO_2 e discuta possíveis soluções para a redução de CO_2 desses setores.

Emissões totais (2024), em Mt CO_2-eq



** Inclui os setores agropecuário, de serviços, energético, elétrico e as emissões fugitivas*

Fonte: Dados fictícios para fins didáticos.

NELSON MATSUDA/ARQUIVO DA EDITORA

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

3. Fontes alternativas de energia

As fontes convencionais de energia são as mais utilizadas na produção de energia elétrica e, portanto, são usadas rotineiramente pelos seres humanos em suas atividades. Essas fontes são, por exemplo, as usinas hidrelétricas e as termelétricas, os combustíveis fósseis, o gás natural e o GLP. Entretanto, muitas dessas fontes produzem efeitos desastrosos na natureza, estão em vias de esgotamento ou ambas as coisas. Isso significa que é necessário viabilizar novas fontes energéticas, já que o uso de energia no mundo aumenta substancialmente.

Energia solar

A Terra recebe continuamente do Sol energia equivalente a 1,9 cal/(cm^2 · min), aproximadamente 1,3 kW/m^2, valor conhecido como constante solar. Entretanto, é preciso lembrar que boa parte dessa energia é refletida pela atmosfera, não alcançando a superfície do nosso planeta. Mesmo assim, admitindo que cerca de 30% da energia retorne para o espaço, o solo é atingido por cerca de 1,3 cal/(cm^2 · min), equivalente a 0,91 kW/m^2. Isso significa que uma área de 100 m^2 (um quadrado com 10 m em cada lado, por exemplo) recebe, em 12 horas de insolação, uma quantidade de energia de 94 · 10^6 calorias, isto é, aproximadamente, 4 · 10^8 joules. Essa quantidade é suficiente, se for totalmente absorvida por 10 toneladas de água, para aumentar em quase 10 °C sua temperatura. Portanto, é grande a quantidade de energia que chega ao solo e está disponível para uso. O problema está em como captar essa energia de modo econômico, de maneira que o custo de sua captação não seja elevado a ponto de inviabilizar o processo.

Existem basicamente três maneiras de efetuar o aproveitamento da energia solar, as quais examinaremos a seguir.

Captação passiva

A captação passiva é o processo mais antigo e rudimentar de aproveitamento da energia solar de que se tem conhecimento. Ao construir habitações situadas de maneira estratégica para obter uma boa insolação, ao posicionar janelas e telhados de modo que recebam maior quantidade de radiação do Sol, ao se preocupar em fazer estufas para o cultivo de plantas (Fig. 2), o ser humano melhora o rendimento da captação passiva da energia solar. Essa captação vem sendo aprimorada cada vez mais com o tempo, e atualmente existem muitos projetos arquitetônicos que otimizam esse aproveitamento energético.

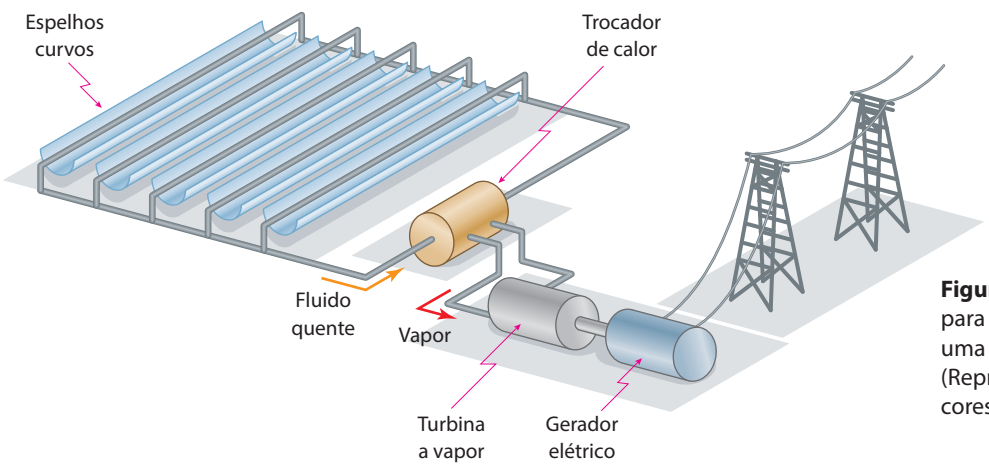
JOÃO PRUDENTE/PULSAR IMAGENS

Figura 2. Captação passiva de energia solar em uma estufa de hortaliças (Atibaia, SP, 2019).

Captação por coletores solares

Os dispositivos chamados coletores solares são utilizados fundamentalmente para o aquecimento de líquidos, sobretudo a água, para uso doméstico ou industrial.

Atualmente, já se discute a possibilidade de utilização de energia solar para a geração de energia elétrica a partir do uso de turbinas a vapor em usinas termossolares. Nesse caso, espelhos curvos que acompanham o movimento diurno do Sol captam a radiação solar e a focalizam sobre uma tubulação escura em que há óleo ou um fluido aquoso. A tubulação percorre vários quilômetros até um trocador de calor, que aquece o líquido e o converte em vapor. Ao se expandir em uma turbina, o vapor aciona um gerador que, da mesma forma que em uma usina hidrelétrica, gera energia elétrica (Fig. 3).



ADILSON SECCO/ARQUIVO DA EDITORA

Figura 3. A energia solar é utilizada para gerar vapor, que, ao acionar uma turbina, gera energia elétrica. (Representação fora de proporção; cores meramente ilustrativas.)

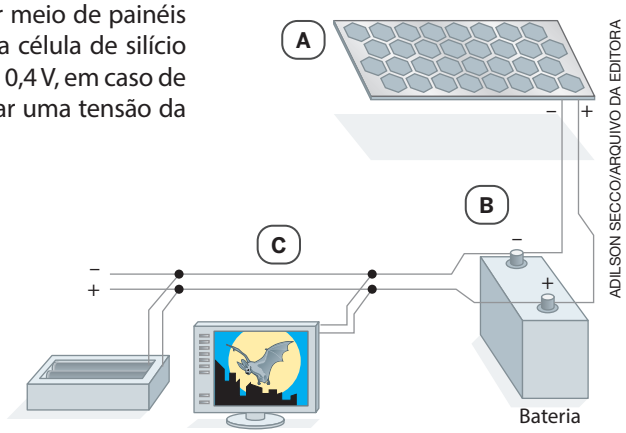
Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Captação por painéis fotovoltaicos

Outro meio de captar energia solar é com o uso de células solares fotovoltaicas. Esses dispositivos têm a capacidade de gerar diferenças de potencial quando iluminados pela luz do Sol, transformando a energia solar, predominantemente luminosa, em energia elétrica.

O processo para captação de energia solar é feito atualmente por meio de painéis fotovoltaicos, cada um deles constituído por várias células. Uma única célula de silício cristalino, com uma superfície de cerca de 100 cm^2, gera uma tensão de 0,4 V, em caso de irradiação forte. É necessário conectar trinta células em série para gerar uma tensão da ordem de 12 V, como é exigida em um circuito simples (Fig. 4).

Entretanto, há outros problemas a serem solucionados em relação ao fornecimento de energia solar. Em primeiro lugar, o custo da energia propiciada pelos painéis fotovoltaicos, entre US$ 0,47/kWh e US$ 0,70/kWh, ainda é alto. Para ser competitivo com o da energia elétrica produzida por uma usina hidrelétrica, por exemplo, o preço do kWh deveria estar em torno de US$ 0,18/kWh. Além disso, a quantidade de energia obtida das células solares disponíveis no mercado atual é pequena e há o problema do armazenamento dessa energia, uma vez que o período de incidência da luz solar é limitado. A produção de baterias eficientes e baratas que devem ser carregadas para acumular energia para os períodos em que não há incidência de luz solar ainda não é uma questão plenamente solucionada.



ADILSON SECCO/ARQUIVO DA EDITORA

Figura 4. Representação esquemática de um circuito fotovoltaico: (A) painel solar fotovoltaico; (B) bateria; (C) equipamentos de 12 V a serem energizados. (Representação fora de proporção; cores meramente ilustrativas.)

Veja respostas e comentários no Suplemento para o professor.

Em destaque

ODS 1 ODS 7

Comunidade Yanomami recebe *kits* de placas fotovoltaicas

As comunidades Waputha, Xitei, Olomai e Auaris já estão com *kits* de placas fotovoltaicas com bateria ajudando no fornecimento de energia elétrica nas unidades de atendimento à saúde indígena Yanomami. A instalação desses equipamentos só foi possível graças a uma parceria inédita entre o Ministério de Minas e Energia (MME), a Secretaria de Saúde Indígena (SESAI), do Ministério da Saúde, e a distribuidora local Roraima Energia, para ajudar no transporte de equipamentos e das equipes de instalação até as comunidades.

Em Xitei, um dos *kits* de placas fotovoltaicas com bateria foi instalado no alojamento para ajudar no funcionamento de lâmpadas e do *freezer* de refrigeração de alimentos e medicamentos, e outro na enfermaria para abastecer as lâmpadas e o concentrador de ar. Em Olomai e Waputha, os *kits* instalados também têm ajudado a manter as lâmpadas de LED da unidade básica de saúde indígena e um *freezer* (Waputha). Em Auaris, o sistema atende às lâmpadas e tomadas da enfermaria e dois microscópios do laboratório. Um outro *kit*, que vai ser instalado ainda nesta semana, vai atender ao polo base, com iluminação da cozinha, sala, banheiros e quartos e tomadas, para bebedouro e uso dos profissionais.

[...]

Os *kits* eram esperados pela comunidade e pelos profissionais de saúde. Cada um deles têm capacidade de gerar 160 kWh/mês. [...]

Desde janeiro de 2023, o MME tem instalado *kits* de placas fotovoltaicas com bateria em regiões do território Yanomami para melhorar o atendimento de saúde dessa comunidade indígena. Até então, as estruturas de saúde contavam apenas com motores geradores de energia a base de óleo diesel que ajudam na iluminação da edificação e *freezer* de acondicionamento de alimentos. Uma geração de energia que demandava alto consumo de combustíveis fósseis por dia, sobrecarregava os recursos das bases de saúde indígena e exigia uma logística complexa e perigosa de transportes desses combustíveis, já que os polos são acessados apenas por meio aéreo. Com a instalação das placas solares e das baterias, a logística será mais segura, haverá uma redução de custos e um aumento da renovabilidade da energia local, trazendo benefícios também para o meio ambiente.

Fonte: COMUNIDADE Yanomami recebe kits de placas fotovoltaicas com bateria para atendimento à saúde. **Ministério de Minas e Energia**, 6 jun. 2023. Disponível em: https://www.gov.br/mme/pt-br/assuntos/noticias/comunidade-yanomami-recebe-kits-de-placas-fotovoltaicas-com-bateria-para-atendimento-a-saude. Acesso em: 26 jul. 2024.

De acordo com o texto, as comunidades indígenas Yanomami utilizavam uma determinada fonte de energia para a geração de eletricidade nas unidades de atendimento à saúde que foram substituídas por outra. Classifique essas fontes de energia, apontando as vantagens e desvantagens em seu uso nessas comunidades.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Energia eólica

As **turbinas eólicas**, ou **aeromotores**, são grandes "cata-ventos" de eixo horizontal que possuem um rotor, constituído de uma haste giratória e pás metálicas, de um multiplicador de velocidade e de um gerador eólico, cujos componentes se movimentam produzindo a eletricidade. Para começar a funcionar, os ventos devem ter velocidade de, no mínimo, 3 m/s. Velocidades muito elevadas, porém, podem danificar o aeromotor. Entretanto, é possível, por meio da angulação das pás girantes, adequar as turbinas eólicas às condições de vento existentes, de modo que o aproveitamento da energia eólica seja o máximo possível.

Os custos de produção e de instalação de turbinas eólicas vêm baixando significativamente, viabilizando cada vez mais a utilização dessa fonte alternativa de energia. Como a produção é intermitente, pois o sistema só funciona quando há vento, um problema a ser considerado é o armazenamento dessa energia. No entanto, as novas gerações de baterias e acumuladores tendem a superar esse obstáculo.

O uso da energia eólica também traz consequências socioambientais. Dentre elas destacamos, inicialmente, as sonoras, em razão do ruído dos rotores, variando de acordo com o tipo de equipamento utilizado: as turbinas de múltiplas pás são menos eficientes e mais barulhentas que os aerogeradores de hélices de alta velocidade. Um segundo tipo de impacto socioambiental é o visual, que é decorrente do agrupamento de torres e aerogeradores, em especial no caso de centrais eólicas com um número considerável de turbinas, também conhecidas como **parques** ou **fazendas eólicas** (Fig. 5).

ADRIANO KIRIHARA/PULSAR IMAGENS

Figura 5. Parque eólico em Morro do Chapéu (BA, 2024).

Energia da biomassa

O uso da biomassa pelos seres humanos como fonte de energia teve início há milhares de anos com a descoberta do fogo, fonte de calor e de luz. A biomassa consiste no material de origem orgânica, animal ou vegetal, presente em um dado momento em uma determinada área. Na biomassa, é grande a contribuição dos vegetais, razão pela qual ela está em constante renovação, pois as plantas, utilizando a energia solar e o gás carbônico no processo de fotossíntese, têm a capacidade de produzir novas substâncias, de crescer e de se multiplicar. Se o ser humano conseguisse aproveitar plenamente o potencial da biomassa para produzir energia, a demanda energética mundial poderia ser atendida.

Hoje em dia, a produção de álcool etílico, bioetanol ou simplesmente etanol, pode ser feita a partir do milho (como no caso dos Estados Unidos), da beterraba (caso da França) ou da cana-de-açúcar, como acontece no Brasil. O bioetanol brasileiro movimenta boa parte da frota nacional de veículos leves e se destaca em relação ao produzido no restante do mundo por sua grande produtividade e relativo baixo custo.

Outro combustível que pode ser obtido a partir da biomassa é o biodiesel. A história do biodiesel começou com a criação dos motores a *diesel* no final do século XIX, concebidos pelo alemão Rudolf Diesel (1858-1913) e projetados para funcionar com óleos vegetais ou animais.

Se o bioetanol brasileiro é baseado em apenas uma matéria-prima, a cana-de-açúcar, o biodiesel usa diferentes oleaginosas para a sua produção: o óleo de dendê, no Pará: a mamona, no Nordeste semiárido: e a soja, nas regiões Centro-Oeste e Sul. Existem ainda outras alternativas: o algodão, o babaçu, o girassol, o amendoim, a colza (canola), a palma e o pinhão-manso, além de gorduras animais (sebo bovino, suíno e de aves).

Os resíduos orgânicos, que também são biomassa, podem originar gás combustível, o chamado biogás. Para isso, esses resíduos devem passar por um processo de digestão anaeróbica, isto é, uma degradação por microrganismos em atmosfera rarefeita de oxigênio, feita em aparelhos chamados biodigestores (Fig. 6). Essa digestão, além do gás, permite obter um lodo, ou uma borra, utilizado como fertilizante, o adubo orgânico.

O biogás é uma mistura de vários gases, com predominância do metano, que tem uma série de aplicações. Pode ser utilizado como substituto do gás de cozinha, o GLP originado do petróleo, em fornos industriais, em iluminação e em usinas termelétricas, substituindo os combustíveis fósseis.

GERSON SOBREIRA/TERRASTOCK

Figura 6. Biodigestor instalado em Carmo do Paranaíba (MG, 2021).

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Há alguns inconvenientes que devem ser considerados em relação ao biogás, entre eles: a possibilidade de explosões no biodigestor; a contaminação do solo e de lençóis de água nas regiões de instalação dos biodigestores em virtude do descarte da água residual; e o vazamento de gases tóxicos, como o gás sulfídrico. Porém, esses inconvenientes podem ser controlados. Talvez o problema maior esteja na queima do biogás, na qual ocorre a liberação de gases de efeito estufa, principalmente do CO_2.

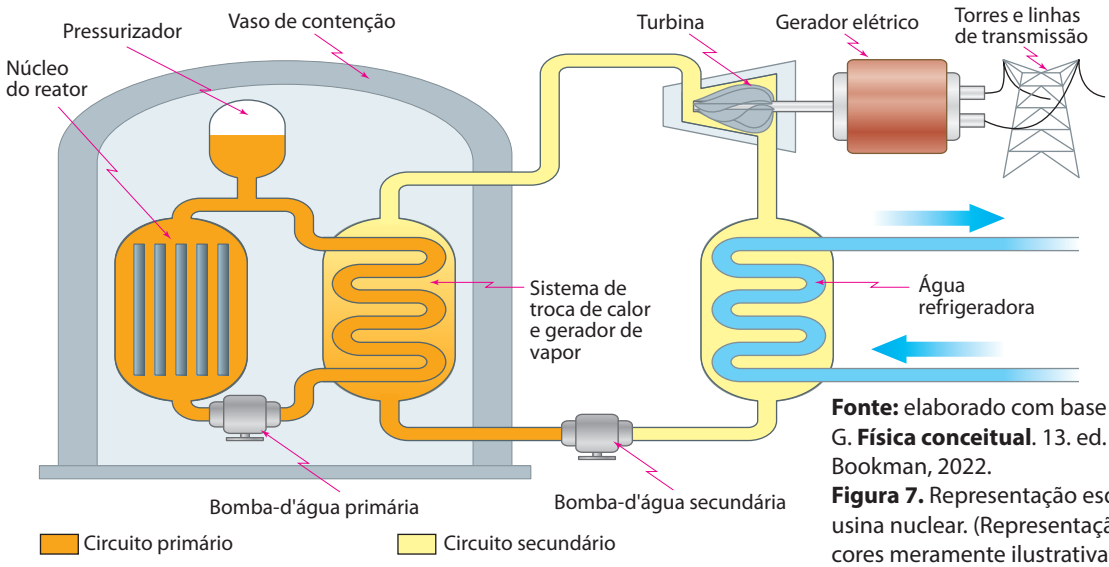
O fato é que, apesar dos inconvenientes levantados, o aperfeiçoamento desse processo de obtenção de energia é fundamental porque, além de suprir as necessidades energéticas, pode, por exemplo, amenizar o grave problema do lixo urbano, que contém grande quantidade de resíduos orgânicos. Nas grandes cidades, como São Paulo e Rio de Janeiro, o volume de lixo produzido diariamente é de várias dezenas de toneladas. O destino desse lixo costuma ser o aterro sanitário, que apresenta uma série de inconvenientes, causando impactos ambientais negativos de grandes proporções. Por isso, são muito importantes as iniciativas no sentido de produzir o biogás a partir dessa imensa quantidade de material orgânico.

Energia nuclear

A energia nuclear é provavelmente a que tem provocado mais discussões, tanto na comunidade acadêmica quanto no público em geral. De um lado, há defensores de sua utilização, considerando-a uma fonte de energia limpa e de riscos perfeitamente controláveis; de outro, críticos que a consideram uma forma de energia potencialmente perigosa e que, por isso, não deve ser uma alternativa para suprir a escassez energética.

As usinas nucleares, apesar de sua complexidade tecnológica, funcionam basicamente como as termelétricas. A diferença é que a energia térmica que aciona as turbinas por meio da vaporização da água, em vez de ser proveniente da queima de um combustível, é obtida a partir dos núcleos atômicos.

A figura 7 mostra, esquematicamente, o funcionamento de um reator nuclear, que é a unidade geradora da usina nuclear.



ADILSON SECCO/ARQUIVO DA EDITORA

Fonte: elaborado com base em HEWITT, P. G. **Física conceitual**. 13. ed. Porto Alegre: Bookman, 2022.

Figura 7. Representação esquemática de uma usina nuclear. (Representação fora de proporção; cores meramente ilustrativas.)

Em vários países do mundo, a energia nuclear não é uma fonte alternativa de energia, mas sim a principal fonte de obtenção de energia elétrica. Nesses países, a possibilidade de instalação de usinas hidrelétricas está muito limitada, pois eles não dispõem de recursos hídricos suficientes. As usinas termelétricas convencionais, por sua vez, são muito poluentes, pelo fato de a queima do combustível liberar gases tóxicos e os chamados gases de efeito estufa na atmosfera. Então, para suprir a necessidade de energia elétrica, a saída convencional é o emprego da energia nuclear.

O programa nuclear brasileiro teve início por volta de 1970, com as primeiras providências para a construção de uma usina nuclear na região de Angra dos Reis, no estado do Rio de Janeiro. Nessa época, foi assinado um acordo de cooperação com os Estados Unidos para o fornecimento de urânio enriquecido para a central nuclear. Em 1975, o Brasil assinou um acordo com a Alemanha para a construção de reatores nucleares para a geração de energia elétrica. A usina nuclear Angra 1, com potência de 657 MW, entrou em operação em 1985 e a Angra 2, em funcionamento desde 2000, tem capacidade para gerar uma potência de 1.350 MW.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

A participação das usinas nucleares brasileiras na geração de energia elétrica é bastante modesta. Para ter uma ideia, apenas nos Estados Unidos, os 99 reatores nucleares em funcionamento respondem por 19,5% da energia elétrica, produzindo mais eletricidade que todo o sistema de geração elétrica brasileiro.

O potencial do Brasil para o uso de energia nuclear é enorme, pois é um dos poucos países do mundo a dominar todo o processo de produção de combustível para usina nuclear e um dos três, juntamente com Estados Unidos e Rússia, a dominar o processo de enriquecimento do urânio. Além disso, de acordo com as Indústrias Nucleares do Brasil (INB), as reservas de urânio confirmadas são de 309.370 toneladas de U_3O_8, o que coloca o Brasil no 6º lugar entre as maiores reservas do mundo, com 5,9% da disponibilidade mundial.

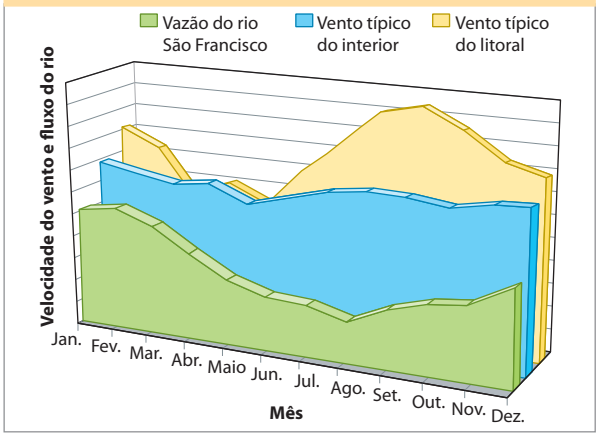
Veja respostas e comentários no Suplemento para o professor.

Aplicando conhecimentos

Registre as respostas em seu caderno.

2. A energia eólica pode ser a solução para o dilema do uso da água do rio São Francisco no Nordeste, que envolve a escolha entre gerar eletricidade ou irrigar plantações. Projetos de irrigação de grande escala, tanto nas margens do rio quanto em áreas beneficiadas pela transposição das águas, podem diminuir significativamente o volume de água nos reservatórios das usinas hidrelétricas, afetando o fornecimento de energia na região. Contudo, ao analisar o gráfico, observa-se que as maiores velocidades de vento no Nordeste coincidem com os períodos de menor fluxo de água do rio São Francisco. Dessa forma, as usinas eólicas instaladas na região podem gerar grandes quantidades de energia elétrica, reduzindo a necessidade de usar a água do rio São Francisco para esse fim.

Velocidade do vento e fluxo do rio ao longo do ano



NELSON MATSUDA/ARQUIVO DA EDITORA

Fonte: Dados fictícios para fins didáticos.

Com base no texto e na suposição do gráfico, responda às questões propostas.

a. Explique por que os projetos de irrigação previstos podem prejudicar o fornecimento de eletricidade à região nordestina.

b. De que modo as centrais eólicas podem compensar um eventual colapso na geração de energia elétrica no Nordeste brasileiro? Em que época do ano deverá ocorrer essa compensação?

3. No texto promocional de uma empresa fabricante e instaladora de painéis fotovoltaicos, lê-se o seguinte trecho:

> A energia solar fotovoltaica está cada vez mais cotada como uma alternativa aos métodos convencionais de geração de eletricidade. Atualmente, com o agravamento dos problemas ambientais e o esgotamento das matérias-primas, a exploração contínua dos combustíveis fósseis e nucleares para sustentar a "libertinagem energética" a que nossa sociedade está habituada torna-se intolerável.

Fonte: Texto fictício para fins didáticos.

a. Quais são os métodos convencionais de geração de eletricidade a que se refere o texto? Enumere e explique os problemas que esses métodos podem causar e que justifiquem a referida substituição.

b. A que o texto se refere ao falar de "libertinagem energética"? Por que é intolerável o uso dos combustíveis fósseis e nucleares para sustentá-la?

4. Avalia-se que um grama de urânio U-235 totalmente fissionado fornece energia equivalente à queima de 9 toneladas de carvão. Considerando que o calor de combustão do carvão é de 8.000 cal/g, determine a quantidade de energia liberada na fissão de 30 kg de urânio U-235.

5. 5. e **(Enem)** Suponha que você seja um consultor e foi contratado para assessorar a implantação de uma matriz energética em um pequeno país com as seguintes características: região plana, chuvosa e com ventos constantes, dispondo de poucos recursos hídricos e sem reservatórios de combustíveis fósseis. De acordo com as características desse país, a matriz energética de menor impacto e risco ambientais é a baseada na energia

a. dos biocombustíveis, pois tem menos impacto ambiental e maior disponibilidade.

b. solar, pelo seu baixo custo e pelas características do país favoráveis à sua implantação.

c. nuclear, por ter menos risco ambiental e ser adequada a locais com menor extensão territorial.

d. hidráulica, devido ao relevo, à extensão territorial do país e aos recursos naturais disponíveis.

e. eólica, pelas características do país e por não gerar gases do efeito estufa nem resíduos de operação.

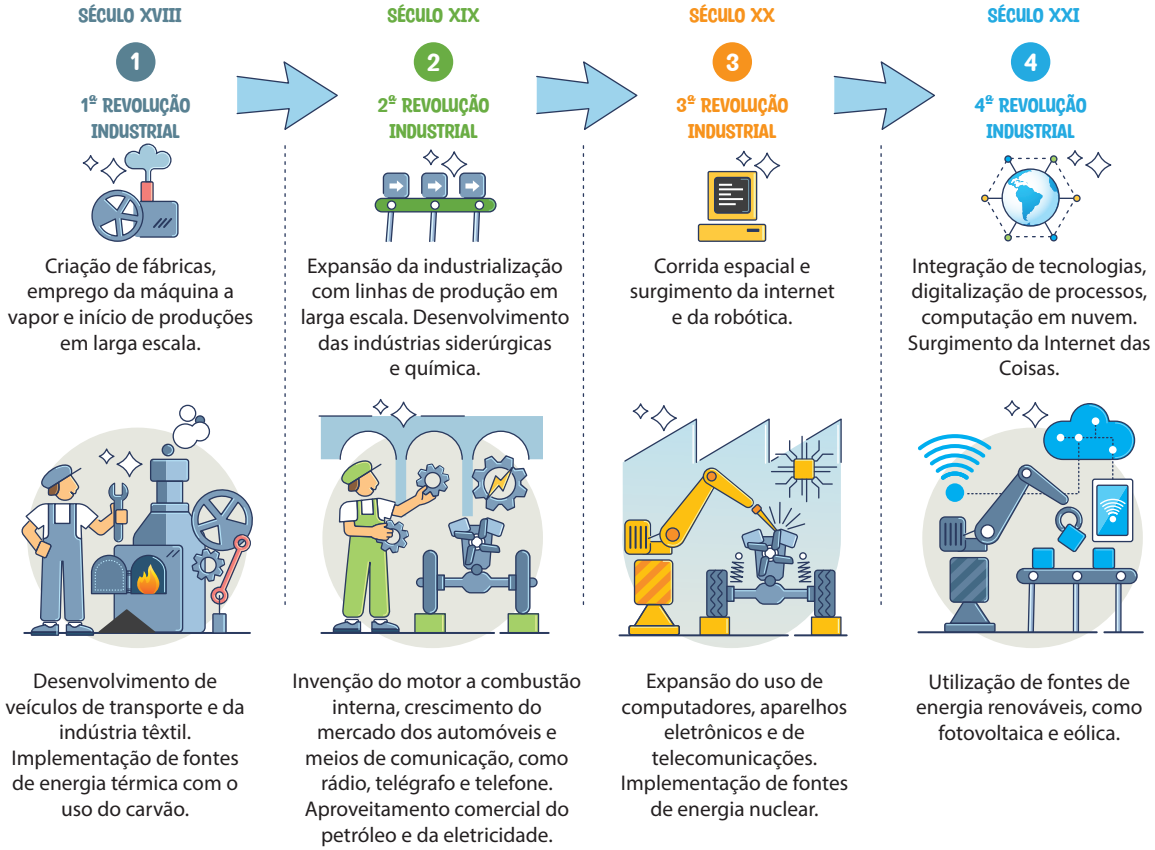
Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Veja respostas e comentários no Suplemento para o professor.

MUNDO DO TRABALHO

Revoluções industriais, produtos e ocupações

A criação de novas ocupações, assim como o surgimento de produtos, processos e serviços, pode estar atrelada a necessidades de ordem social, econômica e tecnológica. As chamadas **Revoluções Industriais** causaram, e ainda causam, grandes transformações nas relações de trabalho e nos sistemas de produção vigentes. Na imagem a seguir estão as características e os eventos-chave dessas transformações.



VECTORMINE/SHUTTERSTOCK

Reúna-se com seus colegas em grupos e respondam às perguntas.

1. Quais são as fontes de energia características de cada Revolução Industrial?

2. Leiam o texto a seguir:

> [...] pode-se dizer que a invenção da máquina a vapor nasceu da necessidade de exploração das jazidas profundas de carvão mineral; o acesso às grandes quantidades de carvão mineral permitiu, juntamente com um paralelo avanço tecnológico da siderurgia – este baseado na utilização do coque (de carvão mineral) – que se construíssem máquinas cada vez mais adaptáveis a altas pressões de vapor. Era mais carvão para produzir metais, eram mais metais para explorar carvão. Esse imponente processo de desenvolvimento parecia trazer em si uma fatalidade definitiva, como se, uma vez posta a caminho, a tecnologia gerasse por si mesma tecnologias mais sofisticadas e as máquinas gerassem por si mesmas máquinas mais potentes. [...]
>
> **Fonte:** CONTI, Laura. **Questo pianeta**. Roma: Editori Riuniti, 1983. Traduzido e adaptado por Ayde e Veiga Lopes.

a. O texto ressalta um ciclo de processo de desenvolvimento exemplificado pela tecnologia e pelas máquinas. O que esse ciclo gera?

b. Há controvérsias e discussões sobre a duração de cada Revolução Industrial. No entanto, pode-se notar que, em termos gerais, a duração de cada uma é menor do que a anterior e que os impactos gerados são cada vez mais abrangentes. Na opinião do grupo, por que isso ocorre?

CONTINUA

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

3. Atualmente, o uso do carvão em usinas termelétricas é um exemplo de processo que ainda não foi superado, mesmo depois de 200 anos de sua ascensão na Primeira Revolução Industrial. A criação de novos produtos e processos parte, muitas vezes, de soluções que passam a não atender mais às demandas do momento; aparece, então, a importância do conhecimento e da aceitação de novas soluções. Tomem como exemplo uma tecnologia que deixou de atender uma demanda da era digital, o CD (*compact-disc*): pesquisem sua finalidade, sua data de criação, quando e por que deixou de ser utilizado.

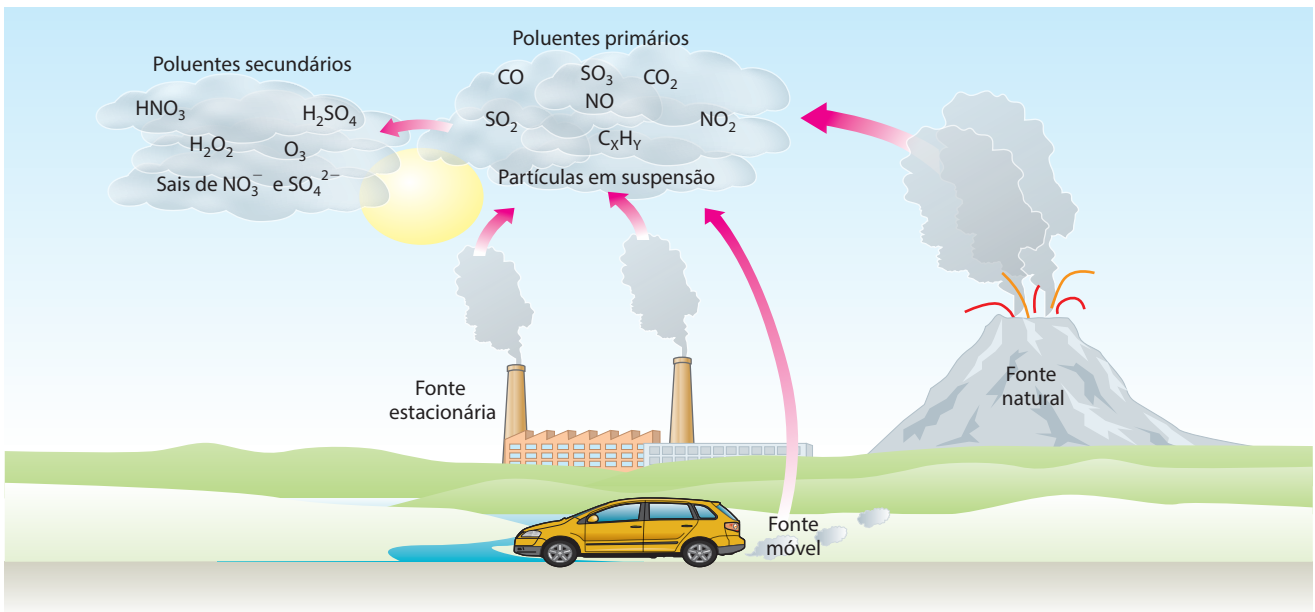
4. Seguindo a pauta ambiental vigente na Quarta Revolução Industrial, as usinas de energia de fonte renovável estão sendo aprimoradas e implementadas em ritmo crescente. Pesquise quais ocupações são necessárias para atender à demanda de desenvolvimento tecnológico, construção, operação e manutenção de uma usina fotovoltaica.

4. Poluição ambiental

OBJETO DIGITAL Vídeo: *Smartphones*: produção e consumo

Poluição do ar

As chaminés das fábricas e os escapamentos dos veículos automotores lançam continuamente no ar uma grande quantidade de substâncias poluentes, como óxidos de enxofre (SO_2 e SO_3), óxidos de nitrogênio (NO e NO_2), material particulado, dióxido de carbono (CO_2), monóxido de carbono (CO) e hidrocarbonetos (C_XH_Y). Essas substâncias constituem os **poluentes primários**, cuja fonte pode ser natural, como erupções vulcânicas, ou artificial, como indústrias (fonte estacionária), ou veículos automotores (fonte móvel). Alguns deles reagem entre si ou com os componentes do ar, formando os **poluentes secundários** (Fig. 8).



ADILSON SECCO/ARQUIVO DA EDITORA

Figura 8. Esquema de representação da origem de poluentes do ar. (Representação fora de proporção; cores meramente ilustrativas.)

A poluição do ar está relacionada ao aumento de alguns problemas de saúde, como alergias, doenças respiratórias, lesões em órgãos internos, doenças mais graves, como o câncer, crises cardíacas e abortos espontâneos.

Os danos, no entanto, não atingem somente pessoas e animais. É comum que a vegetação afetada pela poluição sofra com o desequilíbrio ambiental e morra; com isso, grandes áreas podem perder sua cobertura natural, aumentando a possibilidade de deslizamentos de terra e de desertificação.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

O vapor de água (H_2O) da atmosfera reage com o dióxido de enxofre (SO_2) emitido, formando o ácido sulfúrico (H_2SO_4), e com os óxidos de nitrogênio (NO_x), formando o ácido nítrico (HNO_3). As gotas de chuva, absorvendo esses ácidos, passam a apresentar maior índice de acidez. Ao se precipitarem sobre o solo, ocorre o que se convencionou chamar de chuva ácida, responsável pelo desaparecimento de várias espécies aquáticas, pela destruição da cobertura vegetal e pela corrosão de metais e outros materiais, como o granito e o mármore de monumentos e obras de arte que ficam ao ar livre. Muitas vezes, os gases responsáveis pela chuva ácida são carregados pelo vento para regiões distantes, onde, mesmo não havendo poluição do ar, ocorre precipitação de chuvas ácidas.

Algumas substâncias poluentes degradam a camada de ozônio da atmosfera, prejudicando a eficácia do escudo protetor natural do planeta contra a radiação ultravioleta que vem do Sol. Nas décadas de 1970 e 1980, a comunidade acadêmica passou a detectar um afinamento da camada de ozônio e o principal suspeito eram os chamados clorofluorcarbonos (CFC), utilizados na época em *sprays* aerossóis, aparelhos de ar-condicionado e geladeiras. Um acordo internacional em 1987, firmado por 46 nações, estabeleceu metas de cortes nas emissões de CFC e outras substâncias destruidoras do ozônio, entre elas os chamados halons, hidrocarbonetos halogenados, compostos quimicamente estáveis e usados no combate a incêndios e explosões.

A depender do tipo de indústria, é obrigatória a instalação de filtros nas chaminés com a finalidade de reduzir a emissão de poluentes na atmosfera. Em diversos países, uma rigorosa legislação antipoluição e uma fiscalização eficiente multam e fecham indústrias que cometem crimes contra o ambiente.

Nos centros urbanos, os gases emitidos pelos escapamentos dos automóveis são um dos principais responsáveis pela poluição do ar. Um deles é o monóxido de carbono, que pode causar dores de cabeça, perda de visão e, em grande concentração, a morte: a hemoglobina combina-se com ele em uma ligação mais estável do que com o gás oxigênio, impedindo o transporte dessa substância para os tecidos e causando asfixia. Os veículos a óleo *diesel* emitem uma fumaça preta constituída de partículas de fuligem inaláveis (carbono), que carregam substâncias tóxicas, podendo causar alergia e doenças respiratórias, como asma e bronquite.

O funcionamento de um veículo automotor a combustão interna também libera hidrocarbonetos, óxidos de enxofre e de nitrogênio, aldeídos, vapores e partículas. Por isso, no Brasil, há algumas décadas, veículos automotores saem de fábrica obrigatoriamente com filtros chamados catalisadores, que convertem esses gases de escapamento em dióxido de carbono, nitrogênio e vapor de água.

Veja comentários sobre essa atividade no Suplemento para o professor.

Dialogando com o texto

Com a finalidade de diminuir a emissão de poluentes, as fábricas de automóveis desenvolveram um equipamento chamado **conversor catalítico** ou **catalisador** (Fig. A).

NELSON MATSUDA/ ARQUIVO DA EDITORA

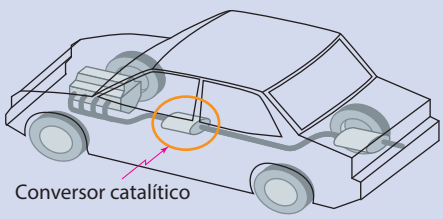


Figura A. Localização do conversor catalítico em um automóvel. (Representação fora de proporção; cores meramente ilustrativas.)

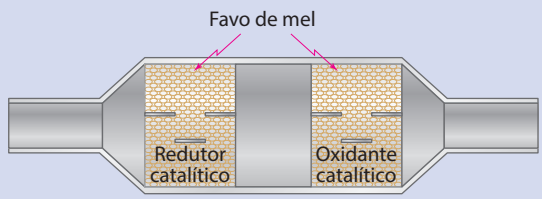
Um motor a gasolina, idealmente regulado, queima em média 14,7 kg de ar para cada 1 kg de gasolina. Nessa condição ideal, os principais produtos de combustão emitidos pelo escapamento são:

- dióxido de carbono (CO_2) — resultante da combinação do carbono do combustível com o gás oxigênio do ar;
- vapor de água (H_2O) — resultante da combinação do hidrogênio do combustível com o gás oxigênio do ar;
- gás nitrogênio (N_2) — que passa pelo motor sem queimar.

Entretanto, como o processo de combustão não é ideal, ocorrem também emissões de:

- monóxido de carbono (CO);
- óxidos de nitrogênio (NO e NO_2);
- hidrocarbonetos (C_XH_Y).

O catalisador é constituído de um **redutor catalítico** e de um **oxidante catalítico** (Fig. B). Eles possuem uma estrutura de cerâmica revestida com metal catalisador, com a forma de um favo de mel, a fim de aumentar a área exposta à passagem dos gases resultantes da combustão.



NELSON MATSUDA/ARQUIVO DA EDITORA

Figura B. Representação esquemática de um conversor catalítico. (Representação fora de proporção; cores meramente ilustrativas.)

CONTINUA

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

No redutor catalítico, por ação do metal catalisador (platina e ródio), ocorre diminuição das emissões de óxidos de nitrogênio (NO e NO_2), que se transformam nos gases nitrogênio (N_2) e oxigênio (O_2), de acordo com as reações:

$$2\,NO \xrightarrow{catalisador} N_2 + O_2$$

$$2\,NO_2 \xrightarrow{catalisador} N_2 + 2\,O_2$$

No **oxidante catalítico**, por ação do metal catalisador (platina e paládio), ocorre diminuição das emissões de hidrocarbonetos (C_XH_Y) e de monóxido de carbono (CO) não queimados.

O catalisador auxilia na reação do monóxido de carbono e dos hidrocarbonetos com o gás oxigênio remanescente nos gases do escapamento. Para o monóxido de carbono, temos esta reação:

$$2\,CO + O_2 \xrightarrow{catalisador} 2\,CO_2$$

Em relação ao que estudamos a respeito da poluição do ar e com base na leitura do texto, elabore, no caderno, um texto explicando a importância do uso de catalisadores nos automóveis.

Poluição da água

Segundo o Censo Demográfico de 2022, do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), apenas 64,7% dos domicílios brasileiros estão conectados à rede de esgoto. O dado preocupa porque, quando o esgoto é despejado em grandes quantidades sem tratamento em um corpo d'água, pode ocorrer aumento significativo na população dos microrganismos que o decompõem, que, ao respirarem, consomem gás oxigênio dissolvido na água. O desequilíbrio gerado no ecossistema tem como consequência danos irreversíveis aos organismos aquáticos que dependem desse oxigênio.

Os adubos químicos, que contêm principalmente nitrogênio e fósforo, podem ser levados pelas chuvas até corpos hídricos. Essas substâncias, em conjunto com o esgoto residencial, nutrem as algas, que também se proliferam, e, em grande quantidade, impedem a passagem da luz através da superfície da água. As plantas que vivem no fundo do corpo d'água ficam impedidas de realizar a fotossíntese e, portanto, não produzem gás oxigênio. Com isso, as plantas e os demais organismos que dependem de oxigênio são prejudicados e as bactérias anaeróbicas, causadoras de muitas doenças, são favorecidas.

Além de matéria orgânica, muitas substâncias nocivas, como os metais cádmio, chumbo e mercúrio, são despejadas por indústrias em corpos d'água, pondo em risco a vida de espécies aquáticas que ali habitam. Esses metais são solúveis na água e, por isso, de fácil absorção pelos organismos vivos.

No garimpo do ouro, o descarte de mercúrio é feito diretamente nos rios. O mercúrio apresenta efeito cumulativo em seres vivos, concentrando-se ao longo das cadeias alimentares. No ser humano, que é um dos últimos consumidores, o mercúrio pode provocar lesões no sistema nervoso, principalmente no cérebro e na medula, no fígado e nos rins. O mercúrio é ainda muito utilizado no garimpo do ouro com a qual forma um amálgama.

Metais prejudiciais para os seres humanos também são encontrados em baterias elétricas. Por esse motivo, recomenda-se cuidado com o descarte de baterias e pilhas. Há estabelecimentos e fabricantes que mantêm um serviço de coleta de baterias inutilizadas, incluindo as de telefones celulares e de *notebooks*, para que sejam adequadamente descartadas. O debate acerca do crescimento do mercado de veículos elétricos passa pelo problema da mineração, de descarte e reciclagem desses metais e outros materiais que compõem as baterias elétricas.

Muitas substâncias nocivas à saúde são lançadas diretamente nos mares por rios poluídos que neles deságuam. Como consequência, as praias podem ficar impróprias para banho.

Dialogando com o texto

O filme *Erin Brockovich, uma mulher de talento* (Estados Unidos, 2000, direção de Steven Soderbergh) é baseado em uma história real e aborda um problema de saúde pública de uma pequena cidade estadunidense causado pela poluição de um corpo d'água a partir de resíduos tóxicos de uma empresa. Erin Brockovich é mãe solo de três filhos e, imersa em uma situação financeira problemática, consegue com esforço um trabalho em um escritório de advocacia. Ao descobrir casos arquivados envolvendo contaminação de água e cruzar essas informações com casos de doenças da população da cidade, Erin mobiliza uma ação conjunta de indenização aos moradores e consegue vencer uma batalha judicial de milhões de dólares.

Pesquise se há casos semelhantes de poluição industrial da água ou do solo no Brasil. Com a mediação do professor, em roda, compartilhem as informações obtidas.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Outro grave tipo de poluição, que prejudica a fauna e a flora marítimas, decorre do vazamento de óleo de navios-petroleiros ou da ruptura de dutos que transportam o óleo de refinarias aos tanques de abastecimento.

Entre as medidas que podem ser tomadas para despoluir ou evitar que as águas sejam poluídas estão:

- o tratamento e a ampliação das redes de esgoto;
- o tratamento das substâncias tóxicas produzidas pelas indústrias;
- a construção de emissários submarinos, isto é, dutos no fundo do mar usados para descarte seguro de efluentes tratados, minimizando o impacto ambiental em áreas costeiras;
- campanhas educativas que alertem a população de que rios, lagos, riachos, córregos, mananciais, mares, entre outros, são fontes de vida e não devem receber dejetos e resíduos.

No Brasil, existe uma legislação específica para proteção ambiental com critérios de punição e multa para os responsáveis por crimes contra o ambiente. Cabe ao governo averiguar denúncias e fiscalizar situações de risco ao ambiente. Cada cidadão também deve se conscientizar de sua responsabilidade e de que pode tomar atitudes simples para minimizar a poluição, como reduzir o consumo de embalagens plásticas e encaminhar para reciclagem resíduos recicláveis.

Poluição do solo

Uma das maiores causas de poluição do solo é a deposição direta de resíduos sólidos (residenciais e industriais) sem triagem e tratamento (Fig. 9). O governo é responsável por prover serviço de limpeza urbana e manejo de resíduos sólidos, o que inclui redução, reutilização, reciclagem, tratamento e destinação final ambientalmente adequada dos dejetos.

No Brasil, existem dois marcos regulatórios sobre esse assunto: a Lei Nacional do Saneamento Básico, publicada em 2007, e a Lei da Política Nacional de Resíduos Sólidos, publicada em 2010. Em um documento do governo federal de 2023, encontram-se os seguintes dados:

- 89,9% da população total [brasileira] é atendida com coleta domiciliar;
- 32% dos municípios apresentam coleta seletiva;
- 26,8% da massa de resíduos gerada é disposta em locais ambientalmente inadequados (lixão ou aterro controlado) [...].

LUCIANA WHITAKER/PULSAR IMAGENS

Figura 9. Os lixões são fontes de poluição do solo e da água subterrânea e de doenças para seres vivos (Valença do Piauí, PI, 2022).

Fonte: BANCO Interamericano de Desenvolvimento. **Guia prático de estruturação de projetos de concessão de manejo sustentável de resíduos sólidos urbanos**. Brasília, DF: BID, 2023. Disponível em: https://www.ppi.gov.br/wp-content/uploads/2023/04/CONCESSAO-DE-SERVICOS-DE-MANEJO-DE-RESIDUOS-SOLIDOS-URBANOS.pdf. Acesso em: 13 ago. 2024.

Esses dados são alarmantes, uma vez que a coleta seletiva representa uma importante medida no manejo dos resíduos sólidos para reduzir o impacto ambiental e ocorre em apenas um terço dos municípios. Além disso, quase um terço dos resíduos sólidos gerados no Brasil ainda tem como destino os chamados lixões, onde os lençóis freáticos são afetados pela infiltração no solo de substâncias tóxicas, como os metais pesados, e há possibilidade de proliferação de doenças. Os 10% da população que não têm acesso à coleta domiciliar podem ser justificados, em parte, pelos locais de difícil acesso, como áreas rurais e ribeirinhas.

Outra causa de poluição do solo é a utilização indiscriminada na lavoura de defensivos agrícolas e adubos químicos tóxicos. É o caso do DDT (dicloro-difenil-tricloroetano) e do BHC (hexaclorobenzeno), compostos do grupo dos hidrocarbonetos clorados, que hoje estão proibidos, mas foram utilizados durante muito tempo no Brasil no combate às pragas. Esses produtos, por não serem biodegradáveis, são incorporados às cadeias alimentares e propagados pelos seus elementos constituintes, alcançando, inevitavelmente, o ser humano, que está no final dessas cadeias. No Brasil, a Agência Nacional de Vigilância Sanitária (Anvisa) é responsável pela análise de resíduos agrotóxicos em alimentos e em seu último relatório, de 2022, concluiu que não há potencial de intoxicação aguda e crônica nos alimentos da dieta básica dos brasileiros.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Os alimentos geneticamente modificados ou transgênicos são variedades de plantas que tiveram suas características alteradas para resistirem à exposição a herbicidas (defensivos químicos que controlam as chamadas plantas daninhas) e determinadas pragas, como insetos, ácaros, fungos e vírus. A Comissão Técnica Nacional de Biossegurança, do Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação, é responsável no Brasil por regulamentar e avaliar o risco de organismos transgênicos em relação à saúde humana e ao ambiente. Os alertas de manifestantes contra os alimentos geneticamente modificados recaem sobre sua segurança para a saúde das pessoas, ao impacto para o ambiente e ao monopólio do mercado de produção e distribuição de sementes.

Outra solução possível para o combate a pragas em lavouras é usar insetos, que se alimentam daqueles que causam danos à plantação, sem prejudicá-la.

Poluição sonora

É difícil encontrar, principalmente nas cidades, um local silencioso. A presença de grande quantidade de sons, que incomodam e estressam as pessoas, caracteriza a poluição sonora.

Nos grandes centros urbanos, os ruídos emitidos pelos veículos automotores são uma das maiores fontes de poluição sonora. Em algumas cidades brasileiras, foram estabelecidas medidas efetivas de controle do ruído veicular para combater esse problema, como a introdução de parâmetros sonoros para a certificação de veículos novos e a fiscalização em campo dos veículos em uso.

Devido à exposição contínua a ruídos exagerados, muitas pessoas apresentam deficiências auditivas e estresse.

Além dos danos ao aparelho auditivo, a poluição sonora pode interferir na comunicação entre as pessoas, reduzir a eficiência no trabalho, acelerar o ritmo cardíaco, aumentar a pressão arterial, baixar a imunidade do organismo e provocar problemas cardiovasculares. De um modo geral, podemos dizer que a qualidade de vida do ser humano diminui e é influenciada pela poluição sonora a que está submetido.

O padrão de nível de intensidade sonora aceitável em uma área residencial é de, no máximo, 55 dB no período diurno e 50 dB no período noturno. Em áreas industriais, o padrão é de, no máximo, 70 dB durante o dia e 60 dB durante a noite.

Poluição visual

É comum que em centros urbanos exista um excesso de estímulos visuais, com faixas, placas, *outdoors*, letreiros luminosos e outros elementos de publicidade (Fig. 10). Essa poluição visual, embora pareça inofensiva, deprecia o espaço púbico e afeta as pessoas que vivem no local.

O acúmulo desordenado desses elementos no espaço público pode diminuir a segurança do trânsito, pois tira a atenção do motorista e do pedestre com superexposição e até distorção de informações, descaracteriza a arquitetura de edificações e degrada a estética do mobiliário urbano. É comum que tais sinalizações invadam a via de pedestres, dificultando a circulação deles.

ROGÉRIO REIS/PULSAR IMAGENS

Figura 10. Exemplo de poluição visual em Goiânia (GO, 2018).

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Poluição radioativa

A radioatividade apresenta aplicações em áreas como a Medicina e a indústria. No entanto, precauções devem ser tomadas para proteger as pessoas e os ambientes que, de alguma forma, ficam expostos a materiais radioativos.

Os profissionais da área médica que lidam com materiais radioativos, por exemplo, embora tomem os devidos cuidados para evitar uma exposição prolongada e usem vestimentas adequadas, são submetidos periodicamente a exames para detectar qualquer tipo de anomalia que possa ser causada pelas emissões dos materiais com que trabalham. Nas suas atividades, eles costumam usar um crachá especial provido de um filme fotográfico que indica o grau de exposição à radiação a que estão submetidos.

A energia nuclear é uma alternativa energética, em razão do esgotamento das reservas de petróleo e de carvão e da falta de tecnologia e interesse na utilização de fontes renováveis para suprir a demanda mundial de energia.

Em 1986, ocorreu o maior acidente nuclear da história em uma usina em Chernobyl (Fig. 11), atual Ucrânia, devido a uma falha técnica.

No entanto, acidentes com material radioativo não são causados apenas por falhas técnicas. O acidente ocorrido em 1987 na cidade de Goiânia, em Goiás, é um triste exemplo do que a falta de cuidado e de informação pode provocar.

Ao mudar para outro local, uma clínica de radioterapia abandonou, entre outros equipamentos, um aparelho de tratamento radioterápico, que depois foi vendido como sucata a um ferro-velho. O aparelho continha uma cápsula com cerca de 100 gramas de césio-137. Quando foi aberta, essa cápsula liberou o material radioativo que acabou expondo à radiação o dono do ferro-velho, seus familiares e as pessoas que frequentavam o local. Quatro delas morreram em consequência do acidente, muitas foram internadas em estado grave e outras sofreram danos mais ou menos acentuados pela radiação que receberam.

SHONE/GAMMA/GAMMA-RAPHO/GETTY IMAGES

Figura 11. Vista da Central de Chernobyl, em abril de 1986, três dias após a explosão.

A limpeza da área produziu mais de 6 mil toneladas de lixo radioativo, que foi acondicionado em caixas, tambores e contêineres revestidos de aço e concreto, os quais foram totalmente lacrados e enterrados a mais de 30 m de profundidade. Somente agora as áreas atingidas começam a se recuperar da desvalorização que sofreram à época do acidente.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Veja respostas e comentários no Suplemento para o professor.

Aplicando conhecimentos

Registre as respostas em seu caderno.

6. **(Enem)** Um dos processos usados no tratamento do lixo é a incineração, que apresenta vantagens e desvantagens. Em São Paulo, por exemplo, o lixo é queimado a altas temperaturas e parte da energia liberada é transformada em energia elétrica. No entanto, a incineração provoca a emissão de poluentes na atmosfera.
Uma forma de minimizar a desvantagem da incineração, destacada no texto, é

6. b

a. aumentar o volume do lixo incinerado para aumentar a produção de energia elétrica.

b. fomentar o uso de filtros nas chaminés dos incineradores para diminuir a poluição do ar.

c. aumentar o volume do lixo para baratear os custos operacionais relacionados ao processo.

d. fomentar a coleta seletiva de lixo nas cidades para aumentar o volume de lixo incinerado.

e. diminuir a temperatura de incineração do lixo para produzir maior quantidade de energia elétrica.

CONTINUA

CONTINUAÇÃO

7. **(Mackenzie-SP)** Três consequências da poluição atmosférica são a destruição da camada de ozônio (A), o efeito estufa (B) e as chuvas ácidas (C). Os principais gases envolvidos em A, B e C são, respectivamente,

7. c

a. dióxido de carbono, dióxido de enxofre e clorofluorcarbono (CFC).
b. dióxido de enxofre, dióxido de carbono e clorofluorcarbono (CFC).
c. clorofluorcarbono (CFC), dióxido de carbono e dióxido de enxofre.
d. clorofluorcarbono (CFC), dióxido de enxofre e dióxido de carbono.
e. dióxido de carbono, clorofluorcarbono (CFC) e dióxido de enxofre.

8. Considere as proposições:

8. d

I. A água, além de ser poluída por esgotos e por outras substâncias, como os metais cádmio, mercúrio e chumbo, despejados pelas indústrias, pode ser também poluída por adubos químicos que são levados pela chuva.
II. Um tipo de poluição que prejudica a fauna e a flora marinhas é o derramamento de petróleo.
III. O volume de esgoto lançado nos rios provoca a diminuição da quantidade de oxigênio e a morte de peixes por asfixia.

Pode-se afirmar que:

a. apenas a proposição I é correta.
b. apenas as proposições I e II são corretas.
c. apenas as proposições I e III são corretas.
d. todas as proposições são corretas.
e. nenhuma proposição é correta.

5. Reciclagem

A política dos 5Rs da sustentabilidade é uma versão reformulada da política dos 3Rs, que ganhou força na década de 1990. Seus Rs significam "repensar, recusar, reduzir, reutilizar e reciclar", e representam uma medida educativa criada com o objetivo de diminuir a produção de resíduos e, dessa forma, poluir menos o ambiente por meio do consumo consciente e do manejo sustentável dos produtos e materiais utilizados no dia a dia.

Repensar trata sobre a reflexão da cadeia de produção, distribuição e descarte de produtos consumidos, envolvendo os processos não só ambientais, mas também os sociais. Essa reflexão passa, por exemplo, pela tomada de consciência de como as empresas se relacionam com seu corpo de funcionários e seus fornecedores de matérias-primas e quais são suas políticas ambientais.

Recusar diz respeito à ação que deve ser tomada frente aos produtos que provoquem danos socioambientais ou que sejam produzidos por empresas com valores ambientais e sociais não éticos.

Reduzir se refere à diminuição da geração de resíduos. Por exemplo, podemos reduzir a quantidade de resíduo utilizando sacolas retornáveis em vez de sacolas descartáveis, dispensando o uso de copos descartáveis e optando por comprar alimentos *in natura* a granel em vez de comprar alimentos embalados com plástico ou isopor.

Reutilizar é dar uma nova finalidade a um produto que seria descartado ou utilizá-lo com a mesma função original. Como exemplo, podemos citar o reuso de garrafas plásticas de água, potes plásticos de margarina, embalagens de sorvete etc. Isso diminui a quantidade de resíduo e evita a compra e o consumo de novos itens.

Reciclar materiais, entre eles metais, vidros, papéis e plásticos, possibilita reaproveitar insumos e economizar energia. A reciclagem contribui também para a redução da quantidade de resíduos, incinerado ou despejado em aterros sanitários, e seu impacto sobre o ambiente. Além disso, a coleta de material reciclável tem uma função socioeconômica importante, já que existem várias cooperativas e associações de agentes de reciclagem, em todo o país, que se mantêm com a venda desses materiais.

A participação de condomínios, empresas, escolas e clubes na coleta de material reciclável tem crescido ao longo dos anos, o que confirma que a população está cada vez mais consciente de sua parcela de responsabilidade com o ambiente e do potencial econômico da reciclagem.

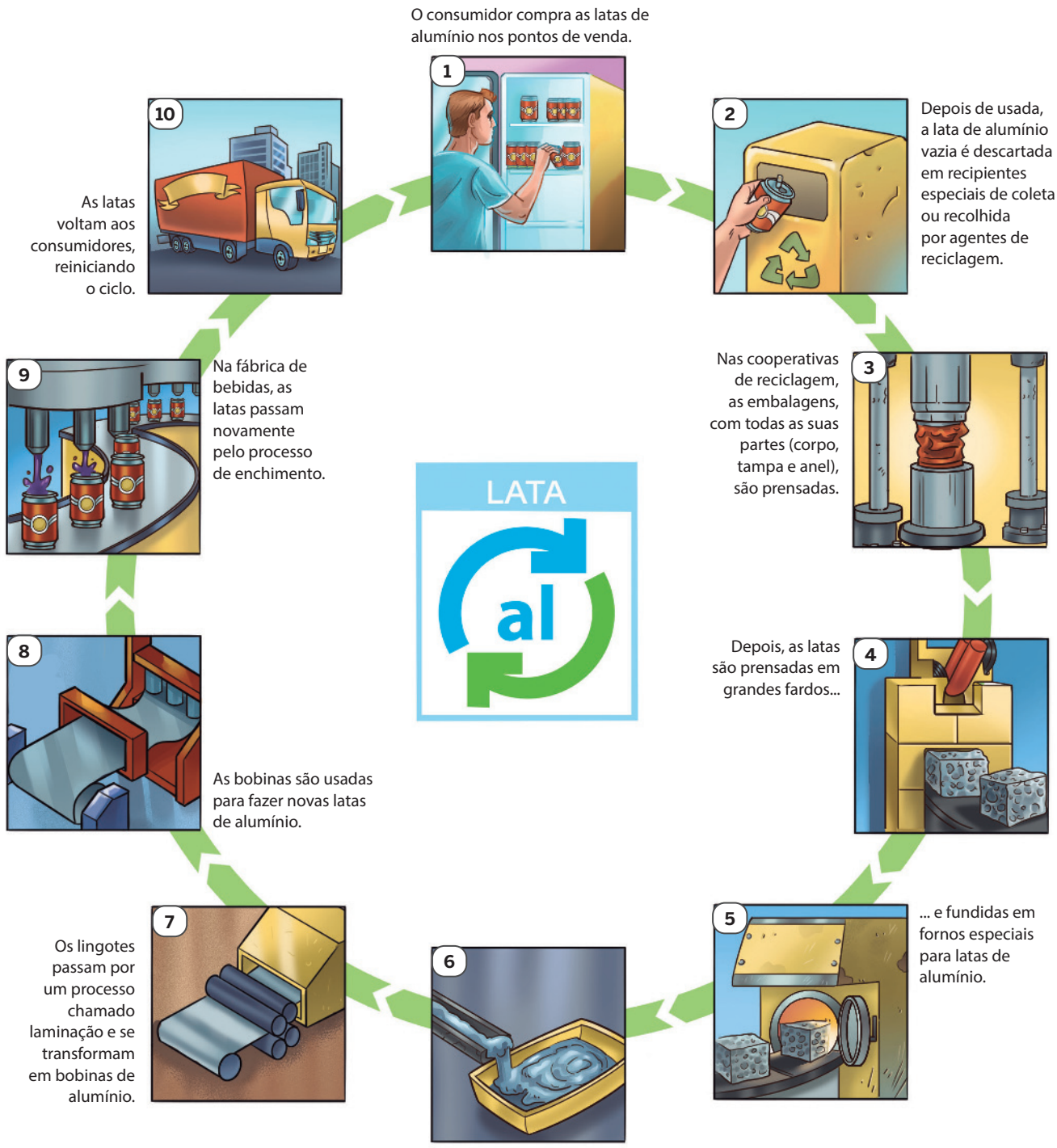
Reciclagem de metal

O alumínio é o primeiro metal lembrado quando se fala em reciclagem. Em 2021, segundo dados da Associação Brasileira dos Fabricantes de Latas de Alta Reciclabilidade (Abralatas), foram consumidas e recicladas no Brasil mais de 33 bilhões de latinhas para bebidas, valor que representa 98,7% do total de latas consumidas no país. O Brasil mantém o primeiro lugar no *ranking* mundial de reciclagem de latas de alumínio desde 2001.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

O alumínio, assim como outros metais, pode ser reciclado muitas vezes sem perder suas propriedades e características físicas. O esquema apresentado na figura 12 resume as etapas da reciclagem de latas de alumínio.

DAVID MARTINS/ARQUIVO DA EDITORA



Fonte: FLUXO da reciclagem. **Associação Brasileira do Alumínio (ABAL)**. Disponível em: https://abal.org.br/sustentabilidade/reciclagem/fluxo-da-reciclagem/. Acesso em: 13 out. 2024.

Figura 12. Etapas da reciclagem de latas de alumínio. (Representações fora de proporção; cores meramente ilustrativas.)

A coleta de latas de alumínio injetou R$ 6 bilhões na economia em 2021, segundo dados divulgados pela Abralatas e pela Associação Brasileira do Alumínio (ABAL), contribuindo com a geração de renda e de empregos para mais de 800 mil catadores de materiais recicláveis. Dessa forma, além de benéfica para o ambiente, a reciclagem de alumínio é uma atividade geradora de renda.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Reciclagem de vidro

O vidro, que pode ser 100% reciclado, é um material feito basicamente com areia (sílica ou dióxido de silício, SiO_2), barrilha (Na_2CO_3), calcário ($CaCO_3$) e feldspato. Como qualquer produto reciclável, seu reaproveitamento traz uma grande economia de matérias-primas e de energia.

De acordo com a Associação Técnica Brasileira das Indústrias Automáticas de Vidro (Abividro), para cada tonelada de vidro reciclado, evita-se a retirada de 1,2 tonelada de matéria-prima da natureza, ou seja, areia, barrilha, calcário e feldspato. Em 2021, a reciclagem de vidro pelas associações de recicladores foi de 1.453,09 toneladas, um aumento de 10,6% em relação ao ano anterior.

No caso dos vidros, devemos fazer uma distinção entre a reutilização e a reciclagem. A reutilização pode ocorrer, por exemplo, por garrafas retornáveis que são reaproveitadas pelos fabricantes. A reciclagem é feita nas fábricas de vidro com material que foi descartado.

O vidro que pode ser reciclado é aquele utilizado, por exemplo, em garrafas de refrigerantes, suco e água, frascos de molho e condimentos, potes de produtos alimentícios, frascos de medicamentos, perfumes e cacos quaisquer dessas embalagens.

O vidro que não pode ser reciclado é o utilizado em espelhos, janelas, boxes de banheiro, automóveis, cristais, lâmpadas, fôrmas e travessas de vidro temperado, tubos e válvulas de televisão e ampolas de medicamentos.

Reciclagem de papel

A indústria brasileira de papel e celulose tem grande relevância no mercado internacional, sendo a segunda maior produtora de celulose no mundo (ficando atrás apenas dos Estados Unidos) e a oitava maior produtora de papel no mundo.

Com o crescimento do comércio *on-line*, alavancado na pandemia da covid-19, a demanda por papel para embalagem vem aumentando no Brasil. O consumo de papel para fins sanitários, como o papel higiênico e lenços de papel, cresce à medida que a população mundial também está crescendo. Por outro lado, o consumo de papel gráfico (para imprimir e escrever) vem diminuindo a cada ano, devido aos recursos de digitalização.

No Brasil, a espécie vegetal mais utilizada pela indústria de papel é o eucalipto, que demora cerca de sete anos para atingir a altura ideal para o corte e, geralmente, é cultivado em fazendas de monocultura. No entanto, são necessárias cerca de 12 mil árvores de eucalipto para atender à demanda brasileira por papel de uma única grande indústria.

Em 2020, a taxa de reciclagem de papel no Brasil atingiu 70,3%, enquanto a média global é de cerca de 59%.

Além do papelão ondulado, outros tipos de papéis podem ser reciclados, como jornais, revistas, impressos em geral, cadernos, papel sulfite, envelopes, embalagens longa-vida e cartões. Os não recicláveis são os papéis plastificados e os metalizados, o papel-carbono, o papel vegetal, fotocópias brilhantes, papel para fotografia, fita-crepe, papel com cola (adesivo) e os papéis sujos (como papel higiênico e guardanapo).

O processo de reciclagem do papel ocorre em etapas. Inicialmente, o papel a ser reciclado é separado e cortado em aparas, que são misturadas com água e trituradas em uma máquina denominada macerador, formando uma massa homogênea. A seguir, essa massa é centrifugada e os resíduos (areia, grampos etc.) são eliminados. Após a centrifugação, a massa vai para um forno e produtos químicos são adicionados para a retirada de tintas. Já sem tintas, a massa passa pelo processo de prensagem, quando é comprimida entre rolos cilíndricos e outros equipamentos para secar e gerar o papel na gramatura desejada. Depois dessa etapa, o papel está pronto para ser usado novamente. A massa, rica em celulose, pode ainda ser utilizada para poupar a derrubada de árvores na fabricação de papéis novos.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Reciclagem de plástico

Os plásticos, devido à sua durabilidade e resistência à ação do ar e de agentes químicos, tornaram-se um grande problema de poluição ambiental quando descartados. Eles não são biodegradáveis e, por esse motivo, estima-se que podem durar centenas de anos no ambiente. Sua incineração não soluciona o problema, pois esse processo pode liberar gases tóxicos e poluir o ar.

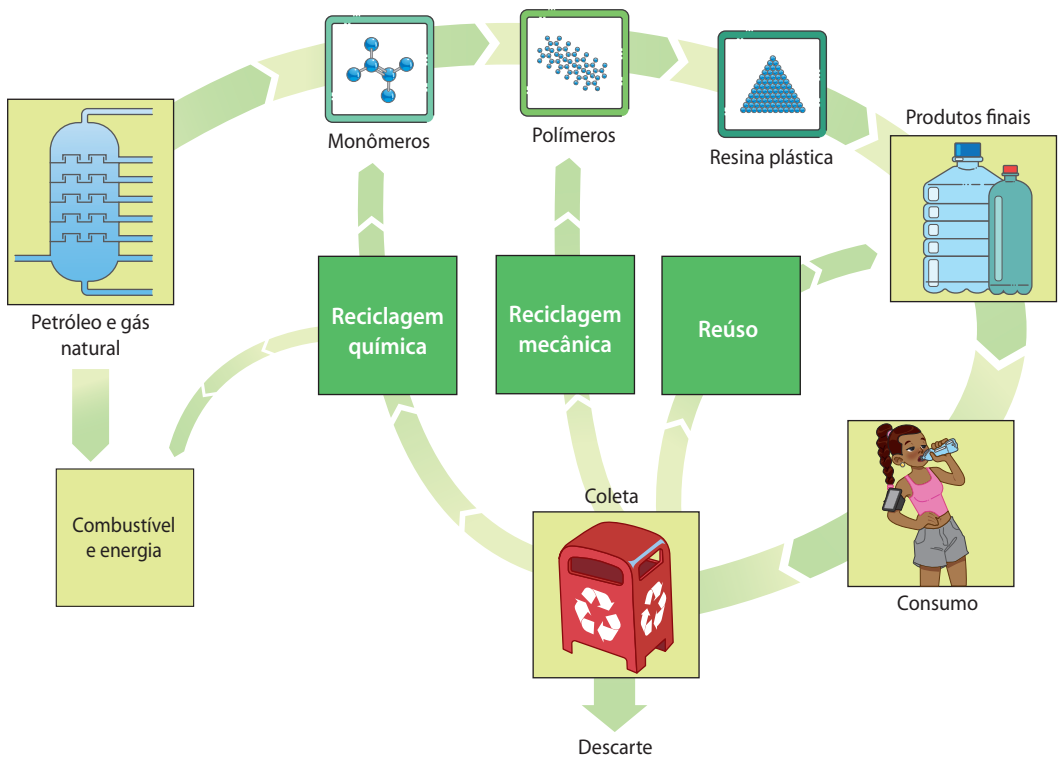
Há símbolos que identificam se a embalagem é reciclável e se deve ser descartada de forma seletiva, para facilitar o encaminhamento à indústria recicladora (Fig. 13).

NELSON MATSUDA/ARQUIVO DA EDITORA

Figura 13. Símbolos identificadores de plásticos recicláveis.

A reciclagem do plástico pode ser feita por dois processos diferentes: a mecânica e a química (Fig. 14). Na reciclagem mecânica, os plásticos são separados por tipo e limpos, passam por trituração e aglutinação, com uso de aditivos químicos, e transformam-se em uma massa plástica. Na sequência, a massa é aquecida em uma extrusora saindo por um cabeçote que lhe confere formato de espaguete, que é resfriado com água. Na última etapa, o espaguete de plástico é cortado em um granulador e transformado em *pellet* ou grãos plásticos.

A reciclagem química dos plásticos é feita por meio de processos químicos com a finalidade de transformar os plásticos em petroquímicos básicos: monômeros ou misturas de hidrocarbonetos que servirão como matéria-prima em refinarias ou centrais petroquímicas. Esses produtos permitem produzir plásticos novos com a mesma qualidade de um polímero original.



NELSON MATSUDA/ARQUIVO DA EDITORA

Fonte: elaborado com base em MECHANICAL vs. advanced recycling - what's the difference? **American Fuel & Petrochemical Manufacturers (AFPM)**. Washington: AFPM Communications, 2023. Disponível em: https://www.afpm.org/newsroom/infographic/mechanical-vs-advanced-recycling-whats-difference. Acesso em: 13 out. 2024.

Figura 14. Representação dos ciclos de reciclagens de plástico ressaltando a diferença entre a mecânica e a química. (Representações fora de proporção; cores meramente ilustrativas.)

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Veja respostas e comentários no Suplemento para o professor.

Aplicando conhecimentos

Registre as respostas em seu caderno.

9. (AMEOSC) Os materiais recicláveis trazem um grande benefício ao meio ambiente. O Brasil está entre os países que mais reciclam latinhas de alumínio, mas ainda precisa melhorar a reciclagem nos demais materiais recicláveis. No caso dos metais, existem inúmeras vantagens para se utilizar a reciclagem, conforme descritas abaixo, EXCETO:

9. b

a. Economia na energia utilizada para a produção do metal a partir da matéria-prima utilizada como base.

b. O metal pode ser reciclado apenas uma vez, pois perde a capacidade de reciclagem após a primeira reciclagem.

c. Redução na quantidade de resíduo gerado, pois quando se produz o alumínio é gerada grande quantidade de resíduos sólidos.

d. Agilidade no processo de coleta seletiva e da reciclagem, especialmente das latinhas que, após descartadas e passarem pelo processo da reciclagem, retornam ao consumidor com prazo bem curto.

10. (IDESG) Qual das seguintes opções é uma prática adequada de separação de lixo doméstico?

10. a

a. Separar resíduos orgânicos dos recicláveis.

b. Descartar resíduos eletrônicos no lixo comum.

c. Colocar materiais cortantes e perfurantes em sacolas plásticas.

d. Descartar produtos químicos no lixo reciclável.

Veja comentários sobre essa atividade no Suplemento para o professor.

ESTRATÉGIA DE ESTUDO

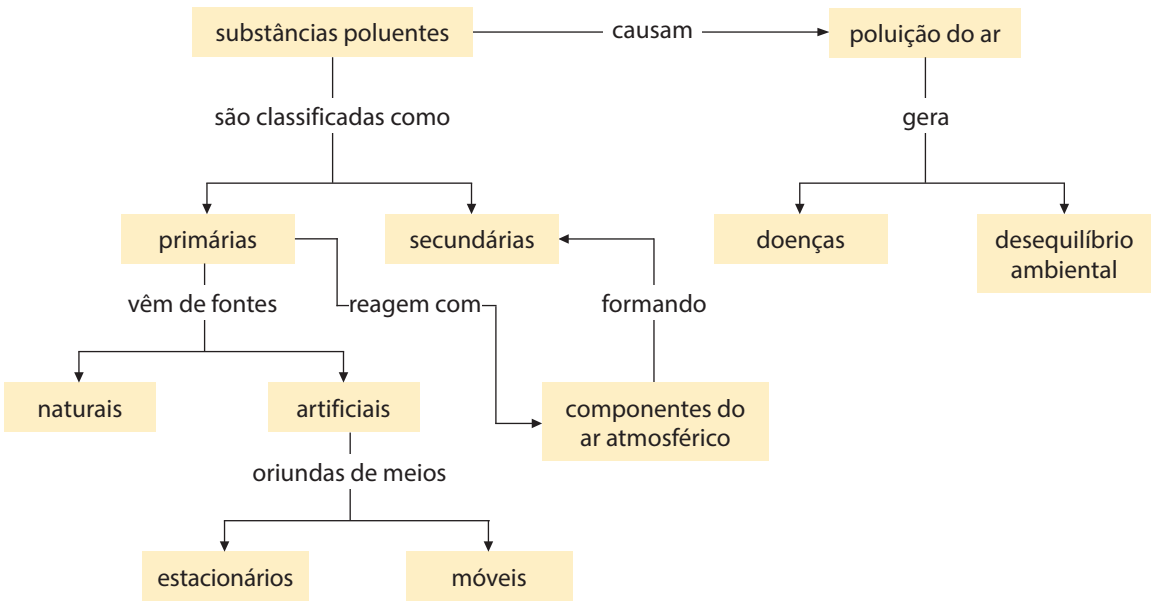
Como mais uma estratégia, você pode organizar os assuntos graficamente, em uma estrutura chamada mapa conceitual, e refletir sobre o que aprendeu.

Montar um mapa conceitual

Comece selecionando as palavras-chave de um tópico. Em seu caderno, agrupe-as pelos assuntos que têm correlação e organize-as da mais genérica ou abrangente para a mais específica. Em seguida, pense em uma frase curta que estabeleça uma relação entre elas. Para o tópico *Poluição do ar*, por exemplo, podem ser selecionadas as palavras-chave: poluição do ar, substâncias poluentes, fontes primárias, secundárias, naturais, artificiais, estacionárias, móveis, doenças, desequilíbrio ambiental.

Então, formule uma frase que comece com uma palavra-chave e termine com outra. Essa frase é chamada proposição.

Para montar o mapa mental, escreva essas palavras dentro de formas geométricas e relacione-as por meio de setas ou linhas, além da proposição. Uma possível apresentação do exemplo dado é:



NELSON MATSUDA/ARQUIVO DA EDITORA

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

CONTINUA

Ao fazer isso para mais de um tópico do capítulo, podem surgir relações entre palavras-chave de tópicos diferentes. Assim, o mapa conceitual cresce e ganha novas ramificações.

Em mapas conceituais, pode surgir uma palavra central com a função de ligar essas ramificações (como o título do capítulo, por exemplo) e setas compridas para relacionar palavras-chave que estão distantes.

Após a primeira montagem do mapa conceitual, analise se é possível melhorá-lo, por exemplo, alterando a disposição de algumas palavras-chave, retirando partes menos importantes, encurtando proposições e fazendo relações cruzadas.

Verificar o que aprendeu

1. Avalie seu nível de compreensão dos assuntos apresentados no capítulo utilizando a escala:
- Entendi completamente.
- Entendi a maior parte, mas alguns itens estão confusos.
- Não entendi a maior parte.
- Não entendi.

2. Avalie suas habilidades para:
- resolver os problemas;
- relacionar o conteúdo com situações do cotidiano;
- identificar conexões entre os assuntos;
- organizar graficamente os assuntos.

Veja respostas e comentários no Suplemento para o professor.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Atividades finais

Registre as respostas em seu caderno.

1. **(Enem)** A Lei Federal n. 11.097/2005 dispõe sobre a introdução do biodiesel na matriz energética brasileira e fixa em 5%, em volume, o percentual mínimo obrigatório a ser adicionado ao óleo diesel vendido ao consumidor. De acordo com essa lei, biocombustível é "derivado de biomassa renovável para uso em motores a combustão interna com ignição por compressão ou, conforme regulamento, para geração de outro tipo de energia, que possa substituir parcial ou totalmente combustíveis de origem fóssil".
A introdução de biocombustíveis na matriz energética brasileira

1. a

a. colabora na redução dos efeitos da degradação ambiental global produzida pelo uso de combustíveis fósseis, como os derivados do petróleo.

b. provoca uma redução de 5% na quantidade de carbono emitido pelos veículos automotores e colabora no controle do desmatamento.

c. incentiva o setor econômico brasileiro a se adaptar ao uso de uma fonte de energia derivada de uma biomassa inesgotável.

d. aponta para pequena possibilidade de expansão do uso de biocombustíveis, fixado, por lei, em 5% do consumo de derivados do petróleo.

e. diversifica o uso de fontes alternativas de energia que reduzem os impactos da produção do etanol por meio da monocultura da cana-de-açúcar.

2. **(Enem)** Não é nova a ideia de se extrair energia dos oceanos aproveitando-se a diferença das marés alta e baixa. Em 1967, os franceses instalaram a primeira usina "maré-motriz", construindo uma barragem equipada de 24 turbinas, aproveitando-se a potência máxima instalada de 240 MW, suficiente para a demanda de uma cidade com 200 mil habitantes. Aproximadamente 10% da potência total instalada são demandados pelo consumo residencial. Nessa cidade francesa, aos domingos, quando parcela dos setores industrial e comercial para, a demanda diminui 40%. Assim, a produção de energia correspondente à demanda aos domingos será atingida mantendo-se:

2. e

I. todas as turbinas em funcionamento, com 60% da capacidade máxima de produção de cada uma delas.

II. a metade das turbinas funcionando em capacidade máxima e o restante, com 20% da capacidade máxima.

III. quatorze turbinas funcionando em capacidade máxima, uma com 40% da capacidade máxima e as demais desligadas.

Está correta a situação descrita:

a. apenas em I.

b. apenas em II.

c. apenas em I e III.

d. apenas em II e III.

e. em I, II e III.

CONTINUA

3. (Enem) O funcionamento de uma usina nucleoelétricas típica baseia-se na liberação de energia resultante da divisão do núcleo de urânio em núcleos de menor massa, processo conhecido como fissão nuclear. Nesse processo, utiliza-se uma mistura de diferentes átomos de urânio, de forma a proporcionar uma concentração de apenas 4% de material físsil. Em bombas atômicas, são utilizadas concentrações acima de 20% de urânio físsil, cuja obtenção é trabalhosa, pois, na natureza, predomina o urânio, não físsil. Em grande parte do armamento nuclear hoje existente, utiliza-se, então, como alternativa, o plutônio, material físsil produzido por reações nucleares no interior do reator das usinas nucleoelétricas. Considerando-se essas informações, é correto afirmar que:

3. c

a. a disponibilidade do urânio na natureza está ameaçada devido à sua utilização em armas nucleares.
b. a proibição de se instalarem novas usinas nucleoelétricas não causará impacto na oferta mundial de energia.
c. a existência de usinas nucleoelétricas possibilita que um de seus subprodutos seja utilizado como material bélico.
d. a obtenção de grandes concentrações de urânio físsil é viabilizada em usinas nucleoelétricas.
e. a baixa concentração de urânio físsil em usinas nucleoelétricas impossibilita o desenvolvimento energético.

4. (Enem)

4. a

O uso da água aumenta de acordo com as necessidades da população no mundo. Porém, diferentemente do que se possa imaginar, o aumento do consumo de água superou em duas vezes o crescimento populacional durante o século XX.

TEIXEIRA, W. *et al*. **Decifrando a Terra**. São Paulo: Cia. Editora Nacional, 2009.

Uma estratégia socioespacial que pode contribuir para alterar a lógica de uso da água apresentada no texto é a

a. ampliação de sistemas de reutilização hídrica.
b. expansão da irrigação por aspersão das lavouras.
c. intensificação do controle do desmatamento de florestas.
d. adoção de técnicas tradicionais de produção.
e. criação de incentivos fiscais para o cultivo de produtos orgânicos.

5. (Enem)

5. e

A irrigação da agricultura é responsável pelo consumo de mais de 2/3 de toda água retirada dos rios, lagos e lençóis freáticos do mundo. Mesmo no Brasil, onde achamos que temos muita água, os agricultores que tentam produzir alimentos também enfrentam secas periódicas e uma competição crescente por água.

MORAFON, G. J. *et. al*. **O desencanto da terra**: produção de alimentos, ambientes e sociedade. Rio de Janeiro: Garamond, 2011.

No Brasil, as técnicas de irrigação utilizadas na agricultura produziram impactos socioambientais como:

a. redução do custo de produção.
b. agravamento da poluição hídrica.
c. compactação do material do solo.
d. aceleração da fertilização natural.
e. redirecionamento dos cursos fluviais.

6. (Enem)

6. c

A maior parte dos veículos de transporte atualmente é movida por motores a combustão que utilizam derivados de petróleo. Por causa disso, esse setor é o maior consumidor de petróleo do mundo, com altas taxas de crescimento ao longo do tempo. Enquanto outros setores têm obtido bons resultados na redução do consumo, os transportes tendem a concentrar ainda mais o uso de derivados do óleo.

MURTA, A. **Energia: o vício da civilização**. Rio de Janeiro: Garamond, 2011 (adaptado).

Um impacto ambiental da tecnologia mais empregada pelos setores de transporte e uma medida para promover a redução de seu uso estão indicados, respectivamente, em:

a. Aumento da poluição sonora – construção de barreiras acústicas.
b. Incidência da chuva ácida – estatização da indústria automobilística.
c. Derretimento das calotas polares – incentivo aos transportes de massa.
d. Propagação de doenças respiratórias – distribuição de medicamentos gratuitos.
e. Elevação das temperaturas médias – criminalização da emissão de gás carbônico.

7. (UEFS) Em Salvador e na região metropolitana, são descartados, por ano, cerca de dois milhões de toneladas de resíduos sólidos. Se não forem tomadas providências, em pouco tempo, os aterros sanitários não serão suficientes para manter tanto lixo.

7. c

Considerando-se a problemática do lixo das grandes regiões metropolitanas do país, entre as soluções corretas para reduzir o acúmulo desse material nos aterros sanitários, pode-se incluir

a. a incineração de resíduos sólidos descartados nos aterros sanitários.
b. o incentivo às cooperativas de catadores e aos artesãos para transformar os resíduos sólidos em material reciclado.
c. o reaproveitamento de resíduos com objetivo de requalificá-los e introduzi-los na economia.
d. a ampliação de aterros sanitários para aproveitar a energia gerada na biodecomposição de resíduos sólidos.
e. a modernização da frota de caminhões, que utilize óleo *diesel* isento de enxofre, para manter os grandes centros urbanos limpos.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

RESPOSTAS DE ATIVIDADES

Capítulo 1

Aplicando conhecimentos

1. O significado que melhor se aplica ao dessa palavra em um texto científico é: Juízo, opinião, afirmação etc.

2. Se os dados confirmarem a hipótese, novos experimentos serão necessários para validar a precisão. Caso contrário, a hipótese deve ser ajustada ou substituída.

3. **a.** $1{,}83 \cdot 10^2$ cm
b. $1{,}83 \cdot 10^3$ mm
c. $1{,}83 \cdot 10^{-3}$ km

4. **a.** $2{,}5 \cdot 10^3$ g
b. $2{,}5 \cdot 10^{-3}$ t

5. **a.** $1 \cdot 10^2$ min
b. $6 \cdot 10^3$ s

6. **a.** $\cong 1{,}75$ h
b. $\cong 104{,}83$ min
c. 6.290 s

7. **a.** $1{,}230 \cdot 10^3$
b. $5{,}6 \cdot 10^{-2}$
c. $1{,}4 \cdot 10^{-2}$
d. $8{,}8 \cdot 10^4$
e. $6{,}54 \cdot 10^3$
f. $4{,}5 \cdot 10^7$
g. $5{,}40 \cdot 10^2$
h. $7{,}5 \cdot 10^{-1}$

8. **a.** 20 funcionários
b. R$ 800,00
c. 50%

9. **a.** $V_{1T} = 96$, $V_{2T} = 113$, $V_{3T} = 170$, $V_{4T} = 96$, $V_{Leste} = 157$, $V_{Oeste} = 136$, $V_{Norte} = 182$
b. Construção de gráfico.
c. Região Norte e 3º trimestre.

10. d

Atividades finais

1. e

2. c

3. c

Capítulo 2

Aplicando conhecimentos

1. Resposta pessoal.

2. 60 km/h

3. 30 m/s²

4. A aceleração da moto é 1,5 vez maior que a do carro.

5. O automóvel se desloca 50 m. Esse motorista poderia ter causado um grave acidente.

6. A velocidade de propagação da luz do relâmpago no ar é de $3 \cdot 10^8$ m/s, enquanto o som do trovão é de 340 m/s. Assim, vemos primeiro a luz do relâmpago e só algum tempo depois ouvimos o som do trovão.

7. Imediatamente antes de se anular e imediatamente depois, a velocidade não é nula. Assim, há variação de velocidade e, portanto, há aceleração.

8. **a.** $\alpha = 2$ m/s² e $v_0 = 1$ m/s
b. $s = t + t^2$ (SI)
c. Construção de gráfico.

9. 1,5 m/s²

10. $\simeq 36$ km/h

11. c

12. 45 m

13. **a.** e **b.** Representação.

14. **a.** 5 u
b. 6 u

15. O movimento vertical da bolinha lançada horizontalmente é uma queda livre. Resulta, então, que elas atingem o solo no mesmo instante.

16. **a.** $t_s = 1{,}6$ s
b. $H = 3{,}2$ m

Atividades finais

1. e

2. e

3. $\cong 0{,}007$ s

4. I – c; II – a; III – b; IV – d

5. **a.** 125 m
b. 25 m

6. **a.** 1,0 s
b. 2,0 s
c. 5,0 m
d. 34,6 m
e. $10\sqrt{3}$ m/s

Capítulo 3

Aplicando conhecimentos

1. a

2. **a.** ao **e.** Representação.

3. Corpo A

4. 90 N

5. **a.** A força que a moto aplica ao automóvel e a força que o automóvel aplica à moto têm mesma direção, mesma intensidade e sentidos opostos.
b. A maior variação de velocidade ocorreu com a moto.

6. Ao ser lançada para fora dos tubos por determinada força (de ação), a água reage e aplica ao tubo uma força (de reação) de mesma intensidade e mesma direção, mas de sentido oposto, provocando a rotação do regador.

Atividades finais

1. e

2. 0,35 N

3. **a.** 20 N
b. Nula.
c. 20 N

4. **a.** Um corpo pode estar em movimento mesmo que a resultante das forças que nele age seja nula, contrariando as ideias de Aristóteles.
b. Nesse caso, a nave está em movimento e livre da ação de forças. Para Aristóteles, essa situação não poderia ocorrer.
c. O carro parou não pelas forças que deixaram de agir, mas justamente pela ação de forças resistivas.

5. **a.** 160 N
b. 2 m/s²

6. **a.** $\omega = \frac{\pi}{10}$ rad/s
b. $v = 0{,}8\pi$ m/s
c. $a_c \simeq 0{,}8$ m/s²

Capítulo 4

Aplicando conhecimentos

1. Direção e sentido iguais aos da velocidade, módulo de 8 kg · m/s.

2. O *skate* irá se movimentar com velocidade de 12,5 m/s em sentido contrário ao da velocidade do estudante.

3. **a.** 4 N · s
b. 40 N

4. **a.** 15 N · s
b. $1{,}0 \cdot 10^{-2}$ s

5. **a.** 24 kg · m/s, direção horizontal e sentido para direita.
b. 24 kg · m/s, direção horizontal e sentido para direita.
c. 6 m/s
d. 32 J

6. **a.** $\simeq 3{,}00$ kg · m/s
b. 600 m/s

7. b

Atividades finais

1. 1 m/s

2. **a.** 8 kg · m/s
b. $8{,}0 \cdot 10^2$ N

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

3. $v'_A = 0$ e $v'_B = 3$ m/s

4. a. $v'_A = 0{,}5$ m/s e $v'_B = 1{,}5$ m/s

b. $v'_A = v'_B = 1{,}25$ m/s

c. $v'_A = 0{,}8$ m/s e $v'_B = 1{,}4$ m/s

5. a. $v'_A = 0$ e $v'_B = 2{,}0$ m/s

b. $v'_A = 1{,}0$ m/s e $v'_B = 1{,}0$ m/s

Capítulo 5

Aplicando conhecimentos

1. $d = 5$ m

2. 250 J

3. a. 100 J e 225 J

b. 125 J

4. $12E$

5. a. 10 m/s

b. 0

6. a. $E_{Pelást(inicial)} = 0{,}50$ J

b. $k = 100$ N/m

c. $F_{elást} = 10$ N

7. e

8. 50 s

Atividades finais

1. c

2. 0,16 J

3. c

4. e

5. 2.850 J

Capítulo 6

Aplicando conhecimentos

1. d

2. c

3. e

4. a. 981,3 N

b. 981 N, portanto, os dois valores são muito próximos.

5. a. $\simeq 7{,}75$ km/s

b. $\simeq 1$ h 30 min

Atividades finais

1. a. $A_1 = A_2$

b. $V_{m(AQB)} < V_{m(CPD)}$

c. $\Delta t_{BC} = \Delta t_{DA}$

2. b

3. a

4. $\dfrac{T^2}{D^3} = \dfrac{4\pi^2}{G \cdot (M + m)}$

Capítulo 7

Aplicando conhecimentos

1. d

2. 10 N

3. b

4. a. 14,5 N · m

b. 7,25 N · m

5. a. e **b.** Representação.

6. e

7. gancho 10; 21 N

8. d

9. d

10. c

11. d

12. 30 rad/s e sentido anti-horário.

Atividades finais

1. c

2. c

3. d

4. c

5. b

6. e

7. b

Capítulo 8

Aplicando conhecimentos

1. Um cilindro de aço afunda se for maciço, mas pode flutuar se for oco e tiver densidade média inferior à da água.

2. a. 4,0 cm^3

b. 78,0 g

3. a. 64 cm^3

b. 0,5 g/cm^3 = 500 kg/m^3

c. 0,32 N

4. a. A indicação inicial da balança 1 é o peso da pedra imersa no ar (peso "real").

b. 35 N

c. 10^3 cm^3

d. 4,5 g/cm^3

5. A pressão que o salto do sapato da mulher exerce é muito maior (12 vezes) que a pressão exercida pelo salto do sapato do homem.

6. a. 1,0 kgf/cm^2

b. $9{,}8 \cdot 10^4$ Pa

7. De acordo com o teorema de Stevin, a pressão hidrostática é maior na parte mais profunda da represa.

8. As setas indicam a direção e o sentido das forças exercidas pelo ar atmosférico sobre o corpo da garota.

9. e

10. a. Não. Se a área do êmbolo maior é 20 vezes a do menor, a força exercida pelo mecânico deveria ter intensidade igual ao peso de um corpo de massa 200 kg.

b. Mesmo assim não haveria equilíbrio.

c. 5,0 kg

Atividades finais

1. a. $d_{coroa} = 16$ g/cm^3, houve fraude.

b. 250 g

2. a. $2{,}0 \cdot 10^3$ N/m^2

b. 80 N

c. $1{,}0 \cdot 10^5$ N/m^3

3. b

4. a. 10 mm

b. 780 mmHg

5. A altura da coluna de Hg seria nula.

6. $h = 1{,}5$ m

Capítulo 9

Aplicando conhecimentos

1. 136,4 °F; 184 K

2. $\theta_C = -348$ °C; portanto, a afirmação do cientista é FALSA.

3. Como $\alpha_{INVAR} < \alpha_{aço}$, o mecânico deve resfriar o conjunto, assim o diâmetro do parafuso diminuirá mais que o diâmetro da porca.

4. a. Como $\alpha_{Zn} > \alpha_{Fe}$, a barra de zinco dilata mais que a de ferro.

b. 5,0 m

5. a. $\ell = 2{,}02$ cm

b. $\beta_e = 5{,}025 \cdot 10^{-5}$ °C^{-1}

6. 16 cm^2

7. a. $\alpha = 2{,}0 \cdot 10^{-5}$ °C^{-1}

b. 96 cm^3

c. $\Delta V\% = 1{,}2\%$

8. a. $V = 0$

b. Um sólido jamais poderia experimentar uma variação de temperatura de −100.000 °C!

9. 570 cm^3

10. a. $\simeq 108{,}11$ cm^3

b. $\simeq 90$ °C

Atividades finais

1. 104 °F e 313 K

2. a. $\theta_E = 1{,}02 \cdot \theta_C - 0{,}5$

b. 25 °C

3. b

4. 220 °C

5. d

6. a

7. e

Capítulo 10

Aplicando conhecimentos

1. Calor é a energia térmica em trânsito entre corpos em diferentes temperaturas.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

2. e

3. d

4. 20 cal/°C

5. **a.** 600 cal/°C

b. 0,2 cal/(g · °C)

6. **a.** – 160 °C

b. 180 °C

7. 40 kcal

8. ≃ 5,3 g

9. 0,2 cal/(g · °C)

10. 300 g

Atividades finais

1. 160 min

2. 600 cal e 7,5 cal/°C

3. c

4. d

5. d

Capítulo 11

Aplicando conhecimentos

1. O espaço existente na serragem é ocupado pelo ar atmosférico, que é um excelente isolante térmico.

2. A maçaneta metálica e a porta de madeira estão à temperatura ambiente. A sensação de que a maçaneta metálica está mais quente deve-se ao fato de o metal que a compõe ter um coeficiente de condutibilidade térmica maior que o da madeira.

3. **a.** 5,0 cal/s

b. 20 °C

4. A decisão de colocar o aquecedor no alto do guarda-roupa foi errada, pois o ar quente tende a subir.

5. O ar frio é mais denso que o ar quente e se mantém em contato com os alimentos.

6. e

7. Dos três processos de transmissão de calor, apenas a irradiação é capaz de transmitir calor à sua mão de maneira significativa.

8. Nas regiões próximas à linha do Equador, os raios solares incidem mais diretamente do que nas regiões polares.

9. Em uma noite estrelada, a maior parte da radiação emitida pela Terra se propagará pelo espaço; já em uma noite sem estrelas, a cobertura de nuvens absorve boa parte da radiação emitida pela Terra.

Atividades finais

1. b

2. a

3. **a.** 72 cal/s

b. 129,6 kcal

4. e

5. b

6. e

Capítulo 12

Aplicando conhecimentos

1. e

2. e

3. ≃ 152 moléculas

4. e

5. d

6. e

7. **a.** $1{,}1 \cdot 10^5$ Pa

b. $\theta = 167$ °C

8. c

9. **a.** 177 °C

b. e **c.** Construção de gráfico.

10. a

11. **a.** Transformação isométrica (volume constante).

b. A pressão interna aumentou devido ao aumento da temperatura, como consequência do atrito dos pneus com o solo.

c. 10%

12. b

13. d

Atividades finais

1. **a.** Se a substância está no estado gasoso, ela não pode ser liquefeita. O que pode ser liquefeito, sob alta pressão, é vapor.

b. 6.225 L

2. a

3. d

4. b

5. **a.** 24,6 atm

b. $\theta_2 = 327$ °C

c. $V_0 = 9{,}1$ L

6. b

Capítulo 13

Aplicando conhecimentos

1. **a.** 20.775 N/m^2

b. 20.775 J

2. 8 J

3. **a.** 240 mols

b. 600 K

c. $1{,}5 \cdot 10^6$ J

d. $4 \cdot 10^5$ J

4. $U' = \frac{2}{3} \cdot U$

5. Sim, um gás pode receber calor e sua temperatura diminuir. Se o trabalho realizado pelo gás durante sua expansão for maior que a quantidade de calor recebida, sua energia interna diminuirá.

6. 3.500 J

7. O aumento da energia interna do gás indica que sua temperatura aumentou. Como o volume do gás não variou durante a transformação podemos concluir que, durante a transformação, sua pressão aumentou.

8. $\Delta U = \frac{3}{2} \cdot \tau$

9. d

10. **a.** 0 (zero)

b. – 520 J

c. A temperatura do gás diminui; o volume do gás aumenta e a pressão do gás diminui.

11. **a.** 378 J

b. 378 W

c. 25%

12. **a.** $Q_1 = 490$ cal

b. $e = 3{,}26$

13. d

14. **a.** Resposta pessoal.

b. Processos irreversíveis.

c. Resposta pessoal.

Atividades finais

1. e

2. **a.** Transformação 1: $\tau_1 = 6$ atm · L; transformação 2: $\tau_2 = 6$ atm · L.

b. Transformação 1: $\Delta U_1 = 9$ atm · L; transformação 2: $\Delta U_2 = 9$ atm · L.

c. Transformação 1: $Q_1 = 15$ atm · L; transformação 2: $Q_2 = 15$ atm · L.

3. **a.** 0 (zero)

b. 2.500 J

c. O volume do gás diminui (compressão), sua temperatura aumenta ($\Delta U > 0$) e sua pressão também aumenta.

4. e

5. e

6. **a.** $E = 31{,}5$ kJ

b. $Q_1 = 49{,}5$ kcal

c. Não realiza um ciclo reversível.

Capítulo 14

Aplicando conhecimentos

1. Uma bola ou uma rolha flutuando na água de uma bacia. Com a propagação de uma perturbação, pode-se perceber que o objeto oscila por causa da energia transferida pela onda, mas não se desloca sobre a superfície.

2. Ondas sonoras propagam-se no ar e fazem o fundo dessa lata vibrar. As vibrações do fundo da lata são transmitidas ao barbante e se propagam até o fundo da outra lata.

3. Ondas eletromagnéticas se propagam no ar com velocidades muitíssimo maiores que o som no ar. Portanto, a luz do relâmpago chega a nós muito antes do som do trovão.

4. A explosão não poderia ser ouvida no espaço, pois o som, uma onda mecânica, precisa de um meio material para se propagar. Se a explosão ocorresse na atmosfera terrestre, veríamos a luz da explosão muito antes de ouvir o estrondo.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

5. **a.** Comprimento de onda.
b. A amplitude aumentará.
c. Ambas as grandezas são independentes uma da outra, mas ambas dependem de características da fonte.

6. **a.** $f = 4$ Hz
b. $\Delta t = 0{,}25$ s
c. $\lambda = 60$ cm

7. **a.** Demonstração.
b. 80 m

8. a

9. A velocidade aumenta; portanto, trata-se de uma onda mecânica.

10. **a.** Difração.
b. As dimensões do obstáculo devem ser da mesma ordem de grandeza que o comprimento de onda da onda.
c. A luz visível tem comprimento de onda muitíssimo menor que o da sonora.

11. a

Atividades finais

1. d

2. **a.** Ondas mecânicas.
b. Onda transversal.
c. $D = \frac{v_D \cdot v_P}{v_P - v_D} \cdot \Delta t$
d. São necessários pelo menos três.

3. **a.** No experimento 2 a fonte realizou menos oscilações que no experimento 1. Do experimento 1 para o experimento 2, a frequência da fonte de ondas diminuiu.
b. $\frac{f_1}{f_2} = 2$
c. A velocidade de propagação da onda.

4. 2 m/s

5. c

6. **a.** 20 Hz
b. 75 m

Capítulo 15

Aplicando conhecimentos

1. b

2. $6 \cdot 10^3$ m/s

3. e

4. c

5. b

6. d

7. O procedimento tem como objetivo mudar o comprimento vibratório das cordas, alterando suas frequências de vibração.

8. **a.** Aumentar.
b. Diminuir.
c. $L' = \frac{3}{4} \cdot L$

9. **a.** A intensidade diminui, isto é, o som fica mais fraco (ou com menor "volume").
b. O som fica mais alto, isto é, aumenta sua frequência.

Atividades finais

1. e

2. **a.** 350 m/s
b. 495 Hz

3. A explicação para o som melodioso na taça e sua quebra diante da voz do tenor está no fenômeno da ressonância.

4. d

5. d

6. **a.** Incorreta. A resposta da professora deve mencionar o fato de a escala ser exponencial.
b. Representação.
c. Sim, a escala dos níveis sonoros de Ernst Heinrich Weber é linear.

7. Frase correta: "Zezinho, diminua a intensidade do som da TV; está muito forte...".

8. b

Capítulo 16

Aplicando conhecimentos

1. A estrela Sirius produz a luz que emite. É, portanto, fonte de luz primária. Já o planeta Marte e seus satélites, Fobos e Deimos, um palito de fósforo apagado e as páginas de um jornal são fontes de luz secundárias, isto é, não têm luz própria.

2. 8 cm

3. 25°; 25° e 65°

4. 5 cm

5. Espelho côncavo, objeto entre F e V: a imagem formada é virtual, direita e maior que o objeto.
Espelho côncavo, objeto entre C e F: a imagem formada é real, invertida e maior que o objeto.
Espelho côncavo, objeto antes de C: a imagem formada é real, invertida e menor que o objeto.
Espelho convexo: a imagem formada é sempre virtual, direita e menor do que o objeto.

6. d

7. $\simeq 1{,}41$

8. **a.** Para haver reflexão total, a luz deve se propagar no sentido do meio mais refringente para o meio menos refringente, e o ângulo de incidência deve ser maior que o ângulo limite.
b. 45°

9. **a.** No intervalo $0 \leqslant i \leqslant 60°$ ocorre refração e reflexão simultaneamente.
b. $i > 60°$.

10. Lente convergente, objeto antes de A: a imagem formada é real, invertida e menor que o objeto.
Lente convergente, objeto entre A e F: a imagem formada é real, invertida e maior que o objeto.
Lente convergente, objeto entre F e O: a imagem formada é virtual, direita e maior que o objeto.
Lente divergente: a imagem formada é sempre virtual, direita e menor que o objeto.

11. Imagem real: $f = 15$ cm;
imagem virtual: $f = 30$ cm.

Atividades finais

1. b

2. a

3. Negro: a região verde, o retângulo e o losango; azul: o círculo central e a faixa branca.

4. c

5. b

6. **a.** 45°
b. Ocorre refração, mas esta não é total.
c. Ocorre reflexão total.

7. d

8. e

9. **a.** A imagem é real, invertida e menor que o objeto.
b. A imagem é real, invertida e da mesma altura do objeto.
c. A imagem é real, invertida e maior que o objeto.
d. Nesse caso, a lente não fornece imagem do objeto (imagem imprópria).
e. A imagem é virtual, direita e maior que o objeto.

10. a

11. e

Capítulo 17

Aplicando conhecimentos

1. c

2. a

3. $+2Q$, zero e zero.

4. **a.** Ocorre o fenômeno da indução eletrostática.
b. (1) Liga-se o condutor B à Terra; (2) Desfaz-se a ligação de B com a Terra; e (3) Separa-se a barra A do condutor B.
c. O condutor B se eletriza negativamente, isto é, com carga elétrica de sinal contrário ao de A.

5. 1,98 N

6. **a.** Após o contato, cada uma das esferas ficará com metade da carga elétrica total do sistema; por terem cargas elétricas de mesmo sinal, elas passam a se repelir mutuamente.
b. $\frac{F}{15}$

7. $E = 3 \cdot 10^5$ N/C, o campo elétrico é vertical e orientado para baixo.

8. $12E$

Atividades finais

1. Entende-se que ele está com falta de elétrons.

2. **a.** Na eletrização por atrito, os corpos se eletrizam com cargas de sinais opostos.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

b. Na região da esfera mais afastada da régua, haverá uma concentração de elétrons e a região eletriza-se negativamente; a região oposta eletriza-se positivamente.

c. Após o contato, a esfera e a régua estarão negativamente carregadas. Por isso, a esfera e a régua se repelem mutuamente.

3. a. $\frac{F}{4}$

b. $\frac{F}{9}$

c. 4F

4. a. Positivo.

b. Representação.

c. $1{,}0 \cdot 10^5$ N/C

d. 0,4 N

e. Sim, é o mesmo.

5. b

Capítulo 18

Aplicando conhecimentos

1. c

2. 9,6 nA

3. 4,3 Ω

4. $\frac{R}{4}$

5. 30 h

6. a. 10 A

b. R$ 0,88

7. a. Representação.

b. O amperímetro ideal tem resistência elétrica nula e o voltímetro ideal tem resistência elétrica infinitamente grande.

c. 3 Ω

8. O sistema circulatório de uma pessoa é constituído pelo coração (análogo à fonte de tensão do circuito), que bombeia sangue (análogo à corrente elétrica, um fluxo ordenado de cargas elétricas) através das veias e artérias (análogos aos fios de ligação). Nessa analogia, o calibre das veias e artérias determina a quantidade de sangue que fluirá por elas (análogo à resistência elétrica dos elementos dos circuitos).

9. Representação.

10. 2 Ω

11. a. A lâmpada L_2 brilha mais intensamente.

b. L_1 brilhará mais que L_2.

Atividades finais

1. b

2. d

3. a. 10 V

b. 8 A

4. a. 5 A

b. 11 V

5. a. 0,5 A

b. 24 V e 16,5 V

Capítulo 19

Aplicando conhecimentos

1. d

2. d

3. a. e **b.** Representação.

4. Representação.

5. Presume-se que existam aves que, em suas viagens, orientam-se pelo campo magnético terrestre como se tivessem pequenas bússolas dentro de si.

6. Representação.

7. 02 + 04 + 16 = 22

8. c

9. a. Representação.

b. A agulha magnética se orienta na direção de $\vec{B}$ e com o polo norte no sentido de $\vec{B}$.

c. Entre o ímã e o solenoide ocorrem repulsão.

10. a. ao **d.** Representação.

11. a. A carga elétrica q é negativa.

b. $v = \frac{E}{B}$

12. $R' = 2R$ e $T' = T$

13. a. Representação.

b. $B = \frac{m \cdot g}{i \cdot L}$

Atividades finais

1. c

2. a. ao **g.** Representação.

3. $\frac{3B}{2}$, vertical e para baixo.

4. $9{,}42 \cdot 10^{-5}$ T

5. I – elétrons, II – nêutrons, III – pósitrons.

6. 4,4 N

7. a. Direção horizontal e sentido para a esquerda.

b. Polo sul.

c. Representação.

d. 10 A

Capítulo 20

Aplicando conhecimentos

1. $5 \cdot 10^{-3}$ Wb

2. $\frac{\Phi_1}{\Phi_2} = \frac{4}{\pi}$

3. a. 4 Wb

b. 0

c. 4 Wb

4. a. Sentido horário.

b. Sentido anti-horário.

c. Sentido anti-horário.

d. Sentido horário.

e. A corrente induzida é nula.

5. Sentido horário (observador olhando para o papel).

6. a. Sentido horário (observador olhando para o papel).

b. Sentido anti-horário.

7. a. Entrada da espira: sentido anti-horário (observador olhando para o papel); saída da espira: sentido horário.

b. A corrente elétrica induzida será nula.

8. De 0 a 1,0 s: 5,0 V; de 1,0 a 2,0 s : 0; de 2,0 s a 3,0 s: 5,0 V.

9. a. Inicial: $2 \cdot 10^{-4}$ Wb; final: 0.

b. $2{,}0 \cdot 10^{-3}$ V

10. a. $-6{,}0 \cdot 10^{-4}$ Wb

b. $1{,}5 \cdot 10^{-4}$ V

c. $1{,}5 \cdot 10^{-5}$ A

Atividades finais

1. a

2. e

3. Na espira E_1: sentido horário (observador olhando para o papel); na espira E_2: sentido anti-horário (observador olhando para o papel).

4. a. $6{,}0 \cdot 10^{-6}$ V

b. 0

c. $3{,}0 \cdot 10^{-6}$ V

5. a. $|\varepsilon_m| = B \cdot L \cdot v$

b. $i = \frac{B \cdot L \cdot v}{R}$

6. e

7. 5,5 A

8. Quando o detector é aproximado de um objeto metálico, ocorre uma variação do fluxo magnético através do objeto, induzindo nele correntes elétricas que geram um campo magnético variável, que induz corrente na bobina, alterando o valor do campo magnético de referência). Essa alteração indica a presença do objeto metálico.

9. c

Capítulo 21

Aplicando conhecimentos

1. 1,24 segundo

2. a. 2,5 m

b. $f = 120$ MHz

c. A direção e o sentido são dados pela regra da mão direita e a intensidade $E_{máx} = 2{,}1$ V/m.

3. $\lambda_{AM} = 10^2 \cdot \lambda_{FM}$.

4. a. $\simeq$ 12,2 cm

b. Superfícies metálicas refletem boa parte da radiação incidente, podendo danificar a fonte geradora das micro-ondas.

5. a

6. a. $f_X = 5{,}0 \cdot 10^{14}$ Hz

b. $\lambda_X = 4{,}712 \cdot 10^{-7}$ m = 471,2 nm

7. b

8. O chumbo, por ser um metal muito denso, impede que a radiação atinja regiões do corpo do paciente que não estão sendo investigadas.

9. d

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Atividades finais

1. 08 min 20 s

2. **a.** 1,5 GHz

b. 1,0 nT

c. A direção e o sentido são obtidos pela regra da mão direita.

3. b

4. b

5. c

Capítulo 22

Aplicando conhecimentos

1. **a.** Violeta, azul, verde, amarelo.

b. Amarelo, verde, azul, violeta.

2. c

3. Para se manter em órbita ao redor do próton, o elétron deve ter uma velocidade tal que a força de atração eletrostática entre eles desempenhe o papel da resultante centrípeta.

4. **a.** 13,6 eV

b. $\lambda_{máx} = 91{,}2$ nm

5. A ideia expressa nessa frase é incorreta. Os comportamentos ondulatório e corpuscular da matéria não são contraditórios entre si nem se excluem mutuamente; na verdade, esses comportamentos se complementam.

6. Obtendo $\lambda_B = \frac{1}{\sqrt{2 \cdot m \cdot E_C}}$, temos:

$\lambda'_B = \frac{1}{\sqrt{2}} \cdot \lambda_B$ e $\lambda'_B = \frac{1}{2} \cdot \lambda_B$

7. Para uma partícula de massa muito pequena como um elétron, um próton, um íon ou uma molécula, esse produto de incertezas tem valor grande, isto é, as incertezas na posição e na velocidade são grandes.

8. **a.** $Z = P$

b. $N = A - P$

c. $E_{lig} = (P \cdot m_P + N \cdot m_N - M) \cdot c^2$

9. **a.** 5 min

b. 62,5 cont/min

10. **a.** a = 4 e b = 2

b. Partícula alfa (α).

Atividades finais

1. d

2. a

3. **a.** $X = 198$ e $Y = 80$

b. Mercúrio (Hg).

4. **a.** É a energia mínima necessária para separar todos os núcleons componentes desse núcleo.

b. A afirmação é incorreta: os elementos $^{16}_{8}O$ e ^{175}X têm a mesma energia de ligação média, por núcleon, aproximadamente 8,0 MeV.

c. Localizando no gráfico o ^{235}U, percebe-se que sua energia de ligação por núcleon é maior que a do ^{238}U. Isso significa que, ao sofrer fissão, ^{235}U libera mais energia por núcleon que o ^{238}U.

5. a = 1; b = 0 e o nuclídeo é o nêutron $^{1}_{0}n$.

Capítulo 23

Aplicando conhecimentos

1. **a.** Estando em uma posição equidistante dos postes, a luz das duas luminárias chega a João no mesmo instante $t_J > 0$, portanto, para ele, os eventos *A* e *B* são simultâneos.

b. Maria vê o evento *A* ocorrer depois do evento *B*.

2. **a.** 5,30 anos

b. 3,18 anos

3. Aqui, o termo "mais rápido" está sendo usado no sentido de "menor tempo", quando na verdade deveria referir-se às velocidades.

4. **a.** $V_{2,1} = -c$

b. $V_{1,2} = +c$

c. $V_{2,1} + 2c$ e $V_{1,2} = -2c$

5. ≃ 87 dias

6. **a.** Uma partícula subatômica nunca está em repouso e, estando ligada ao átomo, certamente está em movimento.

b. Parte da energia cinética do elétron incidente é convertida em matéria, gerando o par elétron-pósitron.

7. 22,7 km/s

Atividades finais

1. **a.** $\gamma = 1{,}25$

b. 20 anos

c. 16 anos

d. 9,6 anos-luz

2. $1{,}8 \cdot 10^5$ km/s

3. **a.** Energia de repouso E_0 de uma partícula de massa *m* é a energia que ela tem pelo simples fato de ter massa ($E_0 = m \cdot c^2$).

b. ≃ $8{,}2 \cdot 10^{-14}$ J

c. ≃ 0,51 MeV

4. $v = \sqrt{2 \cdot g \cdot h}$

5. **a.** Na aniquilação, a massa transforma-se em energia cinética dos fótons resultantes.

b. $1{,}22 \cdot 10^{-13}$ J

c. 0,76 MeV

6. ≃ 81,7 km/h

Capítulo 24

Aplicando conhecimentos

1. Analisando o gráfico de emissão de poluentes, é possível observar que os transportes são os principais emissores de poluentes.

2. **a.** Os projetos de irrigação diminuiriam consideravelmente a quantidade de água dos reservatórios usados para a geração de energia elétrica.

b. A energia elétrica de origem eólica seria usada para suprir a energia de origem hídrica. Tal suprimento extra de energia elétrica poderia ser gerado por volta do mês de agosto.

3. **a.** Energia hidrelétrica: as usinas hidrelétricas requerem enormes quantidades de água – cada vez mais escassa – e provocam grandes impactos ambientais. Combustíveis fósseis (petróleo, carvão, gás natural): além de ser fontes não renováveis acarretam emissão de poluentes no ar e no ambiente em geral. Combustíveis nucleares: nesse caso, o problema maior é a periculosidade do material usado como combustível.

b. A expressão "libertinagem energética" refere-se ao uso crescente da energia elétrica na sociedade moderna.

4. $2{,}16 \cdot 10^{15}$ cal

5. e

6. b

7. c

8. d

9. b

10. a

Atividades finais

1. a

2. e

3. c

4. a

5. b

6. c

7. c

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

AMPLIANDO OS CONHECIMENTOS

UNIDADE 1

Capítulo 1

AZEVEDO, Celicina M. da S. B. **Metodologia científica ao alcance de todos.** 4. ed. Barueri, SP: Manole, 2018.
A obra discorre sobre os princípios da metodologia científica, estimulando o estudante a aprender a pensar, a fazer perguntas e a formular hipóteses. De forma clara e didática, a autora apresenta os principais conceitos relacionados ao método científico, ao experimento controlado e à pesquisa.

CHALLONER, Jack. **1001 invenções que mudaram o mundo.** Rio de Janeiro: Sextante, 2014.
Da roda ao formato de música MP3, das ferramentas de pedra ao avião, o livro explora a história por trás de invenções que moldaram a humanidade, traçando o caminho desde sua concepção até os mais recentes aprimoramentos.

CHASSOT, Attico. **A ciência através dos tempos.** São Paulo: Moderna, 2004.
O livro aborda o conhecimento humano desde a descoberta e o uso do fogo até algumas das conquistas da Ciência e da Tecnologia do início deste século. Examina o saber de diversos povos, em diferentes épocas da civilização, até chegar ao nascimento das ciências modernas e contemporâneas. Discute também a questão dos valores éticos da Ciência, diante do aumento da capacidade de compreender e transformar a realidade.

LUZ, Trevas e o Método Científico, 2010. 7 vídeos (58 min.). Publicado pelo canal Leopoldo de Meis. Disponível em: https://www.youtube.com/watch?v=G0oImVekJzg&ab_channel=LeopoldodeMeis. Acesso em: 27 out. 2024.
Os vídeos, produzidos pelo Instituto de Bioquímica Médica da UFRJ, tratam o tema com um tom bastante humanista, pontuando sobre as benesses e as tragédias – quando mal utilizada – que a Ciência pode trazer.

MEIS, Leopoldo de. **O método científico:** como o saber mudou a vida do homem. Rio de Janeiro: Vieira & Lent, 2005.
O livro, uma peça em um ato dividido em 20 cenas, conta de que modo surgiu a Ciência, descrevendo fatos importantes e temas como morte, fome, guerra, doenças, crendices etc. Ao abordar figuras históricas como Aristóteles, Ambroise Paré, Roger Bacon, Galileu Galilei, Lavoisier e Marat, mostra de que maneira as descobertas e os avanços científicos interferiram no curso da vida do ser humano.

Capítulo 2

DETRAN PR. **Educação para o trânsito** [*on-line*]. Disponível em: https://www.detraneduca.pr.gov.br/. Acesso em: 9 set. 2024.
No *site*, é possível encontrar informações sobre o conjunto de medidas e procedimentos utilizados para prevenir ou minimizar as consequências dos acidentes de trânsito, a chamada direção defensiva, além de várias outras informações e dicas.

FERRARO, Nicolau G. **Os movimentos**: pequena abordagem sobre a Mecânica. São Paulo: Moderna, 2015. (Coleção Desafios.)
O livro apresenta uma introdução ao estudo dos movimentos dos corpos e descreve o empenho de pensadores e cientistas na formulação de teorias e leis que explicam esses movimentos.

SIMUFÍSICA. Laboratório virtual: Queda livre [*on-line*]. **Simulador.** Disponível em: https://simufisica.com/simulacoes/queda-livre/. Acesso em: 9 set. 2024.
O simulador permite estudar a queda livre de um objeto. Para usá-lo, basta escolher o modo do experimento (medida de tempo ou velocidade), posicionar os sensores na régua de altura e clicar no botão "Eletroímã". Para liberar o objeto novamente, clique em "Reiniciar". Com isso, é possível examinar a diferença de tempo de queda e velocidade do objeto para diferentes alturas.

WALTER Fendt. Movimento com aceleração constante [*on-line*]. **Simulador**, 2 nov. 2000. Tradução: Casa das Ciências. Disponível em: https://www.walter-fendt.de/html5/phpt/acceleration_pt.htm. Acesso em: 9 set. 2024.
O simulador permite gerar gráficos de deslocamento por tempo ($s \times t$); velocidade por tempo ($v \times t$) e aceleração por tempo ($\alpha \times t$) de um móvel a partir da sua escolha de espaço inicial s_0, velocidade inicial v_0, e aceleração α. É possível analisar o que ocorre com os três gráficos quando mudam-se os dados de entrada, a posição inicial, a velocidade inicial e a aceleração do móvel.

Capítulo 3

ASSIS, André Koch. Newton e suas grandes obras: o *Principia* e o *Optica*. *In*: ALMEIDA, Maria J. P. M.; SILVA, Henrique C. da. (org.). **Linguagens, leituras e ensino da Ciência**. Campinas: Mercado de Letras/Associação de Leitura do Brasil, 1998.
O artigo analisa as contribuições de Isaac Newton por meio de suas duas principais obras: *Principia*, onde desenvolve as leis do movimento e a gravitação universal; e o *Optica*, que explora a natureza da luz e a teoria das cores.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

MACLACHLAN, James. **Galileu Galilei**: o primeiro físico. São Paulo: Companhia das Letras, 2008.
O livro explora a vida e as contribuições de Galileu Galilei, destacando seu papel fundamental no desenvolvimento da física e da ciência experimental. O autor narra as descobertas revolucionárias de Galileu e como ele desafiou as convenções científicas e religiosas de sua época.

PHET Interactive Simulations. Forças e movimento: noções básicas [*on-line*]. **Simulador**. Disponível em: https://phet.colorado.edu/pt/simulations/forces-and-motion-basics. Acesso em: 9 set. 2024.
A simulação inclui várias seções, que permitem empurrar uma caixa com diferentes superfícies, explorar a relação entre força e aceleração e ver como forças equilibradas ou desequilibradas afetam o movimento. Também é possível visualizar vetores de força para entender melhor as interações físicas envolvidas.

ZANETIC, João. Dos *Principia* da Mecânica aos *Principia* de Newton. **Caderno Catarinense de Ensino de Física**, Florianópolis, n. 5, p. 23-35, 1988.
O artigo explora a evolução dos princípios da Mecânica, desde as primeiras formulações até o desenvolvimento dos *Principia* de Isaac Newton. O autor discute a influência dessas ideias na construção da Física, destacando como Newton sintetizou e aprimorou os conceitos anteriores para estabelecer as bases da Mecânica.

Capítulo 4

BEN-DOV, Yoav. **Convite à Física.** Rio de Janeiro: Zahar, 1996. (Coleção Ciência e Cultura.)
A obra oferece um notável panorama dos postulados teóricos da Física, desde a Grécia Clássica até a teoria da relatividade de Einstein. O livro aborda, entre diversos conteúdos, os princípios de conservação, isto é, certas grandezas que permanecem invariantes no curso do movimento.

FERREIRA, Mauro. O teste do pulo. **Ciência Hoje das Crianças,** Rio de Janeiro, ano 12, n. 95, set. 1999.
O artigo mostra que, para saltar de modo a atingir a maior altura possível, todos nós fazemos os mesmos movimentos de braços e pernas, mesmo sem ter aprendido com outra pessoa. Por que isso acontece?

SILVA, José A. da.; LEITE, Cristina; PINTO, Alexandre C. **A Física e os esportes**. São Paulo: Editora do Brasil, 2005. (Coleção PEC – Projeto Escola e Cidadania – Física.)
No livro, o leitor encontra diversos artigos, como "Impulso para esportistas", que trabalha impulso e quantidade de movimento em vários esportes.

Capítulo 5

FIGUEIREDO, Aníbal; PIETROCOLA, Maurício. **Faces da energia.** São Paulo: FTD, 2001. (Coleção Física: Um Outro Lado.)
No livro, os autores mostram que a energia pode se apresentar de várias formas e ser observada em diversas situações, como em uma montanha-russa, em um balanço etc.

MONTANARI, Valdir. **Energia nossa de cada dia.** 2. ed. São Paulo: Moderna, 2003. (Coleção Desafios.)
O autor traça uma retrospectiva histórica da conceituação do termo "energia" e mostra as principais fontes de geração energética e sua problemática no mundo moderno.

PHET Interactive Simulations. Energia na pista de *skate*: básico [*on-line*]. **Simulador**. Disponível em: https://phet.colorado.edu/pt_BR/simulations/energy-skate-park-basics. Acesso em: 27 out. 2024.
A simulação permite analisar a variação de energia potencial (gravitacional e/ou elástica) e de energia cinética em sistemas mecânicos conservativos, confirmando a conservação da energia mecânica. É uma ferramenta útil para entender os conceitos de conservação de energia de forma interativa.

SNEDDEN, Robert. **Energia.** São Paulo: Moderna, 1998. (Série Horizontes da Ciência.)
O livro traz respostas para inúmeras questões presentes em nosso dia a dia. Mostra a busca do ser humano para compreender o que é energia, aborda a teoria dos antigos pensadores gregos e chega até os cientistas do século XX.

TUNDISI, Helena da S. F. **Usos de energia**: alternativas para o século XXI. 16. ed. São Paulo: Atual, 2013.
A autora faz um histórico da luta do ser humano para dominar as diversas formas de energia e trata da nossa atual dependência do petróleo e da busca por fontes alternativas renováveis, eficientes e ambientalmente seguras.

Capítulo 6

HAWKING, Stephen. **Os gênios da ciência:** sobre os ombros de gigantes. Rio de Janeiro: Campus, 2005.
Trata-se de uma excelente fonte de conhecimento histórico sobre a evolução da Astronomia contada por um dos maiores teóricos do século XX.

INSTITUTO de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosférias (IAG/USP) *et al.* **Telescópios na escola** [*on-line*]. Disponível em: http://www.telescopiosnaescola.pro.br/. Acesso em: 9 set. 2024.
O projeto reúne diversas instituições acadêmicas em parceria com escolas de Ensino Médio e Fundamental, coordenado pelo IAG/USP, para implantar um programa piloto de estudos astronômicos. No *site*, é possível encontrar instruções sobre como participar do projeto ou realizar capacitações para o enriquecimento acadêmico.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

LOPES, Reinaldo J. Cientista recria observatório indígena em SC. **G1**, 22 set. 2007. Disponível em: https://g1.globo.com/Noticias/Ciencia/0,,MUL108558-5603,00-CIENTISTA+RECRIA+OBSERVATORIO+INDIGENA+EM+SC.html. Acesso em: 27 out. 2024.
O texto oferece uma oportunidade para explorar a interseção entre Ciência, cultura indígena e observações astronômicas no Brasil. Destaca-se, sobretudo, a riqueza de ambas as abordagens.

SAGAN, Carl. **Cosmos.** São Paulo: Companhia das Letras, 2017.
No capítulo "A harmonia dos mundos", o autor descreve, de maneira didática, os caminhos dos cientistas para alcançar a verdade do conhecimento científico.

Capítulo 7

O DESAFIO do centro de gravidade, 2011. 1 vídeo (5 min.). Publicado pelo canal Manual do Mundo. Disponível em: https://www.youtube.com/watch?v=PWO-X6CZQXA&ab_channel=ManualdoMundo. Acesso em: 27 out. 2024.
É possível equilibrar dez pregos na ponta de um? E equilibrar um garfo e uma colher na ponta de um palito de fósforo? Com um pouco de arranjo (e de Física), sim!

WALPOLE, Brenda. **Movimento.** São Paulo: Melhoramentos, 1993. (Coleção Ciência Divertida.)
O livro mostra, de maneira divertida, fenômenos relativos ao movimento, como a gravidade, o equilíbrio, a fricção, e como funcionam as rodas, as engrenagens, as polias, as alavancas e os pêndulos.

WALTER Fendt. Equilíbrio entre três forças [*on-line*]. **Simulador**, 11 mar. 2000. Tradução: Casa das Ciências. Disponível em: https://www.walter-fendt.de/html5/phpt/equilibriumforces_pt.htm. Acesso em: 9 set. 2024.
A página oferece uma simulação interativa que ensina sobre equilíbrio. Nela, os usuários podem adicionar e posicionar objetos em um sistema de polias e observar como isso afeta o equilíbrio.

Capítulo 8

AGUIAR FILHO, Adonias. **Arquimedes**: o maior dos sábios da Antiguidade. Rio de Janeiro: Ediouro, 1988.
Versão romanceada da vida do sábio grego, mas razoavelmente fiel aos fatos históricos e personagens envolvidos. Com uma linguagem simples, o autor expõe os principais feitos científicos de Arquimedes e suas implicações para a sociedade da época.

SCIENTIFIC American Brasil. **A aurora da Ciência**. São Paulo: Duetto Editorial, 2012. (Coleção 160 séculos de Ciência.)
Composta de sete volumes, a coleção 160 séculos de Ciência descreve o desenvolvimento das Ciências ao longo dos tempos, desde a Pré-história até os dias atuais. Nesse volume, há dois textos dedicados a Arquimedes: um sobre máquinas simples e outro sobre a flutuação dos corpos.

UNIDADE 2

Capítulo 9

EXPERIMENTO de Física, 2008. 1 vídeo (1min40s). Publicado pelo canal AlfaNeonMex. Disponível em: https://www.youtube.com/watch?v=TE4Lem3w4sk&feature=player_embedded#!. Acesso em: 27 out. 2024.
O vídeo mostra um experimento usando um ímã e nitrogênio líquido com o objetivo de estudar as propriedades de determinado material.

FERREIRA, Geraldo. A. L.; MÓL, Gerson de S.; SILVA, Roberto R. da. Criogenia e condutividade. **Química Nova na Escola**, São Paulo, n. 3, maio 1996.
O artigo aborda os princípios da Criogenia e sua relação com a condutividade elétrica, explorando como temperaturas extremamente baixas afetam a condutividade em materiais. O texto é uma leitura recomendada para quem deseja entender mais sobre esse campo da Ciência e suas aplicações práticas.

MATTOS, Cristiano. R. de.; DRUMMOND, Ana V. N. Sensação térmica: uma abordagem interdisciplinar. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, [*s. l.*], v. 21, n. 1, abr. 2004.
O artigo explora o conceito de sensação térmica de forma interdisciplinar, abordando tanto os aspectos físicos quanto os biológicos e psicológicos que influenciam a percepção humana da temperatura.

Capítulo 10

FIGUEIREDO, Aníbal; PIETROCOLA, Maurício. **Calor e temperatura**. São Paulo: FTD, 1998. (Coleção Física: Um Outro Lado.)
O livro mostra os fenômenos da Física ligados ao calor e à temperatura que acontecem em nosso dia a dia.

PHET Interactive Simulations. Comer & Exercitar-se [*on-line*]. **Simulador**. Disponível em: https://phet.colorado.edu/pt_BR/simulations/eating-and-exercise. Acesso em: 27 out. 2024.
O simulador permite verificar como sua massa corpórea varia com o tempo, em função de sua alimentação e das atividades físicas que pratica regularmente.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Capítulo 11

PHET Interactive Simulations. Formas e transformações de energia [*on-line*]. **Simulador**. Disponível em: https://phet.colorado.edu/sims/html/energy-forms-and-changes/latest/energy-forms-and-changes_all.html?locale=pt. Acesso em: 9 set. 2024.
O simulador permite explorar conceitos de Calorimetria a partir do aquecimento e do resfriamento de substâncias. Nele, os usuários podem adicionar blocos de diferentes materiais, como ferro e tijolo, e colocá-los em contato com aquecedores ou resfriadores. Ao fazer isso, podem observar como a energia térmica é transferida entre os objetos e o ambiente.

Capítulo 12

STEFANELLI, Eduardo J. Simulador de transformações termodinâmicas [*on-line*]. **Simulador**. Disponível em: https://www.stefanelli.eng.br/transformations-simulator/. Acesso em: 9 set. 2024.
O simulador permite explorar conceitos de Termodinâmica a partir de variações de volume, pressão e temperatura em um sistema gasoso. Os usuários podem ajustar essas variáveis e observar como elas afetam umas às outras.

Capítulo 13

MONTEIRO, Marco A. A. *et al.* Proposta de atividade para abordagem do conceito de entropia. **Caderno Brasileiro do Ensino de Física**, Florianópolis, v. 26, n. 2, ago. 2009.
No artigo, os autores detalham métodos pedagógicos e sugestões para ajudar os estudantes a compreender esse conceito fundamental da termodinâmica.

PHET Interactive Simulations. Propriedades dos gases [*on-line*]. **Simulador**. Disponível em: https://phet.colorado.edu/sims/html/gas-properties/latest/gas-properties_pt_BR.html. Acesso em: 9 set. 2024.
O simulador permite visualizar o movimento das moléculas de um gás e observar como variáveis como temperatura, volume e pressão afetam o comportamento e a pressão do gás.

QUADROS, Sérgio. **A Termodinâmica e a invenção das máquinas térmicas**. São Paulo: Scipione, 1996. (Coleção Ponto de Apoio.)
O livro conta a história da Termodinâmica e apresenta os conceitos fundamentais da ciência do calor, desde as confusas ideias do início do século XVII até uma teoria completa do final do século XIX.

SILVA, Eduardo da; SILVA, Ruth R. H. da. **Álcool e gasolina**: combustíveis do Brasil. São Paulo: Scipione, 1997. (Coleção O Universo da Ciência.)
Os autores destacam a comparação entre os dois combustíveis nos motores de combustão interna quanto ao rendimento (produção de energia útil) e à poluição ambiental.

SILVA, José A. da.; LEITE, Cristina; PINTO, Alexandre C. **Calor:** o motor das revoluções. São Paulo: Editora do Brasil, 2000. (Coleção PEC – Projeto Escola e Cidadania – Física.)
Por meio do estudo das máquinas térmicas, os autores apresentam conceitos básicos de Termodinâmica, algumas aplicações atuais e as consequências sociais do desenvolvimento industrial moderno.

Capítulo 14

MARTINS, Renata L. C.; VERDEAUX, Maria de F. da S.; SOUSA, Célia M. S. G. de. A utilização de diagramas conceituais no ensino de física em nível médio: um estudo em conteúdos de ondulatória, acústica e óptica. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, São Paulo, v. 31, n. 3, 2009.
O estudo investiga o uso de diagramas conceituais no ensino de Física para o Ensino Médio, focando em tópicos de Ondulatória, Acústica e Óptica. Os autores analisam como esses diagramas podem auxiliar na compreensão dos conceitos complexos e melhorar a aprendizagem dos estudantes.

PHET Interactive Simulations. Simulador de Onda numa Corda [*on-line*]. **Simulador**. Disponível em: https://phet.colorado.edu/sims/html/wave-on-a-string/latest/wave-on-a-string_all.html?locale=pt. Acesso em: 9 set. 2024.
O simulador permite visualizar o comportamento de ondas em uma corda. O usuário pode escolher entre diferentes tipos de simulação, como manual, com um oscilador ou por meio de pulsos de onda, e ainda ajustar a tensão na corda e a perda de energia.

Capítulo 15

MONTANARI, Valdir; CUNHA, Paulo. **Nas ondas do som.** São Paulo: Moderna, 1996. (Coleção Desafios.)
A observação da audição levou os autores a fazer uma retrospectiva histórica da evolução dos conceitos sobre som, suas principais aplicações e os perigos de perda auditiva no mundo moderno. A obra trata da Ondulatória, da emissão de som e das qualidades fisiológicas dos sons.

OXLADE, Chris. **Ciência e mágica com som**. São Paulo: Nobel, 1995.
Por meio de truques de mágica, o livro apresenta princípios básicos de Acústica. Materiais do dia a dia podem ser usados para realizar os diversos truques.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

PHET Interactive Simulations. Ondas sonoras – som [*on-line*]. **Simulador**. Disponível em: https://phet.colorado.edu/pt/simulations/sound-waves. Acesso em: 27 out. 2024.
Com esse simulador, é possível ouvir sons de diferentes alturas e intensidades em diferentes situações. Também é possível verificar os fenômenos de interferência e de reflexão de ondas sonoras.

SAAB, Sérgio da C.; CÁSSARO, Fabio A. M.; BRINATTI, André M. Laboratório caseiro: tubo de ensaio adaptado como tubo de Kundt para medir a velocidade do som no ar. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, Florianópolis, v. 22, n. 1, 2005.
O artigo descreve a adaptação de um tubo de ensaio para funcionar como um tubo de Kundt, permitindo a medição da velocidade do som no ar de maneira acessível e prática. Trata-se de uma excelente referência para atividades experimentais em sala de aula.

VASCONCELOS, J. **Acústica musical e organologia.** Porto Alegre: Movimento, 2002.
O estudo da Acústica é essencial para a formação dos músicos e para aqueles que desejam conhecer o princípio de funcionamento de diversos instrumentos musicais, como violinos, saxofones, pianos, baterias, eletrônicos, entre outros. A obra também trata de algumas noções sobre a acústica de ambientes.

WALTER Fendt. Ondas estacionárias longituinais [*on-line*]. **Simulador**, 8 jun. 1998. Tradução: Casa das Ciências. Disponível em: https://www.walter-fendt.de/html5/phpt/standinglongitudinalwaves_pt.htm. Acesso em: 9 set. 2024.
O simulador apresenta a formação de ondas estacionárias longitudinais em tubos abertos e fechados. É uma ferramenta útil para visualizar como essas ondas se comportam e como os harmônicos superiores são formados. É importante ressaltar aos estudantes que a nomenclatura dos harmônicos na simulação pode diferir daquela empregada no material didático adotado em sala de aula.

Capítulo 16

CASATI, Roberto. **A descoberta da sombra**. São Paulo: Companhia das Letras, 2001.
O livro revela que muitos fenômenos científicos foram determinados com a observação e o estudo das sombras, como o cálculo do diâmetro da Terra, a origem dos eclipses, entre outros.

MONTANARI, Valdir; CUNHA, Paulo. **Nas ondas da luz**. São Paulo: Moderna, 1995. (Coleção Desafios.)
Na obra, os autores traçam uma retrospectiva histórica da evolução dos conceitos sobre a luz, evidenciando suas principais aplicações práticas e tecnológicas.

OXLADE, Chris. **Ciência e mágica com luz**. São Paulo: Nobel, 1995.
Por meio de truques de mágica, realizáveis com materiais do dia a dia, o livro apresenta princípios básicos de Óptica.

PHET Interactive Simulations. Desvio da luz [*on-line*]. **Simulador**. Disponível em: https://phet.colorado.edu/sims/html/bending-light/latest/bending-light_pt_BR.html. Acesso em: 9 set. 2024.
O simulador permite observar a refração da luz em diversos comprimentos de ondas através de diferentes objetos, meios e índices de refração.

PHET Interactive Simulations. Óptica geométrica: básico [*on-line*]. **Simulador**. Disponível em: https://phet.colorado.edu/sims/html/geometric-optics-basics/latest/geometric-optics-basics_all.html?locale=pt_BR. Acesso em: 27 out. 2024.
O simulador explora conceitos de Óptica Geométrica, permitindo a visualização da formação de imagens em lentes e espelhos planos. É uma ferramenta útil para entender como esses elementos ópticos afetam a formação de imagens.

UNIDADE 3

Capítulo 17

ASSIS, André K. T. de. **Os fundamentos experimentais e históricos da eletricidade.** São Paulo: Livraria da Física, 2011.
O livro traz experiências que abordam a atração e a repulsão; a eletrização por atrito, contato e indução; as diferenças entre condutores e isolantes etc. Apresenta, ainda, experiências lúdicas e curiosas a fim de estimular a criatividade, o pensamento crítico e o senso de brincadeira na Ciência.

FERRARO, Nicolau G. **Eletricidade**: história e aplicações. São Paulo: Moderna, 1997. (Coleção Desafios.)
No livro, o leitor acompanha a evolução histórica da Eletricidade e as aplicações tecnológicas que fizeram nossa sociedade dependente dos aparelhos elétricos.

OKI, Maria da C. M. A eletricidade e a Química. **Química Nova na Escola**, São Paulo, n. 12, p. 34-37**,** 2000.
A autora apresenta a trajetória que levou à compreensão da eletricidade, ao seu emprego na descoberta de novos elementos químicos e à sua contribuição para maior aproximação entre Física e Química.

PHET Interactive Simulations. Balões e eletricidade estática [*on-line*]. **Simulador**. Disponível em: https://phet.colorado.edu/sims/html/balloons-and-static-electricity/latest/balloons-and-static-electricity_pt_BR.html. Acesso em: 27 out. 2024.
O simulador explora conceitos de Eletricidade Estática utilizando balões. É uma ferramenta interativa que ajuda a visualizar e entender como essa eletricidade funciona e pode ser manipulada.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

PINTO JÚNIOR, Osmar; PINTO, Iara de A. **Relâmpagos**. São Paulo: Brasiliense, 1996. (Coleção Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais.)
De maneira clara, o texto apresenta as descobertas sobre as descargas atmosféricas.

Capítulo 18

BOCCHI, Nerilso; FERRACIN, Luiz C.; BIAGGIO, Sonia R. Pilhas e baterias: funcionamento e impacto ambiental. **Química Nova na Escola**, São Paulo, n. 11, p. 3-9, 2000.
Além de comentar o funcionamento das pilhas e baterias mais significativas, o artigo discute aspectos problemáticos de alguns desses dispositivos quanto ao seu impacto ambiental e apresenta uma resolução do Conama (Conselho Nacional do Meio Ambiente) referente a eles. O artigo inclui informações sobre baterias de hidreto metálico e baterias de íons lítio.

ESTRAMY, Santiago P. **Eletricidade e eletrodomésticos**. São Paulo: Hemus, 2004.
O livro apresenta experiências que abordam a atração e a repulsão; a eletrização por atrito, contato e indução; as diferenças entre condutores e isolantes, entre outros assuntos da Física. Apresenta, ainda, experiências lúdicas e curiosas que estimulam a criatividade, o pensamento crítico e o senso de brincadeira na Ciência.

FUJITAKI, Kazuhiro. **Guia mangá de eletricidade**. São Paulo: Novatec, 2010.
A partir da análise de aparelhos elétricos comuns, a obra aborda conceitos de potencial, corrente, resistência, condutividade e força eletrostática.

PARKER, Steve. **Edison e a lâmpada elétrica**. São Paulo: Scipione, 1996. (Série Caminhos da Ciências.)
Em linguagem simples e acessível, o autor descreve a trajetória do notável inventor estadunidense Thomas Edison, que se celebrizou pela invenção da lâmpada elétrica e do fonógrafo, o precursor do toca-discos.

PHET Interactive Simulations. Lei de Ohm [*on-line*]. **Simulador**. Disponível em: https://phet.colorado.edu/pt_BR/simulations/ohms-law. Acesso em: 27 out. 2024.
Simulador que apresenta um circuito simples, constituído de um gerador ligado a um resistor. É possível variar o valor da tensão elétrica e da resistência elétrica. Em cada caso, é calculada a intensidade da corrente elétrica que atravessa o circuito.

Capítulo 19

GALLIMARD, Jeunesse. **Do *Big Bang* à eletricidade.** São Paulo: Melhoramentos, 1995.
O livro explica como a energia muda de forma e faz o mundo se movimentar. Além disso, analisa o que ocorreu do *Big Bang* até os dias de hoje e destaca as invenções propiciadas pela descoberta do eletromagnetismo, como os geradores de eletricidade.

GUIMARÃES, Alberto P. Os 400 anos do *De magnete*. **Ciência Hoje**, Rio de Janeio, v. 28, n. 167, dez. 2000.
No artigo, o autor analisa a obra científica *De magnete*, de William Gilbert, homenageando os 400 anos de sua publicação. A obra, publicada em 1600, em Londres, reuniu os conhecimentos da época sobre a atração exercida por um ímã, fenômeno que fascinava a humanidade desde a Antiguidade, e apresentou novos fenômenos magnéticos, inclusive a ideia de que a Terra seria um grande ímã.

Capítulo 20

PHET Interactive Simulations. Lei de Faraday [*on-line*]. **Simulador**. Disponível em: https://phet.colorado.edu/sims/html/faradays-law/latest/faradays-law_pt.html. Acesso em: 9 set. 2024.
O simulador permite explorar o fenômeno da indução eletromagnética. É uma ferramenta interativa que ajuda a visualizar como a indução ocorre em diferentes condições.

Capítulo 21

COSTA, Rogério da. **A cultura digital**. 3. ed. São Paulo: Publifolha, 2008. (Coleção Folha Explica.)
O autor, professor da PUC-SP, discute o rumo das relações humanas em meio aos artefatos tecnológicos e como a internet, os celulares, os jogos eletrônicos e outras tecnologias digitais mudaram nossa vida.

OKUNO, Emico; VILELA, Maria A. C. **Radiação ultravioleta**: características e efeitos. São Paulo: Livraria da Física, 2005. (Coleção Temas Atuais de Física.)
O livro mostra a forte correlação entre o câncer de pele e a exposição à radiação ultravioleta. Explica os perigos da exposição exagerada ao Sol sem proteção adequada ou mesmo das câmaras de bronzeamento artificial, visando atingir o padrão de beleza e de saúde vigentes na nossa sociedade.

PHET Interactive Simulations. Interferência de onda [*on-line*]. **Simulador**. Disponível em: https://phet.colorado.edu/pt_BR/simulations/wave-interference. Acesso em: 9 set. 2024.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

No simulador, pode-se verificar a interferência de ondas na água, de ondas sonoras e de ondas luminosas. Explore e manipule as variáveis de cada experimento, frequência e intensidade das ondas, tamanho das fendas, distância entre as fendas e distância entre as fendas e o anteparo.

PHET Interactive Simulations. Ondas de rádio e campos eletromagnéticos [*on-line*]. **Simulador**. Disponível em: https://phet.colorado.edu/pt_BR/simulations/radio-waves. Acesso em: 27 out. 2024.
O simulador permite visualizar a geração de uma onda eletromagnética a partir do movimento de elétrons em uma antena transmissora de ondas de rádio. Explore as diferentes maneiras de visualização da onda.

ROMAIS, Célio. **O que é rádio em ondas curtas**. São Paulo: Brasiliense, 1994. (Coleção Primeiros Passos).
No livro, o autor apresenta um breve histórico das transmissões radiofônicas em ondas curtas (OC), modalidade bastante ouvida nos anos 1950. O livro ainda apresenta uma relação de estações de rádio que transmitem o sinal em ondas curtas a partir de várias regiões do globo, inclusive do Brasil, e que podem ser captadas por aqui.

Capítulo 22

ABDALLA, Maria C. **Bohr**: o arquiteto do átomo. São Paulo: Odysseus Editora, 2002. (Coleção Imortais da Ciência.)
A autora aborda a importância científica do desenvolvimento do modelo atômico proposto por Bohr e o impacto que ele teve na Física e na Química, trazendo a necessidade de reavaliar alguns conceitos e possibilitando a compreensão de outros fatos até então sem explicação científica.

FARIAS, Robson F. de. A Química do tempo: carbono-14. **Química Nova na Escola**, São Paulo, n. 16, p. 6-8, 2002.
No artigo, o autor apresenta uma visão geral sobre a técnica de datação fundamentada no isótopo-14 do carbono.

GAMOW, George. **O incrível mundo da Física Moderna**. São Paulo: Ibrasa, 2004.
No livro, o autor explica os principais conceitos e fenômenos dos mundos atômico e subatômico, mesclando Ciência, ficção, bom humor e um talento especial para contar estórias.

MENEZES, Luis C. de. **A matéria**: uma aventura do espírito. São Paulo: Livraria da Física, 2005.
O livro aborda o início do aparecimento da Mecânica, da Termodinâmica, da Gravitação e do Eletromagnetismo, passa pela Teoria Quântica, pela Física Atômica e Nuclear e chega à moderna Cosmologia.

MERÇON, Fábio; QUADRAT, Samantha V. A radioatividade e a história do tempo presente. **Química Nova na Escola**, São Paulo, n. 19, p. 27-30, 2004.
Os autores abordam a utilização das reações nucleares a partir da Segunda Guerra Mundial, incluindo comentários sobre a Guerra Fria, as usinas e os acidentes nucleares.

TOLENTINO, Maria; ROCHA FILHO, Romeu C. O átomo e a tecnologia. **Química Nova na Escola**, São Paulo, n. 3, p. 4-7, 1996.
O artigo apresenta o estudo da estrutura do átomo como rica fonte de fatos que explicaram fenômenos do dia a dia ou resultaram em importantes aplicações práticas.

TOMA, Henrique E. A nanotecnologia das moléculas. **Química Nova na Escola**, São Paulo, n. 21, 2005.
Artigo que aborda a atuação da Química no desenvolvimento da Nanotecnologia, apresentando os conceitos de máquinas moleculares e fornecendo exemplos de nanomateriais.

TOMA, Henrique E. **Nanotecnologia molecular**: materiais e dispositivos. São Paulo: Blucher, 2016. (Coleção de Química conceitual.)
O livro apresenta diversos exemplos de aplicações da Nanotecnologia. Embora muitos deles envolvam complexos conceitos científicos, a linguagem usada e as ilustrações tornam o tema atraente e acessível.

Capítulo 23

COUPER, Heather; HENBEST, Nigel. ***Big Bang***. São Paulo: Moderna, 1998.
Com grande quantidade de ilustrações e linguagem acessível, os autores contam como teria surgido o Universo a partir dessa grande explosão primordial e discorrem sobre o empenho dos cientistas em encontrar provas de que realmente foi assim que aconteceu.

HAWKING, Lucy; HAWKING, Stephen. **George e o segredo do Universo**. Rio de Janeiro: Ediouro, 2007.
Em linguagem didática, os autores relatam as aventuras de uma viagem repleta de Ciência pela vastidão do tempo e do espaço cósmico.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

ROSENFELD, Rogério. **O cerne da matéria**: a aventura científica que levou à descoberta do Bóson de Higgs. São Paulo: Companhia das Letras, 2013.
O autor fala sobre a importância dos aceleradores de partículas, em especial do Grande Colisor de Hádrons, para as investigações na área de Física de partículas. O Grande Colisor de Hádrons localiza-se nas instalações da Organização Europeia para a Pesquisa Nuclear, conhecida como CERN (sigla derivada do nome anterior, em francês, *Conseil Européen pour la Recherche Nucléaire*).

TYSON, Neil D. G. **Astrofísica para apressados**. São Paulo: Planeta, 2017.
Em uma linguagem simples, o autor explica tópicos da Astrofísica como matéria escura, energia escura, exoplanetas, entre outros.

VIEGAS, Sueli M. M.; OLIVEIRA, Fabíola de (org.). **Descobrindo o Universo**. São Paulo: Edusp, 2004.
O livro tem como temática a história do Universo, desde sua gênese até a época atual.

Capítulo 24

BRANCO, Samuel M. **Água**: origem, uso e preservação. 2. ed. São Paulo: Moderna, 2003. (Coleção Polêmica.)
O livro apresenta aspectos relacionados à importância da água para o ser humano e para o ambiente, bem como aborda algumas formas de poluição e de tratamento da água.

BRANCO, Samuel M. **Energia e meio ambiente**. São Paulo: Moderna, 2010. (Coleção Polêmica.)
O livro faz um balanço de nossos estoques energéticos e das várias alternativas de seu aproveitamento. Além disso, mostra as implicações ambientais de cada uma delas, questionando, sobretudo, as necessidades reais do aumento contínuo e indefinido do consumo de energia, que vem acompanhando o desenvolvimento e o progresso de nossa civilização.

BRANCO, Samuel M. **O meio ambiente em debate**. 3. ed. São Paulo: Moderna, 2004. (Coleção Polêmica.)
O livro contém inúmeros pontos referentes à intervenção humana no meio ambiente e seus reflexos para os ecossistemas e para o próprio ser humano. No tocante a esse volume, há informações sobre poluição e chuva ácida.

BRANCO, Samuel M.; MURGEL, Eduardo. **Poluição do ar**. São Paulo: Moderna, 2010. (Coleção Polêmica.)
O livro apresenta algumas noções sobre os fenômenos complexos envolvidos na composição da atmosfera e analisa os inúmeros fatores que podem contribuir – direta ou indiretamente – para que o ar seja alterado, especialmente nos grandes centros urbanos.

CANTO, Eduardo L. do. **Plásticos**: bem supérfluo ou mal necessário? São Paulo: Moderna, 2010. (Coleção Polêmica.)
O autor aborda o contexto em que surgem as questões relativas ao plástico. Como consequência, permite um posicionamento consciente do leitor diante delas.

GIANSATI, Roberto. **O desafio do desenvolvimento sustentável**. São Paulo: Atual, 2004.
O livro se organiza a partir de três eixos centrais: a constituição das sociedades modernas; a relação entre os processos de modernização econômica e a emergência de impactos ambientais; e a possibilidade de combinar desenvolvimento com uso e gestão racional dos recursos naturais.

HOGAN, Daniel J.; MARANDONA JUNIOR, Eduardo; OJIMA, Ricardo. **População e ambiente**: desafios à sustentabilidade. São Paulo: Edgard Blücher, 2010.
O livro apresenta análises do impacto do conceito de desenvolvimento sustentável no Brasil e tem como objetivo analisar o que está sendo feito para evitar um crescimento populacional sem controle e uma industrialização predatória, preocupada apenas com o crescimento econômico.

INSTITUTO Socioambiental dos Plásticos. Plastivida [*on-line*]. Disponível em: http://www.plastivida.org.br/index.php/conhecimento?lang=pt. Acesso em: 9 set. 2024.
O *site* do Instituto Socioambiental dos Plásticos – Plastivida contém informações sobre meio ambiente e sustentabilidade, além de tratar sobre os diferentes tipos de plástico, desde a matéria-prima usada na fabricação até o produto final e seu descarte.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS COMENTADAS

BAUER, W.; WESTFALL, G. D. **University Physics with modern Physics**. 3. ed. Nova York: McGraw-Hill, 2024.
Livro consultado para aspectos referentes aos processos nucleares de fusão e fissão nuclear.

BEISER, A. **Concepts of Modern Physics**. 6. ed. Nova York: McGraw-Hill, 2003.
Obra de referência sobre decaimentos alfa, beta negativo, beta positivo, gama e também sobre a cinética desses processos.

BLACKWOOD, O. H.; HERRON, W. B.; KELLY, W. C. **Física na escola secundária**. Rio de Janeiro: Inep, 1962.
O livro traz uma abordagem sobre formas de organização do estudo da Física.

BLOOMFIELD, L. A. **How things work**: the Physics of everyday life. Hoboken: John Wiley & Sons, 2010.
O livro fornece ao estudante uma introdução acessível à Física a partir de objetos do cotidiano para explicar os conceitos mais essenciais no dia a dia.

CHAVES, A. **Física básica**: gravitação, fluidos, ondas, termodinâmica. Rio de Janeiro: LTC, 2007.
O livro contém tópicos de gravitação, fluidos, ondas, termodinâmica e uma introdução à Física estatística clássica.

CHESMAN, C.; ANDRÉ, C.; MACÊDO, A. **Física moderna experimental e aplicada**. São Paulo: Livraria da Física, 2004.
O livro apresenta exemplos didáticos e curiosidades associados a temas diversos da Física Moderna, além da descrição de experiências fundamentais e acessíveis.

EISBERG, R. M.; LERNER, L. S. **Física**: fundamentos e aplicações, v. 2. São Paulo: McGraw-Hill, 1982.
O livro contém diversos tópicos sobre Física, incluindo o estudo de movimentos.

FEYNMAN, R. P. **Física em seis lições**. Rio de Janeiro: Ediouro, 1999.
A partir de cursos dados por Richard Feynman para alunos em Caltech (Califórnia, EUA), o livro traz algumas palestras adaptadas, que apresentam assuntos como os átomos em movimento, Física básica, a relação da Física com outras ciências, conservação de energia, teoria da gravitação e comportamento quântico.

FISHBANE, P. M.; GASIOROWICZ, S.; THORNTON, S. T. **Physics for scientists and engineers**. Upper Saddle River: Prentice Hall, 2005.
Livro de introdução à Física Clássica e Moderna com uma abordagem que considera os aspectos microscópico e macroscópico da matéria.

FOLMER-JOHNSON, T. N. O. **Elementos de corrente elétrica**. São Paulo: Nobel, 1965.
O livro apresenta um estudo introdutório completo e abrangente sobre conceitos relacionados à eletricidade e à corrente elétrica.

FOLMER-JOHNSON, T. N. O. **Elementos de eletrostática**. São Paulo: Nobel, 1965.
O livro apresenta um estudo introdutório completo e abrangente sobre conceitos relacionados à eletrostática.

GIANCOLI, D. C. **Physics**: principles with applications. Boston: Addison-Wesley, 2004.
O livro aborda diversos assuntos de Física, indicando aplicações para diversos princípios físicos.

HALLIDAY, D.; RESNICK, R.; WALKER, J. **Fundamentos de Física**, v. 1, 2, 3 e 4. 12. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2023.
Os livros da coleção apresentam um estudo introdutório completo e abrangente de Física. Os conteúdos estão vinculados ao cotidiano prático e real, com a presença de exemplos e problemas ligados a diversas áreas da Ciência.

HEWITT, P. G. **Física conceitual**. 13. ed. São Paulo: Bookman, 2023.
A obra torna o estudo da Física interessante e compreensível, mesmo para quem não é da área, ao explicar conceitos físicos antes de aplicá-los em cálculos. O texto apresenta analogias, narrativas acessíveis, representações simples das relações matemáticas subjacentes e imagens da vida real para construir um sólido conhecimento conceitual dos princípios da Física.

KRAUSKOPF, K. B; BEISER, A. **The physical universe**. 14. ed. Nova York: McGraw-Hill, 2012.
O livro traz aspectos essenciais de Química, Física, Geologia e Astronomia.

LOPES, C. V. M. **Modelos atômicos no início do século XX**: da física clássica à introdução da teoria quântica. 2009. Tese (Doutorado em História da Ciência) – Pontifícia Universidade Católica de São Paulo, São Paulo, 2009.
Tese que faz um levantamento sobre os modelos atômicos propostos por 6 cientistas no começo do século XX até chegar ao modelo de átomo quantizado.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

MELZER, E. E. A.; AIRES, J. A. A História do desenvolvimento da teoria atômica: um percurso de Dalton a Bohr. **Amazônia: Revista de Educação em Ciências e Matemática**, Belém, v. 11, n. 22, p. 6277, jan./jun. 2015.
O artigo mostra aspectos da evolução dos modelos atômicos.

NUSSENZVEIG, H. M. **Curso de Física básica**, v. 1, 2, 3 e 4. 5. ed. São Paulo: Edgard Blücher, 2014.
A coleção tem como objetivo apresentar uma discussão detalhada e cuidadosa sobre os conceitos e princípios básicos da Física, com ênfase na compreensão das ideias fundamentais. Com grande diversidade de exemplos, os problemas visam ilustrar os principais conceitos e resultados, contribuindo para uma melhor compreensão, indicar aplicações a uma variedade de situações concretas e aprofundar resultados.

OKUNO, E. **Radiação**: efeitos, riscos e benefícios. São Paulo: Harbra, 1988.
O livro apresenta conceitos básicos da Física das radiações, bem como seus efeitos biológicos e suas aplicações na indústria e na Medicina.

OLIVEIRA, I. S. **Física moderna para iniciados, interessados e aficionados**. São Paulo: Livraria da Física, 2005.
Com estilo informal e bem-humorado, o livro aborda diversos conceitos relacionados à Física Moderna, sendo acessível para qualquer pessoa que se interesse pelo tema.

PERUZZO, J.; POTTKER, W. E.; PRADO, T. G do. **Física moderna e contemporânea**: das teorias quânticas e relativísticas às fronteiras da Física. 2. ed. São Paulo: Livraria da Física, 2014. 2 v.
Obra sobre tópicos de Física Moderna, como Física Nuclear, com aplicações na área médica e de energia, radiações ionizantes, estrutura do átomo, aceleradores de partículas, Astrofísica, Cosmologia, relatividade geral e Física Quântica e tentativas de unificação de teorias.

SCHUTZ, B. **Gravity form the ground**. 4. ed. Cambridge: Cambridge University Press, 2007.
O autor faz um compêndio sobre a evolução do conceito de gravidade a partir de Galileu e Newton e chega a implicações modernas de como a Física Moderna entende o funcionamento das estrelas e a história do Universo.

SCHWITENBERG, J. **No-Nonsense Electrodynamics**. Karlsruhe: No-Nonsense Books, 2019.
O livro apresenta conceitos de eletromagnetismo de forma objetiva e direta, sem perder a profundidade.

SERWAY, R. A.; JEWETT, J. W. **Física para cientistas e engenheiros**, v. 1, 2, 3 e 4. 9. ed. São Paulo: Cengage Learning, 2017.
A obra oferece uma cobertura abrangente e detalhada dos principais conceitos das físicas Clássica e Moderna, sendo amplamente utilizada em cursos de graduação. Destaca-se pela clareza na apresentação dos tópicos, muitos exemplos práticos e uma abordagem didática que facilita o aprendizado.

THORNE, K.; BLANDFORD, R. **Modern Classical Physics**. Princeton: Princeton University Press, 2017.
Obra de conteúdo abrangente e avançado sobre Física Clássica.

TIPLER, P. A.; MOSCA, G. **Física para cientistas e engenheiros**, v. 1, 2 e 3. 6. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2009.
O livro é uma referência completa para o estudo da Física em nível superior, cobrindo tanto os fundamentos da Física Clássica quanto os avanços mais recentes na Física Moderna.

TOMA, H. E. **Nanotecnologia molecular, materiais e dispositivos**. São Paulo: Blucher, 2016.
Obra que explica os efeitos da Nanotecnologia na vida moderna.

TOMA, H. E.; DA SILVA, D. G.; ULISSES, C. **Nanotecnologia experimental**. São Paulo: Blucher, 2016.
Os autores apresentam experimentos de laboratório, classificados em nível de dificuldade de execução, ressaltando características e efeitos de materiais nanotecnológicos.

YOUNG, H. D.; FREEDMAN, R. A. **University Physics**. 14. ed. Harlow: Pearson, 2016.
Obra que abrange um curso de Física universitário com foco na prática de exercícios.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

SUPLEMENTO PARA O PROFESSOR

Prezado professor,

Neste *Suplemento para o professor* apresentamos esta coleção, estruturada em três volumes, correspondente aos componentes curriculares da área de Ciências da Natureza e suas Tecnologias, destinada ao Ensino Médio. A amplitude dos assuntos tratados na obra procura contemplar os conteúdos tradicionalmente trabalhados pelos professores, relacionando-os às competências e às habilidades previstas na Base Nacional Comum Curricular (BNCC).

O objetivo é que as escolas e os professores possam utilizar os volumes de cada um dos componentes curriculares de acordo com seu projeto pedagógico, carga horária disponível e recursos da escola, de forma a atender às exigências da BNCC. Os temas tratados procuram envolver os estudantes na aventura do conhecimento e capacitá-los a entender e a discutir os alcances e as limitações do empreendimento científico. Nosso projeto visa desenvolver competências e habilidades relacionadas às Ciências da Natureza que os estudantes possam aplicar, analisar e reconhecer no papel de cidadãos.

Esperamos que esta coleção possa ajudar os docentes no grande desafio da aprendizagem.

Os Autores.

SUMÁRIO

ORIENTAÇÕES GERAIS DA COLEÇÃO MP003
Pressupostos teórico-metodológicos MP003
O ensino por competências e habilidades MP003
Culturas juvenis e a sala de aula MP007
Cuidados com estudantes com deficiência MP007
Possibilidades no ensino de Ciências da Natureza MP007
Atividades práticas MP007
Estratégias de estudo MP008
Organização de sala de aula MP008
Juventude e mundo do trabalho MP009
Educação midiática MP009
Argumentação e leitura inferencial MP009
Pensamento computacional MP009
Avaliações MP010
Sugestões para uso da obra MP011
Possíveis cronogramas MP011
Seções e boxes MP012
ORIENTAÇÕES ESPECÍFICAS DESTE VOLUME MP013
Componente curricular Física MP013
UNIDADE 1 Mecânica MP015
Capítulo 1 O conhecimento científico, as Ciências da Natureza e a Física MP015
Capítulo 2 Cinemática MP019
Capítulo 3 Força e movimento MP024
Capítulo 4 Quantidade de movimento e impulso MP028
Capítulo 5 Trabalho e energia MP030
Capítulo 6 Gravitação universal MP036
Capítulo 7 Estática e máquinas simples MP039
Capítulo 8 Hidrostática MP044
UNIDADE 2 Termologia – Ondas – Óptica Geométrica MP048
Capítulo 9 Termometria e dilatometria MP048
Capítulo 10 Energia térmica MP052
Capítulo 11 Transmissão de calor MP055
Capítulo 12 Estudo dos gases ideais MP060
Capítulo 13 Termodinâmica MP063
Capítulo 14 Ondas e energia MP066
Capítulo 15 Acústica MP070
Capítulo 16 Óptica Geométrica MP074
UNIDADE 3 Eletromagnetismo – Física Contemporânea MP082
Capítulo 17 Eletricidade estática MP082
Capítulo 18 Corrente elétrica e circuitos elétricos MP085
Capítulo 19 Eletromagnetismo MP089
Capítulo 20 Indução eletromagnética MP095
Capítulo 21 Ondas eletromagnéticas MP101
Capítulo 22 Física Quântica, Física Nuclear e Nanotecnologia MP105
Capítulo 23 Teoria da Relatividade, Astrofísica e Cosmologia MP108
Capítulo 24 Geração de energia, poluição ambiental e reciclagem MP111
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS COMENTADAS MP116
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS COMPLEMENTARES COMENTADAS MP119

ORIENTAÇÕES GERAIS DA COLEÇÃO

Os livros que compõem esta coleção, idealizados como instrumentos de apoio didático a professores e estudantes, têm por objetivo trazer informações e princípios relevantes sobre diversos temas relativos aos componentes curriculares da área de Ciências da Natureza e suas Tecnologias.

A obra é composta de 3 volumes destinados aos componentes de Ciências da Natureza do Ensino Médio: Biologia, Física e Química. Cada volume é composto de 24 capítulos, divididos em 3 unidades com 8 capítulos cada. Em seu conjunto, os volumes mobilizam todas as competências gerais, as competências específicas e as habilidades da área presentes na Base Nacional Comum Curricular (BNCC).

Nosso projeto visa desenvolver competências e habilidades relacionadas às Ciências da Natureza e explorar articulações entre os componentes curriculares desta área do conhecimento, de modo a proporcionar uma formação integral e crítica aos estudantes preparando-os para o exercício da cidadania com autonomia. Esperamos que esta coleção possa ajudá-lo nesse grande desafio.

Pressupostos teórico-metodológicos

Em consonância com a proposta da BNCC, a coleção adotou abordagens e estratégias variadas, tornando-as mais significativas e aproximando o ensino de Ciências da Natureza das realidades e experiências dos estudantes. Para tornar esse ensino mais atrativo para as diferentes culturas juvenis é preciso superar a ideia de que os conteúdos se resumem a nomes, fórmulas e processos desvinculados da realidade cotidiana. É importante ressignificar o papel da Ciência na vida das pessoas, destacar as evidências de como ela pode ajudar a explicar situações da vida prática e levar os estudantes a perceberem que o conhecimento científico auxilia a tomar decisões que impactam a sociedade e a desenharem cenários futuros.

A contribuição para o letramento científico deve ser um compromisso assumido desde os anos iniciais do ensino de Ciências, permitindo a compreensão de conceitos científicos e capacitando os estudantes a aplicar esses conceitos e pensar sob uma perspectiva científica. Isso é feito abordando temas que se destacam no cotidiano dos estudantes, como mudanças climáticas, combate a *fake news*, desconstrução de argumentos pseudocientíficos, aplicação de conhecimentos e procedimentos científicos no mundo do trabalho, entre outros. Diversos temas abordados se enquadram em temas contemporâneos transversais (TCT), abordagem que se justifica pela necessidade de que os estudantes, além de compreender e aplicar os conhecimentos científicos entendam como tais conhecimentos são construídos, o que contribui para a desmistificação da Ciência e sua aproximação com a sociedade.

O letramento científico envolve o ensino por investigação, mobilizando algumas competências gerais da BNCC. Esse letramento envolve acesso a diferentes mídias, trabalhando diferentes aspectos da educação midiática e da competência leitora, associada à compreensão de inferências e linguagens, para interpretar informações e elaborar argumentos sob uma perspectiva científica.

Ao favorecer o letramento em Ciências, esta coleção também se dispõe a promover e a valorizar o conhecimento científico, já enraizado na cultura contemporânea, associando-o ao respeito aos direitos humanos e ao ambiente, à diversidade cultural, à aprendizagem multidisciplinar e interdisciplinar e ao domínio de novas tecnologias.

O ensino por competências e habilidades

De acordo com a BNCC:

> Ao longo da Educação Básica, as aprendizagens essenciais definidas na BNCC devem concorrer para assegurar aos estudantes o desenvolvimento de dez competências gerais, que consubstanciam, no âmbito pedagógico, os direitos de aprendizagem e desenvolvimento.
>
> Na BNCC, competência é definida como a mobilização de conhecimentos (conceitos e procedimentos), habilidades (práticas, cognitivas e socioemocionais), atitudes e valores para resolver demandas complexas da vida cotidiana, do pleno exercício da cidadania e do mundo do trabalho.

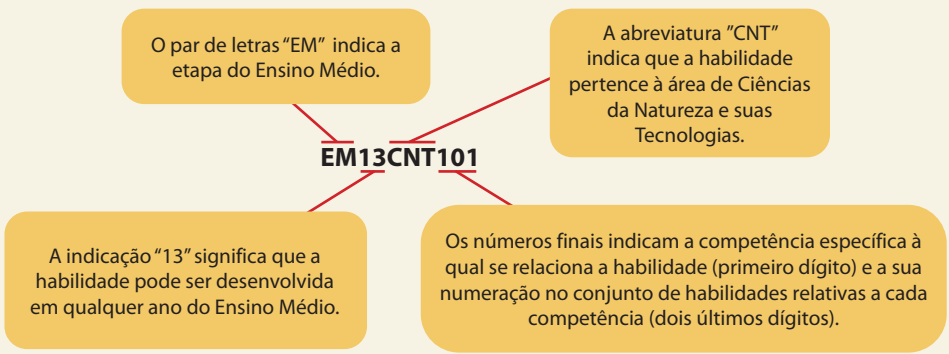
Fonte: BRASIL. Ministério da Educação. **Base Nacional Comum Curricular**: educação é a base. Brasília, DF: MEC, 2018. p. 8.

Competências gerais da BNCC

1. Valorizar e utilizar os conhecimentos historicamente construídos sobre o mundo físico, social, cultural e digital para entender e explicar a realidade, continuar aprendendo e colaborar para a construção de uma sociedade justa, democrática e inclusiva.
2. Exercitar a curiosidade intelectual e recorrer à abordagem própria das ciências, incluindo a investigação, a reflexão, a análise crítica, a imaginação e a criatividade, para investigar causas, elaborar e testar hipóteses, formular e resolver problemas e criar soluções (inclusive tecnológicas) com base nos conhecimentos das diferentes áreas.
3. Valorizar e fruir as diversas manifestações artísticas e culturais, das locais às mundiais, e também participar de práticas diversificadas da produção artístico-cultural.
4. Utilizar diferentes linguagens – verbal (oral ou visual-motora, como Libras, e escrita), corporal, visual, sonora e digital –, bem como conhecimentos das linguagens artística, matemática e científica, para se expressar e partilhar informações, experiências, ideias e sentimentos em diferentes contextos e produzir sentidos que levem ao entendimento mútuo.
5. Compreender, utilizar e criar tecnologias digitais de informação e comunicação de forma crítica, significativa, reflexiva e ética nas diversas práticas sociais (incluindo as escolares) para se comunicar, acessar e disseminar informações, produzir conhecimentos, resolver problemas e exercer protagonismo e autoria na vida pessoal e coletiva.
6. Valorizar a diversidade de saberes e vivências culturais e apropriar-se de conhecimentos e experiências que lhe possibilitem entender as relações próprias do mundo do trabalho e fazer escolhas alinhadas ao exercício da cidadania e ao seu projeto de vida, com liberdade, autonomia, consciência crítica e responsabilidade.
7. Argumentar com base em fatos, dados e informações confiáveis, para formular, negociar e defender ideias, pontos de vista e decisões comuns que respeitem e promovam os direitos humanos, a consciência socioambiental e o consumo responsável em âmbito local, regional e global, com posicionamento ético em relação ao cuidado de si mesmo, dos outros e do planeta.
8. Conhecer-se, apreciar-se e cuidar de sua saúde física e emocional, compreendendo-se na diversidade humana e reconhecendo suas emoções e as dos outros, com autocrítica e capacidade para lidar com elas.
9. Exercitar a empatia, o diálogo, a resolução de conflitos e a cooperação, fazendo-se respeitar e promovendo o respeito ao outro e aos direitos humanos, com acolhimento e valorização da diversidade de indivíduos e de grupos sociais, seus saberes, identidades, culturas e potencialidades, sem preconceitos de qualquer natureza.
10. Agir pessoal e coletivamente com autonomia, responsabilidade, flexibilidade, resiliência e determinação, tomando decisões com base em princípios éticos, democráticos, inclusivos, sustentáveis e solidários.

Fonte: BRASIL. Ministério da Educação. **Base Nacional Comum Curricular**: educação é a base. Brasília, DF: MEC, 2018. p. 10.

Além das competências gerais, a BNCC também define competências específicas para a área de Ciências da Natureza e suas Tecnologias. Elas visam integrar os componentes curriculares Biologia, Física e Química e visões teórico-metodológicas na abordagem da Ciência, Tecnologia, Sociedade e Ambiente (CTSA). A cada uma das três competências específicas da área para o Ensino Médio estão associadas habilidades, que permitem identificar melhor os conhecimentos dos componentes curriculares e a integração proposta para a área, possibilitando diferentes arranjos. A seleção dos assuntos tratados na obra procura contemplar os conteúdos tradicionalmente trabalhados pelos professores, relacionando-os às competências e às habilidades. As habilidades estão codificadas da seguinte forma:



Competência específica 1: Analisar fenômenos naturais e processos tecnológicos, com base nas interações e relações entre matéria e energia, para propor ações individuais e coletivas que aperfeiçoem processos produtivos, minimizem impactos socioambientais e melhorem as condições de vida em âmbito local, regional e global.

Habilidades da competência específica 1:

(EM13CNT101) Analisar e representar, com ou sem o uso de dispositivos e de aplicativos digitais específicos, as transformações e conservações em sistemas que envolvam quantidade de matéria, de energia e de movimento para realizar previsões sobre seus comportamentos em situações cotidianas e em processos produtivos que priorizem o desenvolvimento sustentável, o uso consciente dos recursos naturais e a preservação da vida em todas as suas formas.

(EM13CNT102) Realizar previsões, avaliar intervenções e/ou construir protótipos de sistemas térmicos que visem à sustentabilidade, considerando sua composição e os efeitos das variáveis termodinâmicas sobre seu funcionamento, considerando também o uso de tecnologias digitais que auxiliem no cálculo de estimativas e no apoio à construção dos protótipos.

(EM13CNT103) Utilizar o conhecimento sobre as radiações e suas origens para avaliar as potencialidades e os riscos de sua aplicação em equipamentos de uso cotidiano, na saúde, no ambiente, na indústria, na agricultura e na geração de energia elétrica.

(EM13CNT104) Avaliar os benefícios e os riscos à saúde e ao ambiente, considerando a composição, a toxicidade e a reatividade de diferentes materiais e produtos, como também o nível de exposição a eles, posicionando-se criticamente e propondo soluções individuais e/ou coletivas para seus usos e descartes responsáveis.

(EM13CNT105) Analisar os ciclos biogeoquímicos e interpretar os efeitos de fenômenos naturais e da interferência humana sobre esses ciclos, para promover ações individuais e/ou coletivas que minimizem consequências nocivas à vida.

(EM13CNT106) Avaliar, com ou sem o uso de dispositivos e aplicativos digitais, tecnologias e possíveis soluções para as demandas que envolvem a geração, o transporte, a distribuição e o consumo de energia elétrica, considerando a disponibilidade de recursos, a eficiência energética, a relação custo/benefício, as características geográficas e ambientais, a produção de resíduos e os impactos socioambientais e culturais.

(EM13CNT107) Realizar previsões qualitativas e quantitativas sobre o funcionamento de geradores, motores elétricos e seus componentes, bobinas, transformadores, pilhas, baterias e dispositivos eletrônicos, com base na análise dos processos de transformação e condução de energia envolvidos – com ou sem o uso de dispositivos e aplicativos digitais –, para propor ações que visem a sustentabilidade.

Competência específica 2: Analisar e utilizar interpretações sobre a dinâmica da Vida, da Terra e do Cosmos para elaborar argumentos, realizar previsões sobre o funcionamento e a evolução dos seres vivos e do Universo, e fundamentar e defender decisões éticas e responsáveis.

Habilidades da competência específica 2:

(EM13CNT201) Analisar e discutir modelos, teorias e leis propostos em diferentes épocas e culturas para comparar distintas explicações sobre o surgimento e a evolução da Vida, da Terra e do Universo com as teorias científicas aceitas atualmente.

(EM13CNT202) Analisar as diversas formas de manifestação da vida em seus diferentes níveis de organização, bem como as condições ambientais favoráveis e os fatores limitantes a elas, com ou sem o uso de dispositivos e aplicativos digitais (como *softwares* de simulação e de realidade virtual, entre outros).

(EM13CNT203) Avaliar e prever efeitos de intervenções nos ecossistemas, e seus impactos nos seres vivos e no corpo humano, com base nos mecanismos de manutenção da vida, nos ciclos da matéria e nas transformações e transferências de energia, utilizando representações e simulações sobre tais fatores, com ou sem o uso de dispositivos e aplicativos digitais (como *softwares* de simulação e de realidade virtual, entre outros).

(EM13CNT204) Elaborar explicações, previsões e cálculos a respeito dos movimentos de objetos na Terra, no Sistema Solar e no Universo com base na análise das interações gravitacionais, com ou sem o uso de dispositivos e aplicativos digitais (como *softwares* de simulação e de realidade virtual, entre outros).

(EM13CNT205) Interpretar resultados e realizar previsões sobre atividades experimentais, fenômenos naturais e processos tecnológicos, com base nas noções de probabilidade e incerteza, reconhecendo os limites explicativos das ciências.

(EM13CNT206) Discutir a importância da preservação e conservação da biodiversidade, considerando parâmetros qualitativos e quantitativos, e avaliar os efeitos da ação humana e das políticas ambientais para a garantia da sustentabilidade do planeta.

(EM13CNT207) Identificar, analisar e discutir vulnerabilidades vinculadas às vivências e aos desafios contemporâneos aos quais as juventudes estão expostas, considerando os aspectos físico, psicoemocional e social, a fim de desenvolver e divulgar ações de prevenção e de promoção da saúde e do bem-estar.

(EM13CNT208) Aplicar os princípios da evolução biológica para analisar a história humana, considerando sua origem, diversificação, dispersão pelo planeta e diferentes formas de interação com a natureza, valorizando e respeitando a diversidade étnica e cultural humana.

(EM13CNT209) Analisar a evolução estelar associando-a aos modelos de origem e distribuição dos elementos químicos no Universo, compreendendo suas relações com as condições necessárias ao surgimento de sistemas solares e planetários, suas estruturas e composições e as possibilidades de existência de vida, utilizando representações e simulações, com ou sem o uso de dispositivos e aplicativos digitais (como *softwares* de simulação e de realidade virtual, entre outros).

Competência específica 3: Investigar situações-problema e avaliar aplicações do conhecimento científico e tecnológico e suas implicações no mundo, utilizando procedimentos e linguagens próprios das Ciências da Natureza, para propor soluções que considerem demandas locais, regionais e/ou globais, e comunicar suas descobertas e conclusões a públicos variados, em diversos contextos e por meio de diferentes mídias e tecnologias digitais de informação e comunicação (TDIC).

Habilidades da competência específica 3:

(EM13CNT301) Construir questões, elaborar hipóteses, previsões e estimativas, empregar instrumentos de medição e representar e interpretar modelos explicativos, dados e/ou resultados experimentais para construir, avaliar e justificar conclusões no enfrentamento de situações-problema sob uma perspectiva científica.

(EM13CNT302) Comunicar, para públicos variados, em diversos contextos, resultados de análises, pesquisas e/ou experimentos, elaborando e/ou interpretando textos, gráficos, tabelas, símbolos, códigos, sistemas de classificação e equações, por meio de diferentes linguagens, mídias, tecnologias digitais de informação e comunicação (TDIC), de modo a participar e/ou promover debates em torno de temas científicos e/ou tecnológicos de relevância sociocultural e ambiental.

(EM13CNT303) Interpretar textos de divulgação científica que tratem de temáticas das Ciências da Natureza, disponíveis em diferentes mídias, considerando a apresentação dos dados, tanto na forma de textos como em equações, gráficos e/ou tabelas, a consistência dos argumentos e a coerência das conclusões, visando construir estratégias de seleção de fontes confiáveis de informações.

(EM13CNT304) Analisar e debater situações controversas sobre a aplicação de conhecimentos da área de Ciências da Natureza (tais como tecnologias do DNA, tratamentos com células-tronco, neurotecnologias, produção de tecnologias de defesa, estratégias de controle de pragas, entre outros), com base em argumentos consistentes, legais, éticos e responsáveis, distinguindo diferentes pontos de vista.

(EM13CNT305) Investigar e discutir o uso indevido de conhecimentos das Ciências da Natureza na justificativa de processos de discriminação, segregação e privação de direitos individuais e coletivos, em diferentes contextos sociais e históricos, para promover a equidade e o respeito à diversidade.

(EM13CNT306) Avaliar os riscos envolvidos em atividades cotidianas, aplicando conhecimentos das Ciências da Natureza, para justificar o uso de equipamentos e recursos, bem como comportamentos de segurança, visando à integridade física, individual e coletiva, e socioambiental, podendo fazer uso de dispositivos e aplicativos digitais que viabilizem a estruturação de simulações de tais riscos.

(EM13CNT307) Analisar as propriedades dos materiais para avaliar a adequação de seu uso em diferentes aplicações (industriais, cotidianas, arquitetônicas ou tecnológicas) e/ou propor soluções seguras e sustentáveis considerando seu contexto local e cotidiano.

(EM13CNT308) Investigar e analisar o funcionamento de equipamentos elétricos e/ou eletrônicos e sistemas de automação para compreender as tecnologias contemporâneas e avaliar seus impactos sociais, culturais e ambientais.

(EM13CNT309) Analisar questões socioambientais, políticas e econômicas relativas à dependência do mundo atual em relação aos recursos não renováveis e discutir a necessidade de introdução de alternativas e novas tecnologias energéticas e de materiais, comparando diferentes tipos de motores e processos de produção de novos materiais.

(EM13CNT310) Investigar e analisar os efeitos de programas de infraestrutura e demais serviços básicos (saneamento, energia elétrica, transporte, telecomunicações, cobertura vacinal, atendimento primário à saúde e produção de alimentos, entre outros) e identificar necessidades locais e/ou regionais em relação a esses serviços, a fim de avaliar e/ou promover ações que contribuam para a melhoria na qualidade de vida e nas condições de saúde da população.

Fonte: BRASIL. Ministério da Educação. **Base Nacional Comum Curricular**: educação é a base. Brasília, DF: MEC, 2018. p. 553-560.

É importante destacar que a mobilização de competências e habilidades é um dos objetivos da BNCC, que pode ser alcançado de diversas formas. A obra fornece sugestões e metodologias para isso, mas ela também pode ser utilizada como base para atividades planejadas pelo corpo docente da escola, envolvendo elementos diversos do currículo escolar para, por exemplo, envolver aspectos de territorialidade ou diferentes culturas juvenis. Essa escolha fica a cargo do corpo pedagógico da escola.

Outros aspectos interessantes já presentes nas competências do Ensino Fundamental e reforçados na etapa do Ensino Médio referem-se às possibilidades de interdisciplinaridade com outras áreas do conhecimento.

A integração entre Ciências da Natureza e outras áreas do conhecimento aparece em diversificadas atividades, como interpretação de gráficos e tabelas, interpretação e inferência de textos, análise de impactos sociais de alterações ambientais e do desenvolvimento de novas tecnologias. Organizar reuniões temáticas periódicas com professores de outros componentes curriculares pode ajudar a ressaltar essas interações e explorá-las de maneira mais eficiente em sala de aula. Em todos os volumes há temas relevantes que permitem essas interações.

Culturas juvenis e a sala de aula

Considerando as diversidades regionais e locais, bem como a pluralidade de interesses dos jovens, é importante conhecer os variados interesses dos jovens que convivem na escola. Isso envolve preferências sobre modalidades esportivas; estilos musicais, artísticos e culturais e eventos frequentados pelos estudantes, entre outros aspectos. Verificar essas preferências dos estudantes permite contextualizar diferentes temas, bem como relacioná-los à realidade local, o que facilita o engajamento estudantil e tende a melhorar o aproveitamento dos estudantes em sala de aula.

É possível definir as culturas juvenis como modos de vida específicos e práticas habituais dos jovens, que expressam certos significados e valores tanto no âmbito das instituições quanto no âmbito da vida cotidiana. Entender, por exemplo, como os jovens locais veem os efeitos das mudanças climáticas ajuda a desenvolver temas de Ciências da Natureza, bem como a solicitar apresentações ou propor atividades práticas que permitam conhecer diferentes pontos de vista, integrando competências e habilidades da BNCC, o currículo escolar e o projeto de vida dos estudantes.

Uma possível forma de relacionar culturas juvenis e Ciências da Natureza é incentivar os estudantes a incorporarem temas e debates da área em suas formas de expressão, seja por fanzines, músicas, esculturas etc. Temas como a participação de mulheres no desenvolvimento científico ou a valorização de pesquisadoras e pesquisadores afrodescendentes podem ser trabalhados de diversas formas, dando vazão às expressões culturais dos estudantes. Dessa forma, valoriza-se um tema central, permitindo que ele seja explorado de diferentes formas.

Cuidados com estudantes com deficiência

De acordo com a lei 13.146/2015:

> Art. 2º Considera-se pessoa com deficiência aquela que tem impedimento de longo prazo de natureza física, mental, intelectual ou sensorial, o qual, em interação com uma ou mais barreiras, pode obstruir sua participação plena e efetiva na sociedade em igualdade de condições com as demais pessoas.

Fonte: BRASIL. Senado Federal. **Estatuto da Pessoa com Deficiência**. 3. ed. Brasília: Senado Federal, Coordenação de Edições Técnicas, 2019. Disponível em: https://www2.senado.leg.br/bdsf/bitstream/handle/id/554329/estatuto_da_pessoa_com_deficiencia_3ed.pdf. Acesso em: 13 set. 2024.

Considerando princípios éticos, a noção de cidadania e a Constituição, é importante e necessário propiciar a pessoas com deficiência pleno acesso ao estudo.

É importante levantar aspectos individuais dos estudantes para selecionar estratégias adequadas, cuidando que sejam inclusivas e integrem um estudante em particular ao restante da turma, que também pode aprender com isso.

Considerando estudantes com deficiências visuais, por exemplo, podem ser utilizadas estratégias que mobilizem a maior quantidade possível das distintas modalidades perceptivas, como a estimulação tátil, auditiva e verbal, que auxiliam na formação de imagens mentais.

Estudantes com deficiências auditivas podem ser auxiliados pelo uso de intérpretes da Língua Brasileira de Sinais (Libras), que atende a diversos critérios linguísticos necessários, seja no léxico ou na sintaxe, e é capaz de gerar grande diversidade de sentenças. Entretanto, há cuidados a serem tomados: de forma geral, a educação científica dos tradutores e intérpretes de Libras é generalista, o que pode levar a dificuldades na construção de sinais-termos. Assim, a relação construtiva entre docentes de Ciências da Natureza e tradutores/intérpretes é importante para criar estratégias de tradução e interpretação adequadas.

Além de deficiências físicas, sensoriais e intelectuais visíveis também é importante considerar deficiências não visíveis, como Transtorno do Déficit de Atenção e Hiperatividade (TDAH), dislexia e Transtorno do Espectro Autista (TEA). Essas condições podem afetar a aprendizagem e/ou a participação em sala de aula e nem sempre são percebidas de imediato. Estudantes com TDAH, por exemplo, podem ter dificuldades em manter o foco por longos períodos e requerem estratégias que incluam pausas, estímulos visuais e auditivos, além de atividades que permitam sua movimentação e engajamento ativo. Por sua vez, a dislexia pode comprometer o desenvolvimento da leitura e da escrita, necessitando que o professor ofereça materiais acessíveis, como textos com tipografias adequadas, e o uso de recursos multimodais, como vídeos e áudios.

É importante que o ambiente em sala de aula seja acolhedor e respeitoso, para que todos aprendam não apenas conteúdos específicos de Ciências da Natureza, mas formas de expressão, linguagens e a utilização de materiais que mobilizem competências gerais da BNCC, especialmente a 9 e a 10.

Possibilidades no ensino de Ciências da Natureza

Atividades práticas

A educação formal é essencial para que os estudantes tenham acesso às múltiplas leituras possíveis do que se convenciona denominar "realidade" e para que eles possam explicar os fenômenos naturais com base nos princípios norteadores do saber científico, analisando-os de maneira crítica. De acordo com o relatório da Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico (OECD) de 2017, para que uma pessoa consiga discutir criticamente questões científicas e tecnológicas

ela precisa desenvolver três competências básicas, utilizadas no documento como base do letramento científico:

> A primeira é a capacidade de fornecer explicações para fenômenos naturais, artefatos técnicos e tecnologias e suas implicações para a sociedade. Tal capacidade requer um conhecimento das principais ideias explicativas da Ciência e das questões que emolduram a prática e os objetivos da Ciência. A segunda é a competência para usar um conhecimento e compreender a investigação científica para: identificar questões que podem ser respondidas por investigação científica; identificar se os procedimentos adequados foram utilizados e propor maneiras de eventualmente abordar tais questões. A terceira é a competência para interpretar e avaliar dados e evidências cientificamente e avaliar se as conclusões são justificadas.
>
> **Fonte:** OECD. Education at a Glance 2017: OECD Indicators. **OECD Publishing**, Paris, 12 set. 2017. Disponível em: https://www.oecd-ilibrary.org/education/education-at-a-glance-2017_eag-2017-en. Acesso em: 13 set. 2024. (Tradução dos autores).

A coleção mostra que o conhecimento científico é estabelecido, entre outros aspectos, com base em experimentos e observações, estando permanentemente sujeito a revisões e aprimoramentos. No tocante à realização de atividades práticas, é importante considerar princípios de segurança e alertar os estudantes para evitar que corram riscos ou que realizem procedimentos perigosos ou inadequados (como o descarte de materiais perigosos em uma pia comum, por exemplo). Esses cuidados envolvem, além de estudantes e professores, outros colaboradores da escola. As atividades em que há esse tipo de risco apresentam alertas para os cuidados a serem tomados.

Estratégias de estudo

Estratégias de estudo compreendem técnicas ou processos que ajudam a aprender de forma eficiente, permitindo a compreensão e a aplicação de conhecimentos em novos contextos. Elas envolvem desde procedimentos simples até outros mais complexos. Entre as estratégias que podem ser indicadas aos estudantes, é possível citar:

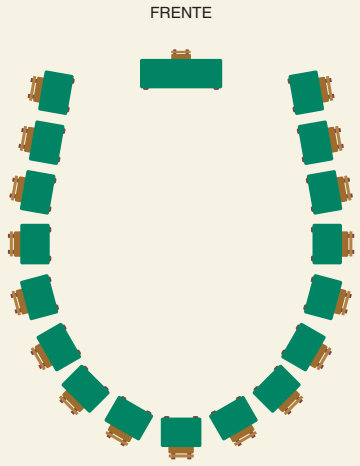
- Elaboração: explicar e descrever ideias detalhadamente;
- Prática de elaboração: escrever e/ou desenhar para relembrar o que aprendeu;
- Prática distribuída: distribuir o estudo no tempo;
- Dupla codificação: combinar palavras e imagens.

É importante oferecer diversas estratégias aos estudantes, de forma que eles possam escolher aquelas que mais se adequem a seus perfis ou utilizem várias, que podem ser intercaladas conforme a conveniência.

Organização de sala de aula

Existem diversas práticas pedagógicas, algumas delas voltadas para favorecer o protagonismo dos estudantes em atividades específicas. A organização tradicional da sala de aula, com as carteiras enfileiradas em linhas, pode ser alterada para a realização de atividades que envolvem debates e trocas de informações. Sendo assim, pode-se organizar a sala de aula de diferentes formas.

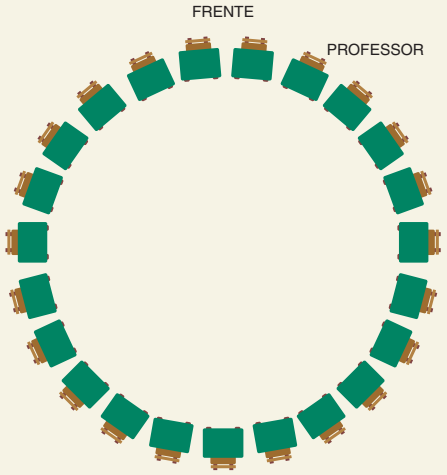
A disposição das cadeiras em U, por exemplo, facilita a interação dos estudantes com o professor:



FÓRMULA PRODUÇÕES/ARQUIVO DA DEDITORA

Fonte: EDUCAETHOS. **7 formas de organização do ambiente da sala de aula. Blog EducaEthos**, nov. 2019. Disponível em: https://educaethos.com.br/organizacao-da-sala-de-aula/. Acesso em: 13 set. 2024.

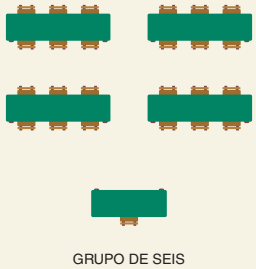
A organização em círculo facilita a interação entre os estudantes, mantendo o professor como mediador da aprendizagem:



FÓRMULA PRODUÇÕES/ARQUIVO DA DEDITORA

Fonte: EDUCAETHOS. **7 formas de organização do ambiente da sala de aula. Blog EducaEthos**, nov. 2019. Disponível em: https://educaethos.com.br/organizacao-da-sala-de-aula/. Acesso em: 13 set. 2024.

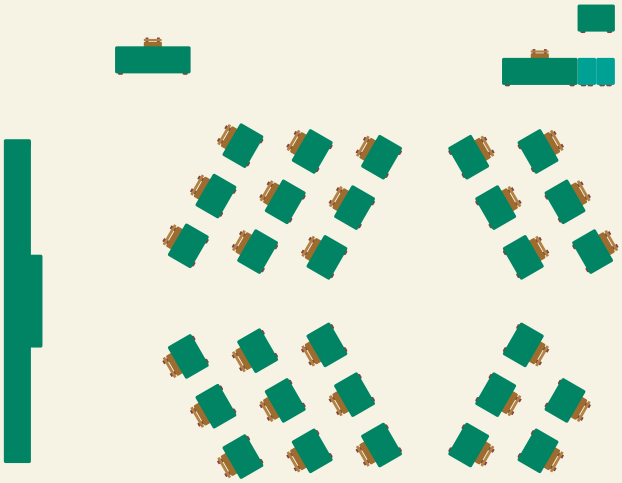
A organização em grupos possibilita que o professor mantenha um olhar pleno da sala enquanto os estudantes interagem. Além disso, permite que ele caminhe entre os grupos, atendendo cada um de forma particular:



FÓRMULA PRODUÇÕES/ ARQUIVO DA DEDITORA

Fonte: EDUCAETHOS. **7 formas de organização do ambiente da sala de aula. Blog EducaEthos**, nov. 2019. Disponível em: https://educaethos.com.br/organizacao-da-sala-de-aula/. Acesso em: 13 set. 2024.

As carteiras voltadas para o centro da sala possibilitam ao professor acompanhar a atividade com menos interferência:



FÓRMULA PRODUÇÕES/ARQUIVO DA DEDITORA

Fonte: EDUCAETHOS. **7 formas de organização do ambiente da sala de aula**. **Blog EducaEthos**, nov. 2019. Disponível em: https://educaethos.com.br/organizacao-da-sala-de-aula/. Acesso em: 13 set. 2024.

Juventude e mundo do trabalho

Uma questão geralmente presente no projeto de vida dos estudantes é a atuação profissional. Embora a formação estudantil não se volte exclusivamente à atuação a ação profissional, as relações entre temas estudados e o mundo do trabalho traz questões éticas envolvidas nas Ciências da Natureza.

Uma forma de mostrar a importância dos estudos básicos é realizar visitas a indústrias, estações de tratamento de água, universidades etc. Essa também é uma forma de estimular o interesse dos estudantes em relação a contextos locais, contribuindo com a diminuição da evasão escolar.

Educação midiática

Os estudantes da faixa etária do Ensino Médio geralmente participam de redes sociais não apenas por lazer, mas também como forma de expressão pessoal. Pesquisa realizada em 2023 pelo Centro Regional de Estudos para o Desenvolvimento da Sociedade da Informação indica que, entre pessoas de 9 a 17 anos, 95% são usuários de internet, utilizando principalmente o celular como forma de acesso. Há diferenças na quantidade e na qualidade desse acesso, mas, de forma geral, o jovem brasileiro tem acesso às diferentes mídias disponíveis na internet, bem como oportunidade de produzi-las.

Mídias são veículos para debates e obtenção de informações sobre diversos temas atuais, como mudanças climáticas, eficiência de vacinas, segurança no trânsito, desenvolvimento científico e diversos outros.

O desenvolvimento da educação midiática, que pode ser entendido como um conjunto de habilidades para acessar, analisar, criar e participar de maneira crítica do ambiente informacional e midiático em todos os seus formatos (dos impressos aos digitais), ajudando os estudantes tanto a utilizarem e ressignificarem o que foi estudado como a desenvolverem competências gerais da BNCC, especialmente a competência geral 5.

Argumentação e leitura inferencial

Estratégias diversificadas são essenciais no ensino de Ciências. Uma dessas estratégias é o ensino por investigação, com a utilização de processos comuns ao fazer científico. Atividades de investigação proporcionam aos estudantes a aquisição de novos conhecimentos, levando-os a pensar de maneira lógica sobre os fatos cotidianos e resolução de problemas práticos; em muitos casos, essas atividades envolvem a leitura e a interpretação de textos. Além de aproximar os estudantes do pensamento científico, tais atividades trazem diversos benefícios ao processo de ensino-aprendizagem, tais como a valorização da experiência cotidiana, o estímulo à análise e à interpretação de textos, além do desenvolvimento de competências de investigação e compreensão.

Os processos que envolvem análise, avaliação e construção de argumentos estão vinculados à linguagem científica. De acordo com Kelly (2008), além de permitir avaliar os processos de construção do conhecimento, a argumentação está vinculada à própria linguagem científica. A argumentação está presente no debate de pontos de vista distintos, desde a compreensão de enunciados, a avaliação de problemas e a comunicação de ideias, entre outras atividades que integram o processo de ensino e aprendizagem em Ciências.

Esta coleção inclui diversas atividades compatíveis com a proposta da BNCC de desenvolver a capacidade inferencial, que associa conhecimentos prévios às novas informações apresentadas. A interpretação de textos e a leitura inferencial são necessárias para a formulação de argumentos que embasam diferentes pontos de vista sobre temas científicos. Entre as atividades que atendem a tal perspectiva estão a análise de textos, o debate de pontos de vista distintos, a compreensão de enunciados, a avaliação de problemas, a pesquisa por informações de variados temas e a comunicação de ideias.

As propostas baseadas nessas abordagens favorecem o desenvolvimento da habilidade de estabelecer associações apropriadas, possibilitando identificar em um texto incoerências entre ideias previamente construídas, generalizações indevidas, desvios do assunto principal ou a utilização de argumentos evasivos, que permitem inferir a falta de consenso entre as ideias ou a fragilidade argumentativa. Esses aspectos possibilitam pontos de integração entre a área de Ciências da Natureza e a de Linguagens.

Pensamento computacional

O pensamento computacional pode ser entendido como um conjunto de técnicas que utiliza conceitos oriundos de ciência da computação para solucionar problemas. Essas técnicas não requerem necessariamente a utilização de computadores. O pensamento computacional refere-se a um processo cognitivo, a uma forma de analisar e resolver problemas – com capacidade crítica, criativa e estratégica – e que pode ser empregada nas mais diversas áreas de conhecimento com a finalidade de solucionar situações propostas, de maneira individual ou colaborativa. Nas últimas décadas o pensamento computacional vem sendo objeto de ampla atenção em várias partes do mundo. Em certos países, habilidades relacionadas a esse tipo de prática passaram a ser consideradas essenciais.

A implementação de estratégias de pensamento computacional no currículo escolar permite estimular a criatividade e a capacidade de definir e resolver problemas que envolvam o reconhe-

cimento de padrões, a divisão do todo em partes de solução mais simples, a automação de rotinas e a tomada de decisões dentro de cenários possíveis. Essa necessidade de implementação levou ao surgimento de projetos destinados a aplicar atividades de pensamento computacional nas escolas de Ensino Fundamental e Médio. Recentemente, o ensino do pensamento computacional foi incluído na BNCC.

No pensamento computacional, a maneira de abordar uma situação-problema envolve algumas ideias básicas. Uma delas, a decomposição, caracteriza-se pela partição de um problema complexo em partes menores e mais simples de resolver, ideia vinculada à capacidade de análise. Outra ideia é o reconhecimento de padrões, que consiste na identificação de similaridades em diferentes processos para solucioná-los de maneira mais eficiente e rápida, permitindo a comparação de problemas novos com problemas já resolvidos, realizando generalizações e viabilizando, quando possível, a aplicação de soluções prévias a novas situações. A abstração, outro princípio estruturante do pensamento computacional, refere-se à capacidade de selecionar os elementos mais relevantes de um problema e considerá-los na sua modelagem, enquanto aspectos irrelevantes ou de pequena importância são minorizados. A abstração também envolve a escolha de representações adequadas a serem usadas. Uma outra ideia fundamental no pensamento computacional é a criação de algoritmos, conjuntos de procedimentos, regras e decisões para a resolução de um problema. O raciocínio algorítmico envolve a definição das etapas de resolução e inclui a explicitação de rotinas e de etapas a serem repetidas, ambas relacionadas à ideia de automação. O pensamento computacional é, assim, uma estratégia para avaliar problemas e modelar soluções de forma eficiente que pode ser vivenciado de forma integrada às Ciências da Natureza. Ao longo dos volumes desta coleção, o desenvolvimento de situações-problema envolvendo Biologia, Física e Química contempla esses diversos aspectos de pensamento computacional.

Avaliações

A avaliação pode ser analisada sob diferentes pontos de vista, mas aspetos em comum nas diversas perspectivas é que a avaliação é um elemento fundamental na prática educativa. Para Luckesi (2003), o objetivo primordial da avaliação é servir para que o docente possa analisar e refletir acerca da eficiência do seu trabalho. Visando obter os melhores resultados possíveis, o docente pode utilizar diversos instrumentos técnicos.

Nesse sentido, a BNCC menciona a necessidade de os instrumentos de avaliação serem definidos levando em conta "os contextos e as condições de aprendizagem" e que os resultados obtidos sirvam como subsídios para planejar ações visando melhorias no desempenho não somente dos estudantes, mas também dos professores e da escola. Portanto, avaliar vai muito além de mensurar a compreensão pelos estudantes dos objetos de conhecimento em si – essa deve ser uma das tarefas da avaliação, mas não a única – e não existe um instrumento único que dê conta de tudo que faz sentido ser avaliado.

Há diferentes modelos de avaliação da aprendizagem correntes que, por fornecerem informações distintas, ao serem aplicados em conjunto, oferecem uma visão mais ampla do processo educacional. A discussão apresentada reforça a importância de o docente definir durante o planejamento quais serão os modelos avaliativos escolhidos – como e quando serão aplicados –, pois eles interferem na construção da estrutura das aulas e da organização das sequências didáticas.

Para Luckesi (2004), a distinção primordial entre o ato de avaliar e o ato de examinar é que, enquanto o segundo modo classifica e seleciona, o primeiro diagnostica e inclui. Todos os modelos avaliativos comentados a seguir de alguma forma devem ser capazes de oferecer diagnósticos. Contudo, a chamada **avaliação diagnóstica** é aquela que possibilita o mapeamento das competências dos estudantes no momento inicial de uma etapa de ensino. A avaliação diagnóstica tem por objetivo disponibilizar ao docente subsídios para a adequação das atividades subsequentes às características e aos conhecimentos prévios dos estudantes. Com isso, o processo de avaliação diagnóstica permite uma personalização do ensino com base nos dados obtidos.

A **avaliação formativa** é aquela que permite redirecionar e potencializar aprendizagens em progresso, ou seja, ela permeia todas as etapas de ensino sendo muitas vezes denominada também avaliação processual. Seu objetivo é servir como um indicativo para o docente sobre os resultados de sua ação pedagógica e para sinalizar ao estudante quais são suas principais dificuldades. Assim, as defasagens verificadas ao longo das atividades que compõem a avaliação formativa não devem ser consideradas como falhas, mas como guias.

A **avaliação somativa** é pontual, individual e ocorre como fechamento de uma etapa de ensino. Geralmente é feita na forma de atividades fechadas que fornecem resultados quantitativos visando à classificação, à seleção ou à certificação, com base em critérios iguais para todos os estudantes. Essa avaliação dirige-se geralmente à equipe gestora da escola, aos pais e a administradores governamentais de ensino. A avaliação somativa tem por objetivo fazer uma síntese do que o estudante é capaz de fazer ou não no momento final de uma etapa de ensino e, como tal, em geral, ela não conta com o estudante enquanto corresponsável pelo processo avaliativo. Tal ação ficaria totalmente a cargo do docente, quando se trata de uma avaliação somativa interna, como costuma ser o caso na maior parte do percurso escolar.

Na **avaliação comparativa**, o desempenho do estudante é contrastado com o desempenho de outras turmas, escolas, países ou membros da mesma classe. Trata-se de uma avaliação que possibilita levantamentos estatísticos sobre ele, embora não permita obter informações sobre a aprendizagem de um estudante especificamente, uma vez que a referência é externa a ele e às condições de aprendizagem sendo fortemente influenciada pelas características do grupo tomado como padrão. Assim, o principal instrumento empregado para compor a avaliação comparativa são as provas padronizadas, que consistem em avaliações externas de larga escala como o Saeb, o Enem, o Pisa e os vestibulares, além de simulados aplicados na escola.

Na **avaliação ipsativa**, a aprendizagem do estudante é analisada tomando como referência a progressão do próprio estudante. Em outras palavras, comparando o estudante consigo mesmo em momento anterior do processo educativo. Dessa maneira, mesmo aqueles com maiores dificuldades não estariam em desvantagem. Ela procura valorizar a progressão do estudante em relação aos seus próprios objetivos de aprendizagem, assumindo um caráter de avaliação formativa ou avaliação para aprendizagem.

Sugestões para uso da obra

Esta obra tem como objetivo auxiliar o professor a aplicar o currículo escolar e desenvolver as competências e habilidades preconizadas na BNCC. Sendo assim, sua utilização pode ser adaptada da forma que for mais adequada ao planejamento de aulas e às particularidades de cada turma. A obra tem diferentes tipos de seções com finalidades específicas e que podem ser complementadas de acordo com a experiência do docente em sala de aula.

Possíveis cronogramas

O planejamento de aulas vai depender da carga horária de cada componente, bem como da forma de organização pedagógica da escola e dos docentes de Ciências da Natureza. É recomendado que o material seja utilizado na ordem sequencial dos capítulos e que se reserve tempo equivalente para cada componente curricular.

Considerando uma escola em que a formação geral básica se dê nos três anos do Ensino Médio, recomendamos que em cada ano seja desenvolvida uma unidade do volume único de cada componente curricular. Ainda assim, é possível organizar a estruturação do curso de outra forma. O quadro a seguir mostra sugestões de cronogramas para o uso da obra.

Sugestões por componente curricular

<table>
<tr><th>Unidades</th><th>Capítulos</th><th>Planejamento bimestral</th><th>Planejamento trimestral</th><th>Planejamento semestral</th></tr>
<tr><td rowspan="8">1</td><td>1</td><td rowspan="2">1º</td><td rowspan="3">1º</td><td rowspan="4">1º</td></tr>
<tr><td>2</td></tr>
<tr><td>3</td><td rowspan="2">2º</td></tr>
<tr><td>4</td><td rowspan="4">2º</td></tr>
<tr><td>5</td><td rowspan="2">3º</td><td rowspan="4">2º</td></tr>
<tr><td>6</td></tr>
<tr><td>7</td><td rowspan="2">4º</td><td rowspan="2">3º</td></tr>
<tr><td>8</td></tr>
<tr><td rowspan="8">2</td><td>9</td><td rowspan="2">5º</td><td rowspan="3">4º</td><td rowspan="4">3º</td></tr>
<tr><td>10</td></tr>
<tr><td>11</td><td rowspan="2">6º</td></tr>
<tr><td>12</td><td rowspan="4">5º</td><td rowspan="4">4º</td></tr>
<tr><td>13</td><td rowspan="2">7º</td></tr>
<tr><td>14</td></tr>
<tr><td>15</td><td rowspan="2">8º</td><td rowspan="2">6º</td></tr>
<tr><td>16</td></tr>
<tr><td rowspan="8">3</td><td>17</td><td rowspan="2">9º</td><td rowspan="3">7º</td><td rowspan="4">5º</td></tr>
<tr><td>18</td></tr>
<tr><td>19</td><td rowspan="2">10º</td></tr>
<tr><td>20</td><td rowspan="4">8º</td><td rowspan="4">6º</td></tr>
<tr><td>21</td><td rowspan="2">11º</td></tr>
<tr><td>22</td></tr>
<tr><td>23</td><td rowspan="2">12º</td><td rowspan="2">9º</td></tr>
<tr><td>24</td></tr>
</table>

Seções e boxes

Cada um dos volumes dos componentes curriculares de Ciências da Natureza: Biologia, Física e Química, está dividido em 3 unidades, subdivididas em 8 capítulos estruturados de maneira similar. Ao longo do capítulo são sugeridas propostas de pesquisas complementares, atividades que possibilitam a construção de conhecimentos e a aplicação de conceitos desenvolvidos no decorrer do trabalho pedagógico. A linguagem empregada procura aliar a precisão conceitual científica à clareza didática. Em diversas situações foram feitas exemplificações por meio de assuntos do cotidiano, o que torna conceitos e fenômenos científicos mais concretos para os estudantes.

A cada unidade, temos uma tarja indicando seu início. Elas indicam um agrupamento possível de temas a serem abordados pelo professor.

A abertura do capítulo introduz e contextualiza assuntos, possibilitando que, a critério do docente, possam ser exploradas as concepções alternativas que estudantes da educação básica costumam manifestar e as diversas experiências socioculturais que os jovens vivenciam. As aberturas dos capítulos também podem evidenciar a articulação entre ciência, tecnologia e cotidiano e a importância do assunto a ser trabalhado no capítulo.

Os capítulos contêm textos e seções de atividades que visam motivar os estudantes, ampliar seus conhecimentos, relacionar o conhecimento científico à vida prática, além de promover a experimentação, o trabalho individual e em grupo e a aplicação dos conhecimentos na solução de problemas e em atividades práticas.

Os boxes *Atividade em grupo* favorecem diversos processos cognitivos, como: observação, visualização, compreensão, organização, análise, síntese, comunicação de ideias científicas, dentre outros, contribuindo para a participação em debates. Também são criadas oportunidades de desenvolvimento de competências como a escrita e a divulgação e/ou publicação de resultados.

A seção *Dialogando com o texto* é diversificada e procura expandir e contextualizar os conteúdos trabalhados no capítulo. Ao promover maior diálogo entre o estudante e o livro didático, essa seção estimula o desenvolvimento de diversas habilidades essenciais, como a análise crítica, a compreensão de conceitos, a capacidade de definição, a modelagem de problemas, a resolução de questões, a comparação de informações, a capacidade de tomar decisões fundamentadas e a comunicação eficaz.

A seção *Atividade prática* propõe, de forma diversificada, arranjos experimentais ou experimentos didáticos realizáveis em ambientes escolares típicos, experimentos investigativos ou comprobatórios que podem ser feitos individualmente ou em grupo, proporcionando uma experiência ativa e colaborativa. Essas atividades estimulam o desenvolvimento de habilidades essenciais ao trabalho científico, como a observação crítica, a formulação de hipóteses, o planejamento de experimentos, a coleta e a análise de dados, a solução de problemas e a comunicação de resultados, promovendo o pensamento investigativo e o aprendizado por meio da experimentação.

A seção *Em destaque* apresenta textos de diversas fontes relacionados ao assunto apresentado, que pretendem abordar diferentes aspectos sobre a importância da Ciência e auxiliam no desenvolvimento da capacidade de intelecção de textos, da leitura inferencial e do pensamento crítico.

A seção *Aplicando conhecimentos* traz questões diretamente relacionadas ao assunto em estudo, verificando a compreensão dos conceitos principais do capítulo.

Todos os capítulos se encerram com a seção *Atividades finais*, que apresenta questões de sistematização de conhecimentos, problemas contextualizados e questões de vestibulares e do Enem. Desse modo, podem ser desenvolvidas estratégias de resolução diversificadas, aprimoramento da capacidade de fazer inferências a partir da leitura de enunciados e consolidação do aprendizado que ocorreu ao longo do estudo do capítulo.

A seção *Mundo do trabalho* apresenta aspectos da vida profissional em que são aplicados conhecimentos e procedimentos estudados nos capítulos, reforçando a conexão entre os conteúdos do livro e o mundo do trabalho.

A seção *Educação midiática* aborda o uso responsável de diferentes mídias para desenvolver habilidades de coleta de dados, de análise e de interpretação de informações, promovendo também diversas formas de comunicar argumentos e conhecimentos no campo das Ciências da Natureza. Além disso, contribui para a avaliação crítica das tecnologias digitais de informação e de comunicação, contribuindo para apresentação de textos com formas específicas de linguagem científica e tecnológica, em diferentes mídias.

Em alguns capítulos, são apresentadas variadas estratégias de estudo, tanto em forma de atividades como de procedimentos ou metodologias voltadas a consolidar o que foi estudado.

Ao longo dos capítulos também são apresentadas possibilidades de contribuições pedagógicas por meio de objetos digitais oferecidos no livro digital, nos formatos: *podcast*, vídeo, carrossel de imagens, infográfico clicável e mapa clicável.

ORIENTAÇÕES ESPECÍFICAS DESTE VOLUME

Componente curricular Física

Ao longo das últimas décadas, os objetivos traçados para a Educação Básica têm passado por profundas transformações. Entende-se que o estudante egresso do Ensino Médio deve ser capaz de atuar como protagonista no mundo contemporâneo, compreendendo, intervindo e participando da realidade, bem como agindo de forma crítica diante dos desafios que suas vivências lhe proporcionam.

A Educação Básica com enfoque na formação integral do estudante,

> [...] deve visar à formação e ao desenvolvimento humano global, o que implica compreender a complexidade e a não linearidade desse desenvolvimento, rompendo com visões reducionistas que privilegiam ou a dimensão intelectual (cognitiva) ou a dimensão afetiva. (Brasil, 2018, p. 14).

Assim, deve-se estimular a aplicação das temáticas abordadas na Educação Básica na realidade, fazendo o uso do contexto para dar sentido ao que se aprende e valorizando o protagonismo do estudante em sua aprendizagem e na construção de seu projeto de vida.

A Física, como parte da área de Ciências da Natureza e suas Tecnologias, deve alinhar-se a essa perspectiva de formação para a vida e para o aprendizado permanente. Nessa direção, ao focarmos na formação da autonomia intelectual, da cidadania e do pensamento crítico dos estudantes, os objetivos do ensino de Física vão além do desenvolvimento de habilidades e conceitos específicos desse componente curricular. Eles devem também possibilitar que o estudante estabeleça relações com outras áreas do saber, apropriando-se da estrutura do conhecimento científico, de seu potencial explicativo e transformador, e construindo uma visão mais abrangente de diversas situações.

Ao conceber a Física como um elemento para a leitura e a compreensão do mundo em contextos sociais, ambientais, culturais, políticos e econômicos, possibilita-se que o estudante perceba e compreenda a Ciência como uma construção histórica e cultural. Dessa forma, ao longo do processo de ensino-aprendizagem, mediado pelo professor, o jovem pode entender que a Ciência, e particularmente a Física, tem um caráter dinâmico, influenciando e sendo influenciada por diversas esferas e diversos agentes da sociedade contemporânea.

> Trata-se de construir uma visão da Física que esteja voltada para a formação de um cidadão contemporâneo, atuante e solidário, com instrumentos para **compreender, intervir e participar** na realidade. (Brasil, 2002, p. 59).

Nesse contexto proposto para o Ensino Médio, cabe ao professor de Física promover a integração entre a cultura e os recursos tecnológicos da Ciência, possibilitando ao estudante exercer sua cidadania de forma ativa e consciente. Ou seja, que ele seja capaz de atuar efetivamente na sociedade, interpretando fatos, fenômenos e processos naturais, além de reconhecer-se como parte integrante da Natureza e como um ser que interage com diferentes grupos sociais.

É fundamental destacar o papel do professor na formação do estudante nessa perspectiva mais ampla. Ao interpretar os pressupostos curriculares e as orientações pedagógicas, buscando uma educação inclusiva que valorize o desenvolvimento integral do estudante como ser humano, o professor assume o papel de mediador entre o jovem e o conhecimento. Dessa forma, em sua prática docente, é necessário oferecer aos estudantes experiências e atividades que promovam a reflexão e a compreensão da Ciência como parte integrante da cultura, superando, assim, visões de neutralidade científica ligadas a abordagens empiristas e indutivistas.

Então, mais do que simplesmente apresentar conceitos, o ensino de Física tem como principal objetivo levar o jovem a reconhecer a presença dessa ciência em seu cotidiano. Para relacionar os conceitos de Física com a visão de mundo do estudante, é necessário incorporar novas abordagens pedagógicas. Essas propostas devem orientar o planejamento das aulas, não apenas os conteúdos a serem ensinados. Dessa maneira, o foco do ensino deixa de ser "o que ensinar" e passa a ser "por que ensinar".

O desenvolvimento da prática docente envolve efeitos complexos de diferentes naturezas – cognitiva, afetiva, social e moral – que impactam a aprendizagem tanto dos estudantes quanto dos professores, especialmente no que se refere à socialização profissional. Dada essa complexidade, é fundamental que o professor expanda seus conhecimentos teóricos sobre o conteúdo específico de Física, bem como sobre métodos de ensino.

Participar de eventos como o Simpósio Nacional de Ensino de Física (SNEF); cursos de extensão e *workshops*, como os oferecidos, remota e presencialmente, pelo Centro Internacional de Física Teórica, do Instituto de Pesquisa Fundamental Sul-Americano (das siglas em inglês ICTP-SAIFR), focados no ensino de Física Moderna; além de cursos de pós-graduação, pode contribuir para o contínuo aprimoramento docente e um ensino de excelência, alinhado com as tendências pedagógicas contemporâneas.

Nesse sentido, as abordagens didático-pedagógicas no ensino de Física têm sido fortemente influenciadas por pesquisas acadêmicas que destacam metodologias ativas, focadas no protagonismo do estudante. Dentre elas, destaca-se o ensino por investigação e o uso de tecnologias digitais, que possibilitam aos estudantes explorar conceitos físicos de forma dinâmica e contextualizada. Essas práticas pedagógicas ressaltam a importância da interação social e da construção ativa do conhecimento. No ensino de Física, também se destaca o uso de experimentos práticos, simulações computacionais e laboratórios virtuais, ferramentas essenciais para a compreensão de conceitos abstratos e para a visualização de fenômenos complexos. Além disso, a inclusão de temas contemporâneos, como mudanças climáticas e sustentabilidade, alinhados aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), contribui para a promoção de uma formação crítica e consciente, reforçando a importância da interdisciplinaridade.

É essencial destacar a importância da presença de conteúdos de Física Moderna e Contemporânea na Educação Básica, tanto do ponto de vista conceitual quanto epistemológico. Essa abordagem vai ao encontro dos pressupostos da BNCC de formar o estudante para entender o mundo contemporâneo e suas complexas interações. Ao se familiarizarem com esses conceitos, os estudantes conseguem compreender fenômenos e temas relacionados ao avanço científico e tecnológico atual. Além disso, passam a reconhecer características distintas desses conceitos mais modernos, como incerteza, imprevisibilidade e irreversibilidade, que diferem das noções da Física Clássica e enriquecem sua formação integral.

Esta obra está organizada em um volume único, dividido em três unidades que se desdobram em oito capítulos cada. A primeira unidade explora temas relacionados à Mecânica e inclui uma introdução sobre as Ciências da Natureza e a Física. A segunda unidade foca inicialmente nos conteúdos de Física Térmica, enquanto os capítulos finais abrangem Ondulatória, Acústica e Óptica Geométrica. Por fim, a terceira unidade aborda, primeiramente, tópicos de Eletromagnetismo, encerrando com temas de Física Moderna e Contemporânea, além de questões transversais, como Nanotecnologia, geração de energia, poluição ambiental e reciclagem.

É importante ressaltar que os capítulos incluem boxes e seções com subsídios para que professores e estudantes explorem de maneira mais ampla os conteúdos do livro. Além disso, espera-se que esses recursos estimulem discussões, debates e pesquisas, enriquecendo o processo de ensino-aprendizagem dos tópicos abordados e contribuindo para uma formação mais abrangente do estudante.

Ao longo da obra, as seções *Em destaque* e os boxes *Dialogando com o texto* trazem contextualizações ou desdobramentos e aplicações do conteúdo de Física, muitas vezes entrelaçado com outros componentes curriculares.

A seção *Estratégia de estudo* e o boxe *Exercício resolvido* têm por objetivo desenvolver no estudante a autonomia em seus estudos, por meio de estratégias que podem ser aplicadas em diferentes momentos. Assim, como protagonista no processo de ensino e aprendizagem, o jovem passa a ser acompanhado pelo docente, que deve mediar essa relação com o conhecimento, observando as demandas e auxiliando nesse processo de construção da autonomia dos estudos.

A seção *Atividade prática* oportuniza a aplicação de conceitos de Física a partir de arranjos experimentais seguros e de baixa complexidade de execução.

O uso dessas seções e desses boxes pelo docente pode enriquecer sua prática pedagógica ao proporcionar um aprofundamento das temáticas abordadas ao longo das unidades e estabelecer conexões com outras áreas do conhecimento. Espera-se, assim, estimular uma postura mais ativa dos estudantes, com a atuação docente voltada para a mediação e o fomento de discussões, auxiliando os estudantes no processo de ensino-aprendizagem.

Ao longo dos capítulos há uma diversidade de conteúdos multimodais, que combinam textos verbais, imagens, gráficos e diagramas, o que contribui para enriquecer o processo de ensino-aprendizagem. Esses recursos proporcionam aos professores diferentes possibilidades de abordar os conceitos físicos em sala de aula, ao mesmo tempo em que respeitam sua autonomia e oferecem aos estudantes diferentes formas de apresentação de conteúdos.

UNIDADE 1 MECÂNICA

Capítulo 1 O conhecimento científico, as Ciências da Natureza e a Física

Objetivos do capítulo

- Distinguir fato, hipótese, teoria e lei em Ciência.
- Conhecer e compreender os elementos básicos do método científico tradicional.
- Distinguir os significados de medida, medida-padrão e unidade de medida.
- Compreender e descrever as grandezas fundamentais comprimento, massa e tempo.
- Aprender a usar os prefixos do Sistema Internacional de Unidades (SI) e a converter unidades de medida.
- Saber escrever uma medida em notação científica e calcular as operações aritméticas utilizando essa notação.
- Comparar grandezas físicas convertendo-as para uma mesma unidade de medida.
- Compreender e identificar a relação entre diferentes quantidades de grandezas físicas através de representações gráficas.

Sugestões didáticas e comentários/ Por dentro da BNCC

É importante esclarecer aos estudantes os conceitos científicos de hipótese e teoria. É possível que alguns estudantes queiram também esclarecimentos sobre o conceito científico de lei, estudado mais adiante no capítulo. Muitas vezes esses termos podem gerar confusão com termos utilizados no cotidiano, levando muitas pessoas a compreender erroneamente seu significado em termos científicos.

Solicite a seus estudantes que, ao ler o texto sobre os procedimentos de Karl Jansky, tentem identificar a pergunta que ele fez (Qual é a fonte do ruído que ocorre nas chamadas telefônicas para a Europa?). Questione os estudantes, também, sobre as observações realizadas e as hipóteses que foram levantadas. Promova e conduza um debate em classe sobre o assunto. Esse conteúdo contribui para o desenvolvimento da habilidade **EM13CNT301** a **competência específica 3** da BNCC.

Proponha a eles que sugiram unidades de medida para uma das grandezas fundamentais, como o tempo, por exemplo. Aproveite para citar e explicar o que são e quais são as grandezas físicas fundamentais (comprimento, tempo e massa). Essa abordagem também contribui para o desenvolvimento da habilidade **EM13CNT301** da BNCC.

Relacione o conceito de grandeza física com situações do dia a dia, como a medição de distância percorrida, tempo de viagem, ou a capacidade de dispositivos eletrônicos. Através de exemplos práticos, os estudantes aprenderão a utilizar corretamente os prefixos de unidades de medida, como "kilo" para quilômetros e "mega" para megabytes, compreendendo como essas escalas facilitam a representação de diferentes grandezas.

Uma forma de incentivar o interesse dos estudantes pelo conhecimento sobre representações gráficas e suas relações é mostrar que elas estão presentes no cotidiano muito mais do que eles supõem. Para isso, faça um levantamento prévio com os estudantes de situações cotidianas vividas por eles nas quais necessitaram fazer essas relações entre quantidades. Com eles, escolha os exemplos mais interessantes e pertinentes, propondo que discutam e justifiquem essas escolhas. Esse conteúdo possibilita o trabalho das habilidades **EM13CHS106** (Utilizar as linguagens cartográfica, gráfica e iconográfica, diferentes gêneros textuais e tecnologias digitais de informação e comunicação de forma crítica, significativa, reflexiva e ética nas diversas práticas sociais, incluindo as escolares, para se comunicar, acessar e difundir informações, produzir conhecimentos, resolver problemas e exercer protagonismo e autoria na vida pessoal e coletiva) ao expor amplo debate sobre a importância da representação gráfica de dados e sua aplicação para resolução de problemas; **EM13MAT501** (Investigar relações entre números expressos em tabelas para representá-los no plano cartesiano, identificando padrões e criando conjecturas para generalizar e expressar algebricamente essa generalização, reconhecendo quando essa representação é de função polinomial de 1º grau); e **EM13MAT510** (Investigar conjuntos de dados relativos ao comportamento de duas variáveis numéricas, usando ou não tecnologias da informação, e, quando apropriado, levar em conta a variação e utilizar uma reta para descrever a relação observada) ao propor a investigação de relações entre números expressos em tabelas e a representação deles no plano cartesiano, reconhecendo quando essa representação é função polinomial de 1º grau.

Atividade extra

Proponha aos estudantes que se imaginem viajando de carro por uma estrada. De repente, o carro começa a falhar e o motor deixa de funcionar. Para detectar o que pode ter ocasionado a pane, peça-lhes que utilizem o raciocínio do método científico. Para isso, eles deverão estabelecer hipóteses, verificá-las, descartar as que se mostrarem equivocadas e apresentar uma possível conclusão.

Inicialmente, recorde os passos do método científico:

Ao constatar que o carro começa a falhar e, em seguida, para, temos a **observação de um problema**. Imediatamente **levantamos hipóteses** que possam explicar o que foi observado. Peça à turma que levante as possíveis causas do evento.

Como sugestão, citamos: falta de combustível, pane elétrica, defeito no alternador, problema na bomba de combustível, problema na bateria, bobina superaquecida, ruptura da correia dentada, defeito na refrigeração, defeito no módulo da ignição eletrônica, defeito na bomba de óleo que lubrifica o motor.

Uma vez formulada uma hipótese, passamos a realizar **experimentos** para testá-la.

Por exemplo, a falta de combustível. Após colocar alguns litros de combustível no tanque, a partida deve ser dada novamente. Se o problema persistir, passamos a avaliar outra hipótese, descartando essa.

Para testar as hipóteses sugeridas, é necessário um conhecimento de mecânica automotiva que não deve ser exigido do estudante. A finalidade desta atividade é mostrar que, mesmo sem intenção, o método científico é utilizado pelas pessoas em seu cotidiano.

Essa atividade contribui para o desenvolvimento da habilidade **EM13CNT301** e, parcialmente, da **competência específica 3** da BNCC. A **competência geral 2** pode ser mobilizada nesta atividade ao exercitar a curiosidade intelectual e recorrer à abordagem própria das ciências, incluindo a investigação, a reflexão, a análise crítica, a imaginação e a criatividade, para investigar causas, elaborar e testar hipóteses, formular e resolver problemas e criar soluções com base na aplicação do método científico.

Resoluções e comentários

Em destaque

Ciência no cotidiano

Essa atividade oportuniza o desenvolvimento da habilidade **EM13CNT304**, por meio da discussão de situações controversas relacionadas com o desenvolvimento científico e tecnológico, e a **competência geral 1** da BNCC, que trata sobre a valorização do conhecimento historicamente construído sobre o mundo.

Essa atividade é uma chance para promover o desenvolvimento parcial da habilidade **EM13CNT303** e a **competência geral 7** da BNCC na medida em que é necessário ao estudante interpretar, argumentar, negociar e defender ideias associadas ao texto de forma cuidadosa e ética. E também oportuniza o desenvolvimento parcial da habilidade **EM13CNT305** e a **competência geral 9** da BNCC, na medida em que é fundamental aos estudantes que exerçam a empatia no diálogo fazendo-se respeitar quanto ao uso indevido das Ciências da Natureza, à equidade e ao respeito à diversidade e aos direitos individuais e coletivos.

No contexto dos Temas Contemporâneos Transversais (**TCT**) a seção oportuniza o desenvolvimento da macroárea temática **Ciência e Tecnologia**, na medida em que destaca a Ciência Básica como alicerce para o conhecimento e desenvolvimento das demais áreas da Ciência.

1. Espera-se que os alunos respondam GPS, internet, computador, celular, vacinas.
2. Estimule o debate saudável, promovendo a troca de ideias e a construção coletiva de conhecimento. Incentive-os a discutir diferentes perspectivas sobre o impacto da Ciência, com especial atenção à relativização do que se analisa. Por exemplo, o celular, o computador e a internet nos possibilitam conexão virtual com pessoas e acesso a uma imensa diversidade de conteúdos. No entanto, o uso excessivo dessas tecnologias pode causar impactos negativos no estado psicológico de indivíduos e interferir, de forma prejudicial, no desenvolvimento cerebral de crianças e adolescentes.

Aplicando conhecimentos

1. A palavra hipótese tem vários significados. De acordo com o dicionário Aulete Digital (disponível em: https://aulete.com.br; acesso em: 6 set. 2024), o significado que melhor se aplica ao que essa tem em um texto científico é a "acepção 1: Juízo, opinião, afirmação etc. que se consideram como válidos antes de comprovados, geralmente usada como ponto de partida para sua demonstração e comprovação".
2. Se os dados obtidos experimentalmente confirmarem a hipótese, então novos experimentos deverão ser realizados para comprovar a exatidão dos dados e da hipótese. Entretanto, se os dados não confirmarem a hipótese, ela deverá ser modificada ou, em caso extremo, totalmente descartada, sendo substituída por outra mais adequada.

Mundo do trabalho

O passado e o futuro do trabalho

Essa seção inicia as discussões sobre alguns aspectos do trabalho ao longo da coleção, como a relevância da educação na escolha de uma atividade profissional, as reflexões sobre o autoconhecimento e as afinidades dos jovens com uma carreira específica e a análise do cenário econômico atual para essa escolha.

Essa atividade possibilita o desenvolvimento da macroárea temática **TCT Economia**. A abordagem permite que os alunos analisem a evolução das relações de trabalho ao longo do tempo e reflitam sobre as tendências futuras, compreendendo o impacto das transformações econômicas e tecnológicas nas formas de trabalho e nas oportunidades de atuação profissional.

A seção também colabora para o desenvolvimento da compreensão do **ODS 4** – Educação de Qualidade, no tópico 4.4: "[...] aumentar substancialmente o número de jovens e adultos que tenham habilidades relevantes, inclusive competências técnicas e profissionais, para emprego, trabalho decente e empreendedorismo", e do **ODS 8** – Trabalho decente e crescimento econômico, no tópico 8.6: "[..] reduzir substancialmente a proporção de jovens sem emprego, educação ou formação".

No contexto da BNCC, a seção promove o desenvolvimento da **competência geral 6**, já que são abordados os contextos nos quais as diferentes formas de produção e de trabalho ocorrem, sua constante modificação e a atualização nas sociedades contemporâneas.

1. Mencione que as fiandeiras produziam manualmente fios, principalmente de algodão, para abastecer os teares conduzidos pelas tecelãs. Ambas as profissões entraram em declínio com a mecanização da produção têxtil, no fim do século XVIII, e se extinguiram com a industrialização. O acendedor de lampião, era um profissional prestigiado e com boa remuneração no Brasil.

Seu trabalho consistia na iluminação manual dos postes públicos a óleo em momentos que antecediam o pôr-do-sol, que foi vigente até meados do século XIX. Com o avanço da tecnologia, os lampiões a óleo foram substituídos por lampiões a gás e depois por lanternas elétricas. A profissão se extinguiu com a chegada da eletricidade, no final do século XIX.

2. Outros exemplos de profissões que podem se extinguir em breve: telefonista, ascensorista (ou operador de elevador), cobrador de ônibus, operador de caixas em supermercados, pessoas que aferem o consumo de água e energia elétrica residencial, entre outras. Ao citar profissões que em breve podem desaparecer, é prudente acrescentar que as potencialidades dos indivíduos que as exercem poderão ser aproveitadas em outras atividades.

3. Sobre a escolha de uma profissão, é possível que os alunos observem alguns aspectos fundamentais como: aptidões, habilidades pessoais, realização pessoal, propósito, adaptação às mudanças e inovação. A escolha de uma profissão é uma decisão complexa que envolve diversos aspectos, considerando não apenas a função da profissão na sociedade, mas também a relação pessoal do indivíduo com sua atividade profissional.

Atividade em grupo

Solicite aos alunos que observem a lousa e considerem objetos cujas medidas eles acreditam conhecer aproximadamente. Encoraje-os a pensar criativamente e a serem específicos em suas escolhas de objetos de referência, como um livro, caderno, caneta etc. Eles devem discutir em grupo e registrar suas respostas de forma clara e fundamentada, como "cerca de cinco livros alinhados horizontalmente" ou "quase seis livros alinhados horizontalmente ou, ainda, "mais de sete livros alinhados horizontalmente".

Destaque que é possível que as respostas variem entre os grupos, e isso não significa necessariamente que apenas uma está correta e as outras estão erradas. Cada grupo pode ter diferentes objetos de referência e diferentes interpretações do comprimento da lousa.

Essa atividade é uma oportunidade para oportunizar o desenvolvimento parcial da habilidade **EM13CNT205** da BNCC, para isso incentive os grupos a refletirem sobre como suas estimativas do comprimento da lousa, com base em objetos cotidianos, podem variar. Destaque a ideia de que diferentes perspectivas e experiências individuais podem influenciar as respostas.

Essa seção também possibilita o desenvolvimento das seguintes habilidades: **EM13CNT301**, pois envolve previsões e estimativas ao empregar instrumentos de medição para obtenção de dados a fim de construir e avaliar situações-problema sob uma perspectiva científica; e **EM13CNT302**, já que os estudantes terão que comunicar os resultados obtidos durante as medições e discussões trabalhadas nesta etapa.

Aplicando conhecimentos

3. a) O prefixo centi (c) equivale a 10^{-2}. Devemos, então, fazer surgir essa potência de dez na medida dada.
Assim, lembrando que $10^n \cdot 10^{-n} = 10^0 = 1$, temos:
$1{,}83\ \text{m} = 1{,}83 \cdot 10^2 \cdot 10^{-2}\ \text{m} = 1{,}83 \cdot 10^2\ \text{cm}$

b) O prefixo mili (m) equivale a 10^{-3}. Então:
$1{,}83\ \text{m} = 1{,}83 \cdot 10^3 \cdot 10^{-3}\ \text{m} = 1{,}83 \cdot 10^3\ \text{mm}$

c) O prefixo quilo (k) equivale a 10^3. Portanto:
$1{,}83\ \text{m} = 1{,}83 \cdot 10^{-3} \cdot 10^3\ \text{m} = 1{,}83 \cdot 10^{-3}\ \text{km}$

4. a) Lembrando que o prefixo quilo (k) equivale a 10^3, temos:
$2{,}5\ \text{kg} = 2{,}5 \cdot 10^3\ \text{g}$

b) Observe que $1\ \text{t} = 10^3\ \text{kg}$. Assim, devemos fazer surgir na medida de massa a potência 10^3:
$2{,}5\ \text{kg} = 2{,}5 \cdot 10^{-3} \cdot 10^3\ \text{kg} = 2{,}5 \cdot 10^{-3}\ \text{t}$

5. Devemos agora fazer duas conversões entre unidades de medida de tempo. Lembre aos alunos que 1 h = 60 min e que 1 min = 60 s.

a) $1\ \text{h}\ 40\ \text{min} = 60\ \text{min} + 40\ \text{min} = 100\ \text{min} = 1 \cdot 10^2\ \text{min}$

b) $1\ \text{h}\ 40\ \text{min} = 60\ \text{min} + 40\ \text{min} = 100\ \text{min} = 100 \cdot 60\ \text{s} = 6.000\ \text{s} = 6 \cdot 10^3\ \text{s}$

6. a) Destaque aos alunos que a duração de um evento (ou seja, determinado intervalo de tempo) é dada pela diferença entre o instante final e o instante inicial. No nosso caso: 11 h 50 min 20 s (instante final) e 10 h 05 min 30 s (instante inicial).
A duração Δt da corrida é dada, portanto, pela diferença:
$\Delta t = 11\ \text{h}\ 50\ \text{min}\ 20\ \text{s} - 10\ \text{h}\ 05\ \text{min}\ 30\ \text{s} \Rightarrow$
$\Rightarrow \Delta t = 11\ \text{h}\ 49\ \text{min}\ 80\ \text{s} - 10\ \text{h}\ 05\ \text{min}\ 30\ \text{s} \Rightarrow$
$\Rightarrow \Delta t = 1\ \text{h}\ 44\ \text{min}\ 50\ \text{s}$
Expressando esse valor em hora, temos:
$\Delta t = 1\ \text{h} + \frac{44}{60}\ \text{h} + \frac{50}{3\,600}\ \text{h} \Rightarrow \Delta t \simeq 1{,}75\ \text{h}$

b) Expressando $\Delta t = 1\ \text{h}\ 44\ \text{min}\ 50\ \text{s}$ (obtido no item **a)** em minutos, temos:
$1\ \text{h}\ 44\ \text{min}\ 50\ \text{s} = 60\ \text{min} + 44\ \text{min} + \frac{50}{60}\ \text{min} \simeq 104{,}83\ \text{min}$

c) Expressando $\Delta t = 1\ \text{h}\ 44\ \text{min}\ 50\ \text{s}$ (obtido no item **a)** em segundos, temos:
$1\ \text{h}\ 44\ \text{min}\ 50\ \text{s} = 3.600\ \text{s} + 44 \cdot 60\ \text{s} + 50\ \text{s} = 3.600\ \text{s} + 2.640\ \text{s} + 50\ \text{s} = 6.290\ \text{s}$

7. a) $1.230 = 1{,}230 \cdot 10^3$

b) $0{,}056 = 5{,}6 \cdot 10^{-2}$

c) $14 \cdot 10^{-3} = 1{,}4 \cdot 10^1 \cdot 10^{-3} = 1{,}4 \cdot 10^{-2}$

d) $0{,}88 \cdot 10^5 = 8{,}8 \cdot 10^{-1} \cdot 10^5 = 8{,}8 \cdot 10^4$

e) $65{,}4 \cdot 10^2 = 6{,}54 \cdot 10^1 \cdot 10^2 = 6{,}54 \cdot 10^3$

f) $0{,}45 \cdot 10^8 = 4{,}5 \cdot 10^{-1} \cdot 10^8 = 4{,}5 \cdot 10^7$

g) $540 = 5{,}40 \cdot 10^2$

h) $0{,}75 = 7{,}5 \cdot 10^{-1}$

Em destaque

Dados sobre as mulheres no Brasil

A atividade estimula o exercício da responsabilidade social e da cidadania ao envolver os alunos na discussão de questões éticas, democráticas, inclusivas e solidárias relacionadas às desigualdades de gênero, como é explorado na **competência geral 10** da BNCC.

A atividade também possibilita o desenvolvimento das habilidades matemáticas de análise quantitativa, possibilitando o desenvolvimento da habilidade **EM13MAT101** (Interpretar criticamente situações econômicas, sociais e fatos relativos às Ciências da Natureza que envolvam a variação de grandezas, pela análise dos gráficos das funções representadas e das taxas de variação, com ou sem apoio de tecnologias digitais) e interpretação de dados apresentados em gráficos. Além disso, a atividade incentiva os alunos a desenvolverem parcialmente habilidades de análise crítica como a **EM13CHS102** (Identificar, analisar e discutir as circunstâncias históricas, geográficas, políticas, econômicas, sociais, ambientais e culturais de matrizes conceituais (etnocentrismo, racismo, evolução, modernidade, cooperativismo/desenvolvimento etc.), avaliando criticamente seu significado histórico e comparando-as a narrativas que contemplem outros agentes e discursos), avaliando as informações apresentadas nos gráficos e relacionando-as a questões sociais relevantes.

1. Peça que os alunos se atentem às categorias do eixo horizontal para identificar qual conjunto de barras se refere aos dados do Brasil.

a) Por leitura direta da altura da barra dos homens no conjunto categorizado como "Brasil", aproximadamente R$ 2.500,00.

b) Aproximadamente R$2.000,00.

c) 77,7%. Se os alunos quiserem verificar este dado, podem dividir o rendimento médio das mulheres pelo rendimento médio dos homens, respostas anteriores (dos itens **a** e **b)**:

$$\frac{2.000}{2.500} = 0,8$$

Valor que, em porcentagem, significa 80% e está próximo dos 77,7% que o gráfico fornece.

2. As regiões Sudeste e Sul possuem as maiores diferenças de rendimentos, o que significa que apresentam as menores porcentagens da razão de rendimentos entre mulheres e homens. Já, as regiões Norte e Nordeste apresentam as menores diferenças de rendimentos, o que significa que têm as maiores porcentagens da razão de rendimentos entre mulheres e homens.

3. Espera-se que os alunos percebam que nas regiões Sudeste e Sul os rendimentos médios das pessoas são maiores (barras mais altas) e nestas localidades a diferença de rendimento entre mulheres e homens é maior. Já nas regiões Norte e Nordeste, os rendimentos médios das pessoas são menores (barras mais baixas) e a diferença de rendimento entre mulheres e homens é menor.

4. Pode-se inferir que a maior diferença de rendimento entre mulheres e homens ocorre em cargos que apresentam maiores remunerações salariais.

Aplicando conhecimentos

8. a) O gráfico informa que 10 funcionários ganham entre 0 e R$ 500,00; 4 funcionários ganham entre R$ 500,00 e R$ 1.000,00; e que, em cada uma das outras três faixas salariais, existem 2 funcionários por faixa. Portanto, o número N de funcionários é igual a:

$N = 10 + 4 + 2 + 2 + 2 = 20$ funcionários

b) Para o cálculo da média salarial, usaremos o valor médio de cada faixa de salário. Logo:

$$\overline{S} = \frac{10 \cdot 250 + 4 \cdot 750 + 2 \cdot 1.250 + 2 \cdot 1.750 + 2 \cdot 2.250}{20} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \overline{S} = \frac{2.500 + 3.000 + 2.500 + 3.500 + 4.500}{20} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \overline{S} = \frac{16.000}{20} \therefore \overline{S} = \text{R\$ } 800,00$$

c) Os salários abaixo da média são de 10 funcionários que ganham na faixa de 0 a R$ 500,00. Portanto, 50% dos funcionários dessa empresa têm salário abaixo da média.

9. a) Com base nos dados da tabela, podemos obter o total de vendas por trimestre e por região.

$V_{1T} = 20 + 30 + 46 \Rightarrow V_{1T} = 96$

$V_{2T} = 27 + 39 + 47 \Rightarrow V_{2T} = 113$

$V_{3T} = 90 + 35 + 45 \Rightarrow V_{3T} = 170$

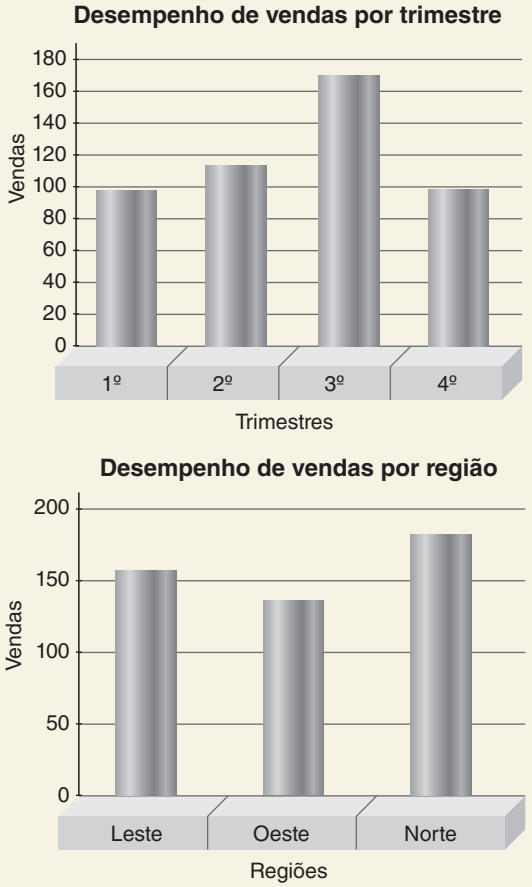
$V_{4T} = 20 + 32 + 44 \Rightarrow V_{4T} = 96$

$V_{Leste} = 20 + 27 + 90 + 20 \Rightarrow V_{Leste} = 157$

$V_{Oeste} = 30 + 39 + 35 + 32 \Rightarrow V_{Oeste} = 136$

$V_{Norte} = 46 + 47 + 45 + 44 \Rightarrow V_{Norte} = 182$

b) Os gráficos podem ser construídos com base nos dados obtidos no item **a**.



ERICSON GUILHERME LUCIANO/ARQUIVO DA EDITORA

c) De acordo com os valores obtidos no item **a**, podemos afirmar que a região que apresentou o melhor desempenho foi a região Norte e que as vendas totais tiveram o melhor resultado no 3º trimestre.

10. Deve-se analisar cada uma das alternativas para se chegar à correta.

a) Incorreta. De acordo com o gráfico, o maior desmatamento ocorreu em 1995.

b) Incorreta. De acordo com o gráfico, a área desmatada foi menor em 2007 que em 1997.

c) Incorreta. Entre 1998 e 2001, a área desmatada teve um pequeno aumento.

d) Correta. Observe que o aumento entre 1994 e 1995 foi maior que o aumento verificado entre 1997 e 1998.

e) Incorreta. Se em cada um dos anos citados o desmatamento foi menor que 20.000 km^2, não poderíamos ter naqueles três anos um total de área desmatada maior que 60.000 km^2.

Estratégia de estudos

Nesta seção, espera-se que os alunos adotem, de forma autônoma, estratégias para aprimorar seu estudo e sua compreensão dos temas abordados. No entanto, por se tratar do início da prática desta atividade, a mediação do professor pode ser significativa para os alunos entenderem sua dinâmica e ainda contribuir para que eles adquiram confiança na realização de suas duas etapas, seleção de palavras-chave e autoavaliação. Nos capítulos seguintes, haverá indicação de um afastamento

progressivo do professor visando que, ao fim do ano, os alunos desenvolvam tais estratégias de maneira independente.

Esclareça que a seleção de palavras-chave é apenas uma possibilidade de estratégia de estudo. Para o tópico *Sistema Internacional de Unidades (SI)*, palavras como massa, tempo, padrão e espaço devem ser elencadas pelos estudantes. Esses são apenas alguns exemplos; outras palavras podem ser selecionadas. Neste primeiro capítulo, pode ser produtivo incentivar o compartilhamento e a comparação da lista de palavras-chave entre os alunos, analisando se há termos que devem ser incluídos ou excluídos. Este momento colaborativo pode ser útil para esclarecer dúvidas, permitindo que os alunos se ajudem mutuamente e, se necessário, solicitem auxílio do professor.

Atividades finais

1. Vamos analisar cada uma das igualdades:

1-) $50\ m^3 = 50 \cdot 10^6\ cm^3$

$50\ m^3 = 50 \cdot (10^2\ cm)^3 = 50 \cdot 10^6\ cm^3$

A afirmação 1 está correta.

2-) $20\ m/s = 0{,}072 \cdot 10^3\ km/h$

$20\ m/s = \dfrac{20 \cdot 10^{-3}\ km}{\frac{1}{3.600}\ h} = 20 \cdot 10^{-3} \cdot 3{,}6 \cdot 10^3\ km/h =$

$= 72\ km/h$

A afirmação 2 está correta.

3-) $35\ mg = 3{,}5 \cdot 10^{-5}\ kg$

$35\ mg = 3{,}5 \cdot 10 \cdot 10^{-3}\ g = 3{,}5 \cdot 10 \cdot 10^{-3} \cdot 10^{-3}\ kg = 3{,}5 \cdot 10^{-5}\ kg$

A afirmação 3 está correta.

Logo, as afirmações 1, 2 e 3 estão corretas.

Alternativa **e**.

2. Dado que 1 fl oz = 2,95 cL, podemos fazer a conversão de mL para fl oz:

$355\ mL = 35{,}5\ cL = 35{,}5 \cdot \left(\dfrac{1\ fl\ oz}{2{,}95}\right) = 12{,}03\ fl\ oz$

Alternativa **c**.

3. Calculando a razão entre o número de peças produzidas e o número de horas trabalhadas em cada dia, temos:

Dia 1: $\dfrac{800}{4} = 200$ Dia 4: $\dfrac{1.800}{9} = 200$

Dia 2: $\dfrac{1.000}{8} = 125$ Dia 5: $\dfrac{1.400}{10} = 140$

Dia 3: $\dfrac{1.100}{5} = 220$

Como a maior razão ocorre no dia 3, essa é a nossa solução.

Alternativa **c**.

Proposta de avaliação

As atividades **1**, **2** e **3** das *Atividades finais* possibilitam uma avaliação abrangente da aprendizagem dos estudantes a respeito de conteúdos-chave do capítulo.

Capítulo 2 Cinemática

Objetivos do capítulo

- Reconhecer que os movimentos do cotidiano podem ser descritos utilizando grandezas cinemáticas.
- Diferenciar movimentos com velocidade constante e variável.
- Descrever os movimentos uniforme e uniformemente variado usando funções matemáticas e gráficos cartesianos.
- Descrever o movimento de queda livre sem resistência do ar.
- Reconhecer as grandezas físicas escalar e vetorial.
- Conhecer e saber descrever as representações vetoriais gráficas e algébricas.
- Conhecer as operações vetoriais e saber utilizá-las com as grandezas físicas vetoriais.
- Reconhecer movimentos bidimensionais e saber representá-los por vetores.
- Relacionar as funções horárias do MU e do MUV aos movimentos decorrentes de um lançamento oblíquo e de um lançamento horizontal.

Sugestões didáticas e comentários/ Por dentro da BNCC

Vale ressaltar que, ao longo deste capítulo, há diversas atividades que abordam a **competência geral 4** por meio de análise de dados em tabelas, propondo ao estudante a utilização e compreensão de uma linguagem matemática e científica, para expressar e partilhar informações, experiências e ideias. É importante trabalhar os conceitos de cinemática (posição, velocidade e aceleração) usando situações cotidianas, peça que os alunos citem alguns exemplos. As situações mais comumente apresentadas referem-se a pessoas dentro de veículos (ônibus, carros, trens, metrôs), durante freadas ou arrancadas, a brinquedos de parques de diversão, principalmente montanhas-russas, e a aviões, durante decolagens e aterrissagens.

Ao iniciar o tema relacionado com os movimentos uniforme e uniformemente variado mencione aos alunos que o mais importante é que entendam as características do movimento e não a simples memorização de "fórmulas".

Uma vez que os conceitos tenham sido estabelecidos e reforçados com exemplos cotidianos, pode-se passar para a relação deles com a Matemática, descrevendo como as funções horárias servem de preditoras dos parâmetros de movimento de um corpo (posição, velocidade e aceleração). Evite que essas funções sejam relacionadas com fórmulas que os estudantes talvez conheçam graças a truques mnemônicos e músicas. Também é importante trabalhar a representação gráfica das funções horárias no plano cartesiano, ressaltando a previsão de um instante futuro que essas funções permitem fazer sobre a posição, velocidade e aceleração dos corpos em movimento. Pode-se trabalhar com a representação gráfica desses movimentos e fazer a ligação com os gráficos vistos em Matemática (funções do 1º e 2º grau).

Ao abordar o tema sobre movimento vertical, mencione a importância de Galileu Galilei (1564-1642) no estudo da lei de queda dos corpos. Segundo essa lei, quando um corpo cai livremente, isto é, quando desprezamos a resistência do ar, sua aceleração é constante e a denominamos aceleração da gravidade, que é a mesma para todos os corpos leves ou pesados, grandes ou pequenos. Mencione que, dada uma aceleração da gravidade constante, os corpos em queda livre realizam um movimento retilíneo e uniformemente variado. Portanto, valem as mesmas funções horárias do MUV. Esse tema, junto com o tema sobre lançamentos, possibilita o desenvolvimento da habilidade **EM13CNT204**, pois permite ao estudante elaborar explica-

ções, previsões e cálculos sobre os movimentos de objetos na Terra, no Sistema Solar e no Universo com base na análise das interações gravitacionais.

Um ponto importante na formalização do conceito de vetor é distinguir os conceitos de direção e de sentido de uma grandeza física vetorial. Após expor claramente a diferença formal entre estes conceitos, mostrando que, para cada direção, há dois sentidos, verifique a compreensão dos estudantes solicitando que deem exemplos. Este tema possibilita o desenvolvimento da habilidade **EM13MAT308** (Aplicar as relações métricas, incluindo as leis do seno e do cosseno ou as noções de congruência e semelhança, para resolver e elaborar problemas que envolvem triângulos, em variados contextos), devido ao uso das relações métricas que envolvem triângulos, principalmente, no cálculo do módulo de vetores resultantes. De fato, a álgebra vetorial requer conhecimentos da trigonometria para a realização de operações algébricas com vetores. Contudo, foque, inicialmente, na utilização dos métodos gráficos como a regra do paralelogramo e o método da linha poligonal até que ambos os métodos estejam bem claros.

Aproveite o conteúdo sobre vetores para aplicar um tratamento vetorial na análise de lançamentos de projéteis. É importante enfatizar aos estudantes que a decomposição do movimento oblíquo leva a dois tipos de movimento, de acordo com as direções: movimento uniforme na direção horizontal e movimento uniformemente variado na direção vertical.

Resoluções e comentários

Atividade em grupo

Ao apresentar a atividade aos alunos destaque a mudança na percepção de velocidade, mencionando que o que era considerado alta velocidade no passado agora parece relativamente lento.

Conduza uma discussão em sala de aula, incentivando os alunos a compartilharem suas percepções sobre como o encurtamento de distâncias impactou a sociedade como, por exemplo, a facilidade de comunicação instantânea entre pessoas ao redor do mundo promovendo o intercâmbio cultural, a possibilidade de uma maior colaboração global e o compartilhamento de avanços tecnológicos.

Aborde também o risco da comunicação global na perda da diversidade cultural de comunidades menores que sofrem influência global de culturas dominantes. Cite, por outro lado, que a internet também possibilita a ampla divulgação de culturas de povos originários e rurais. Ademais, o deslocamento mais rápido proporciona o encontro mais frequente de familiares e amigos, favorecendo o sentimento de pertencimento e o autocuidado com a saúde mental. A discussão em sala de aula sobre esses tópicos é uma excelente oportunidade para explorar a **competência geral 9**, incentivando os alunos a refletirem sobre a valorização da diversidade e a importância do diálogo e da empatia na promoção do respeito às diferentes culturas e identidades. Ao argumentar sobre esses temas, os alunos estarão também desenvolvendo a **competência geral 7**, construindo argumentos baseados em dados confiáveis para defender pontos de vista que promovam o consumo responsável e a consciência socioambiental.

Enfatize aos alunos que, em termos econômicos e comerciais, a facilidade do deslocamento impulsiona o desenvolvimento de regiões remotas. Além disso, a tecnologia da telecomunicação permite que profissionais trabalhem para empresas em diferentes partes do mundo, alterando a dinâmica tradicional de trabalho. Esse assunto é uma ótima oportunidade para explorar o **TCT Economia**, destacando os impactos econômicos positivos e negativos que a globalização e o transporte rápido trazem para as economias locais. Essa abordagem também se relaciona ao **ODS 9**, que promove o desenvolvimento de infraestruturas resilientes e a industrialização inclusiva, destacando a importância da infraestrutura no desenvolvimento global e local.

Ao final da atividade, peça aos alunos que façam uma reflexão individual sobre como a facilidade de comunicação e a mudança de infraestruturas influenciam suas vidas diárias e o mundo ao seu redor. Nesse contexto, se possível, convide o professor de geografia para ajudar os alunos a analisarem as necessidades locais e regionais em relação a serviços básicos, como energia elétrica, telecomunicações e transporte (**EM13CNT310**), ligando essas discussões às realidades de infraestrutura da comunidade local.

Aplicando conhecimentos

1. Como exemplos de situações em que um corpo está em movimento em relação a um referencial e em repouso em relação a outro referencial, podemos citar:

- Um carro é levado por um guincho em uma avenida. Em relação a um poste o carro está em movimento. Em relação ao guincho o carro está em repouso.
- Ao ler este livro estou sentado em uma carteira na sala de aula. Em relação à sala de aula estou em repouso, mas em relação ao Sol estou em movimento.

2. Este exercício mostra que a velocidade escalar média não é a média das velocidades (um erro bastante comum). Consideremos que o percurso em cada metade da viagem seja igual a D. Aplicando a definição de velocidade escalar média para cada metade da viagem, temos:

$$v_m = \frac{\Delta s}{\Delta t} \Rightarrow 50 = \frac{D}{\Delta t_1} \Rightarrow \Delta t_1 = \frac{D}{50}$$

$$v_m = \frac{\Delta s}{\Delta t} \Rightarrow 75 = \frac{D}{\Delta t_2} \Rightarrow \Delta t_2 = \frac{D}{75}$$

Assim, para a viagem toda, encontramos:

$$v_m = \frac{D + D}{\frac{D}{50} + \frac{D}{75}} \Rightarrow v_m = \frac{2 \cdot D}{\frac{3 \cdot D + 2 \cdot D}{150}} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow v_m = 2 \cdot D \cdot \frac{150}{5 \cdot D} \therefore v_m = 60 \text{ km/h}$$

Em destaque

Velocidade máxima de deslocamento

A atividade visa explorar a relação entre a massa corporal, o comprimento e a velocidade de diferentes seres vivos. Os alunos farão um levantamento sobre a diversidade de velocidades entre os seres vivos e como elas se relacionam com suas massas corporais. Peça aos alunos que observem o gráfico e analisem a relação entre a massa corporal e a velocidade máxima por comprimento dos seres vivos. Os alunos devem chegar à conclusão de que a velocidade máxima de um ser vivo dividida por seu comprimento é aproximadamente independente da massa do ser vivo.

Essa atividade tem a possibilidade de interdisciplinaridade com o conteúdo de biologia. É possível, por exemplo, explicar como as características fisiológicas de diferentes animais, como o guepardo, o falcão-peregrino e outros, influenciam suas capacidades de atingir altas velocidades. Ele pode abordar o papel dos músculos, do metabolismo e da aerodinâmica nos animais terrestres e voadores, além de destacar a importância da biomecânica e do tamanho corporal na movimentação de organismos. Com esse apoio, os alunos podem entender melhor como a biologia influencia as variáveis físicas, como massa e velocidade, e como essas se refletem no gráfico apresentado.

1. A resposta pode ser encontrada no próprio texto, quando é mencionado que o asterisco azul representa a medida de um nadador humano. A ordem de grandeza da massa de um ser humano é 10^2 kg.

2. A curva ajustada é a reta horizontal que representa um valor constante. Essa curva representa um valor médio, apesar de existir uma dispersão dos dados. O valor indicado pela curva ajustada é da ordem de $10^1\ s^{-1}$.

3. A reta horizontal dada no gráfico mostra que a razão entre a velocidade máxima de um ser vivo e o comprimento do seu corpo não depende da massa dele.

Aplicando conhecimentos

3. A bola, inicialmente a 54 km/h (15 m/s), é imobilizada pelo goleiro em 0,5 s. Portanto, a bola, em 0,5 s, passa por uma variação de velocidade, em módulo, de 15 m/s. Isso lhe confere uma aceleração escalar média, em módulo, de 30 m/s².

4. A variação de velocidade do carro entre o instante de partida ($t = 0$) e o instante $t = 4$ s é $\Delta v_C = 30$ km/h $- 0 = 30$ km/h. Para a moto, a variação de velocidade, no mesmo intervalo de tempo, é $\Delta v_M = 45$ km/h. Pela definição de aceleração escalar média, temos:

$$\text{Moto: } \alpha_M = \frac{\Delta v_M}{\Delta t} \text{ ①} \qquad \text{Carro: } \alpha_c = \frac{\Delta v_c}{\Delta t} \text{ ②}$$

De ① e ②, lembrando que o intervalo de tempo é o mesmo, vem:

$$\frac{\alpha_M}{\alpha_C} = \frac{\Delta v_M}{\Delta v_C} = \frac{45}{30} = 1{,}5 \Rightarrow \alpha_M = 1{,}5 \cdot \alpha_C$$

Portanto, a aceleração da moto é 1,5 vez maior que a do carro.

5. A velocidade do automóvel é de:

$$v = 90 \text{ km/h} = \frac{90}{3{,}6} \text{ m/s} = 25 \text{ m/s}$$

Então, a partir da definição de velocidade escalar média, temos:

$$v_m = \frac{\Delta s}{\Delta t} \Rightarrow 25 = \frac{\Delta s}{2} \therefore \Delta s = 50 \text{ m}$$

O automóvel se desloca 50 m durante o tempo em que o motorista se distrai. Esse motorista poderia ter causado um grave acidente, por exemplo, colidindo com um carro que viajasse na sua frente com menor velocidade.

6. Lembre aos alunos que o som do trovão é produzido no mesmo instante que a luz do relâmpago. No ar, a velocidade de propagação da luz do relâmpago é de aproximadamente $3 \cdot 10^8$ m/s, enquanto o som do trovão se propaga a apenas 340 m/s. Assim, vemos primeiro a luz do relâmpago e só algum tempo depois ouvimos o som do trovão.

7. A aceleração é a grandeza que indica como a velocidade varia com o decorrer do tempo. Imagine que o movimento passe de retardado para acelerado. No instante em que ocorre essa mudança, a velocidade escalar se anula. Mas, imediatamente antes de se anular e imediatamente depois, a velocidade não é nula. Assim, há variação de velocidade e, portanto, há aceleração.

8. O exercício explora as funções horárias de um móvel em MUV e os correspondentes gráficos.

a) Comparando a função horária da velocidade, na forma genérica, com a função horária dada, temos:

$$v = v_0 + \alpha \cdot t$$
$$\downarrow \quad \downarrow$$
$$v = 1 + 2 \cdot t$$

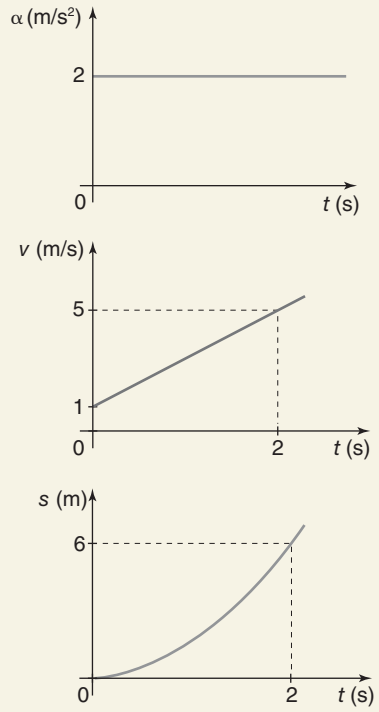
Portanto: $v_0 = 1$ m/s e $\alpha = 2$ m/s²

b) Considerando $s_0 = 0$ e com os valores conhecidos de v_0 e de α, a função horária do espaço será:

$$s = s_0 + v_0 \cdot t + \frac{\alpha}{2} \cdot t^2 \Rightarrow s = 0 + 1 \cdot t + \frac{2}{2} \cdot t^2$$

Portanto: $s = t + t^2$ (SI)

c) Os gráficos da aceleração, da velocidade e do espaço, em função do tempo, são mostrados a seguir:



ERICSON GUILHERME LUCIANO/ARQUIVO DA EDITORA

9. O exercício é uma aplicação simples e imediata da equação de Torricelli. Alerte os alunos para a necessidade de se converter a velocidade final de km/h para m/s.

Do enunciado, temos:

$v_0 = 0$, $v = 54$ km/h $= 15$ m/s e $\Delta s = 75$ m

Então, a partir da equação de Torricelli, encontramos:

$$v^2 = v_0^2 + 2 \cdot \alpha \cdot \Delta s \Rightarrow 15^2 = 0^2 + 2 \cdot \alpha \cdot 75 \therefore \alpha = 1{,}5 \text{ m/s}^2$$

10. Vamos aplicar duas vezes a equação de Torricelli $v^2 = v_0^2 + 2 \cdot \alpha \cdot \Delta s$, assim:

$0 = (60)^2 + 2 \cdot \alpha \cdot d$ ①

$v^2 = (70)^2 + 2 \cdot \alpha \cdot d$ ②

De ② – ①, obtemos:

$v^2 = (70)^2 - (60)^2 \Rightarrow v^2 = 1.300 \therefore v \simeq 36$ km/h

Dialogando com o texto

Essa atividade possibilita o desenvolvimento da habilidade **EM13CNT301** ao propiciar aos alunos que proponham diversas hipóteses e testem essas hipóteses. Ouça-os com atenção e peça a eles que façam uma explanação, esboços ou representações do raciocínio desenvolvido. A ideia é os alunos chegarem à conclusão de que na primeira situação a resistência do ar é maior na folha aberta, pois uma área maior fica exposta ao ar. Consequentemente, a folha aberta leva mais tempo para atingir o solo. No segundo momento, o apagador impede que o ar atue diretamente sobre a folha amassada e o pedaço de folha aberta. Assim, o apagador impede que o ar atrapalhe a queda dos corpos que estão sobre ele, portanto os três atingirão o solo no mesmo instante.

Incentive os alunos a visualizarem situações práticas do mesmo efeito, como, por exemplo, a analogia com um carro de Fórmula 1 que pega o "vácuo" que se forma atrás de outro carro em alta velocidade.

Aplicando conhecimentos

11. A pena e o martelo, partindo da mesma altura, atingiram o solo lunar ao mesmo tempo. Isso ocorre porque na Lua não há atmosfera e, portanto, ambos caíram com a mesma aceleração, que é a aceleração da gravidade lunar.

A resposta ao teste encontra-se na alternativa **c**.

12. O exercício explora um movimento vertical nas proximidades da superfície terrestre. Lembre aos alunos de fazer uma figura com os dados do enunciado, uma trajetória orientada e com uma origem.

A bolinha é abandonada ($v_0 = 0$) do alto do edifício e demora 3 s para atingir o solo.

Adotaremos uma trajetória orientada para baixo, com origem no ponto de partida da bolinha ($s_0 = 0$). A aceleração será $\alpha = +10$ m/s².

A função horária do espaço é:

$s = s_0 + v_0 \cdot t + \frac{\alpha}{2} \cdot t^2 \Rightarrow s = 0 + 0 + \frac{10}{2} \cdot t^2 \Rightarrow s = 5 \cdot t^2$ (SI)

Para $t = 3$ s, vem: $s = 5 \cdot 3^2 \therefore s = 45$ m

Observe que poderíamos aplicar a propriedade da velocidade média do MUV para resolver o exercício. Partindo do repouso, 3 s mais tarde a bolinha terá velocidade de 30 m/s (pois a aceleração é de 10 m/s²). A velocidade média é, portanto, de 15 m/s (média aritmética entre 0 e 30 m/s). Com essa velocidade média, em 3 s, a bolinha percorre 45 m.

Dialogando com o texto

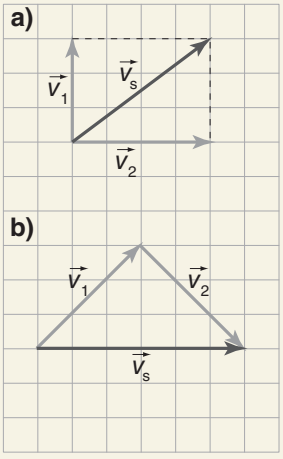
O objetivo desta atividade é relacionar indiretamente o conceito de vetores com o sistema de orientação para uma pessoa cega ou com baixa visão se deslocar dentro da escola. Espera-se que na pesquisa pelo termo "sinalização tátil de piso" os alunos se deparem com a norma técnica que estabelece as diretrizes de acessibilidade a edificações, mobiliário, espaços e equipamentos urbanos, chamada NBR 9050:2015, a qual pode ser usada como fonte para esta atividade.

Questione os alunos quais ambientes eles frequentam que possuem sinalização tátil no piso. Costuma-se encontrá-la no interior de prédios de bancos, metrôs e órgãos públicos.

Essa atividade possibilita o desenvolvimento da habilidade **EM13CNT301**, a partir da construção de questões, elaboração de hipóteses e previsões, com a finalidade de empregar instrumentos, representar e interpretar modelos explicativos, para justificar conclusões no enfrentamento de situações-problema sob uma perspectiva científica. Essa atividade também promove a empatia e a compreensão das dificuldades de deslocamento enfrentadas por pessoas cegas ou com baixa visão em sua locomoção (**competência geral 9**).

Aplicando conhecimentos

13. No primeiro esquema utilizamos a regra do paralelogramo: o vetor soma é representado pela diagonal do paralelogramo que tem origem na origem comum dos vetores. Nos dois outros esquemas, a extremidade de um vetor coincide com a origem do outro. Para esses casos aplicamos o método da linha poligonal:



ERICSON GUILHERME LUCIANO/ARQUIVO DA EDITORA

14. Nos dois primeiros esquemas os módulos dos vetores $\vec{v}_1$ e $\vec{v}_2$ são, respectivamente, $v_1 = 3 \cdot u$ e $v_2 = 4 \cdot u$. Então, a partir da aplicação do Teorema de Pitágoras, temos:

$v_s = \sqrt{(3 \cdot u)^2 + (4 \cdot u)^2} \Rightarrow v_s = 5 \cdot u$

No segundo esquema, analisando o gráfico, temos: $v_s = 6 \cdot u$

Em destaque

Esportes indígenas

Inicie a atividade explicando que ela traz a oportunidade de conhecer mais da cultura indígena, como suas manifestações esportivas e culturais. Divida os alunos em grupos de 3 a 4 ou permita que pesquisem individualmente. Reforce a importância de utilizarem fontes confiáveis de informação na internet, como *websites* do governo federal, de secretarias de educação e museus.

Incentive uma discussão sobre a importância cultural dessas práticas esportivas para os povos indígenas. Como essas atividades esportivas refletem aspectos da vida cotidiana, da história e das tradições desses grupos?

Como atividade complementar, os alunos podem criar um material didático, como cartazes ou apresentações digitais, para compartilhar com a escola ou a comunidade as informações aprendidas sobre as modalidades esportivas nos Jogos Mundiais dos Povos Indígenas com lançamento oblíquo ou horizontal.

Ao final dessa atividade, é importante destacar que, ao explorar os esportes indígenas, os alunos exercitam a **competência geral 3** da BNCC, que promove a valorização e o respeito às diversas culturas, ao reconhecerem a importância das práticas esportivas tradicionais dos povos indígenas como parte de suas identidades culturais. Ademais, isso estimula uma reflexão crítica sobre o **TCT Multiculturalismo**, incentivando o diálogo entre diferentes culturas, favorecendo a empatia e o respeito à diversidade. Ao compreenderem como essas modalidades esportivas refletem o cotidiano, as tradições e a história dos povos indígenas, os alunos passam a valorizar essas práticas não apenas como eventos esportivos, mas também como expressões culturais de resistência e preservação das identidades indígenas. Essa abordagem promove um ambiente de acolhimento e respeito, contribuindo para a formação de uma sociedade mais inclusiva e consciente das riquezas culturais do Brasil.

1. As modalidades são: arco e flecha, cabo de guerra, canoagem, atletismo (100 metros), corrida com tora, xikunahity (futebol de cabeça), futebol, arremesso de lança, luta corporal, natação, zarabatana, rônkrâ.
2. Modalidades que envolvem lançamentos oblíquos ou horizontais: arco e flecha, futebol, arremesso de lança e zarabatana.

Aplicando conhecimentos

15. O movimento vertical de ambas as bolinhas se dá sem velocidade inicial vertical ($v_{0y} = 0$), partindo da mesma altura em relação ao solo e com a mesma aceleração (aceleração da gravidade). A velocidade inicial v_0 apenas faz a bolinha azul se deslocar horizontalmente, isto é, não tem influência no movimento vertical.

16. a) Vamos adotar o eixo O_x com origem no solo e orientado no sentido da velocidade v_{0x}. O eixo O_y também terá sua origem no solo e será orientado para cima, portanto, temos $x_0 = y_0 = 0$, $v_{0x} = +\,6{,}0$ m/s, $v_{0y} = +\,8{,}0$ m/s e $\alpha = -g = -\,10$ m/s^2. Portanto:

$$y = y_0 + v_{0y} \cdot t + \frac{1}{2} \cdot g \cdot t^2 \Rightarrow 0 = 0 + 8{,}0 \cdot t - 5{,}0 \cdot t^2 \Rightarrow$$

$$\Rightarrow t \cdot (5{,}0 \cdot t - 8{,}0) = 0$$

que nos dá $t = 0$, que é o instante do lançamento e $t = 1{,}6$ s, que é o instante procurado.

b) Vamos resolver este aplicando a equação de Torricelli. No ponto de altura máxima ($y_{máx}$) a bolinha para de subir, isto é, $v_y = 0$, logo:

$$(v_y)^2 = (v_{0y})^2 + 2 \cdot \alpha \cdot \Delta y \Rightarrow 0^2 = (8{,}0)^2 - 20 \cdot (y_{máx} - y_0) \Rightarrow$$

$$\Rightarrow 20 \cdot H = 64 \therefore H = 3{,}2 \text{ m}$$

Atividades finais

1. Podemos calcular a redução de tempo Δt por:

$$\Delta t = \Delta t_{antes} - \Delta t_{depois} \Rightarrow \Delta t = \frac{\Delta s}{v_{antes}} - \frac{\Delta s}{v_{depois}} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \Delta t = \frac{22{,}5}{70} - \frac{22{,}5}{90} \therefore \Delta t = \frac{1}{14}\, h$$

Agora, precisamos converter esse valor para minutos e segundos.

$$\Delta t = \frac{1}{14}\text{ h} \Rightarrow \Delta t = \frac{60}{14}\text{min} \Rightarrow \Delta t = 4\text{min} + \frac{4}{14}\text{min} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \Delta t = 4\text{min} + \frac{4 \cdot 60}{14}\text{ s} \Rightarrow \Delta t \simeq 4\text{min}17\text{ s}$$

Portanto, alternativa **e**.

2. Nesse exercício o motorista atento começa a desacelerar com 5,00 m/s^2 a partir de uma velocidade inicial igual a 14 m/s. Aplicando as informações na equação de Torricelli, temos:

$$v^2 = v^2_0 + 2 \cdot \alpha \cdot \Delta s \Rightarrow 0^2 = (14)^2 + 2 \cdot (-5{,}00) \cdot \Delta s_1$$

$$\therefore \Delta s_1 = 19{,}6 \text{ m}$$

Para o motorista desatento, vamos separar o exercício em duas etapas. A primeira ocorre enquanto ele acelera o veículo com uma aceleração igual a $\alpha_1 = 1{,}00$ m/s^2 de uma velocidade $v_0 = 14$ m/s até a velocidade $v = 15$ m/s; na segunda etapa, ele desacelera o automóvel com uma desaceleração igual a $\alpha_2 = -5{,}00$ m/s^2 até parar. Assim, temos:

$$v^2 = v^2_0 + 2 \cdot \alpha_1 \cdot \Delta s_2 \Rightarrow (15)^2 = (14)^2 + 2 \cdot (1{,}00) \cdot \Delta s_2$$

$$\therefore \Delta s_2 = 14{,}5 \text{ m}$$

Na segunda etapa, ele desacelera o automóvel com uma desaceleração igual a $\alpha_2 = -5{,}00$ m/s^2 até parar. Assim, temos:

$$v^2 = v^2_0 + 2 \cdot \alpha_2 \cdot \Delta s'_1 \Rightarrow 0^2 = (15)^2 + 2 \cdot (-5{,}00) \cdot \Delta s'_1$$

$$\therefore \Delta s'_1 = 22{,}5 \text{ m}$$

Dessa forma, o motorista desatento percorre um total de: $\Delta s_{2total} = 22{,}5 + 14{,}5 \therefore \Delta s_{2total} = 37$ m. Comparando com o deslocamento do motorista atento, o motorista desatento percorre um total de: 37 m – 19,6 m = 17,4 m. Portanto, alternativa **e**.

3. A propagação se dá ao longo de uma distância de $\Delta s = 0{,}2$ m em um intervalo de tempo $\Delta t = 0{,}01$ s. Assim, sua velocidade média é:

$$v_m = \frac{\Delta s}{\Delta t} \Rightarrow v_m = \frac{0{,}2}{0{,}01} \therefore v_m = 20 \text{ m/s}$$

Sendo a velocidade diretamente proporcional à raiz quadrada do diâmetro, com um diâmetro duas vezes maior, a velocidade será multiplicada por $\sqrt{2}$, assim:

$$v'_m = 20 \cdot \sqrt{2} \therefore v'_m \simeq 28 \text{ m/s}$$

Então, a partir da definição de velocidade escalar média, o intervalo de tempo será:

$$v'_m = \frac{\Delta s}{\Delta t'} \Rightarrow \Delta t' = \frac{\Delta s}{v'_m} \therefore \Delta t' \simeq 0{,}007\ s$$

4. Diagrama I: A extremidade de $\vec{v}_1$ coincide com a origem de $\vec{v}_2$. O vetor $\vec{v}_3$ tem origem na origem de $\vec{v}_1$ e extremidade na extremidade de $\vec{v}_2$. Logo, $\vec{v}_3$ é o vetor soma: $\vec{v}_3 = \vec{v}_1 + \vec{v}_2$. Portanto, o diagrama I está associado com o item **c**.

Diagrama II: A extremidade de $\vec{v}_1$ coincide com a origem de $\vec{v}_2$. A extremidade de $\vec{v}_2$ coincide com a origem de $\vec{v}_3$. A extremidade de $\vec{v}_3$ coincide com a origem de $\vec{v}_1$. Nessas condições, a origem do primeiro coincide com a extremidade do último. Logo, o vetor soma é nulo. Repare, então, que os "vetores são consecutivos" e formam uma linha poligonal fechada. Logo, $\vec{v}_1 + \vec{v}_2 + \vec{v}_3 = \vec{0}$. Portanto, o diagrama II está associado com o item **a**.

Diagrama III: A extremidade de $\vec{v}_3$ coincide com a origem de $\vec{v}_2$. O vetor $\vec{v}_1$ tem origem na origem de $\vec{v}_3$ e extremidade

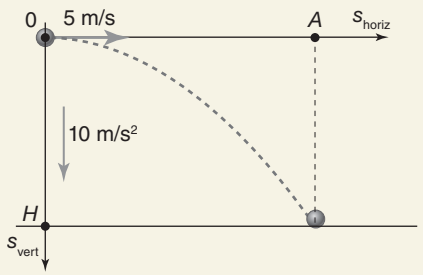
na extremidade de $\vec{v}_2$. Logo, $\vec{v}_1$ é o vetor soma: $\vec{v}_1 = \vec{v}_3 + \vec{v}_2$. Portanto, o diagrama III está associado com o item **b**.

Diagrama IV: A extremidade de $\vec{v}_1$ coincide com a origem de $\vec{v}_3$. O vetor $\vec{v}_2$ tem origem na origem de $\vec{v}_1$ e extremidade na extremidade de $\vec{v}_3$. Logo, $\vec{v}_2$ é o vetor soma: $\vec{v}_2 = \vec{v}_1 + \vec{v}_3$. Portanto, o diagrama IV está associado com o item **d**.

5. Primeiro exercício da série sobre lançamento horizontal. Ressalte aos alunos que o movimento é a composição de dois movimentos simultâneos e independentes um do outro: um MU na horizontal e um MUV vertical com aceleração igual à aceleração gravitacional.

a) Com os dados do enunciado podemos fazer a figura a seguir, com as trajetórias, vertical e horizontal, devidamente orientadas e com uma origem comum.

ERICSON GUILHERME LUCIANO/ ARQUIVO DA EDITORA



Na vertical (MUV), temos:

$s_{vert} = s_{0\,(vert)} + v_{0\,(vert)} \cdot t + \frac{g}{2} \cdot t^2 \Rightarrow s_{vert} = 5 \cdot t^2 \Rightarrow$

$\Rightarrow H = 5 \cdot (5)^2 \therefore H = 125$ m

b) E, na horizontal (MU), temos:

$s_{horiz} = s_{0(horiz)} + v_{horiz} \cdot t \Rightarrow s_{horiz} = 5 \cdot t \Rightarrow$

$\Rightarrow A = 5 \cdot 5 \therefore A = 25$ m

6. **a)** Na vertical, temos um MUV de velocidade inicial $v_{0,vert}$, obtida projetando-se $\vec{v}_0$ na direção vertical, temos que

$\text{sen}\,\theta = \frac{v_{0,vert}}{v_0} \Rightarrow v_{0_{vert}} = v_0 \cdot \text{sen}\,\theta$

Sendo o ângulo de lançamento $\theta = 30°$, sen $30° = 0{,}5$ e $v_0 = 20$ m/s, temos:

$v_{0,vert} = v_0 \cdot \text{sen}\,\theta = 20^{m/s} \cdot \text{sen}\,30° = 20^{m/s} \cdot 0{,}5 = 10^{m/s}$

Assim, o movimento vertical corresponde a um lançamento para cima com velocidade inicial $v_{0,vert} = 10^{m/s}$

Para o cálculo do tempo de subida, basta observar que, ao atingir o vértice, a velocidade vertical da bola é nula ($v_{vert} = 0$): $v_{vert} = v_{0,vert} + \alpha \cdot t \Rightarrow 0 = 10 - 10 \cdot t_s \therefore t_s = 1{,}0$ s

b) Em um lançamento oblíquo, quando o corpo volta ao mesmo plano do lançamento, o tempo de descida t_d é igual ao tempo de subida, isto é, $t_d = t_s = 1{,}0$ s. O intervalo de tempo total de movimento é a soma de t_s com t_d e, portanto, $t_{total} = t_s + t_d = 2$ s

c) A altura máxima pode ser calculada pela equação de Torricelli aplicada ao movimento vertical, considerando $v_{vert} = 0$, no ponto mais alto. Assim:

$(v_{vert})^2 = (v_{0,vert})^2 + 2 \cdot \alpha \cdot \Delta y \Rightarrow$

$\Rightarrow 0^2 = (10)^2 + 2 \cdot (-10) \cdot H \therefore H = 5{,}0$ m

d) O alcance horizontal D é calculado pelo movimento horizontal, que é uniforme. A velocidade desse movimento é obtida projetando-se v_0 na direção horizontal, logo:

$\cos\theta = \frac{v_{0_{horiz}}}{v_0} \Rightarrow v_{0_{horiz}} = v_0 \cdot \cos\theta$

Sendo $\theta = 30°$, $\cos 30° = \frac{\sqrt{3}}{2}$ e $v_0 = 20$ m/s, temos:

$v_{horiz} = 20 \cdot \frac{\sqrt{3}}{2} \therefore v_{horiz} = 10\sqrt{3}$ m/s

Sendo $s_{horiz} = s_{0,horiz} + v_{horiz} \cdot t$, obtemos o alcance fazendo $s_{horiz} = D$, para $t = t_{total} = 2{,}0$ s. Assim:

$D = v_{horiz} \cdot t_{total} = 10 \cdot \sqrt{3} \cdot 2{,}0 \therefore D = 20\sqrt{3} \text{ m} \simeq 34{,}6$ m

e) No vértice, a componente vertical da velocidade da bola é nula, portanto, a velocidade da bola será apenas a sua velocidade horizontal:

$v_A = 10\sqrt{3}$ m/s

Referências suplementares

Para a preparação das aulas, será proveitosa a leitura do artigo "Alternativa para o ensino de cinemática", disponível em: https://revistas.ufg.br/interacao/article/view/1604/1569 (acesso em: 11 set. 2024).

O trabalho utiliza um tratamento da psicologia educacional de Ausubel a um recurso instrucional, visando facilitar a aprendizagem significativa em Cinemática.

Proposta de avaliação

As atividades **2**, **5** e **6** das *Atividades finais* possibilitam uma avaliação abrangente da aprendizagem dos estudantes a respeito de conteúdos-chave do capítulo.

Capítulo 3 Força e movimento

Objetivos do capítulo

- Compreender a força como causa dos movimentos.
- Compreender e descrever as leis de Newton.
- Reconhecer os efeitos da inércia nos movimentos observados no cotidiano.
- Compreender a relação entre aceleração e força resultante.
- Distinguir as forças de ação e reação como forças aplicadas em corpos diferentes.
- Identificar os diferentes tipos de força presentes no cotidiano.
- Saber utilizar os vetores para representar as forças e operar algebricamente.
- Entender a natureza das forças e sua importância para a análise dos movimentos.

Sugestões didáticas e comentários/ Por dentro da BNCC

A abertura do capítulo destaca a importância de compreender o desenvolvimento do conhecimento científico a partir das contribuições de grandes pensadores, como Copérnico, Galileu e Newton. A citação de Newton, "Se vi mais longe, foi por estar sobre os ombros de gigantes", introduz a ideia de que a ciência é uma construção contínua, onde novas descobertas se apoiam nos conhecimentos acumulados por gerações anteriores.

As habilidades **EM13CNT207** e **EM13CNT306** podem ser desenvolvidas ao longo do capítulo, ao discutir as leis de Newton.

e sua aplicação em situações cotidianas, como as regras de segurança no trânsito, presentes em diversas atividades. Ao relacionar os conceitos físicos com o cotidiano, o estudante transforma suas ideias intuitivas em explicações científicas. Por exemplo, ao discutir o uso do cinto de segurança, o estudante compreende que a aceleração, e não a velocidade, é a variável influenciada pela aplicação de uma força, desfazendo concepções alternativas, como a ideia de que um objeto em alta velocidade está sob intensa força.

É importante que as leis de Newton sejam introduzidas de forma contextualizada com exemplos do cotidiano, como a situação de um passageiro dentro de um ônibus que é arremessado para frente em uma freada brusca. Esse exemplo não só ilustra o princípio da inércia, mas também permite uma discussão sobre a importância de dispositivos de segurança, como o cinto de segurança. Ao fazer essa ligação com a realidade, os estudantes conseguem visualizar como os conceitos físicos afetam diretamente a vida diária, fomentando a habilidade de aplicar conhecimentos científicos a situações práticas.

Ao abordar a segunda lei de Newton, deixe claro aos alunos que a força resultante sobre um corpo é responsável pela sua aceleração, e não pela sua velocidade constante. Isso ajuda a corrigir concepções errôneas, promovendo uma compreensão mais precisa da relação entre força e movimento. A habilidade **EM13CNT204** pode ser trabalhada ao longo dessa discussão, já que os estudantes são incentivados a construir explicações sobre o comportamento dos objetos com base em modelos matemáticos e físicos.

É interessante que a terceira lei de Newton, também conhecida como lei da ação e reação, seja abordada de forma prática, utilizando exemplos que mostram como as forças de ação e reação atuam sempre em corpos distintos. Situações cotidianas, como o exemplo de um cavalo puxando uma carroça, são utilizadas para demonstrar que as forças de ação e reação, embora de intensidades iguais, não se anulam, pois estão aplicadas em diferentes corpos. Essa abordagem também é importante para o trabalho da habilidade **EM13CNT204**.

Além disso, o capítulo também oferece a oportunidade de trabalhar as forças de contato, como a força de atrito e a força normal, aprofundando a compreensão das interações mecânicas. Ao discutir como o atrito, por exemplo, permite a locomoção ao oferecer resistência ao movimento, os estudantes ampliam seu conhecimento sobre as forças que agem em suas vidas cotidianas, como o atrito entre os pneus de um carro e a estrada. Este é outro exemplo de como os conceitos físicos, abordados de maneira contextualizada, podem ser facilmente conectados a experiências vividas pelos estudantes, promovendo uma compreensão mais significativa do conteúdo.

Resoluções e comentários

Em destaque

Inércia e as leis de trânsito

A atividade proposta oferece uma excelente oportunidade de desenvolver as habilidades e competências previstas na BNCC, especialmente a habilidade **EM13CNT306** e a **competência geral 10**. Ao abordar o uso do cinto de segurança, a manutenção de distância segura e a responsabilidade dos veículos maiores pelos menores, os alunos são incentivados a refletir sobre como o conhecimento científico pode ser aplicado para avaliar e minimizar riscos no trânsito, justificando a importância de medidas de segurança que visam proteger a integridade física de todos os envolvidos.

A habilidade **EM13CNT306**, que trata da avaliação de riscos em atividades cotidianas com base em conhecimentos científicos, pode ser desenvolvida quando os alunos analisam a função do cinto de segurança em situações de frenagem abrupta ou colisões. Ao entender o princípio da inércia, os alunos percebem que o cinto atua como um equipamento de segurança essencial para evitar ferimentos graves, já que impede que os ocupantes do veículo continuem em movimento quando o veículo é subitamente desacelerado. Esse entendimento os capacita a justificar o uso desse equipamento, não apenas com base na legislação, mas também com base em princípios científicos.

A **competência geral 10**, que envolve agir com autonomia, responsabilidade e flexibilidade, é igualmente contemplada nesta atividade. Ao discutirem as normas do Código de Trânsito Brasileiro (CTB) e refletirem sobre a aplicação do princípio da inércia nas medidas de segurança, os estudantes são convidados a pensar de forma ética e inclusiva. Eles aprendem que a responsabilidade no trânsito vai além de suas próprias ações, envolvendo também a proteção dos outros, especialmente aqueles mais vulneráveis, como os ocupantes de veículos menores. A responsabilidade dos veículos maiores em relação aos menores, conforme descrita no CTB, é um exemplo claro de como decisões baseadas em princípios científicos e éticos podem promover um trânsito mais seguro e solidário.

Além disso, essa atividade também está diretamente ligada ao **TCT Cidadania e civismo**. Ao explorar as leis de trânsito sob uma perspectiva científica, os alunos são incentivados a agir de forma consciente e cidadã, compreendendo o impacto de suas decisões no trânsito para o bem-estar coletivo.

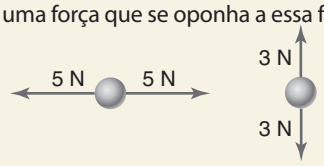
1. Uso do cinto de segurança, tomar distância segura frontal e lateralmente, veículos maiores são responsáveis pelos menores.
2. O uso obrigatório do cinto de segurança está diretamente relacionado ao princípio da inércia, pois ele visa proteger os ocupantes do veículo em situações de mudança de velocidade abrupta, como frenagens ou colisões. O cinto de segurança é uma medida para impedir que os ocupantes se movam em caso de acidentes, diminuindo assim as chances de danos físicos.
3. A relação é direta, pois a inércia influencia diretamente a distância necessária para evitar uma colisão traseira. Ao guardar distância de segurança, os motoristas estão levando em conta a necessidade de permitir uma desaceleração gradual em caso de frenagem do veículo à frente.
4. A responsabilidade dos veículos de maior porte pela segurança dos menores, conforme descrito no CTB, está relacionada ao princípio da inércia. Veículos maiores possuem maior massa e, portanto, maior inércia. A inércia dos veículos menores é menor, tornando-os mais vulneráveis em caso de colisões.

Aplicando conhecimentos

1. De acordo com o princípio da inércia, se a velocidade de um corpo é constante, seja ele estando em repouso ou em movi-

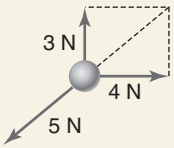
mento retilíneo uniforme, a força resultante sobre o corpo deve ser zero. Assim, entre as situações apresentadas, a força resultante é zero somente na situação I. Portanto, alternativa **a**.

2. Para que um corpo se mova em linha reta com velocidade constante, a força resultante sobre ele deve ser zero, de acordo com o princípio da inércia. Isso significa que precisamos aplicar uma força que compense qualquer outra força que esteja agindo sobre o corpo. Nos casos **a** e **b**, uma única força está agindo sobre o corpo, então, para equilibrá-la, precisamos aplicar uma força que se oponha a essa força existente.



Nos casos **c** e **d**, as forças atuantes têm mesma direção e a força resultante pode ser facilmente calculada. A força a ser adicionada ao sistema deve equilibrar a resultante das duas forças que agem no corpo.

Observe que, no caso **e**, temos a atuação de duas forças perpendiculares entre si, a resultante pode ser obtida pelo teorema de Pitágoras e, a força adicional deve ser oposta à força resultante obtida.



ILUSTRAÇÕES: ERICSON GUILHERME LUCIANO/ARQUIVO DA EDITORA

3. As forças resultantes que atuam nos dois corpos, *A* e B, têm a mesma intensidade e agem durante o mesmo intervalo de tempo. Nesse intervalo, o corpo *A* sofre menor variação de velocidade e, portanto, fica submetido a menor aceleração, portanto, possui a maior massa.

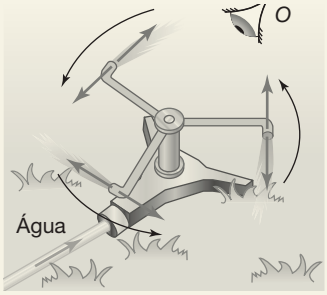
4. O exercício é uma aplicação do princípio fundamental da Dinâmica ou da segunda lei de Newton. A força resultante necessária para acelerar uma bicicleta e seu ocupante, massa total de 60 kg, a 1,5 m/s^2, é dada por:

$F_{res} = m \cdot a \Rightarrow F_{res} = 60 \cdot 1{,}5 \therefore F_{res} = 90$ N

5. **a)** Durante a colisão, pelo princípio da ação e reação, a força que a moto aplica ao automóvel e a força que o automóvel aplica à moto têm mesma direção, mesma intensidade e sentidos opostos.

b) A força surgida durante a colisão provocará, em determinado intervalo de tempo, uma variação na velocidade dos veículos, ou seja, uma aceleração. Como as forças têm mesma intensidade, o veículo de menor massa sofrerá maior aceleração, ou seja, maior variação de velocidade durante o intervalo de tempo da colisão. Portanto, a maior variação de velocidade ocorrerá com a moto.

6. Mais uma aplicação prática do princípio da ação e reação. O regador rotativo da figura gira ao lançar a água. Ao ser lançada para fora dos tubos por determinada força, a água reage e aplica ao tubo uma força de mesma intensidade e mesma direção, mas de sentido oposto. Essas forças de reação provocam a rotação do regador. Em relação ao observador *O*, a rotação do regador ocorre em sentido anti-horário.



ADILSON SECCO/ARQUIVO DA EDITORA

Atividade prática

Propulsão de um carrinho

Ao soltar a boca do balão, o ar escapa em um sentido, exercendo uma força sobre o carrinho no sentido oposto. Esse fenômeno é um exemplo prático do princípio da ação e reação, conforme estabelecido pela terceira lei de Newton.

Além de destacar o princípio da ação e reação no contexto do experimento com o carrinho e o balão, é relevante estender essa compreensão para aplicações mais complexas, como o funcionamento de foguetes, que utilizam o mesmo princípio fundamental. O escape de gases expelidos em alta velocidade no sentido contrário ao movimento do foguete o impulsiona na direção oposta. Ao fazer paralelos entre situações cotidianas, como uma mangueira que se contorce ao expelir água, e sistemas mais sofisticados, como a propulsão de aviões, os alunos consolidam sua compreensão dos princípios da Física, entendendo como esses conceitos estão presentes em diferentes cenários.

A habilidade **EM13CNT205**, que envolve a interpretação de previsões e a consideração de incertezas e probabilidades, pode ser abordada ao discutir com os alunos as limitações do experimento. Ao observar o movimento do carrinho, os alunos podem levantar hipóteses sobre possíveis variações nos resultados, considerando fatores como a quantidade de ar no balão, o atrito entre o carrinho e a superfície ou a precisão das medições realizadas. Essa reflexão incentiva o desenvolvimento da capacidade de interpretar incertezas e limitações em experimentos científicos, reconhecendo que, mesmo em situações controladas, há elementos que podem influenciar os resultados.

Além disso, a atividade permite o desenvolvimento da habilidade **EM13CNT301**, que envolve a construção de questões, hipóteses e a interpretação de dados experimentais. Durante o experimento, os alunos podem ser incentivados a formular perguntas como: "Como o tamanho do balão ou a quantidade de ar influenciam o movimento do carrinho?" ou "De que maneira o atrito afeta a distância percorrida?". A partir dessas questões, os estudantes podem criar hipóteses e realizar novas observações ou ajustes no experimento. Ao interpretar os resultados, eles devem ser incentivados a justificar suas conclusões com base nos dados coletados, fortalecendo sua capacidade de pensar de forma científica e analítica.

Educação midiática

Ciência e pseudociência: fatos ou falsas alegações?

A atividade se relaciona diretamente com as **competências gerais 5** e **10**. A **competência geral 5** pode ser abordada

ao incentivar o uso crítico de tecnologias digitais para verificar a confiabilidade de fontes e disseminar informações corretas. Ao compartilhar suas conclusões e debater sobre o impacto da pseudociência, os alunos exercitam a **competência geral 10**, agindo com responsabilidade e ética ao tomar decisões baseadas em conhecimento científico.

A habilidade **EM13CNT207** é explorada ao discutir como a desinformação pode expor as juventudes a riscos físicos e psicoemocionais. Já a habilidade **EM13CNT303** é desenvolvida ao pedir que os alunos interpretem e avaliem textos de divulgação científica, identificando informações confiáveis e questionando fontes duvidosas.

A reflexão crítica ao final da atividade fortalece o pluralismo de ideias, evitando reducionismo e incentivando uma argumentação baseada em dados científicos e no diálogo democrático. Isso prepara os alunos para lidarem com questões complexas em suas vidas pessoais e coletivas, reforçando a importância da cidadania e do convívio republicano.

1. Os alunos devem perceber que a linguagem não é neutra. O texto é sensacionalista e especulativo ao utilizar expressões como "confissão explosiva" e ao basear-se em uma pretensa conspiração para ocultar o suposto formato plano da Terra sem apresentar fatos coerentes e provas concretas sobre esse fato. Isso afeta a credibilidade das informações porque publicações científicas sempre utilizam linguagem neutra e informações confiáveis baseadas em estudos prévios.
2. É importante que os alunos percebam que a única informação sobre o autor do texto é que ele possui vínculo como pesquisador em uma suposta universidade estadunidense não identificada. O nome do autor e o nome da instituição não são mencionados. Essas informações são necessárias para conferir a credibilidade do autor, o que auxilia na conferência da credibilidade das informações do texto.
3. Ajude os alunos a perceberem que não há referências a estudos científicos para apoiar as afirmações do texto. A roupagem científica vem do trecho "pesquisador de uma renomada universidade estadunidense".

Dialogando com o texto

Como uma ferramenta de visualização, caso haja acesso à internet, esta atividade tem por objetivo proporcionar aos alunos uma possibilidade de explorar conceitos de força e movimento. Se houver infraestrutura na escola, é possível utilizar o simulador em uma apresentação em sala de aula. Oriente-os a digitarem o endereço do simulador em um navegador de internet ou a acessarem o *site* do PHET em português e procurarem a simulação "Forças e movimento" na parte de Física. Se possível, guie-os na experimentação, solicitando que modifiquem a força aplicada e observem as mudanças no movimento. Peça para variarem a massa do objeto e analisarem a relação entre massa e velocidade.

Promova discussões em grupo, permitindo que compartilhem suas observações e resultados. A colaboração entre os alunos na troca de ideias e observações durante a simulação estimula o compartilhamento crítico e construtivo de conhecimento.

No desenvolvimento dessa atividade, é possível integrar a **competência geral 5**, incentivando o uso crítico e reflexivo de tecnologias digitais para explorar conceitos de Física. Além disso, a habilidade **EM13CNT301** pode ser abordada ao incentivar os alunos a construírem hipóteses e previsões. Por exemplo, eles podem prever como a alteração da força aplicada ou da massa afetará a aceleração de um objeto. Em seguida, por meio da experimentação e interpretação dos dados fornecidos pela simulação, os alunos poderão justificar conclusões com base nos resultados observados.

Atividades finais

1. I. Incorreta. Durante o movimento circular uniforme, as paredes laterais do tambor exercem forças sobre a roupa de modo a variar a direção do vetor velocidade.
   II. Correta.
   III. Correta. Como a roupa é obrigada a descrever o movimento circular por ação das paredes laterais do tambor, a água, por inércia, tende a manter um movimento em linha reta e acaba saindo pelos furos existentes na parede do tambor.

   A resposta ao teste encontra-se na alternativa **e**.
2. Trata-se de uma leitura direta do gráfico: 0,35 N.
3. **a)** O peso da luminária é dado pelo produto $m \cdot g$. Assim, a luminária de massa 2 kg tem, em local com $g = 10\ m/s^2$, um peso de 20 N.
   b) Como a luminária está em repouso, a resultante das forças externas que atuam sobre ela deve ser nula.
   c) Na luminária atuam as forças peso (vertical, para baixo e de intensidade 20 N) e tração do fio. Para que a força resultante seja nula, a força de tração no fio deve ter direção vertical, sentido de baixo para cima e intensidade 20 N, de modo a equilibrar o peso.
4. **a)** A gota de chuva, ao se desprender da nuvem, cai sob ação de seu peso e da força de resistência do ar. A partir do instante em que essas forças se equilibram, a gota cai em MRU.
   b) Nesse caso, a nave está em movimento e livre da ação de forças.
   c) Como o carro para, ocorre variação de velocidade. Isso significa que forças agem no carro. No caso, são as forças de resistência do ar e as forças de atrito. O carro parou não pelas forças que deixaram de agir, mas justamente pela ação de outras forças externas.
5. O exercício explora as relações qualitativas entre a força resultante, a massa e a aceleração de um corpo: $F_{res} = m \cdot a$.
   a) Se a massa do corpo dobrar, a aceleração do corpo só será mantida se a força também dobrar, portanto, $F_{res} = 160$ N.
   b) Se a massa do corpo dobrar e a força permanecer inalterada, a aceleração do corpo irá cair pela metade, portanto, $a = 2\ m/s^2$.
6. **a)** A velocidade angular da cadeira do carrossel é dada por:
   $\omega = \frac{2\pi}{T} \Rightarrow \omega = \frac{2\pi}{20} \therefore \omega = \frac{\pi}{10}\ rad/s$
   b) Sendo $v = \omega \cdot R$, temos:
   $v = \frac{\pi}{10} \cdot 8 \therefore v = 0,8\pi\ m/s$

c) Para o cálculo do módulo da aceleração centrípeta, podemos usar $a_c = \frac{v^2}{R}$ ou $a_c = \omega^2 \cdot R$. Assim:

$a_c = \omega^2 \cdot R \Rightarrow a_c = \left(\frac{\pi}{10}\right)^2 \cdot 8 \therefore a_c \simeq 0{,}8\ m/s^2$

Referências suplementares

A dissertação da professora Taís Renata Schaeffer da Silva, "Uma sequência didática para os estudos das leis de Newton", pode ser interessante para elaborar e implementar experimentos no estudo do tema (disponível em: https://educapes.capes.gov.br/bitstream/capes/206802/2/Taís%20da%20Silva%20-%20produto%20educacional%20-%20PPGCEM.pdf; acesso em: 13 set. 2024).

Proposta de avaliação

As atividades **1**, **3** e **6** das *Atividades finais* possibilitam uma avaliação abrangente da aprendizagem dos estudantes a respeito de conteúdos-chave do capítulo.

Capítulo 4 Quantidade de movimento e impulso

Objetivos do capítulo

- Reconhecer quantidade de movimento e impulso de uma força como grandezas vetoriais e sua atuação em situações cotidianas e em fenômenos naturais, para utilizá-las corretamente.
- Reconhecer as condições em que vale o princípio da conservação da quantidade de movimento.
- Interpretar e elaborar gráficos da intensidade da força em função do tempo, para estimar o impulso, considerando a área abaixo da curva representada no gráfico.
- Compreender os diversos tipos de colisão: elástica, parcialmente elástica e inelástica, e utilizá-los corretamente e correlacionar os tipos de colisão com o coeficiente de restituição, além de reconhecer a importância das propriedades materiais dos corpos que colidem.

Sugestões didáticas e comentários/ Por dentro da BNCC

O capítulo trata principalmente da habilidade **EM13CNT101**, pois promove a análise da conservação da quantidade de movimento.

No início do capítulo, há uma breve abordagem histórica sobre o conceito de quantidade de movimento que favorece que os estudantes percebam que a construção do conhecimento científico é um processo que ocorre ao longo do tempo, com colaborações de diversos cientistas. A análise dos exemplos dados, como o pêndulo múltiplo e a máquina lançadora de bola de tênis, favorece a habilidade **EM13CNT301**, bem como o tópico *Princípio da conservação da quantidade de movimento*, ao discutir com os estudantes sobre as grandezas envolvidas e os tipos de colisões.

Nas seções iniciais, é possível reconhecer a **competência geral 1**, pois temos a abordagem de conhecimentos historicamente construídos sobre o mundo físico, social, cultural e digital para entender e explicar a realidade.

Também é possível reconhecer a **competência geral 2** ao longo do capítulo, pois há o incentivo para o estudante exercitar a curiosidade intelectual e recorrer à abordagem própria das Ciências da Natureza para explicar a importância de um *air bag* e a técnica de um salto de uma ginasta como Rebeca Andrade.

O tópico *Impulso de uma força e variação da quantidade de movimento* possibilita desenvolver a habilidade **EM13CNT306**, pois permite prever os riscos envolvidos em colisões e, assim, justificar o uso de equipamentos de segurança.

No tópico *Choques mecânicos*, enfatize com os alunos a importância de saber calcular as velocidades relativas dos corpos antes e depois do choque.

Resoluções e comentários

Aplicando conhecimentos

1. A direção de $\vec{Q}$ é a mesma da velocidade, isto é, horizontal. Seu sentido é o mesmo da velocidade, isto é, da esquerda para a direita. A intensidade, ou módulo, de $\vec{Q}$ é assim determinada:

$Q = m \cdot v \Rightarrow Q = 0{,}4 \cdot 20 \therefore Q = 8{,}0\ kg \cdot m/s$

2. Pelo princípio da conservação da quantidade de movimento, temos:

$Q_{antes} = Q_{depois} \Rightarrow 0 = m_{garoto} \cdot v_{garoto} + m_{skate} \cdot v_{skate} \Rightarrow$

$\Rightarrow 0 = 50 \cdot 1 + 4 \cdot v_{skate} \therefore v_{skate} = -12{,}5\ m/s$

O *skate* irá se movimentar com velocidade de 12,5 m/s em sentido contrário ao da velocidade do estudante.

Dialogando com o texto

A atividade tem como objetivo explorar os princípios físicos envolvidos na ginástica artística, o que vem ao encontro da **competência geral 3** da BNCC. A relação entre a flexão das pernas durante a aterrissagem e a técnica de cravar o movimento serão abordadas, integrando aspectos práticos e conceituais da Física, analisando a conservação da quantidade de movimento, o que é proposto pela habilidade **EM13CNT101**.

Ajude os alunos a entenderem que, ao flexionar as pernas durante a aterrissagem, busca-se aumentar o intervalo de tempo de contato com o solo, o que implica uma diminuição da taxa de mudança da quantidade de movimento, bem como na intensidade da força de impacto e reduzindo as chances de lesões.

Aplicando conhecimentos

3. **a)** O valor do impulso é numericamente igual à área no diagrama $F \times t$. Assim, temos:

$I = \frac{\text{base} \times \text{altura}}{2} \Rightarrow I = \frac{0{,}1 \cdot 80}{2} \therefore I = 4\ N \cdot s$

b) A força média (constante) tem intensidade F, tal que:

$I = F \cdot \Delta t \Rightarrow 4 = F \cdot 0{,}1 \therefore F = 40\ N$

4. **a)** Em módulo e lembrando que os vetores têm a mesma direção, vem:

$I = m \cdot \Delta v \Rightarrow I = 0{,}5 \cdot 30 \therefore I = 15\ N \cdot s$

b) A partir da definição de impulso, temos:

$I = F \cdot \Delta t \Rightarrow 15 = 1{,}5 \cdot 10^{-3} \cdot \Delta t \therefore \Delta t = 1{,}0 \cdot 10^{-2}\ s$

5. **a)** A quantidade de movimento inicial dos carrinhos tem direção horizontal (a mesma de $\vec{v}$) e sentido para a direita (o mesmo de $\vec{v}$). O módulo da quantidade de movimento inicial vale:

$Q_{inicial} = m_A \cdot v_A + m_B \cdot v_B \Rightarrow Q_{inicial} = 2 \cdot 10 + 2 \cdot 2$

$\therefore Q_{inicial} = 24 \text{ kg} \cdot \text{m/s}$

b) Como em qualquer colisão mecânica a quantidade de movimento se conserva, a quantidade de movimento dos carrinhos após a colisão é horizontal, para a direita e com módulo igual a 24 kg · m/s.

c) Após a colisão inelástica:

$Q_{final} = Q_{inicial} \Rightarrow (m_A + m_B) \cdot v_{final} = Q_{inicial} \Rightarrow$

$\Rightarrow (2 + 2) \cdot v_{final} = 24 \therefore v_{final} = 6 \text{ m/s}$

d) A energia dissipada durante a colisão é dada pela diferença entre a energia mecânica inicial e a energia mecânica final. Portanto, com os valores fornecidos e o já calculado, obtemos:

$E_d = \left(\frac{2 \cdot 10^2}{2} + \frac{2 \cdot 2^2}{2}\right) - \frac{4 \cdot 6^2}{2} \Rightarrow E_d = (100 + 4) - 72$

$\therefore E_d = 32 \text{ J}$

6. a) Após o choque, o conjunto dardo + bloco, com massa igual a 10,005 kg, tem velocidade de 0,3 m/s e, assim, quantidade de movimento igual a:

$Q_{final} = m_{conjunto} \cdot v_{final} \Rightarrow Q_{final} = 10{,}005 \cdot 0{,}3$

$\therefore Q_{final} \simeq 3{,}00 \text{ kg} \cdot \text{m/s}$

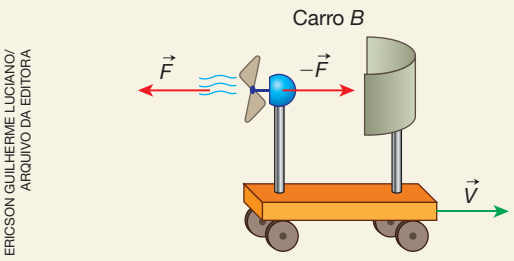
b) Visto que no início o bloco está em repouso, a quantidade de movimento inicial do dardo é igual à quantidade de movimento final do conjunto. Portanto:

$Q_{inicial} = Q_{final} \Rightarrow m_{dardo} \cdot v_{dardo} = Q_{final} \Rightarrow 0{,}005 \cdot v_{dardo} = 3{,}00$

$\therefore v_{dardo} = 600 \text{ m/s}$

7. Consideremos o sistema constituído pela ventoinha, pelo carro plástico e pela vela. O ar é considerado externo ao sistema. Conforme o enunciado, as ventoinhas são pequenas, portanto, todo o ar que elas impulsionam incide na vela. Assim:

- Para o carro B:

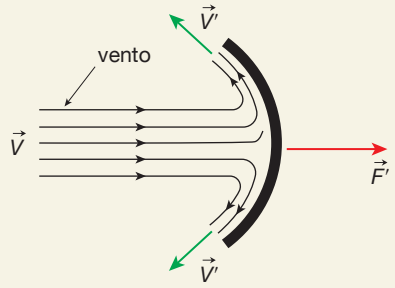


ERICSON GUILHERME LUCIANO/ ARQUIVO DA EDITORA

A ventoinha aplica no ar uma força de ação $\vec{F}$ e o ar aplica na ventoinha uma força de reação $-\vec{F}$, que vai acelerar o carro *B* para a direita. Pelo teorema do impulso, sendo *V* a intensidade da velocidade média do carro *B* no intervalo de tempo Δt, vem: $F \cdot \Delta t = m \cdot V$ **(I)** em que *m* é a massa de ar movida pela ventoinha no intervalo Δt.

- Para o carro A

Tendo a cartolina o formato parabólico, a colisão do ar com a cartolina será do tipo parcialmente elástica, com o ar retornando após a colisão.

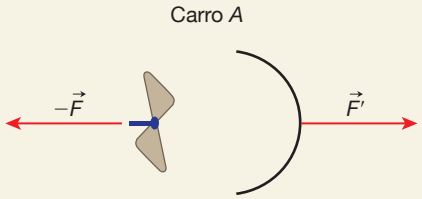


ERICSON GUILHERME LUCIANO/ ARQUIVO DA EDITORA

O ar incide na cartolina com velocidade de módulo *V* e seja V'_h o módulo da componente horizontal da velocidade com que o ar volta, depois de incidir na cartolina. Temos, pelo teorema do impulso:

$$F' \cdot \Delta t = m \cdot (V'_h + V) \quad \textbf{(II)}$$

De **(I)** e **(II)**, resulta $F' > F$. Se V'_h tende a *V*, *F'* tende a 2*F*. Assim, $2F > F' > F$; portanto, a força trocada entre o ar e a cartolina terá intensidade *F'* maior que *F* e o carro *A* se move para a direita.



ERICSON GUILHERME LUCIANO/ ARQUIVO DA EDITORA

Agora, aplicando a segunda lei de Newton para os carros *A* e *B*, temos:

Carro *A*: $F' - F = m \cdot a_A$, com *m* sendo a massa do sistema ventoinha, carro e vela.

Carro *B*: $F = m \cdot a_B$

Sendo $2F > F' > F$, vem $a_A < a_B$ e, portanto, $v_A < v_B$.

Alternativa **b**.

Estratégia de estudos

Nesta seção, espera-se que os alunos adotem, de forma autônoma, estratégias para aprimorar seu estudo e sua compreensão dos temas abordados. Esclareça que a seleção de palavras-chave é apenas uma possibilidade de estratégia de estudo. Para o tópico *Princípio da conservação da quantidade de movimento*, termos como conservação da quantidade de movimento, choque elástico, choque inelástico, colisão oblíqua e momento linear devem ser elencadas pelos estudantes. Esses são apenas alguns exemplos; outras palavras podem ser selecionadas. Incentive o compartilhamento e a comparação da lista de palavras-chave entre os alunos, analisando se há termos que devem ser incluídos ou excluídos. Esse momento colaborativo pode ser útil para esclarecer dúvidas, permitindo que os alunos se ajudem mutuamente e, se necessário, solicitem auxílio do professor.

Atividades finais

1. Pelo princípio da conservação da quantidade de movimento, temos:

$Q_{antes} = Q_{depois} \Rightarrow 15 \cdot 3 = 45 \cdot v' \Rightarrow 45 = 45 \cdot v' \therefore v' = 1 \text{ m/s}$

Portanto, o conjunto de três carrinhos se movimentará à velocidade de 1 m/s.

2. Nesse exercício, é explorado o teorema do impulso e sua característica vetorial; portanto, o sentido dos vetores deve ser considerado.

a) Sendo $v_2 = v$ e $v_1 = -v$, temos:

$\Delta Q = Q_{final} - Q_{inicial} \Rightarrow \Delta Q = m \cdot v - m \cdot (-v) \Rightarrow$

$\Rightarrow \Delta Q = 2 \cdot m \cdot v$

Portanto: $\Delta Q = 2 \cdot 0{,}20 \cdot 20 \therefore \Delta Q = 8{,}0$ kg · m/s

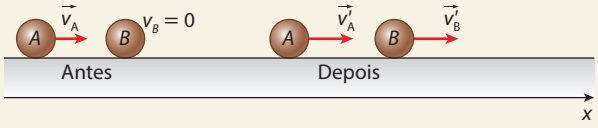
Lembre aos estudantes a equivalência das unidades: $N \cdot s =$ kg · m/s.

b) A força média pode ser obtida da relação, $I = \Delta Q = F \cdot \Delta t$. Substituindo os valores, temos:

$\Delta Q = F \cdot \Delta t \Rightarrow 8{,}0 = F \cdot 0{,}01 \therefore F = 8{,}0 \cdot 10^2$ N

3. A figura a seguir ilustra a situação antes e depois da colisão.

ERICSON GUILHERME LUCIANO/ ARQUIVO DA EDITORA



Da definição de coeficiente de restituição, temos:

$e = \frac{v_{afastamento}}{v_{aproximação}} \Rightarrow 1 = \frac{v'_B - v'_A}{3{,}0 - 0} \Rightarrow v'_B - v'_A = 3{,}0$ **(I)**

Pelo princípio da conservação da quantidade de movimento, tomando o eixo *x* como referência, temos:

$Q_{antes} = Q_{depois} \Rightarrow m \cdot 3{,}0 + m \cdot 0 = m \cdot v'_A + m \cdot v'_B \Rightarrow$

$\Rightarrow v'_A + v'_B = 3{,}0$ **(II)**

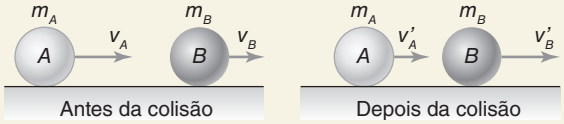
Resolvendo o sistema de equação **(I)** e **(II)**, resulta: $v'_A = 0$ e $v'_B = 3$ m/s.

Esse resultado permite concluir que nos choques frontais e elásticos entre corpos de massas iguais ocorre troca de velocidades.

4. Este exercício abrange os três tipos de choque, portanto, é uma oportunidade para revisão do assunto.

a) Temos a seguinte representação:

ERICSON GUILHERME LUCIANO/ ARQUIVO DA EDITORA



Aplicando o princípio da conservação de quantidade de movimento, temos:

$m_A \cdot v_A + m_B \cdot v_B = m_A \cdot v'_A + m_B \cdot v'_B \Rightarrow$

$\Rightarrow 0{,}1 \cdot 2 + 0{,}3 \cdot 1 = 0{,}1 \cdot v'_A + 0{,}3 \cdot v'_B \Rightarrow$

$\Rightarrow v'_A + 3 \cdot v'_B = 5$ **(I)**

Sendo o choque elástico, resulta:

$e = \frac{v'_B - v'_A}{v_A - v_B} \Rightarrow 1 = \frac{v'_B - v'_A}{2 - 1} \Rightarrow v'_B - v'_A = 1$ **(II)**

De **(I)** e **(II)**, obtemos: $v'_A = 0{,}5$ m/s e $v'_B = 1{,}5$ m/s.

b) Nesse caso, $v'_A = v'_B = v$. De (I), temos: $v + 3 \cdot v = 5 \Rightarrow$

$\Rightarrow v = 1{,}25 \therefore v = 1{,}25$ m/s

c) Sendo o choque parcialmente elástico ($e = 0{,}6$), vem:

$e = \frac{v'_B - v'_A}{v_A - v_B} \Rightarrow 0{,}6 = \frac{v'_B - v'_A}{2 - 1} \Rightarrow v'_B - v'_A = 0{,}6$ **(III)**

A equação **(I)** continua válida, pois, qualquer que seja o tipo de choque, há conservação da quantidade de movimento.

Resolvendo o sistema de equação **(I)** e **(III)**, resulta:

$v'_A = 0{,}8$ m/s e $v'_B = 1{,}4$ m/s

5. **a)** Para o choque elástico, temos, pela definição de coeficiente de restituição:

$e = \frac{\text{velocidade relativa de afastamento}}{\text{velocidade relativa de aproximação}} \Rightarrow$

$\Rightarrow e = \frac{v'_B - v'_A}{v_A - v_B} \Rightarrow 1 = \frac{v'_B - v'_A}{2{,}0 - 0} \Rightarrow v'_B - v'_A = 2{,}0$ **(I)**

E, pelo princípio da conservação da quantidade de movimento, tomando o eixo *x* como referência, temos:

$m_A \cdot v_A + m_B \cdot v_B = m_A \cdot v'_A + m_B \cdot v'_B \Rightarrow$

$\Rightarrow m \cdot 2{,}0 + m \cdot 0 = m \cdot v'_A + m \cdot v'_B \Rightarrow$

$\Rightarrow v'_A + v'_B = 2{,}0$ **(II)**

Resolvendo o sistema de equação **(I)** e **(II)**, resulta:

$v'_A = 0$ e $v'_B = 2{,}0$ m/s

b) Para o choque inelástico, temos, pela definição de coeficiente de restituição:

$e = \frac{\text{velocidade relativa de afastamento}}{\text{velocidade relativa de aproximação}} \Rightarrow$

$\Rightarrow e = \frac{v'_B - v'_A}{v_A - v_B} \Rightarrow 0 = \frac{v'_B - v'_A}{2{,}0 - 0} \Rightarrow v'_B = v'_A$ **(I)**

E, pelo princípio da conservação da quantidade de movimento, tomando mais uma vez o eixo *x* como referência, temos:

$m_A \cdot v_A + m_B \cdot v_B = m_A \cdot v'_A + m_B \cdot v'_B \Rightarrow$

$\Rightarrow m \cdot 2{,}0 + m \cdot 0 = m \cdot v'_A + m \cdot v'_B \Rightarrow$

$\Rightarrow v'_A + v'_B = 2{,}0$ **(II)**

Resolvendo o sistema de equação **(I)** e **(II)**, resulta:

$v'_A = 1{,}0$ m/s e $v'_B = 1{,}0$ m/s

Referências suplementares

A dissertação intitulada "O uso de lançamentos de foguetes para aulas de mecânica no Ensino Médio" pode ser uma ferramenta valiosa para o ensino de conceitos de Mecânica, especialmente ao integrar teoria e prática de forma dinâmica e atrativa. O estudo demonstrou como a aplicação de experimentos práticos, como o lançamento de minifoguetes, pode melhorar a compreensão dos alunos sobre temas complexos da Física, como as leis da Mecânica. Esse recurso pode ser interessante para professores que buscam metodologias ativas de ensino, incentivando a participação dos estudantes e promovendo maior engajamento. A dissertação está disponível em: http://www.tede2.ufrpe.br:8080/tede2/handle/tede2/9195 (acesso em: 16 out. 2024).

Proposta de avaliação

As atividades **1**, **2** e **4** das *Atividades finais* possibilitam uma avaliação abrangente da aprendizagem dos estudantes a respeito de conteúdos-chave do capítulo.

Capítulo 5 Trabalho e energia

Objetivos do capítulo

- Conhecer as principais formas de energia.
- Conhecer a importância da energia no nosso cotidiano.
- Conhecer a relação entre trabalho e energia.

- Conhecer e compreender a unidade de medida de energia (Joule) no SI.
- Associar a energia cinética ao movimento dos objetos.
- Associar a energia potencial gravitacional à queda dos corpos devido ao trabalho da força peso.
- Associar a energia potencial elástica à energia armazenada na deformação de molas devido ao trabalho da força elástica.
- Explicar a conservação de energia.
- Calcular as quantidades de energia.
- Compreender o que é potência.

Sugestões didáticas e comentários/ Por dentro da BNCC

Solicite aos estudantes, após a leitura da abertura desse capítulo, que façam uma pesquisa sobre a história de vida do malauiano William Kamkwamba e os impactos da divulgação do seu feito em sua comunidade e em sua formação posterior. Você pode sugerir que assistam ao filme *O menino que descobriu o vento* (direção: Chiwetel Ejiofor; produção: EUA, Malawi, França, Reino Unido, 2019; 113 min). Ao assistir ao filme, os estudantes podem verificar como ocorre a construção e o funcionamento de um moinho.

O conteúdo da abertura desse capítulo, associado à pesquisa proposta aos estudantes, permite o desenvolvimento da habilidade **EM13CNT106**, ao propor ao estudante avaliar tecnologias e possíveis soluções para as demandas que envolvem a geração, o transporte, a distribuição e o consumo de energia elétrica, considerando a disponibilidade de recursos, as características geográficas e ambientais e os impactos socioambientais e culturais causados pelo mau uso desse recurso.

Apresente aos estudantes a definição de trabalho de uma força constante e mostre o cálculo para algumas situações bem simples: força no mesmo sentido do movimento, força perpendicular à direção do movimento e força de sentido oposto ao do movimento. Ressalte, sempre que possível, que um trabalho positivo corresponde a um fornecimento de energia ao sistema, enquanto um trabalho negativo corresponde a uma retirada de energia do sistema.

Mostre aos estudantes que o trabalho de todas as forças que atuam em um corpo, isto é, trabalho da força resultante, tem como consequência a variação na energia cinética do corpo. Assim, se o trabalho da força resultante for positivo, a energia cinética do corpo e, consequentemente sua velocidade, aumentará; se o trabalho da força resultante for negativo, a energia cinética do corpo e sua respectiva velocidade diminuirão.

No tópico *A conservação de energia* é explorada a habilidade **EM13CNT101**, por meio da apresentação e da análise de exemplos em que ocorre transferência de energia entre sistemas diferentes, tais como a queima de fogos de artifícios e de um indígena tensionando o seu arco.

Ao explorar um sistema físico, como o da pessoa que desce por um escorregador, relembre aos estudantes que a força de atrito realiza um trabalho resistente (trabalho negativo) e que ela retira energia do sistema na forma de energia térmica. Assim, na presença de forças dissipativas, parte da energia do sistema será convertida em energia térmica, ou seja, os corpos em contato se aquecem.

Se achar conveniente, proponha a seguinte questão: e se o escorregador fosse perfeitamente liso? Ocorreria aquecimento dos corpos? O que aconteceria com a energia do sistema? Ressalte que, na ausência de atrito, a energia mecânica, dada pela soma da energia cinética com a energia potencial, permanece constante.

O tópico *Energia mecânica* possibilita o trabalho da habilidade **EM13CNT101** por meio da apresentação e da análise das transformações e conservações de energia em alguns sistemas mecânicos.

Reforce aos estudantes que, para um dado valor de trabalho ou uma dada quantidade de energia trocada, a potência é inversamente proporcional ao intervalo de tempo necessário para a conversão. Assim, quanto menor for o intervalo de tempo, maior será a potência desenvolvida.

Atividade extra

Convertendo a energia potencial em energia cinética

Nessa montagem, mostre aos estudantes (e comprove com eles) que a energia potencial gravitacional pode ser convertida em energia cinética passível de uso prático.

Material necessário à construção de uma roda-d'água simples:

- uma rolha de cortiça;
- um tubo de plástico;
- um funil;
- uma garrafa PET de 600 mL;
- um prego;
- fita adesiva;
- dois palitos de dente;
- tesoura;
- faca;
- uma tigela de vidro;
- uma jarra com água.

Comece pela montagem da roda-d'água. Faça quatro cortes igualmente espaçados ao redor da rolha de cortiça. Recorte quatro pedaços de plástico plano para as pás e insira cada um deles em um dos cortes da rolha.

ERICSON GUILHERME LUCIANO/ ARQUIVO DA EDITORA

(Representação fora de proporção; cores meramente ilustrativas.)

Com uma faca sem ponta, corte o fundo da garrafa e certifique-se de que ela se mantém em pé. Usando o prego, faça dois furos, diametralmente opostos, na garrafa PET, conforme

mostra a figura a seguir. Para encaixar o eixo da roda-d'água nesses furos, enfie um dos palitos de dente na rolha e coloque-a dentro da garrafa, passando esse palito por um furo na lateral da garrafa. Use o outro palito de dente para completar o eixo da roda-d'água, passando-o pelo outro furo.

ERICSON GUILHERME LUCIANO/ARQUIVO DA EDITORA

(Representação fora de proporção; cores meramente ilustrativas.)

Coloque o funil no tubo de plástico e fixe-o com fita adesiva. Para utilizar a roda-d'água, coloque a garrafa com a roda dentro da tigela de vidro, passe o tubo de plástico pelo gargalo da garrafa e, a seguir, encha o funil com a água da jarra.

ERICSON GUILHERME LUCIANO/ARQUIVO DA EDITORA

(Representação fora de proporção; cores meramente ilustrativas.)

Pergunte aos estudantes o que eles esperam que aconteça se o funil for colocado a uma altura maior em relação à base da tigela. Peça que expliquem os usos práticos que uma roda-d'água desse tipo poderia ter (moagem de grãos, geração de energia elétrica, entre outros usos).

Para exemplificar o dispositivo construído, mostre aos estudantes como funcionam moinhos de água e turbinas de usinas hidrelétricas. Por fim, comente que a potência elétrica ideal P gerada em uma queda d'água é

$$P = d \cdot g \cdot \Phi \cdot h$$

sendo d a densidade da água, g o módulo da aceleração gravitacional, Φ a vazão e h a altura da queda d'água.

Resoluções e comentários

Dialogando com o texto

O objetivo dessa atividade é compreender a importância das energias limpas para o crescimento econômico e a preservação ambiental no Brasil; conhecer as metas estabelecidas pela ONU para o **ODS 7** e promover a pesquisa independente e a conscientização sobre a transição para energias limpas.

As metas da ONU relacionadas à energia sustentável compõem o item 7 dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável são os seguintes:

> **7.1** Até 2030, assegurar o acesso universal, confiável, moderno e a preços acessíveis a serviços de energia.
>
> **7.2** Até 2030, aumentar substancialmente a participação de energias renováveis na matriz energética global.
>
> **7.3** Até 2030, dobrar a taxa global de melhoria da eficiência energética.
>
> **7. a** Até 2030, reforçar a cooperação internacional para facilitar o acesso a pesquisa e tecnologias de energia limpa, incluindo energias renováveis, eficiência energética e tecnologias de combustíveis fósseis avançadas e mais limpas, e promover o investimento em infraestrutura de energia e em tecnologias de energia limpa.
>
> **7. b** Até 2030, expandir a infraestrutura e modernizar a tecnologia para o fornecimento de serviços de energia modernos e sustentáveis para todos os países em desenvolvimento, particularmente nos países menos desenvolvidos, nos pequenos Estados insulares em desenvolvimento e nos países em desenvolvimento sem litoral, de acordo com seus respectivos programas de apoio.
>
> Fonte: OBJETIVO de Desenvolvimento Sustentável 7: Energia limpa e acessível. Brasília, DF. [2015?]. Disponível em: https://brasil.un.org/pt-br/sdgs/7. Acesso em: 10 set. 2024.

Divida os estudantes em grupos e oriente-os a pesquisar sobre os tópicos mencionados nessa atividade. Alguns termos sugeridos para pesquisa na internet são: "matriz energética brasileira", "energia renovável Brasil", "fontes renováveis energia Brasil" e "energia limpa Brasil". Reforce a importância de os estudantes usarem fontes confiáveis de informação, dando preferência a reportagens e dados publicados pelo governo brasileiro, como da Empresa de Pesquisa Energética (EPE); do portal gov.br; da Agência Gov ou Agência Brasil, ambos da Empresa Brasil de Comunicação (EBC); e de universidades.

Solicite a cada grupo que apresente suas descobertas em formato de apresentação curta (entre 5 e 7 minutos) para a classe. Os estudantes podem ser avaliados com base em sua participação nas discussões, na pesquisa, na preparação e na entrega das apresentações. Solicite também aos estudantes que fundamentem suas posições de maneira sólida, utilizando dados para embasar seus argumentos.

O tema da atividade tem relevância no **TCT Meio ambiente**, na medida em que o estudante é motivado a investigar como o uso de energias limpas contribui para a preservação ambiental.

A abordagem da preservação do meio ambiente, por meio do desenvolvimento sustentável, do uso consciente dos recursos naturais e da preservação da vida em suas formas, destacando a redução de emissões de gases de efeito estufa e os benefícios para a qualidade de vida, reforça a conscientização

socioambiental, contribuindo para o desenvolvimento da habilidade **EM13CNT101**.

Ademais, é possível também desenvolver a habilidade **EM13CNT106**, uma vez que a atividade abrange soluções relacionadas à geração, transporte, distribuição e consumo de energia elétrica. A pesquisa sobre as diferentes fontes de energia limpa e a discussão sobre o que ainda precisa ser feito, enfatizam a importância da eficiência energética, custo/benefício, características geográficas e ambientais, bem como os impactos socioambientais, proporcionando um trabalho interdisciplinar com a Geografia. A atividade proposta também está alinhada com a habilidade **EM13CNT203** da BNCC, que aborda os efeitos de intervenções nos ecossistemas e seus impactos nos seres vivos, no corpo humano, nos ciclos da matéria e nas transformações e transferências de energia. Ao explorar as diferentes formas de energia limpa no Brasil, os estudantes estarão investigando intervenções específicas nos ecossistemas e compreendendo como elas influenciam diretamente a dinâmica ambiental.

Atividade prática

Transformando energias

Ao repetir o experimento apoiando as réguas sobre os dois livros empilhados, a mudança observada em relação à primeira montagem é que a bolinha de gude alcança uma altura maior antes de iniciar a queda, aumentando sua energia potencial gravitacional. Consequentemente, a velocidade com que a bolinha atinge a peça de dominó é maior.

Essa atividade tem por objetivo verificar os conhecimentos prévios dos estudantes a respeito de energia e de suas formas, por isso é realizada antes mesmo de se estabelecerem as diferentes formas de energia estudadas no capítulo.

A montagem sugerida é simples e talvez alguns estudantes já tenham brincado com uma situação semelhante. Nessa montagem, a energia será transferida à bolinha de gude pelo estudante ao colocá-la no alto das réguas. Essa energia será convertida em energia de movimento, que, por sua vez, será transferida à primeira peça de dominó da fileira. Os estudantes poderão concluir que, para que a última peça de dominó sofra mudança em seu estado, a distância entre as peças deverá ser menor que a altura da peça; então, quando a peça tombar, ela atingirá a peça seguinte da fileira, e assim sucessivamente.

Os estudantes serão desafiados a formular questões, elaborar hipóteses, previsões e estimativas, exercitando a curiosidade intelectual e a capacidade investigativa. A habilidade **EM13CNT301** será desenvolvida à medida que os estudantes empregam instrumentos de medição, representam e interpretam modelos explicativos para construir, avaliar e justificar conclusões, fortalecendo a abordagem científica diante de situações-problema. Também é possível desenvolver a habilidade **EM13CNT205**, que é desenvolvida à medida que os estudantes interpretam os resultados experimentais, reconhecendo os limites explicativos das ciências.

Aplicando conhecimentos

1. Esse exercício explora a expressão para o cálculo do trabalho de uma força que atua na direção e no sentido do deslocamento, ou seja, $\theta = 0°$. Então:

$\tau = F \cdot d \cdot \cos\theta \Rightarrow$

$\Rightarrow 60 = 12 \cdot d \cdot \cos 0° \Rightarrow 12d = 60 \therefore d = 5\ \text{m}$

2. Esse exercício explora o cálculo de trabalho de uma força com intensidade variável. Relembre aos estudantes que o trabalho da força variável é dado, numericamente, pela área sob a curva da força em função do deslocamento. Portanto, obtemos:

$\tau_F = \frac{10 \cdot 50}{2} \therefore \tau_F = 250\ \text{J}$

3. **a)** A energia cinética da bola no instante t_1 é dada por:

$E_{C1} = \frac{m \cdot v_1^2}{2} \Rightarrow E_{C1} = \frac{0,5 \cdot 20^2}{2} \Rightarrow E_{C1} = \frac{0,5 \cdot 400}{2} \Rightarrow$

$\Rightarrow E_{C1} = \frac{200}{2} \therefore E_{C1} = 100\ \text{J}$

E, no instante t_2:

$E_{C2} = \frac{m \cdot v_2^2}{2} \Rightarrow$

$\Rightarrow E_{C2} = \frac{0,5 \cdot 30^2}{2} \Rightarrow E_{C2} = \frac{0,5 \cdot 900}{2} \Rightarrow$

$\Rightarrow E_{C2} = \frac{450}{2} \therefore E_{C2} = 225\ \text{J}$

b) Pelo teorema da energia cinética, o trabalho da força resultante que age na bola entre os instantes t_1 e t_2 é dado por:

$\tau_F = E_{C2} - E_{C1} \Rightarrow$

$\Rightarrow \tau_F = 225\ \text{J} - 100\ \text{J} \therefore \tau_F = 125\ \text{J}$

4. A energia potencial elástica armazenada na mola M_1, de constante elástica k e deformação x, é dada por:

$E_{M_1} = \frac{k \cdot x^2}{2} = E \Rightarrow k \cdot x^2 = 2E$ (**I**)

A energia potencial elástica armazenada na mola M_2, de constante elástica $3k$ e deformação $2x$, é dada por:

$E_{M_2} = \frac{3k \cdot (2x)^2}{2} \Rightarrow$

$\Rightarrow E_{M_2} = \frac{3k \cdot 4x^2}{2} \Rightarrow E_{M_2} = \frac{12k \cdot x^2}{2} \Rightarrow E_{M_2} = 6 \cdot k \cdot x^2$ (**II**)

Substituindo (**I**) em (**II**), obtemos a energia potencial elástica armazenada na mola M_2 em função da energia potencial elástica E. Portanto, obtemos:

$E_{M_2} = 6 \cdot k \cdot x^2 \Rightarrow E_{M_2} = 6 \cdot (2E) \Rightarrow E_{M_2} = 12E$

5. **a)** Vamos adotar o nível do ponto B como nível de referência para a energia potencial gravitacional do esquiador, isto é, $E_{Pgrav(B)} = 0$.

Aplicando o princípio da conservação da energia mecânica nos pontos A e B, temos:

$E_{C(A)} + E_{P(A)} = E_{C(B)} + E_{P(B)} \Rightarrow$

$\Rightarrow \frac{m \cdot v_A^2}{2} + m \cdot g \cdot h_A = \frac{m \cdot v_B^2}{2} + m \cdot g \cdot h_B \Rightarrow$

$\Rightarrow \frac{m \cdot 8,0^2}{2} + m \cdot 10 \cdot 1,8 = \frac{m \cdot v_B^2}{2} + m \cdot 10 \cdot 0 \Rightarrow$

$\Rightarrow \frac{64}{2} + 18 = \frac{v_B^2}{2} \Rightarrow \frac{v_B^2}{2} = 32 + 18 \Rightarrow \frac{v_B^2}{2} = 50 \Rightarrow$

$\Rightarrow v_B^2 = 100 \therefore v_B = 10\ \text{m/s}$

b) Aplicando o princípio da conservação da energia mecânica nos pontos B e C, temos:

$E_{C(B)} + E_{P(B)} = E_{C(C)} + E_{P(C)} \Rightarrow$

$\Rightarrow \frac{m \cdot v_B^2}{2} + m \cdot g \cdot h_B = \frac{m \cdot v_C^2}{2} + m \cdot g \cdot h_C \Rightarrow$

$\Rightarrow \frac{m \cdot 10^2}{2} + m \cdot 10 \cdot 0 = \frac{m \cdot v_C^2}{2} + m \cdot 10 \cdot (1,8 + 3,2) \Rightarrow$

$\Rightarrow \frac{100}{2} = \frac{v_C^2}{2} + 10 \cdot 5 \Rightarrow 50 = \frac{v_C^2}{2} + 50 \Rightarrow$

$\Rightarrow \frac{v_C^2}{2} = 50 - 50 \Rightarrow \frac{v_C^2}{2} = 0 \therefore v_C = 0$

Outro modo de calcular a velocidade em *C* é aplicando o princípio da conservação da energia mecânica nos pontos *A* e *C*.

Se julgar conveniente, solicite aos estudantes para resolver novamente este exercício tomando o ponto *A* e/ou o ponto *C* como referência para a energia potencial gravitacional.

6. a) A energia potencial elástica armazenada na mola é igual à energia cinética do corpo imediatamente após perder o contato com essa mola. Portanto, obtemos:

$$E_{Pelást(inicial)} = \frac{0,250 \cdot 2^2}{2} \Rightarrow E_{Pelást(inicial)} = \frac{0,250 \cdot 4}{2} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow E_{Pelást(inicial)} = \frac{1}{2} \therefore E_{Pelást(inicial)} = 0,50 \text{ J}$$

b) A partir da equação para a energia potencial elástica, temos:

$$E_{Pelást(inicial)} = \frac{k \cdot x^2}{2} \Rightarrow 0,50 = \frac{k \cdot 0,10^2}{2} \Rightarrow 1 = k \cdot 0,01 \Rightarrow$$

$$\Rightarrow k = \frac{1}{0,01} \therefore k = 100 \text{ N/m} = 1 \text{ N/cm}$$

c) Por meio da lei de Hooke, é possível calcular a intensidade da força que a mola aplicou inicialmente no corpo.

$$F_{elást} = k \cdot x \Rightarrow F_{elást} = 1 \text{ N/cm} \cdot 10 \text{ cm} \Rightarrow F_{elást} = 10 \text{ N}$$

Em destaque

100 metros em menos de 10 segundos

Divida os estudantes em grupos e peça que verifiquem a fonte de informação antes de iniciarem a coleta de dados para a atividade. Uma primeira seleção pode ser feita na lista dos *links* que surgem do retorno da pesquisa. Alguns termos sugeridos para a pesquisa são: "potência desempenho atletismo", "potência corredor atleta" e "potência velocidade atletismo". Aborde como a individualidade biológica de cada atleta pode influenciar a abordagem para o desenvolvimento da potência.

Esta atividade não apenas fornece uma compreensão teórica da potência mecânica, mas também capacita os estudantes a aplicarem esses conceitos na prática esportiva. Se possível, proporcionando um trabalho interdisciplinar com professores de Educação Física para trazer mais informações sobre o aprimoramento de atletas, trazendo uma perspectiva profissional valiosa para a sala de aula.

1. O primeiro lugar foi de Asinga Issamade, do Suriname, com 9s89. O segundo lugar foi do brasileiro Erik Cardoso, com 9s97. O terceiro lugar ficou com o colombiano Ronal Mosquera, com 9s99.
2. Espera-se que os estudantes encontrem nas pesquisas que a potência mecânica de atletas depende do consumo máximo de oxigênio (também conhecido como $V_{O_2(máx)}$), que tem como fator limitante a capacidade de bombeamento do coração do indivíduo; de treinos de força e de resistência que melhoram o $V_{O_2(máx)}$, com ênfase para o tipo intervalado que consiste em corridas intensas intercaladas com descanso; e do biotipo do indivíduo, como a condição genética que determina qual é o consumo otimizado de energia para correr (em outras palavras, a eficiência de correr do atleta), o que proporciona um trabalho interdisciplinar com professores de Biologia para uma compreensão bem detalhada desses aspectos.

Aplicando conhecimentos

7. Devemos analisar a potência de cada aparelho e o tempo de uso diário. Para isso, multiplicamos o valor da potência pelo tempo de uso diário para obter a energia consumida pelo aparelho em um dia.

O ar-condicionado é utilizado por 8 horas diárias e tem potência de 1,5 kW. Portanto, o seu consumo corresponde a:

$$C_{Ar\text{-}condicionado} = 1,5 \text{ kW} \cdot 8 \text{ h} \Rightarrow C_{Ar\text{-}condicionado} = 12 \text{ kWh}$$

O chuveiro elétrico é utilizado por $\frac{1}{3}$ de hora diária e tem a potência de 3,3 kW:

$$C_{Chuveiro} = 3,3 \text{ kW} \cdot \frac{1}{3} \text{ h} \Rightarrow C_{Chuveiro} = 1,1 \text{ kWh}$$

O *freezer* é utilizado por 10 horas diárias e tem a potência de 0,2 kW:

$$C_{Freezer} = 0,2 \text{ kW} \cdot 10 \text{ h} \Rightarrow C_{Freezer} = 2,0 \text{ kWh}$$

A geladeira é utilizada por 10 horas diárias e tem a potência de 0,35 kW:

$$C_{Geladeira} = 0,35 \text{ kW} \cdot 10 \Rightarrow C_{Geladeira} = 3,5 \text{ kWh}$$

As lâmpadas são utilizadas por 6 horas diárias e têm a potência de 0,10 kW:

$$C_{Lâmpadas} = 0,10 \text{ kW} \cdot 6 \text{ h} \Rightarrow C_{Lâmpadas} = 0,6 \text{ kWh}$$

Somando as potências diárias de cada eletrodoméstico e multiplicando-as pelo período de 30 dias, encontramos o consumo mensal de energia elétrica da casa, que é dado por:

$$C_{Total} = (C_{Ar\text{-}condicionado} + C_{Chuveiro} + C_{Freezer} + C_{Geladeira} + C_{Lâmpadas}) \cdot 30 \Rightarrow$$

$$\Rightarrow C_{Total} = (12 + 1,1 + 2,0 + 3,5 + 0,6) \cdot 30 \therefore C_{Total} = 576 \text{ kWh}$$

Sabendo que o custo de 1 kWh é de R$ 0,40, temos:

$$\text{Custo} = 576 \text{ kWh} \cdot \left(\frac{\text{R\$ } 0,40}{1 \text{ kWh}}\right) \Rightarrow \text{Custo} = \text{R\$ } 230,40$$

Alternativa **e**.

8. Calculemos inicialmente a potência média desenvolvida pelos guindastes G_1 e G_2.

Para isso, teremos de calcular a relação entre o trabalho da força de içamento e o intervalo de tempo. A força de içamento, desenvolvida pelo guindaste, deve equilibrar o peso da carga, pois estamos admitindo que a carga vai se deslocar com velocidade constante.

Então, para o guindaste G_1, teremos:

$$P_1 = \frac{m_1 \cdot g \cdot h_1}{\Delta t_1} \Rightarrow P_1 = \frac{2.000 \cdot 10 \cdot 5}{20} \therefore P_1 = 5.000 \text{ W}$$

Então, para o guindaste G_2, teremos:

$$P_2 = \frac{m_2 \cdot g \cdot h_2}{\Delta t_2} \Rightarrow P_2 = \frac{2.000 \cdot 10 \cdot 9}{30} \therefore P_2 = 6.000 \text{ W}$$

Portanto, o guindaste mais potente é o G_2.

Logo, para suspender uma carga de 3 toneladas a uma altura de 10 m, usando o guindaste G_2, teremos:

$$P_2 = \frac{m \cdot g \cdot h}{\Delta t} \Rightarrow 6.000 \text{ W} = \frac{3.000 \cdot 10 \cdot 10}{\Delta t} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \Delta t = \frac{300.000}{6.000} \therefore \Delta t = 50 \text{ s}$$

Educação midiática

Vale tudo pela visualização?

Inicie a atividade contextualizando a importância de discernir informações *on-line* e os desafios associados a notícias falsas e conteúdos enganosos. Faça a leitura do texto em conjunto com os estudantes e discuta brevemente sobre ética nas mídias sociais e estratégias de monetização frequentemente encontradas.

Em seguida, divida a turma em grupos de 3 a 4 estudantes. Peça aos grupos para analisarem o conteúdo da descrição do vídeo sobre o gerador de energia infinita.

Ressalte aos estudantes que os vídeos sobre **moto-perpétuo** recorrem frequentemente a truques físicos e manipulações, tanto em termos visuais quanto editoriais, incluindo a edição de efeitos especiais. Deixe claro aos estudantes que as máquinas de energia infinita não são possíveis com base nos princípios da conservação de energia.

Essa atividade possibilita o desenvolvimento da **competência geral 10** da BNCC, na medida em que desenvolve autonomia e responsabilidade na tomada de decisões sobre a escolha de conteúdos digitais com base em princípios éticos, democráticos, inclusivos, sustentáveis e solidários. Proporciona também desenvolver a habilidade **EM13CNT207**, trazendo à tona reflexões relativas às vulnerabilidades de ordem física, psicoemocional e social dos jovens quando submetidos às redes sociais sem um filtro crítico das tecnologias digitais, e da habilidade **EM13CNT303**, sobre a necessidade de interpretar textos de divulgação científica em diferentes mídias, com o objetivo de construir estratégias de seleção de fontes confiáveis de informações.

Vale ressaltar algumas competências e habilidades de AMI – Alfabetização Midiática e Informacional (Disponível em: https://institutogrpcom.org.br/bncc-e-alfabetizacao-midiatica/. Acesso em: 11 set. 2024) – que são desenvolvidas durante a atividade, como a compreensão do papel das mídias e da informação na democracia; a compreensão dos conteúdos das mídias e seus usos e a avaliação crítica das informações e suas fontes, com foco no desenvolvimento das **competências gerais 4, 5** e **7** da BNCC.

Com relação às questões sugeridas, indicamos contrapartidas gerais para fomentar o pensamento crítico. Alguns exemplos:

a. A identificação do autor e da fonte pode conferir credibilidade ao conteúdo, mas o anonimato do autor e a ausência de fontes podem levantar preocupações quanto à credibilidade e à intencionalidade.

b. Procure por pistas de que o autor está tentando influenciar sua opinião de forma desonesta, mas também considere se há argumentos sólidos para apoiar a perspectiva apresentada.

c. A presença de fontes confiáveis e citações de especialistas sugere compromisso com a precisão e a veracidade, mas não se esqueça de verificar se essas fontes são relevantes e imparciais.

d. Certifique-se de analisar se o conteúdo é difamatório ou prejudicial, mas também esteja atento a discussões construtivas e respeitosas.

e. Avalie se a promoção é clara e ética, mas também considere se os produtos ou serviços são genuínos e úteis.

f. A presença excessiva de anúncios pode indicar que o criador está mais interessado em gerar receita, mas leve em conta se os anúncios são provocativos ou relevantes e, ainda, se tem relação/coerência com o conteúdo apresentado.

g. Avalie se o conteúdo é exagerado ou sensacionalista, mas também esteja atento a elementos que possam ser atrativos e informativos.

h. As estratégias de monetização podem influenciar a objetividade do conteúdo, mas considere se as recomendações têm, por base, méritos genuínos.

i. Verifique se o criador do conteúdo é transparente sobre como ganha dinheiro com seu trabalho *on-line*, mas também considere se essa transparência é suficiente para o público entender as motivações por trás do conteúdo.

Conduza uma reflexão final sobre a importância de ser crítico *on-line*, considerando tanto a credibilidade das informações quanto o comportamento ético e as motivações financeiras por trás do conteúdo. Instigue o pensamento crítico dos estudantes com perguntas como:

- Quais são as implicações éticas de compartilhar informações que podem causar danos a indivíduos, grupos ou à sociedade em geral?
- Você acredita que os incentivos financeiros associados à monetização *on-line* estão prejudicando a qualidade da informação disponível na internet? Se sim, por quê?

Essas questões visam estimular a reflexão profunda sobre como a ética e a monetização das mídias e ambientes informacionais podem impactar nosso acesso à informação, nossa confiança nas fontes de informação e nossa participação ativa como cidadãos digitais.

Atividades finais

1. Ao puxar a corda do arco, este, devido à sua deformação, passa a armazenar energia potencial elástica. Quando a corda é liberada, a energia potencial elástica do arco é convertida em energia cinética da flecha.

Alternativa **c**.

2. A partir da lei de Hooke, obtemos a constante elástica da mola:

$F_{elást} = k \cdot x \Rightarrow 4 = k \cdot 0,08 \therefore k = 50\ \text{N/m}$

Em seguida, calculamos a energia potencial elástica, em joule, para a deformação de 8 cm da mola.

$E_{P(elást)} = \frac{k \cdot x^2}{2} \Rightarrow E_{P(elást)} = \frac{50 \cdot 0,08^2}{2} \Rightarrow$

$\Rightarrow E_{P(elást)} = \frac{0,32}{2} \therefore E_{P(elást)} = 0,16\ \text{J}$

3. Para que o salto atinja a maior altura possível, toda a energia cinética da etapa I tem de ser convertida em energia potencial gravitacional na etapa III.

Alternativa **c**.

4. A atiradeira (estilingue) converte energia potencial elástica em energia cinética, conforme o exemplo no enunciado. As demais opções estão associadas a outros tipos de conversão de energia.

Alternativa **e**.

5. O teorema da energia cinética é dado por:

$\tau_F = \frac{m \cdot v^2}{2} - \frac{m \cdot v_0^2}{2}$

Na largada, a corredora está em repouso, portanto a sua velocidade v_0 é igual a 0.

Assim, temos:

$\tau_F = \frac{57 \cdot 10^2}{2} - \frac{57 \cdot 0^2}{2} \Rightarrow \tau_F = \frac{5.700}{2} \therefore \tau_F = 2.850\ \text{J}$

Proposta de avaliação

As atividades **1**, **2** e **5** da seção *Atividades finais* possibilitam uma avaliação abrangente da aprendizagem dos estudantes a respeito de conteúdos-chave do capítulo.

Capítulo 6 Gravitação universal

Objetivos do capítulo

- Reconhecer o caráter histórico da evolução dos modelos cosmológicos, desde a Antiguidade até os dias atuais.
- Conhecer as teorias e os modelos propostos para a origem e a evolução do Universo.
- Interpretar as leis de Kepler e saber quando utilizá-las.
- Saber determinar a intensidade da força gravitacional e sua relação com as outras grandezas associadas à interação gravitacional.
- Compreender a importância da interação gravitacional sobre corpos em órbita.

Sugestões didáticas e comentários/ Por dentro da BNCC

O capítulo inicia com uma abordagem histórica da evolução dos modelos cosmológicos, desde o geocentrismo. Com isso, a habilidade **EM13CNT201** é trabalhada ao abordar diferentes teorias e modelos ao longo do tempo, permitindo aos estudantes perceber como o conhecimento sobre o Universo foi construído. Trata-se, portanto, de uma ótima oportunidade para discutir como a visão científica sobre o Universo foi moldada e como isso influencia a compreensão atual das interações cósmicas, integrando o estudo das leis de Kepler, da gravitação universal e dos movimentos planetários.

Em seguida, o estudo das leis de Kepler proporciona uma compreensão sobre os movimentos planetários e como essas leis se aplicam tanto ao Sistema Solar quanto a outros sistemas planetários. A primeira lei, que descreve a órbita elíptica dos planetas, exemplifica a precisão das observações históricas e sua relevância para a ciência moderna. Já a segunda lei, relacionada à variação da velocidade orbital dos planetas em função da distância ao Sol, e a terceira, que estabelece a relação entre o período orbital e o raio médio das órbitas, promovem o desenvolvimento da habilidade **EM13CNT204**, ao permitir que os estudantes elaborem previsões e cálculos sobre os movimentos dos corpos celestes.

Já a abordagem da lei da gravitação universal, desenvolvida por Newton, amplia o entendimento sobre as interações gravitacionais que governam tanto os movimentos na Terra quanto no Universo. Ao relacionar a gravitação às órbitas de satélites, o capítulo propicia a aplicação direta dos conceitos em situações práticas, favorecendo o desenvolvimento da habilidade **EM13CNT301**. Aproveite para explorar a importância dos satélites artificiais nas telecomunicações e monitoramento ambiental, isso enriquece a compreensão sobre como a ciência e a tecnologia impactam o cotidiano, integrando aspectos científicos e tecnológicos nas discussões.

O capítulo, portanto, contribui para a formação integral dos estudantes ao promover uma visão interdisciplinar, abordando a evolução dos modelos cosmológicos e suas implicações filosóficas e históricas, o que fortalece o desenvolvimento das habilidades **EM13CNT201** e **EM13CNT204**. Assim, ao intercalar aspectos históricos com conceitos científicos, os estudantes são convidados a refletir sobre o avanço do conhecimento humano e seu papel na compreensão do Universo.

Atividade extra

Se dispuser de tempo, proponha uma retrospectiva histórica das visões de mundo de alguns filósofos gregos. Sugira à turma que escolha representantes que se disponham a expor as ideias desses pensadores, como Aristarco de Samos, Hiparco de Niceia, Ptolomeu, Copérnico, Galileu Galilei, Kepler e Newton, de forma que cada um defenda o ponto de vista do filósofo ou cientista que elegeu.

Solicite aos estudantes que façam uma pesquisa prévia sobre todos os personagens e suas teorias para que possam formular questões pertinentes. Proponha a atividade como uma viagem no tempo que reúna pensadores de diferentes épocas em uma mesa de debates. Cada um deve apresentar sua teoria, e depois a plateia fará as perguntas.

Nesta atividade complementar, as habilidades desenvolvidas são: **EM13CNT201**, pois promove a análise de teorias de diferentes épocas, abordando as explicações das visões de mundo e da estrutura do Sistema Solar; e **EM13CNT301**, ao promover, por meio da pesquisa sobre os personagens e do debate com a plateia, a capacidade de elaborar questões, levantar hipóteses, argumentar e interpretar modelos, sob a perspectiva científica de diferentes épocas.

Resoluções e comentários

Em destaque

Mitos e cosmologias indígenas

Essa atividade oferece uma oportunidade para explorar as visões de mundo de diferentes culturas, conectando esses conhecimentos à física. Essa abordagem permite integrar perspectivas culturais e científicas, favorecendo a valorização de saberes de povos tradicionais. Enfatize que essas narrativas funcionam como modelos explicativos que, embora diferentes dos modelos científicos, também são formas de interpretar o mundo. Dessa forma, a atividade promove o desenvolvimento da habilidade **EM13CNT201**, ao incentivar a avaliação de distintas explicações sobre a origem do Universo em diferentes épocas e culturas.

Ao comparar as cosmologias indígenas, como o mito dos Arara, com modelos científicos, a atividade propicia o desenvolvimento da **competência geral 1**, ao valorizar o conhecimento historicamente construído para entender e explicar a realidade. Além disso, ela reforça a importância do **TCT Multiculturalismo** ao abordar a a diversidade cultural de forma contextualizada e relevante para a formação cidadã dos estudantes.

Ao longo da atividade, estimule discussões sobre como diferentes culturas compreendem o Universo e os fenômenos naturais, abrindo espaço para o debate sobre como a ciência moderna interpreta esses fenômenos.

Os estudantes podem ser avaliados com base na profundidade da pesquisa, na qualidade do texto apresentado, na participação na discussão em sala de aula e na capacidade de

fazer conexões entre os modelos cosmológicos e as tradições culturais.

Ao final, promova uma reflexão sobre as aprendizagens e a importância do respeito pela diversidade cultural e suas interpretações sobre o Universo.

Atividade prática

Construindo uma órbita

Ao final da atividade, como complemento ao experimento, incentive os estudantes a explorar como a forma dessa curva influencia as características físicas dos planetas, levando-os a compreender que quanto maior a excentricidade, mais "alongada" será a órbita, e quanto menor a excentricidade, mais a órbita se assemelha a um círculo. Assim, por exemplo, a Terra, em uma órbita quase circular, mantém uma distância relativamente constante do Sol, enquanto planetas com órbitas mais excêntricas, como Marte, experimentam variações mais pronunciadas na sua proximidade ao Sol ao longo de suas trajetórias. Isso permite desenvolver a habilidade **EM13CNT204**, que prevê a elaboração de explicações e previsões sobre o movimento de objetos na Terra, no Sistema Solar e no Universo, com base nas interações gravitacionais.

1. Os pontos nos quais você fixou as tachinhas representam os focos da elipse.
2. Supondo que a elipse traçada represente a órbita de um planeta do Sistema Solar, o Sol estaria localizado em um dos focos da elipse.
3. Ao repetir o procedimento, fixando as tachinhas separadas entre si por uma distância igual à metade da distância inicial, a nova elipse terá excentricidade menor. A elipse será menos "achatada" em comparação com a primeira, indicando uma menor excentricidade.
4. Essa nova curva, obtida fixando as tachinhas praticamente no mesmo ponto do segmento base, é muito próxima de um círculo. Se fosse a representação da órbita de um satélite terrestre, a Terra estaria localizada no centro do círculo.

Em destaque

Plutão em foco

Essa atividade oferece uma ótima oportunidade para estimular a curiosidade intelectual dos estudantes e desenvolver sua capacidade de investigação científica, conforme a **competência geral 2**. Os estudantes são incentivados a refletir sobre as condições extremas de temperatura e pressão em Plutão e a comparar essas condições com as da Terra, formulando hipóteses e questionamentos sobre as interações físicas e químicas envolvidas.

A interdisciplinaridade com a Química pode ser integrada à atividade, auxiliando os estudantes a compreender como as interações intermoleculares atuam no ciclo do nitrogênio em Plutão, comparando com as ligações de hidrogênio na água no ciclo terrestre. Essa colaboração contribui para uma compreensão mais aprofundada das diferenças nas condições ambientais entre os dois planetas, fortalecendo a capacidade dos estudantes de aplicar conhecimentos de diferentes áreas para explicar fenômenos naturais.

Além disso, a análise crítica de textos de divulgação científica também pode ser desenvolvida por meio dessa atividade. Aproveite para discutir com a turma como reconhecer fontes confiáveis de informação científica. Isso pode ser ampliado para uma discussão sobre *fake news* científicas, incentivando os estudantes a avaliar a produção, circulação e recepção de conteúdos científicos nas mídias sociais.

O tema desta atividade é relevante dentro do **TCT Ciência e tecnologia**. Ao analisar as condições ambientais em Plutão e compará-las às da Terra, os alunos têm a chance de observar como o avanço tecnológico e científico permite não apenas o estudo de fenômenos distantes, mas também a aplicação desses conhecimentos para o desenvolvimento de tecnologias que impactam o cotidiano humano.

1. Isso sugere que Plutão tem atividade geológica.
2. A sublimação é a passagem de uma substância do estado sólido diretamente para o gasoso, sem passar pelo líquido. As baixas temperaturas de Plutão fazem com que o nitrogênio e outros gases congelem na superfície e só sublimem quando ele se aproxima do Sol.
3. A gravidade de Plutão é baixa, o que dificulta a retenção de sua atmosfera. Quando Plutão se aproxima do Sol, o calor faz os gases sublimarem e expandirem a atmosfera. Ao se afastar do Sol, a temperatura diminui, e esses gases congelam e caem como neve.

Aplicando conhecimentos

1. Como ambos os satélites orbitam a Terra, podemos escrever:
$\frac{T_A^{\,2}}{R_A^{\,3}} = \frac{T_B^{\,2}}{R_B^{\,3}} \Rightarrow \frac{(1{,}5\text{ h})^2}{R^3} = \frac{T_B^{\,2}}{(4R)^3} \Rightarrow T_B^{\,2} = 64 \cdot (1{,}5\text{ h})^2 \Rightarrow$
$\Rightarrow T_B = 8 \cdot 1{,}5\text{ h} \Rightarrow T_B = 12\text{ h}$
Portanto, alternativa **d**.

2. Vamos aplicar a terceira lei de Kepler para o satélite e a Lua:
$\frac{T_{Sat}^{\,2}}{R_{Sat}^{\,3}} = \frac{T_{Lua}^{\,2}}{R_{Lua}^{\,3}} \Rightarrow \frac{(1\text{ dia})^2}{R_{Sat}^{\,3}} = \frac{(27\text{ dias})^2}{(60\,R_T)^3} \Rightarrow R_{Sat}^{\,3} = \frac{(60 \cdot R_T)^3}{27^2} \Rightarrow$
$\Rightarrow R_{Sat} = \frac{60 \cdot R_T}{3^2} \simeq \frac{20}{3} \cdot 6.378\text{ km} \simeq 42.520\text{ km}.$
Porém, esse é o raio da órbita do satélite; sua altitude é
$h = R_{Sat} - R_{Terra} \Rightarrow h = 42.520\text{ km} - 6.378\text{ km} = 36.142\text{ km}.$
Essa é a altitude dos satélites geoestacionários.
Portanto, alternativa **c**.

3. **a)** Incorreta: reduzindo-se a distância à metade, a intensidade da força quadruplica:
$F = G \cdot m_1 \cdot m_2 \cdot \left(\frac{1}{d}\right)^2$ e $F' = G \cdot m_1 \cdot m_2 \cdot \left(\frac{1}{\frac{1}{2} \cdot d}\right)^2$
Logo: $F' = 4 \cdot G \cdot m_1 \cdot m_2 \cdot \left(\frac{1}{d}\right)^2 \Rightarrow F' = 4 \cdot F$

b) Incorreta: sua intensidade é inversamente proporcional ao quadrado da distância entre os corpos.

c) Incorreta: a intensidade cai para $\frac{1}{9}$ do valor inicial:
$F = G \cdot m_1 \cdot m_2 \cdot \left(\frac{1}{d}\right)^2$ e $F' = G \cdot m_1 \cdot m_2 \cdot \left(\frac{1}{3 \cdot d}\right)^2$
Logo:
$F' = \frac{1}{9} \cdot G \cdot m_1 \cdot m_2 \cdot \left(\frac{1}{d}\right)^2 \Rightarrow F' = \frac{1}{9} \cdot F$

d) Incorreta: sua intensidade é diretamente proporcional ao produto das massas, não ao quadrado.

e) Correta: podemos escrever a intensidade da força gravitacional na forma:

$F = G \cdot \frac{m_1 \cdot m_2}{d^2} = G \cdot m_1 \cdot m_2 \cdot \frac{1}{d^2} = G \cdot m_1 \cdot m_2 \cdot \left(\frac{1}{d}\right)^2$

Logo, F é diretamente proporcional ao quadrado do inverso da distância entre eles.

Alternativa **e**.

4. a) A partir da lei da gravitação universal, temos:

$F = G \cdot \frac{m_1 \cdot m_2}{d^2} \Rightarrow$

$\Rightarrow F = 6{,}67 \cdot 10^{-11} \cdot \frac{5{,}97 \cdot 10^{24} \cdot 100}{(6{,}37 \cdot 10^6)^2} \simeq 981{,}3 \text{ N}$

b) O peso do objeto é dado por:

$P = m \cdot g = 100 \text{ kg} \cdot 9{,}81 \text{ m/s}^2 = 981 \text{ N}$

Realmente, uma notável proximidade. Se desconsiderarmos a rotação da Terra, a intensidade da força de atração gravitacional que atua em um corpo parado na superfície terrestre será o seu peso.

Dialogando com o texto

Para essa atividade é importante ajudar os estudantes a interpretar gráficos, tabelas e dados climáticos coletados em suas pesquisas.

Discuta com a turma como esses dados são usados para embasar decisões globais e locais sobre políticas climáticas e medidas de mitigação. Incentive os estudantes a formular ideias e soluções que respeitem os direitos humanos e promovam a consciência socioambiental, como práticas de consumo responsável e iniciativas locais para reduzir os impactos das mudanças climáticas.

Ao longo das discussões, é essencial ressaltar a ligação da atividade com o **ODS 13** da Agenda 2030 da ONU, que trata da ação contra a mudança global do clima. Mostre como os dados coletados pelos satélites contribuem para monitorar e combater as alterações climáticas, além de auxiliar na prevenção de desastres naturais. Traga exemplos específicos do Brasil, como o monitoramento de queimadas e desmatamento na Amazônia, que também afetam o clima global. Esses dados, coletados por satélites como os operados pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (Inpe), são fundamentais para que o Brasil e o mundo tomem medidas urgentes para reduzir os impactos da mudança climática.

Ao final das apresentações, promova uma discussão que conecte o papel dos satélites na preservação ambiental com a responsabilidade individual e coletiva de adotar práticas sustentáveis. Estimule os estudantes a refletir sobre como pequenas ações no cotidiano, como a redução de resíduos e o uso consciente de energia, podem contribuir para os objetivos da Agenda 2030.

Mundo do trabalho

Astronauta (ainda) é uma profissão do futuro?

Inicie com uma leitura coletiva sobre a carreira de astronauta, abordando sua demanda, desafios e avanços tecnológicos. Destaque que, para realizar um sonho profissional, é crucial conhecer os desafios, o caminho acadêmico necessário e a compatibilidade com a visão de mundo e os interesses pessoais.

A relação entre a atividade e o **ODS 8** pode ser explorada ao destacar a importância do desenvolvimento de profissões que promovam o trabalho decente, garantindo não apenas oportunidades de emprego de qualidade, mas também um crescimento inclusivo e sustentável.

1. Explore argumentos sobre a evolução tecnológica, automação e mudanças na exploração espacial. Os estudantes devem compreender que, embora o número de vagas possa diminuir, a profissão se adaptará, focando em tarefas estratégicas em vez de operacionais. Profissionais com conhecimentos em áreas como física e matemática continuarão essenciais.

2. Conduza uma discussão sobre a importância da adaptabilidade e do aprendizado contínuo para o sucesso em qualquer profissão. Essa abordagem permite que os estudantes valorizem a diversidade de saberes e vivências culturais, compreendendo as relações do mundo do trabalho e fazendo escolhas alinhadas ao seu projeto de vida, com liberdade, autonomia e responsabilidade, conforme a **competência geral 6** da BNCC.

Aplicando conhecimentos

5. a) O raio da órbita descrita é a soma da altitude $h = 320$ km com o raio da Terra $R = 6.350$ km. Então:

$r = h + R = 320 \text{ km} + 6.350 \text{ km} \Rightarrow$

$\Rightarrow r = 6.670 \text{ km} = 6{,}67 \cdot 10^6 \text{ m}$

Portanto, a velocidade orbital será dada por:

$v = \sqrt{\frac{G \cdot M}{r}} = \sqrt{\frac{6{,}67 \cdot 10^{-11} \cdot 6{,}0 \cdot 10^{24}}{6{,}67 \cdot 10^6}}$

$\therefore v \approx 7{,}75 \cdot 10^3 \text{ m/s} = 7{,}75 \text{ km/s}$

b) O período orbital é

$T = \frac{2\pi \cdot R}{v} = \frac{2\pi \cdot 6{,}67 \cdot 10^6}{7{,}55 \cdot 10^3} \therefore T \simeq 5.410 \text{ s} \simeq 1 \text{ h } 30 \text{ min}$

Estratégia de estudo

Nesta seção, espera-se que os alunos adotem, de forma autônoma, estratégias para aprimorar seu estudo e sua compreensão dos temas abordados. Esclareça que a seleção de palavras-chave é apenas uma possibilidade de estratégia de estudo. Para o tópico que inicia o capítulo, palavras e termos como geocêntrico, heliocêntrico e sistema planetário são algumas das opções que podem ser elencadas pelos estudantes. Esses são apenas alguns exemplos; outras palavras podem ser selecionadas. Incentive o compartilhamento e a comparação da lista de palavras-chave entre os alunos, analisando se há termos que devem ser incluídos ou excluídos. Esse momento colaborativo pode ser útil para esclarecer dúvidas, permitindo que os alunos se ajudem mutuamente e, se necessário, solicitem auxílio do professor.

Atividades finais

1. a) Se os intervalos de tempo Δt_{AQB} e Δt_{CPD} são iguais, os segmentos de reta que ligam o planeta ao Sol varrem áreas iguais: $A_1 = A_2$.

b) A velocidade escalar média é a razão entre o deslocamento escalar (Δs) e o intervalo de tempo gasto no percurso. Como o trecho AQB é mais curto que o trecho

CPD, a velocidade escalar média é menor no trecho *AQB* e maior no trecho *CPD*: $v_{m(AQB)} < v_{m(CPD)}$.

c) Com as informações dadas, os arcos *BC* e *DA* têm a mesma medida; portanto, as áreas varridas e os intervalos de tempo de percurso são iguais: $\Delta t_{BC} = \Delta t_{DA}$.

2. Aplicando a terceira lei de Kepler, temos:

$$\frac{T_J^2}{R_J^3} = \frac{T_T^2}{R_T^3} \Rightarrow \frac{T_J^2}{(5R)^3} = \frac{(1\text{ ano})^2}{(R)^3} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow T_J = \sqrt{125}\text{ anos} \simeq 11{,}2\text{ anos.}$$

Portanto, alternativa **b**.

3. Aplicando a terceira lei de Kepler para Netuno e a Terra, temos:

$$\frac{T_{Terra}^2}{R_{Terra}^3} = \frac{T_{Netuno}^2}{R_{Netuno}^3} \Rightarrow \frac{(1\text{ ano})^2}{(1\text{ UA})^3} = \frac{(164{,}8\text{ anos})^2}{R_{Netuno}^3} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow R_{Netuno}^3 = (164{,}8)^2 \cdot (1\text{ UA})^3 \Rightarrow$$

$$\Rightarrow R_{Netuno} = (164{,}8)^{2/3}\text{ UA} \simeq 30{,}0\text{ UA}$$

Portanto, alternativa **a**.

Comente que esse valor é o "limite" atual do Sistema Solar. Para além desse limite, estão os corpos do cinturão de Kuiper, entre eles, Plutão.

4. A distância entre os corpos é $R + r = D$. A força de atração gravitacional entre os corpos é a força centrípeta dos movimentos circulares. Assim, para o corpo de massa *m*, temos:

$$G \cdot \frac{M \cdot m}{D^2} = m \cdot \omega^2 \cdot R \Rightarrow G \cdot \frac{M}{D^2} = \omega^2 \cdot R \quad \text{(I)}$$

Para o corpo de massa *M*, temos:

$$G \cdot \frac{M \cdot m}{D^2} = M \cdot \omega^2 \cdot r \Rightarrow G \cdot \frac{m}{D^2} = \omega^2 \cdot r \quad \text{(II)}$$

Somando-se as equações (I) e (II), temos:

$$\frac{G}{D^2} \cdot (m + M) = \omega^2 \cdot \left(r + R\right) \Rightarrow \frac{G}{D^2} \cdot (m + M) = \left(\frac{2\pi}{T}\right)^2 \cdot D \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \frac{T^2}{D^3} = \frac{4\pi^2}{G \cdot (M + m)}$$

Essa é a forma da terceira lei de Kepler quando as massas *M* e *m* têm valores comparáveis. Para corpos do Sistema Solar, $M_{Sol} + m_{corpo} \simeq M_{Sol}$. Para o sistema Terra-Lua, $M_{Terra} = 81 \cdot m_{Lua}$, então $M_{Terra} + m_{Lua} \simeq 82 \cdot m_{Lua}$; portanto, $M_{Terra} + m_{Lua} \simeq M_{Terra}$.

Referências suplementares

A dissertação "O ensino da gravitação universal de Newton através da história da ciência e da argumentação: desenvolvimento e análise de uma sequência didática" investiga como desenvolver a argumentação e a compreensão da gravitação de Newton em estudantes de Física. A sequência didática foi baseada no uso da história da ciência, explorando a controvérsia entre Newton e Descartes, e no ensino explícito da argumentação, utilizando o modelo de Toulmin como referência para construir e avaliar argumentos, disponível em: https://repositorio.ufba.br/handle/ri/24711 (acesso em: 16 set. 2024).

Proposta de avaliação

As atividades **1**, **2** e **4** das *Atividades finais* possibilitam uma avaliação abrangente da aprendizagem dos estudantes a respeito de conteúdos-chave do capítulo.

Capítulo 7 Estática e máquinas simples

Objetivos do capítulo

- Estabelecer os conceitos de ponto material e de corpo extenso, bem como as condições de equilíbrio para cada um deles.
- Estabelecer o conceito de torque e interpretá-lo como uma medida da tendência de uma força provocar a rotação de um corpo em torno de um eixo.
- Estabelecer as condições de equilíbrio de uma alavanca ou de uma associação de polias, bem como analisar a transmissão de movimentos circulares por meio de engrenagens e correias.
- Reconhecer e compreender que a característica mais importante de máquinas simples é a vantagem mecânica e interpretar sua relação com a conservação do trabalho.
- Reconhecer que sistemas de alavancas, polias e planos inclinados são máquinas simples.

Sugestões didáticas e comentários/ Por dentro da BNCC

Comece o capítulo fazendo uma revisão das forças que devem ser marcadas em um corpo, do conceito de resultante e de operações vetoriais. Em todos os tópicos, é importante reforçar para os estudantes que as máquinas simples facilitam a realização de uma tarefa, pois permitem a aplicação de uma força menor do que aquela necessária para realizar a tarefa diretamente, mas a quantidade de energia envolvida é a mesma.

O capítulo trata principalmente das habilidades **EM13CNT301**, pois promove a construção de questões, a elaboração de hipóteses, estimativas, interpretação de modelos e resultados; e **EM13CNT204**, pois permite que os estudantes elaborem explicações, previsões e cálculos sobre movimentos de objetos na Terra com base na análise das interações gravitacionais e da **competência geral 2**, na medida em que apresenta atividades que incentivam os estudantes a exercitar a curiosidade intelectual e recorrer à abordagem própria das ciências para resolver problemas.

No tópico *Plano Inclinado*, temos o desenvolvimento da habilidade **EM13MAT308** (Aplicar as relações métricas, incluindo as leis do seno e do cosseno ou as noções de congruência e semelhança, para resolver e elaborar problemas que envolvem triângulos, em variados contextos) da área de Matemática e suas Tecnologias, na medida em que propõe a utilização de relações métricas para resolver problemas em variados contextos.

Nos tópicos *Alavancas* e *Polias ou Roldanas*, temos o desenvolvimento parcial da habilidade **EM13CNT307**, pois se propõe a análise de propriedades geométricas dos materiais para verificar sua adequação no setor tecnológico.

Atividade extra

Experimento: construindo uma alavanca

Com uma tira de papelão ou uma haste de madeira, por exemplo, podemos construir uma alavanca. Vamos graduá-la em 12 partes iguais (6 para cada lado) e suspendê-la pelo ponto situado na mesma vertical que passa pelo centro de gravidade, onde se coloca o valor 0. Pegamos vários clipes, que servirão

de "peso", e analisamos em que situações a alavanca fica em equilíbrio na posição horizontal. Com um clipe de cada lado na posição 4, a alavanca fica em equilíbrio. Deslocando-se o clipe do lado esquerdo para a posição 2, a alavanca se desequilibra. Com dois clipes do lado esquerdo na posição 2, a alavanca volta ao equilíbrio na posição horizontal. Repare que, na situação de equilíbrio, é constante o produto do peso total dos clipes de cada lado pelo número de divisões até o ponto de suspensão. Agora, um teste para os estudantes resolverem. Na posição 3, suspendemos quatro clipes. Em que ponto devemos suspender mais dois clipes para equilibrar a alavanca? Faça a demonstração da atividade ou solicite aos estudantes que a façam. Em seguida, peça que associem as situações apresentadas a dispositivos da vida real, como um cabide cuja roupa pendurada apressadamente pende mais para um lado.

Essa atividade possibilita o desenvolvimento das habilidades: **EM13CNT301**, pois promove a construção de questões, a elaboração de hipóteses e estimativas e a interpretação de modelos e resultados; e **EM13CNT204**, pois permite que os estudantes elaborem explicações, previsões e cálculos sobre movimentos de objetos na Terra com base na análise das interações gravitacionais.

Resoluções e comentários

Em destaque

Equilibrando a lata na cabeça

Convide os estudantes a imaginar os equilíbrios, adaptações e improvisos com que pessoas de uma localidade com essa realidade precisam lidar para viver.

Ao abordar o tema, é importante demonstrar aos estudantes que, embora o Brasil tenha grandes reservas de água doce, há problemas de escassez que derivam do desequilíbrio entre demanda e disponibilidade desse recurso.

Em algumas regiões do país, como no semiárido brasileiro, o índice de evaporação supera a pluviosidade, tornando parte da hidrografia intermitente. Isso significa que muitos rios dessas regiões permanecem secos durante alguns meses do ano. Outro fator é a irregularidade das precipitações, fato que prejudica o planejamento de várias atividades que dependem da água, como a agricultura.

Além da questão da semiaridez de parte do Nordeste, há também problemas relacionados à falta de serviços de abastecimento e tratamento de esgoto. Outro aspecto se refere à superexploração da água. Regiões densamente povoadas e que realizam agricultura irrigada de alta produtividade demandam grandes volumes de água que, apesar de disponíveis na natureza, podem estar aquém da necessidade, gerando um quadro de estresse hídrico.

A análise da letra da música "A força que nunca seca" favorece uma reflexão sobre as consequências sociais da falta de segurança hídrica. Proponha aos estudantes que se imaginem na situação dessa senhora e quais as dificuldades encontradas por ela.

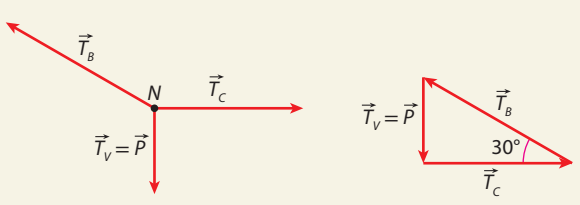
Ao trabalhar com a temática da água, é relevante conectar o conteúdo ao **ODS 6**, que busca assegurar a disponibilidade e a gestão sustentável da água e do saneamento para todos. A água é um recurso essencial, e a escassez, poluição e falta de infraestrutura para o tratamento de esgoto e abastecimento de água afetam diretamente a qualidade de vida de muitas pessoas no Brasil, principalmente em regiões semiáridas. Integrar essa discussão ao **ODS 6** permite que os alunos compreendam a importância de iniciativas globais e locais voltadas para o acesso equitativo à água potável e ao saneamento básico, destacando o papel de todos na preservação desse recurso vital. Essa reflexão está alinhada com o desenvolvimento sustentável, que visa garantir o bem-estar das populações atuais sem comprometer as gerações futuras.

1. O equilíbrio cego é atingido inconscientemente: o corpo se ajusta para carregar a lata cheia de água, mesmo que ele precise ficar torto, "o corpo que entorta pra lata ficar reta". É o corpo que entorta para se equilibrar em uma localidade marcada pela escassez e pela irregularidade de chuvas e que sobrevive em uma realidade de insegurança hídrica.
2. Espera-se que os estudantes indiquem uma região do Brasil com crise hídrica crônica, como o semiárido nordestino, ou outras regiões que, a despeito da abundância de chuvas ou cursos de água, não contam com fornecimento de água tratada.
3. Corpo extenso, pois suas dimensões são significativas em cima da cabeça de uma pessoa.
4. Catolé do Rocha, no sertão paraibano, enquadra-se como área de baixo índice de segurança hídrica. É comum que artistas tratem da realidade de seus locais de origem. As artes podem se tornar um meio comunicador de experiências e outras realidades.
5. Estimule a discussão entre os estudantes com os dados fornecidos nas Orientações didáticas sobre saneamento básico e atividades econômicas que demandam consumo de água. A utilização de água não tratada pode contribuir para a exposição de uma população a problemas de saúde, ocasionando maiores índices de mortalidade infantil e redução da expectativa de vida. A escassez também impacta o desenvolvimento econômico, seja por dificultar a realização de atividades que dependam da água, como a agricultura, ou por precarizarem a oferta de serviços como o de saúde ou educação. Escolas sem acesso à água potável e esgotamento sanitário podem ter maiores índices de evasão e abandono escolar do que outras, por exemplo.

Aplicando conhecimentos

1. Sobre a caixa *A*, atuam duas forças: seu peso ($\vec{P}$) e a tração ($\vec{T}_V$) na corda vertical. Como o bloco está em equilíbrio, temos $T_V = P = 300$ N. No ponto *N*, atuam três forças: a tração na corda *B* ($\vec{T}_B$), a tração $\vec{T}_C$ na corda horizontal *C* e a tração $\vec{T}_V$. Como o sistema está em equilíbrio, essas três forças têm resultante nula. Ligando-as pelo método da linha poligonal, teremos um triângulo retângulo:

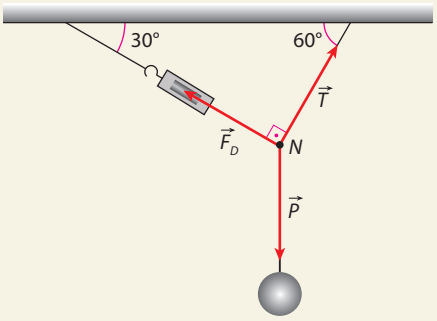
ERICSON GUILHERME LUCIANO/ ARQUIVO DA EDITORA



$$\frac{T_V}{T_B} = \text{sen } 30° \Rightarrow \frac{300}{T_B} = \text{sen } 30° \therefore T_B = 600 \text{ N}$$

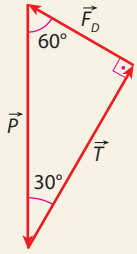
Alternativa **d**.

2. As forças que atuam no nó *N* estão representadas na figura a seguir. A força de tração no cabo vertical tem intensidade igual ao peso da esfera. Como a esfera está em equilíbrio, essas três forças formam um triângulo retângulo.



ILUSTRAÇÕES: ERICSON GUILHERME LUCIANO/ARQUIVO DA EDITORA

Do triângulo das forças, temos:



Assim: $\text{sen } 30° = \frac{F_D}{P} \Rightarrow \frac{1}{2} = \frac{F_D}{P} \Rightarrow P = 2 \cdot F_D = 10 \text{ N}$

Em destaque

Violência conta a mulher e defesa pessoal

Incentive os estudantes a ler o texto da reportagem que visa explorar a relação entre as artes marciais, o desenvolvimento pessoal e a prevenção à violência contra a mulher. A referência da juíza aposentada Maria Consentino destaca a importância das artes marciais, não apenas como meio de autodefesa, mas também como ferramenta para fortalecer a autoconfiança e o autocontrole. O judô, com sua ênfase no equilíbrio físico, apresenta-se como uma modalidade relevante nesse contexto. Destaque a ênfase no equilíbrio físico no judô e como isso pode ser aplicado não apenas em situações de combate. Ao promover a interseção entre as artes marciais e a prevenção da violência, os estudantes poderão perceber o judô não apenas como uma prática esportiva, mas como um meio de fortalecer a comunidade e promover relações mais seguras e respeitosas.

Ao trabalhar com a temática das artes marciais, é fundamental conectar o conteúdo com o **ODS 5**, que trata da igualdade de gênero. Destaque a importância de promover a autonomia e a segurança das mulheres, especialmente no combate à violência de gênero. A prática de artes marciais, como o judô, pode ser vista não apenas como uma ferramenta de autodefesa, mas também como um meio de fortalecer a confiança, a autoestima e a capacidade de reação das mulheres em situações de risco, promovendo maior igualdade e empoderamento feminino. Ao introduzir essa reflexão na atividade, os alunos são convidados a compreender a relevância do combate à violência contra a mulher como uma questão central para a promoção de uma sociedade mais justa e inclusiva.

Além disso, o **ODS 16**, que visa promover sociedades pacíficas e inclusivas, está diretamente relacionado com a abordagem de prevenção à violência. O judô, ao enfatizar o autocontrole e o respeito ao próximo, contribui para a formação de cidadãos mais conscientes de seu papel na construção de uma cultura de paz e resolução pacífica de conflitos. A prática desse esporte, dentro de um contexto educativo, pode funcionar como um canal para estimular nos alunos atitudes de respeito mútuo, empatia e responsabilidade social, elementos centrais para a construção de uma comunidade mais segura e harmoniosa.

Conectando essas reflexões ao **TCT Cidadania e civismo**, a atividade promove a compreensão de valores como respeito, solidariedade e promoção do bem-estar coletivo. Ao abordar a prevenção da violência e a promoção do equilíbrio físico e emocional por meio do judô, os estudantes são levados a refletir sobre a importância de suas ações para a construção de uma sociedade mais justa, em que os direitos individuais, como o direito à segurança e à igualdade, são respeitados e valorizados. Essa atividade fortalece a noção de que a educação física e o esporte podem atuar como ferramentas transformadoras para o desenvolvimento da cidadania e do civismo.

Apresente as figuras A e B da seção, destacando que ambas representam técnicas de arremesso no judô. Peça aos estudantes que identifiquem e expliquem por que a técnica representada na figura A é mais eficiente do que a da figura B. Mostre a importância de diminuir o momento da força gravitacional sobre o oponente.

Aplicando conhecimentos

3. A partir da definição de momento de uma força, temos:

$M_{F(O)} = F \cdot d = 3{,}0 \text{ N} \cdot 0{,}80 \text{ m} = 2{,}40 \text{ N} \cdot \text{m}$

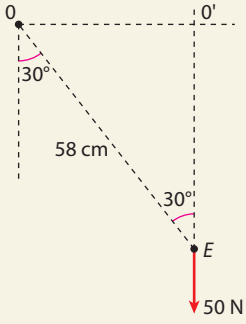
Como a porta vai girar no sentido horário, o momento de *F* é negativo. Portanto: $M_{F(O)} = -2{,}40 \text{ N} \cdot \text{m}$

Alternativa **b**

4. **a)** Na figura A, o braço da força de 25 N é igual ao comprimento do braço da pessoa (58 cm ou 0,58 m):

$M_O = 25 \text{ N} \cdot 0{,}58 \text{ m} = 14{,}5 \text{ N} \cdot \text{m}$

b) Na figura B, o braço da força de 25 N é o segmento *OO'*. Do triângulo *OO'E*, temos:



ERICSON GUILHERME LUCIANO/ARQUIVO DA EDITORA

Logo:

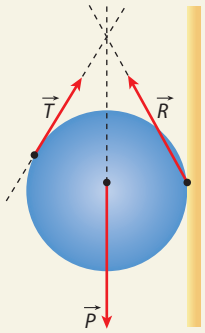
$\text{sen } 30° = \frac{OO'}{OE} \Rightarrow OO' = 58 \text{ cm} \cdot 0{,}5 = 29 \text{ cm} = 0{,}29 \text{ m}$

Assim:

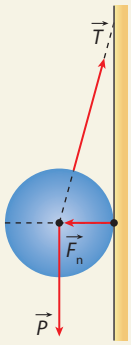
$M_F(O) = F \cdot OO' = 25 \text{N} \cdot 0{,}29 \text{ m} = 7{,}25 \text{ N} \cdot \text{m}$

5. **a)** A reação ($\vec{R}$) da parede tem uma componente horizontal (reação normal) e um componente vertical (atrito) e as três forças concorrem em um ponto externo à esfera. A força $\vec{R}$ tem

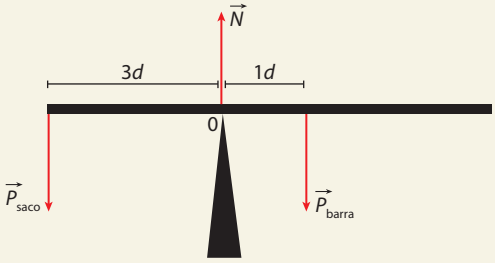
intensidade maior que a força de tração e, portanto, deve ser representada por um vetor "mais longo" que o da força $\vec{T}$.



b) Sem atrito, a reação da parede é perpendicular a ela (força normal) e as três forças concorrem no centro da esfera. A intensidade da força de tração é a maior das três; portanto, ela deve ser representada por um vetor "mais longo" que as outras duas forças.



6. Para que a barra fique em equilíbrio na horizontal, o momento resultante dos pesos da barra e do saco de arroz deve ser nulo, em relação ao ponto de apoio *O*. O peso da barra está aplicado no seu ponto médio.



Assim:

$P_{barra} \cdot 1d = P_{saco} \cdot 3d \Rightarrow m_{barra} \cdot g \cdot d = m_{saco} \cdot g \cdot 3d \Rightarrow$

$\Rightarrow m_{barra} = 3 \cdot m_{saco} \therefore m_{barra} = 15{,}0 \text{ kg}$

Alternativa **e**

7. A soma dos momentos dos pesos dos blocos, em relação ao ponto de apoio (7), deve ser nula. A distância do bloco da esquerda ao fulcro é (7 – 1) = 6 u. A distância do bloco da direita ao apoio é (x – 7) u. Logo:

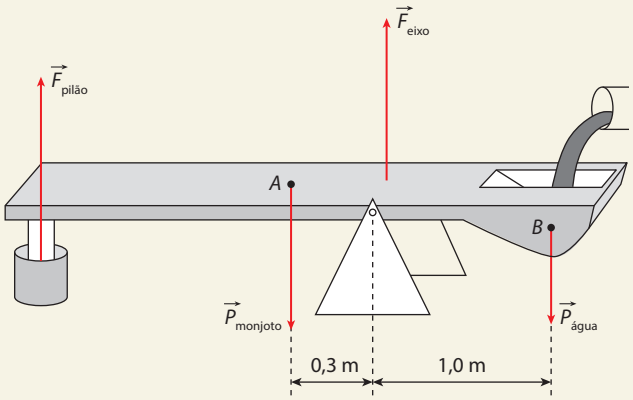
$+ 5 \text{ N} \cdot (6 \text{ u}) = 10 \text{ N} \cdot (x - 7) \text{ u} \Rightarrow 30 \text{ u} = 10 \cdot (x - 7) \text{ u} \Rightarrow x = 10$

Portanto, o bloco da direita deve ser pendurado no gancho 10.

Como a tração é a única força vertical para cima, temos:

$T = 5 \text{ N} + 6 \text{ N} + 10 \text{ N} = 21 \text{ N}$

8. A figura mostra as forças que atuam no sistema durante o processo de enchimento da cavidade.



Na iminência do movimento de inclinação, a força $\vec{F}_{pilão}$ será nula e o momento resultante das forças peso do monjolo e da água, em relação ao eixo do sistema, também será nulo. Nessas condições, devemos ter:

$P_{monjolo} \cdot d_1 = P_{água} \cdot d_2 \Rightarrow m_{monjolo} \cdot d_1 = m_{água} \cdot d_2 \Rightarrow$

$\Rightarrow 80 \cdot 0{,}3 = m_{água} \cdot 1{,}0 \therefore m_{água} = 24 \text{ kg}$

Como a densidade da água é 1 kg/L, o valor obtido para a massa corresponde a um volume de 24 litros de água.

Alternativa **d**

9. Dadas a força motriz de $F_{motriz} = 200$ N e a força resistente (carga) de $F_{carga} = 640 \text{ kg} \cdot 10 \text{ N/kg} = 6.400$ N, temos:

$2^n \cdot F_{motriz} \geq F_{força} \Rightarrow 2^n \cdot 200 \text{ N} \geq 6.400 \text{ N} \Rightarrow$

$\Rightarrow 2^n \geq 32 \Rightarrow 2^n \geq 2^5 \Rightarrow n \geq 5$, portanto, $n_{mínimo} = 5$

Alternativa **d**

10. Como são três polias móveis, a força *F* exercida pela pessoa tem intensidade $F = \frac{W}{2^n} = \frac{W}{2^3} = 100$ N. Sobre a pessoa atuam três forças: seu peso *P*, a reação da força *F* que ela aplica na corda e a reação da força que ela aplica na balança F_n.

Assim:

$F + F_n = P \Rightarrow F_n = P - F \Rightarrow F_n = m \cdot g - F \Rightarrow$

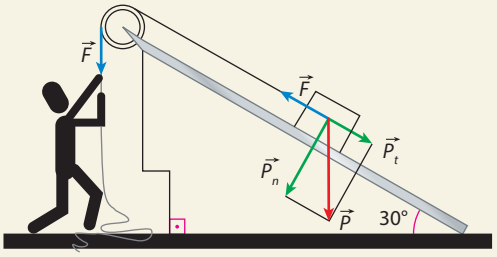
$\Rightarrow F_n = 100 \cdot 10 - 100 \therefore F_n = 900 \text{ N}$

Essa força peso corresponde a uma massa de 90 kg.

Alternativa **c**

ILUSTRAÇÕES: ERICSON GUILHERME LUCIANO/ARQUIVO DA EDITORA

11. A força potente F que a pessoa exerce por meio da corda tem intensidade igual à da componente tangencial da força peso do bloco ($P \cdot \text{sen } 30°$).

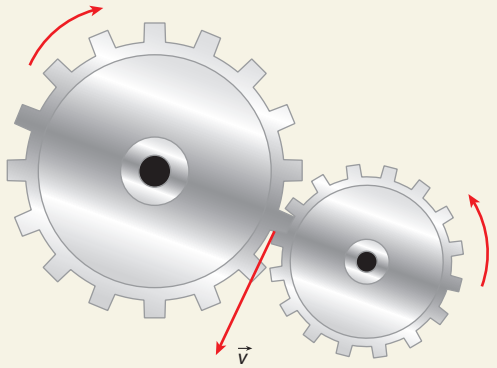


Assim:

$$VM = \frac{F_R}{F_P} = \frac{P}{P \cdot \text{sen } 30} = 2$$

Alternativa **d**

12. O ponto de contato das engrenagens tem velocidade linear $\vec{v}$, indicada na figura a seguir.

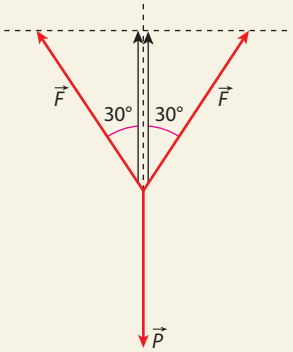


Portanto, a periferia da engrenagem menor está girando no sentido anti-horário, com velocidade angular:

$$\omega_B = \omega_A \cdot \frac{R_A}{R_B} \Rightarrow \omega_B = 12 \text{ rad/s} \cdot \frac{25 \text{ cm}}{10 \text{ cm}} \therefore \omega_B = 30 \text{ rad/s}$$

Atividades finais

1. F é a intensidade da força de tração que cada trabalhador exerce na sua corda. A resultante das duas componentes verticais das trações F nas cordas equilibra o peso do balde.



Assim, $2F \cdot \cos 30° = P \Rightarrow 2F \cdot \frac{\sqrt{3}}{2} = 50 \therefore F = \frac{50}{\sqrt{3}} \text{ N}$

Alternativa **c**

2. Ambas as forças devem exercer o mesmo torque no cabo do martelo em relação ao ponto de apoio B. Logo:

$F_1 \cdot d_1 = F_2 \cdot d_2 \Rightarrow 120 \text{ N} \cdot 30 \text{ cm} = 80 \text{ N} \cdot d_2 \Rightarrow d_2 = 45 \text{ cm}$

Isto é, F_2 deve ser aplicada perpendicularmente ao cabo do martelo, 15 cm acima de F_1.

Alternativa **c**

3. Para que a grua não tombe, o momento resultante dos pesos da carga (P_C), do contrapeso (P_{CP}) e da trave (P_T), em relação ao ponto O, deve ser nulo.

A carga de maior massa deve ser erguida verticalmente a 1,0 m do ponto O (menor braço). Assim:

$P_{CP} \cdot 4{,}0 \text{ m} = P_{C(máx)} \cdot 1{,}0 \text{ m} + P_T \cdot 6{,}0 \text{ m} \Rightarrow$

$\Rightarrow 5.000 \text{ N} \cdot 4{,}0 \text{ m} = P_{C(máx)} \cdot 1{,}0 \text{ m} + 2.000 \text{ N} \cdot 6{,}0 \text{ m} \Rightarrow$

$\Rightarrow 20.000 \text{ N} \cdot \text{m} = P_{C(máx)} \cdot 1{,}0 \text{ m} + 12.000 \text{ N} \cdot \text{m}$

$\therefore P_{C(máx)} = 8.000 \text{ N}$

Esse peso corresponde a uma massa de 800 kg.

Alternativa **d**

4. Como o sistema está em equilíbrio estático, a tração no cabo 1 equilibra o peso do bloco m_1, a tração no cabo 2 equilibra o peso do bloco m_2 e o momento resultante das forças de tração T_1 e T_2 dos cabos 1 e 2, em torno do ponto O, deve ser nulo. Considerando positivo o sentido anti-horário, temos:

$T_1 \cdot R_1 - T_2 \cdot R_2 = 0 \Rightarrow m_1 \cdot g \cdot R_1 - m_2 \cdot g \cdot R_2 = 0 \Rightarrow$

$\Rightarrow m_1 \cdot R_1 = m_2 \cdot R_2$

Alternativa **c**

5. Como a velocidade da fita é constante, os pontos A e B têm apenas aceleração centrípeta e a mesma velocidade linear v. Logo:

$$a_A = \frac{2}{3} a_B \Rightarrow \frac{v^2}{R} = \frac{2v^2}{3r} \Rightarrow R = \frac{3}{2} r$$

Como o número de dentes é proporcional ao comprimento da polia, temos: $n = \frac{3}{2}$.

Alternativa **b**

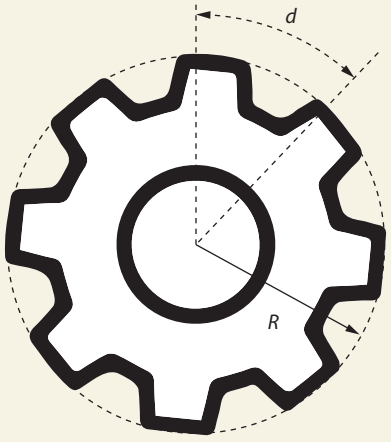
6. Com base na questão anterior, podemos escrever:

$$R = \frac{3}{2} r = \frac{3}{2} \cdot 30 \text{ mm} = 45 \text{ mm} = 0{,}045 \text{ m}$$

Logo:

$$a_A = \frac{v^2}{R} \Rightarrow 2{,}0 = \frac{v^2}{0{,}045} \therefore v = 0{,}30 \frac{\text{m}}{\text{s}} = 30 \text{ cm/s}$$

7. Temos a seguinte representação:



O perímetro externo da engrenagem ($2\pi R$) é igual ao produto do número n de dentes pela distância d. Assim:

$2 \cdot \pi \cdot R = n \cdot d$

A frequência da engrenagem A é igual à do motor:

$f_A = f_m = 18 \text{ rpm}$

ILUSTRAÇÕES: ERICSON GUILHERME LUCIANO/ARQUIVO DA EDITORA

Assim, para as engrenagens B e A, temos:

$f_B \cdot R_B = f_A \cdot R_A \Rightarrow$

$\Rightarrow f_B \cdot k \cdot n_B = f_A \cdot k \cdot n_A \Rightarrow$

$\Rightarrow f_B \cdot 72 = 18 \cdot 24$

$\therefore f_B = 6 \text{ rpm}$

A frequência da engrenagem C é igual à da B; então:

$f_c = f_B = 6 \text{ rpm}$

Assim, para as engrenagens C e D, temos:

$f_D \cdot R_D = f_C \cdot R_C \Rightarrow$

$\Rightarrow f_D \cdot k \cdot n_D = f_C \cdot k \cdot n_C \Rightarrow$

$\Rightarrow f_D \cdot 108 = 6 \cdot 36$

$\therefore f_D = f_{ponteiro} = 2 \text{ rpm}$

Alternativa **b**

Referências suplementares

A dissertação intitulada "Integrando o ensino de física e a história das ciências na construção de máquinas simples por meio de uma sequência didática" pode ser uma ferramenta valiosa para o ensino de conceitos de Física, especialmente ao integrar teoria e prática de forma dinâmica e atrativa. O estudo demonstrou como a aplicação de uma sequência didática sobre máquinas simples (como alavancas, roldanas e planos inclinados), aliada a metodologias ativas e experimentos com materiais de baixo custo, pode melhorar a compreensão dos estudantes sobre temas complexos da Física. Esse recurso pode ser interessante para professores que buscam incentivar a participação dos estudantes e promover maior engajamento, mesmo em escolas com infraestrutura limitada. A dissertação está disponível em: http://repositorio.ufpi.br:8080/handle/123456789/3415 (acesso em: 16 out. 2024).

Proposta de avaliação

As atividades **1**, **3** e **7** das *Atividades finais* possibilitam uma avaliação abrangente da aprendizagem dos estudantes a respeito de conteúdos-chave do capítulo.

Capítulo 8 Hidrostática

Objetivos do capítulo

- Reconhecer que fluidos são substâncias essenciais e presentes em inúmeras formas de vida, apresentando-se como líquido ou gás.
- Compreender e correlacionar as grandezas densidade, volume e massa específica.
- Conhecer as unidades de pressão e suas relações para realizar transformações e utilizá-las adequadamente.
- Reconhecer a atuação das pressões atmosférica e hidrostática em processos e fenômenos para utilizá-las corretamente.
- Compreender os princípios de Arquimedes e de Pascal e o teorema de Stevin, e utilizá-los corretamente.

Sugestões didáticas e comentários/ Por dentro da BNCC

O quadro que está na página de abertura do capítulo chama-se "O sedutor", do pintor René Magritte (1898-1967). Peça aos alunos que observem a representação da caravela constituída por água. É possível estabelecer relações entre quanto o mar influencia a constituição do barco e o objetivo de navegação, que é intrínseco à "natureza" do barco. Você pode incentivar os alunos a fazerem uma reflexão sobre suas percepções em relação ao quadro.

Ao abordar o conceito de fluidos é importante ampliar o entendimento dos estudantes ao incluir gases como fluidos, promovendo uma discussão que corrige concepções prévias limitadas ao associar o termo apenas aos líquidos. Ao final da apresentação do conceito moderno de fluido, apenas comente que, nos estudos iniciais, a eletricidade e o calor também foram considerados "fluidos" contidos nos corpos e que, eventualmente, se transferiam de uns para os outros. Dessa forma, pode-se mostrar a evolução na elaboração dos conceitos físicos, trazendo a discussão sobre o conceito de fluido para os dias atuais. Isso torna possível perceber as várias vias de construção do conhecimento científico. A história de Arquimedes, ao investigar a coroa do rei Hierão, apesar de ser possivelmente uma lenda, é uma ótima abordagem didática para introduzir o conceito de densidade, conectando a massa e o volume como grandezas fundamentais na formulação de novas propriedades materiais. Através da análise crítica da história e da avaliação de sua veracidade, desenvolve-se a habilidade **EM13CNT301**, que envolve a formulação de hipóteses e a construção de conclusões.

O conceito de empuxo pode ser explicado aos estudantes considerando-se suas experiências vivenciais: Como um navio, que é feito de aço, pode flutuar na água? Por que nos sentimos mais leves ao entrarmos em uma piscina? O que impede o navio ou a pessoa de afundarem? O que sustenta o peso desses corpos? Seria interessante iniciar esse tema com um experimento simples para que os estudantes percebam a existência do empuxo. Mergulhe uma pequena pedra, presa por um elástico, na água de um copo totalmente cheio. Comente que o volume de líquido derramado é igual ao volume da pedra. Mostre que o elástico "relaxa" um pouco ao se introduzir a pedra na água. Pergunte: O que aconteceu? Por que o elástico ficou menos tenso?

No item sobre pressão, o conceito é introduzido com base no princípio de que, para uma mesma força, uma área menor resulta em maior pressão. Em seguida, o capítulo explora a pressão em líquidos em equilíbrio, discutindo a pressão hidrostática conforme descrita pela lei de Stevin, que estabelece que, em um mesmo nível de fluido, a pressão é igual. Essa abordagem possibilita aos alunos a construção de modelos matemáticos, desenvolvendo a habilidade **EM13MAT302** (Construir modelos empregando as funções polinomiais de 1° ou 2° graus, para resolver problemas em contextos diversos, com ou sem apoio de tecnologias digitais), que envolve a criação de funções polinomiais para resolver problemas em contextos diversos, como o cálculo da pressão sobre um mergulhador em diferentes profundidades.

Ao abordar a pressão atmosférica, procure mostrar ao aluno que o ar atmosférico também exerce muita pressão, mesmo que pouquíssimas vezes, ou quase nunca, estejamos cientes disso. É, também, uma boa oportunidade para enfatizar que a pressão é uma grandeza escalar. Não existe "pressão de baixo para cima", "pressão da esquerda para a direita", ou algo semelhante. Ao descrever a experiência de Torricelli, comente que o resultado seria o mesmo se a extremidade do tubo emborcada no mercúrio estivesse na horizontal, retorcida para cima ou para baixo.

Ao introduzir o princípio de Pascal, utilize a prensa hidráulica como exemplo de aplicação tecnológica, além de outros exemplos, como amortecedores, êmbolos de escavadeiras, freios hidráulicos, máquinas a vapor etc. É importante salientar que, em uma prensa hidráulica, a pressão em ambos os êmbolos é sempre a mesma e que a multiplicação de forças depende exclusivamente da relação entre as áreas dos êmbolos. Deixe claro também que, quanto maior a multiplicação de forças, menores serão os deslocamentos no êmbolo de força multiplicada.

Resoluções e comentários

Dialogando com o texto

Para implementar a atividade sobre água, saneamento e os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) da ONU, especialmente a **ODS 6**, é possível integrar habilidades e competências da BNCC de forma contextualizada. A **ODS 6** visa garantir disponibilidade e manejo sustentável da água e saneamento para todos, um tema essencial para o desenvolvimento social e ambiental. A atividade pode ser interligada às disciplinas de Biologia e Geografia. O professor de Biologia pode contribuir ao explorar a importância da água para os ecossistemas e para a saúde humana, abordando aspectos como a relação entre saneamento básico e a prevenção de doenças, o que conecta diretamente com a habilidade **EM13CNT207**. Já o professor de Geografia pode aprofundar a análise sobre a distribuição desigual dos recursos hídricos no Brasil, as vulnerabilidades sociais relacionadas a essa questão e os efeitos de programas de infraestrutura de saneamento (**EM13CNT310**), permitindo uma compreensão crítica dos desafios contemporâneos e de como isso afeta a qualidade de vida da população.

Ao longo da atividade, os estudantes podem ser incentivados a refletir criticamente sobre a diversidade social, histórica e econômica do Brasil em relação ao acesso à água e ao saneamento. Esse enfoque facilita uma análise propositiva da realidade brasileira, estimulando-os a considerar soluções que melhorem a qualidade de vida nas suas comunidades. Além disso, ao realizarem pesquisas e apresentarem suas conclusões para a turma, eles poderão desenvolver práticas de argumentação fundamentadas em dados científicos, ao mesmo tempo em que discutem os princípios éticos e democráticos envolvidos na gestão sustentável de recursos, conectando-se à **competência geral 10**.

Durante o processo, a atividade também favorece a promoção de empatia e cooperação, tanto entre os próprios estudantes quanto com o corpo docente e a comunidade escolar. A realização de campanhas de conscientização sobre o consumo de água, ou mesmo ações voluntárias, possibilita o desenvolvimento de autonomia e responsabilidade dos alunos. Além disso, ao utilizarem diversas linguagens para se comunicar – seja por meio de apresentações, gráficos ou textos – eles poderão desenvolver a **competência geral 4** ao compartilhar informações e promover debates sobre temas relevantes de natureza científica e social.

Aplicando conhecimentos

1. Se colocarmos um cilindro de aço em água, ele pode flutuar ou afundar, dependendo de sua densidade média. O aço tem massa específica de 8,00 g/cm³, maior que a da água (1,00 g/cm³), então um cilindro maciço afundaria. No entanto, se o cilindro for oco, sua densidade média pode ser menor. Suponha que temos um cilindro de aço oco com volume total de 100 cm³ e massa de 80 g; adensidade média do cilindro seria 0,80 g/cm³, que é menor que a da água (1,00 g/cm³), e o cilindro flutuaria.

2. **a)** A partir da definição de densidade, temos:

$$d = \frac{M}{V} \Rightarrow V_{Pt} = \frac{M}{d_{Pt}} \Rightarrow V = \frac{86{,}0\ \text{g}}{21{,}5\ \text{g/cm}^3} \Rightarrow V = 4{,}0\ \text{cm}^3$$

b) A partir da definição de densidade, temos:

$$d = \frac{M}{V} \Rightarrow M_{Au} = d_{Au} \cdot V_{joia} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow M_{Au} = 19{,}5\ \text{g/cm}^3 \cdot 4{,}0\ \text{cm}^3 \therefore M_{Au} = 78{,}0\ \text{g}$$

Atividade prática

Investigando o empuxo

Essa atividade, que explora o princípio da flutuação utilizando uma garrafa de plástico, oferece uma oportunidade valiosa para abordar várias habilidades e competências da BNCC, promovendo uma aprendizagem investigativa e crítica. Ao realizarem o experimento, os estudantes podem desenvolver a **competência geral 2** ao investigar a relação entre o volume da garrafa e a força aplicada para mantê-la submersa, explorando conceitos como empuxo e densidade. A atividade incentiva a curiosidade intelectual ao permitir que os estudantes formulem hipóteses sobre o comportamento da garrafa nas diferentes situações, testando suas previsões à medida que adicionam água e observam as mudanças no comportamento de flutuação. Essa abordagem promove o desenvolvimento da criatividade e da reflexão crítica, essenciais para resolver problemas científicos e práticos.

A habilidade **EM13CNT301** é contemplada à medida que os estudantes são incentivados a construir questões e elaborar hipóteses sobre por que a garrafa afunda mais à medida que aumenta seu peso. Ao repetirem o experimento e analisarem as variações no comportamento da garrafa, eles utilizam dados e resultados experimentais para justificar suas conclusões, conectando os conceitos de empuxo e força peso. A interpretação do equilíbrio nas duas situações específicas permite que os estudantes utilizem modelos explicativos para entender o comportamento da garrafa em diferentes cenários.

Além disso, a habilidade **EM13CNT205** pode ser trabalhada por meio da discussão sobre as possíveis incertezas e variações nos resultados observados. A análise crítica desses fatores promove uma visão mais ampla dos fenômenos naturais e ajuda a desenvolver uma compreensão sobre os limites e a aplicabilidade das leis físicas.

1. Ao colocarmos água na garrafa alteramos o peso dela. A garrafa será mais fácil ou difícil de afundar dependendo da relação entre o empuxo, que é igual em todos os casos (garrafa totalmente submersa), e a força peso, que aumenta à medida que aumentamos a quantidade de água em seu interior.
2. Nas duas situações temos que o módulo do empuxo é igual ao módulo da força peso.
3. Na segunda situação, ao colocarmos água na garrafa, aumentamos seu peso. Para manter o equilíbrio, o empuxo também sofre um aumento que ocorre devido ao aumento de volume de líquido deslocado, isto é, a garrafa afunda mais.

Aplicando conhecimentos

3. a) O volume do corpo é dado por:

$V_{cubo} = a^3 = (4{,}0\ cm)^3 = 64\ cm^3$

b) A partir da definição de densidade, temos:

$d = \frac{m}{V} \Rightarrow d = \frac{32\ g}{64\ cm^3} \Rightarrow$

$\Rightarrow d = 0{,}5\ g/cm^3 = 0{,}5 \cdot 10^3\ kg/m^3$

c) O peso aparente do corpo é:

$P_{ap} = P - E = m \cdot g - \mu_{água} \cdot g \cdot V_{cubo} \Rightarrow$

$\Rightarrow P_{ap} = 32 \cdot 10^{-3}\ kg \cdot 10\ m/s^2 - 10^3\ kg/m^3 \cdot 10\ m/s^2 \cdot$

$\cdot 64 \cdot 10^{-6}\ m^3 \Rightarrow P_{ap} = 0{,}32\ N - 0{,}64\ N = -0{,}32\ N$

O peso aparente é negativo porque o corpo é menos denso que a água.

4. a) Ao ser mergulhada na água, a pedra fica sujeita ao empuxo exercido pela água, que é uma força vertical de sentido para cima, cuja reação será transmitida pela massa líquida ao prato da balança 2, que indicará sua intensidade (10 N).

b) Após a pedra ser mergulhada na água, a balança 1 passa a indicar o peso aparente dessa pedra, isto é:

$P_{ap} = P - E = 45\ N - 10\ N = 35\ N$

c) O volume da pedra pode ser determinado pelo empuxo, lembrando que o volume de líquido deslocado (V_{LD}) é igual ao volume submerso da pedra, que é seu volume total (V_{pedra}), assim:

$E = d_{água} \cdot g \cdot V_{LD} \Rightarrow 10 = 10^3 \cdot 10 \cdot V_{pedra}$

$\therefore V_{pedra} = 10^{-3}\ m^3 = 1\ L = 10^3\ cm^3$

d) A partir da definição de densidade, temos:

$d_{pedra} = \frac{m_{pedra}}{V_{pedra}} = \frac{4.500\ g}{10^3\ cm^3} \Rightarrow d_{pedra} = 4{,}5\ g/cm^3$

5. O pisão da mulher machucaria mais, pois exerceria maior pressão sobre a área de contato, apesar de a força aplicada ter menor intensidade. Vejamos isso com cálculos.

Supondo que seja A a área do salto do sapato da mulher e $20A$ a área do salto do sapato do homem, temos:

$P_{mulher} = \frac{peso}{área} = \frac{600\ N}{A}$

$P_{homem} = \frac{peso}{área} = \frac{1.000\ N}{20A} = \frac{50\ N}{A}$

Como vemos, a pressão que o salto do sapato da mulher exerce é muito maior (12 vezes) que a pressão exercida pelo salto do sapato do homem.

6. Se a força forma 30° com a superfície, ela forma 60° com a normal, assim, sua componente normal é igual a $F \cdot \cos 60°$. Se 1,0 kgf é 9,8 N, 98 N são 10 kgf, portanto:

a) $p = \frac{F_{normal}}{A} = \frac{10\ kgf \cdot \cos 60^\circ}{5\ cm^2} \Rightarrow p = 1{,}0 \frac{kgf}{cm^2}$

b) $p = \frac{F_{normal}}{A} = \frac{98\ N \cdot \cos 60^\circ}{5 \cdot 10^{-4}\ m^2} \Rightarrow p = 9{,}8 \cdot 10^4\ Pa$

7. De acordo com o teorema de Stevin, a pressão hidrostática é maior na parte mais profunda da represa; portanto, a barragem deve ser mais reforçada nessa região.

8. As setas indicam a direção e o sentido das forças exercidas pelo ar atmosférico sobre o corpo da garota. As setas não podem representar pressão, pois pressão é grandeza escalar e, por isso, não tem representação vetorial.

9. a) Correta. O aumento da pressão no ar, na região da porta, é transmitido a todos os pontos do interior do automóvel.

b) Correta. A bomba só retira o ar de dentro da tubulação, é a pressão atmosférica que eleva a água até uma altura compatível com o seu valor local; a pressão atmosférica normal equilibra uma coluna de água de até 10,33 m, aproximadamente.

c) Correta. A intensidade do empuxo depende da densidade do fluido no qual o corpo está imerso.

d) Correta. O conteúdo dessa alternativa constitui o enunciado do princípio de Arquimedes.

e) Incorreta. É uma aplicação prática apenas do princípio de Pascal.

Alternativa **e**

10. a) Não. Se a área do êmbolo maior é 20 vezes a do menor, a força exercida pelo mecânico deveria ter intensidade igual ao peso de um corpo de massa 200 kg (20 · 10 kg).

b) Mesmo assim não haveria equilíbrio. O peso do mecânico é igual a 1.000 N, portanto, metade do valor da força necessária ao equilíbrio (2.000 N).

c) O valor máximo da massa do bloco é dado por:

$\frac{F_1}{A_1} = \frac{F_2}{A_2} \Rightarrow \frac{m_{homem} \cdot g}{20 \cdot A} = \frac{m_{bloco} \cdot g}{A} \Rightarrow$

$\Rightarrow m_{bloco} = \frac{1}{20} \cdot m_{homem} = 5{,}0\ kg$

Atividades finais

1. a) Vamos calcular a densidade da coroa e compará-la com a massa específica do ouro:

$d_{coroa} = \frac{M_{coroa}}{V_{coroa}} = \frac{1.000\ M}{62{,}5\ cm^3} = 16\ g/cm^3$

Com esse resultado, conclui-se que a coroa não seria de ouro puro, portanto, houve fraude.

b) O volume da coroa é a soma dos volumes de ouro e prata:

$V_{coroa} = V_{Au} + V_{Ag} = 62{,}5\ cm^3 \Rightarrow V_{Au} = (62{,}5 - V_{Ag})\ cm^3$

A massa da coroa é a soma das massas de ouro e prata, assim:

$M_{coroa} = m_{Au} + m_{Ag} = \mu_{Au} \cdot V_{Au} + \mu_{Ag} \cdot V_{Ag} \Rightarrow$

$\Rightarrow 1.000 = 20{,}0 \cdot (62{,}5 - V_{Ag}) + 10{,}0 \cdot V_{Ag} \Rightarrow$

$\Rightarrow 1.000 = 1.250 - 10{,}0 \cdot V_{Ag} \Rightarrow$

$\Rightarrow 10{,}0 \cdot V_{Ag} = 250 \therefore V_{Ag} = 25{,}0\ cm^{3}$

Como a densidade da prata é de 10,0 g/cm³, a massa é de 250 g.

2. a) A pressão na base inferior do cubo é a pressão do líquido a uma profundidade de 20 cm. Pela lei de Stevin, temos:

$P = \gamma_{água} \cdot h = 10^4\ N/m^3 \cdot 0{,}20\ m = 2{,}0 \cdot 10^3\ N/m^2$

b) A base do cubo é um quadrado de área 20 cm × 20 cm ou 400 cm². A intensidade *F* da força que atua na base é o produto da pressão do líquido pela área dessa base:

$F = p \cdot A = 2{,}0 \cdot 10^3\ N/m^2 \cdot 400 \cdot 10^{-4}\ m^2 = 80\ N$

c) O peso específico do cubo é o quociente entre o seu peso e o seu volume. Como o cubo está em equilíbrio, seu peso está sendo equilibrado pela força *F* calculada no item **b**, isto é, $P_{cubo} = F = 80$ N. O volume do cubo é $V = (20\ cm)^3 = (0{,}20\ m)^3 = 8{,}0 \cdot 10^{-3}\ m^3$. Assim:

$\gamma = \frac{P_{cubo}}{V} = \frac{80\ N}{8{,}0 \cdot 10^{-3}\ m^3} \Rightarrow \gamma = 1{,}0 \cdot 10^4\ N/m^3$

Esse resultado já era esperado. Se um corpo flutua totalmente imerso em um líquido, seu peso específico é igual ao do líquido.

3. A profundidade *h* pode ser obtida por meio de uma regra de três, assim:

330 ft —— 100 m
495 ft —— *h* $\Rightarrow h = 150$ m

Se a cada 10 m de profundidade aumenta 1 atm, para 150 m o aumento será de 15 atm, logo a pressão total será:

$p_{total} = \underbrace{1{,}0\ atm}_{atmosfera} + 15\ atm = 16\ atm.$

Alternativa **b**

4. a) A equação que relaciona as alturas equivalentes de dois líquidos 1 e 2 em equilíbrio é:

$h_1 \cdot d_1 = h_2 \cdot d_2 \Rightarrow \underbrace{17{,}0\ cm}_{de\ líquido} \cdot 0{,}80\ g/cm^3 = h_2 \cdot 13{,}6\ g/cm^3$

$\therefore h_2 = \underbrace{1{,}0\ cm}_{de\ Hg} = \underbrace{10\ mm}_{de\ Hg}$

b) A pressão total no ponto *B* é a soma da pressão total no ponto *A* com a pressão da coluna de líquido entre *A* e *B*, cuja pressão equivalente a 10 mm Hg é:

$p_B = p_A + p_{coluna} \Rightarrow p_B = 770\ mm\ Hg + 10\ mm\ Hg =$
$= 780\ mm\ Hg$

5. A altura da coluna de Hg seria nula. Na Lua, a pressão atmosférica é praticamente nula (menor que 10^{-11} mmHg).

6. Como os pontos *A* e *B* estão no mesmo nível da mesma massa fluida, as pressões nesses pontos são iguais: $p_A = p_B$. A pressão total no ponto *A* é a soma da pressão atmosférica p_{atm} com a pressão exercida pela força F_1 com a pressão exercida pelo peso P_1 do êmbolo menor, assim:

$p_A = p_{atm} + \frac{F_1}{A_1} + \frac{P_1}{A_1}$

A pressão total no ponto *B* é a soma da pressão atmosférica p_{atm} com a pressão p_{cl} da coluna do líquido acima do ponto *B* com a pressão exercida pelo peso P_2 do êmbolo menor, assim:

$p_B = p_{atm} + p_{cl} + \frac{P_2}{A_2}$

Vamos substituir os valores numéricos em unidades SI:

$A_1 = 50 \cdot 10^{-4}\ m^2$, $A_2 = 250 \cdot 10^{-4}\ m^2$, $P_1 = F_1 = 100$ N, $P_2 = 400$ N

e $p_{cl} = d_L \cdot g \cdot h = \gamma_L \cdot h = 16.000 \cdot h$

Já o peso é dado por:

$P_2 = m_2 \cdot g = 40\ kg \cdot 10\ m/s^2 = 400\ N$

Assim, igualando as pressões, temos:

$\frac{F_1}{A_1} + \frac{P_1}{A_1} = p_{cl} + \frac{P_2}{A_2} \Rightarrow$

$\Rightarrow \frac{100}{50 \cdot 10^{-4}} + \frac{100}{50 \cdot 10^{-4}} = 16.000 \cdot h + \frac{400}{250 \cdot 10^{-4}} \Rightarrow$

$\Rightarrow 2 + 2 = 1{,}6 \cdot h + 1{,}6 \Rightarrow 1{,}6 \cdot h = 2{,}4 \therefore h = 1{,}5\ m$

Referências suplementares

A dissertação "Proposta para ensino experimental de Hidrostática" desenvolve uma proposta para o ensino de Hidrostática no Ensino Médio, destacando-se por integrar experimentos práticos com roteiros programados, proporcionando uma abordagem ativa de aprendizado. Esse material oferece ao professor uma estrutura sólida e detalhada para planejar suas aulas, com foco na interação dos alunos com os experimentos, promovendo uma construção gradativa do conhecimento, disponível em: https://pantheon.ufrj.br/handle/11422/8210 (acesso em: 18 set. 2024).

Proposta de avaliação

As atividades **1**, **4** e **6** da seção *Atividades finais* possibilitam uma avaliação abrangente da aprendizagem dos estudantes a respeito de conteúdos-chave do capítulo, como o conceito de densidade, a variação da pressão em um fluido e o Princípio de Pascal.

Capítulo 9 Termometria e dilatometria

Objetivos do capítulo

- Explicar a teoria cinética da matéria.
- Conhecer as escalas de temperatura.
- Explorar os fenômenos relacionados ao comportamento térmico de sólidos e líquidos.
- Distinguir conceitualmente os efeitos de uma variação de temperatura na dilatação térmica.

Sugestões didáticas e comentários/Por dentro da BNCC

Comece o capítulo destacando que a temperatura está relacionada com o estado de agitação das partículas que compõem o corpo ou substância e que, como qualquer grandeza física, ela precisa de uma unidade de medida. Associe ainda, o fenômeno da dilatação à alteração no estado de agitação das partículas.

O capítulo trata principalmente das habilidades **EM13CNT101**, pois analisa e representa algumas transformações e conservações em sistemas que envolvam quantidade de matéria e de energia e **EM13CNT301** por meio de representação e interpretação de modelos e resultados experimentais, elaborando hipóteses e previsões.

O item *Dilatação térmica dos sólidos* contempla a habilidade **EM13CNT307**, pois permite ao estudante analisar as propriedades específicas dos materiais para avaliar a adequação de seu uso em diferentes aplicações e/ou propor soluções seguras e sustentáveis para a construção civil e para a fabricação de diferentes produtos.

O item *Comportamento térmico dos líquidos* vem ao encontro da habilidade **EM13CNT203**, pois permite ao estudante avaliar e prever efeitos da dilatação anômala da água e a sua importância para a manutenção da vida nos ecossistemas aquáticos.

Atividade extra

Uma atividade dinâmica e simples, mas muito enriquecedora, pode ser utilizada para iniciar as discussões sobre o tema da Termologia na sala de aula. Trata-se do experimento das três bacias.

Para executar o experimento, serão necessários três recipientes grandes, dispostos em linha, cada um contendo água em temperaturas distintas: no recipiente central, água morna com temperatura próxima à temperatura da pele (aproximadamente 32 °C); nas laterais, água fria (aproximadamente 20 °C) de um lado e água quente (aproximadamente 35 °C) de outro. Não é necessário que as temperaturas sejam aferidas com rigor, mas é importante que haja diferença em relação à temperatura da bacia com água morna em uma amplitude de pelo menos 3 °C.

As condições da atividade são facilmente conseguidas com gelo e forno de micro-ondas. Por segurança, certifique-se de que a água não fique muito quente. Para começar, o aluno deve colocar as duas mãos no recipiente central, com água morna, por 15 segundos, aproximadamente.

Peça a ele que descreva, genericamente, qual foi a sensação. Mesmo que ele responda que está sentindo molhado ou outras características não importantes ao experimento, continue indagando até que a temperatura da água seja indicada em sua fala. É importante sabermos que, nessa etapa do experimento, os alunos não sabem do que trata a atividade; portanto, prepare-se para algumas brincadeiras típicas da fase de desenvolvimento que estão, pois elas normalmente surgem em atividades que os motivem.

Em seguida, peça ao aluno que retire as mãos da água e as mergulhe nos recipientes lateralmente dispostos, com água quente e fria. As mãos devem ficar mergulhadas mais 15 segundos para que haja adaptação. Indague novamente qual foi a sensação em cada uma das mãos.

Peça a ele que retire as mãos dos recipientes laterais e volte a colocá-las no recipiente central. Finalmente, indague-o sobre o que sentiu. O aluno provavelmente se espantará com a sensação térmica paradoxal de quente e frio sobre a mesma água que anteriormente lhe parecia morna.

Algumas questões para debate:

- Por que as sensações térmicas foram diferentes no recipiente central?

- A mão que estava na água fria passou a sentir a água do recipiente central quente, e a mão da água quente passou a sentir a do recipiente central frio. Por quê?
- Afinal, a água estava quente ou fria?

Utilizando a teoria cinética da matéria, explica-se o paradoxo sensorial em razão dos diferentes sentidos de transferência de calor durante a última etapa da experimentação. A mão previamente aquecida pela água quente, na última etapa, passa a fornecer calor ao recipiente central, o que resulta em sensação de frio. A mão esfriada pela água fria, ao contrário, passa a receber calor, e a sensação que temos é de que a água no recipiente central está quente.

É importante que os alunos percebam as possíveis dificuldades em avaliar a temperatura sem a utilização de instrumentos adequados. O termômetro surgiu dessa necessidade.

Resoluções e comentários

Em destaque

Febre

Esta atividade tem como objetivo fornecer aos alunos uma compreensão básica do que é febre, explorando os mecanismos fisiológicos envolvidos na regulação da temperatura corporal. É importante que os alunos compreendam que a temperatura corporal é um aspecto vital para o funcionamento saudável do corpo humano. O texto fornecido explora o papel do hipotálamo como um termostato corporal, ajustando a temperatura para manter o equilíbrio interno. Antes de a leitura ser iniciada, questione os estudantes sobre o que é a febre e como podemos medi-la. Tome cuidado, pois nesse tópico eles podem confundir sensação térmica com temperatura.

Se possível, convide um professor de biologia para discutir com os alunos como os mecanismos de regulação da temperatura corporal se relacionam com os processos fisiológicos e homeostáticos no corpo humano. Essa atividade pode ser uma oportunidade para explorar a interdisciplinaridade entre física e biologia, destacando como os conceitos científicos se entrelaçam para compreender o funcionamento do organismo humano.

Em seguida, peça aos estudantes que leiam com atenção a seção e respondam às questões. Utilize as perguntas que não conseguirem responder como atividades de pesquisa em livros, em busca de respostas.

A compreensão dos mecanismos envolvidos na regulação da temperatura corporal, como discutido nessa atividade, é fundamental para a promoção da saúde e o entendimento de como o corpo responde a diferentes condições, como a febre. Ao compreender esses conceitos, os alunos podem desenvolver uma maior consciência sobre seu próprio corpo e adotar medidas adequadas para manter sua saúde e bem-estar. Essa consciência individual contribui diretamente para o alcance do **ODS 3** da Agenda da ONU 2030, que busca garantir uma vida saudável e promover o bem-estar para todas as idades. Ao educar os alunos sobre os processos fisiológicos e as melhores práticas para manter a saúde, estamos capacitando futuras gerações a cuidar de si mesmas e de suas comunidades, promovendo, assim, um mundo mais saudável e sustentável.

1. A temperatura média do corpo considerada ideal para os seres humanos varia entre 36 °C e 36,7 °C, sendo mais baixa pela manhã e mais alta no final da tarde e à noite.
2. O termômetro é o instrumento mais adequado para medir a temperatura corporal. A maneira mais apropriada para utilizar esse equipamento é o contato direto com o corpo humano, para haver a transferência de energia necessária para o instrumento detectar a temperatura do paciente.
3. Termostato é um dispositivo que mantém a temperatura de um sistema.
4. Nós suamos quando estamos com febre para que nossa temperatura corporal seja reduzida com a evaporação do suor.
5. Os antitérmicos são medicamentos que reduzem a febre, ou seja, diminuem a temperatura corporal.
6. Os seres humanos são animais endotérmicos, pois usam a sua energia interna para manter a temperatura do corpo inalterada. São também animais termorreguladores, pois conseguem manter a sua temperatura corpórea praticamente constante por intermédio de conjuntos fisiológicos.

Atividade em grupo

Antes de iniciar a atividade, é importante contextualizar o tema do aquecimento global, explicando aos alunos sua relevância e os impactos que pode causar no planeta e na vida humana. Utilize recursos visuais, como vídeos ou imagens, para ilustrar os efeitos das mudanças climáticas.

No ambiente educacional, abordar o aquecimento global é uma oportunidade crucial para estimular a conscientização dos alunos sobre os desafios enfrentados pelo planeta. Essa atividade em grupo serve como ponto de partida para explorar não apenas os fatores por trás do aquecimento global, como também suas implicações para a sociedade e o meio ambiente.

Ao discutir as causas do aquecimento global, é fundamental destacar o papel das atividades humanas, como a queima de combustíveis fósseis e o desmatamento, na emissão de gases de efeito estufa. Além disso, é importante explorar os impactos do aquecimento global, tanto imediatos quanto de longo prazo, nas diferentes esferas da vida, incluindo a biodiversidade, a segurança alimentar e a saúde humana.

Neste contexto, é relevante conectar o tema do aquecimento global com os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) da Agenda 2030 da ONU. O **ODS 13** destaca a necessidade urgente de adotar medidas para combater as alterações climáticas e seus impactos.

Ao explorar esses temas em sala de aula, é possível relacionar os conteúdos abordados com habilidades específicas, como a análise do impacto da atividade humana no ciclo atmosférico e quais ações coletivas podem minimizar esse efeito (**EM13CNT105** e **EM13CNT203**). Isso permite aos alunos compreenderem não apenas os aspectos científicos, mas também as implicações sociais e ambientais das mudanças climáticas.

Durante a elaboração do cartaz, encoraje os estudantes a serem criativos e inovadores na apresentação das informa-

ções. Sugira o uso de cores, imagens e elementos visuais atrativos para captar a atenção da comunidade escolar e transmitir a mensagem de forma eficaz. Por fim, incentive os estudantes a colocarem em prática as ações propostas no cartaz. Sugira iniciativas concretas que possam ser realizadas na escola ou na comunidade, como campanhas de conscientização, projetos de reciclagem ou ações de plantio de árvores. Além disso, é fundamental permitir que os estudantes desenvolvam o pensamento crítico e reflexivo, incentivando-os a debater e refletir sobre a relação entre ciência, tecnologia, sociedade e ambiente. Ao encorajar uma postura consciente e engajada em relação aos desafios climáticos globais, contribui-se para a formação de cidadãos responsáveis e comprometidos com a sustentabilidade do nosso planeta.

Aplicando conhecimentos

1. A temperatura na Líbia será:

$\frac{\theta_C}{5} = \frac{\theta_F - 32}{9} \Rightarrow \frac{58}{5} = \frac{\theta_F - 32}{9} \Rightarrow 5\theta_F - 160 = 522$

$\therefore \theta_F = 136{,}4\ °F$

Já a temperatura na Antártida será:

$T = \theta_C + 273 \Rightarrow T = -89 + 273 \therefore T = 184\ K$

2. Transformando a temperatura fornecida para Celsius, temos:

$\frac{\theta_C}{5} = \frac{\theta_F - 32}{9} \Rightarrow \frac{\theta_C}{5} = \frac{-594{,}4 - 32}{9} \therefore \theta_C = -348\ °C$ (!?)

Essa temperatura não existe; sabemos que a menor temperatura teórica possível no universo é o zero absoluto, que corresponde a – 273 °C! Portanto, a afirmação do cientista é FALSA.

3. Professor, enfatize que "quem se dilata mais também se contrai mais". Como $\alpha_{Invar} < \alpha_{aço}$, o aço se dilata mais que o invar no aquecimento e se contrai mais no resfriamento, portanto, o mecânico deve resfriar o conjunto, assim o diâmetro do parafuso diminuirá mais que o diâmetro da porca.

4. **a)** Como $\alpha_{Zn} > \alpha_{Fe}$, a barra de zinco dilata mais que a de ferro, já que ambas têm comprimentos iguais a 0 °C.

b) O comprimento final L de cada barra é dado por:

$L = L_0 \cdot (1 + \alpha \cdot \Delta\theta)$

A partir do enunciado, temos que: $L_{(Zn)} - L_{(Fe)} = 9{,}0\ mm$

Assim:

$L_0 \cdot (1 + \alpha_{Zn} \cdot \Delta\theta) - L_0 (1 + \alpha_{Fe} \cdot \Delta\theta) = 9{,}0\ mm \Rightarrow$

$\Rightarrow L_0 \cdot (\alpha_{Zn} - \alpha_{Fe}) \cdot \Delta\theta = 9{,}0\ mm \Rightarrow$

$\Rightarrow L_0 \cdot (3{,}0 - 1{,}2) \cdot 10^{-5} \cdot (100 - 0) = 9{,}0\ mm \Rightarrow$

$\Rightarrow L_0 \cdot 1{,}8 \cdot 10^{-3} = 9{,}0\ mm \ \therefore L_0 = 5{,}0 \cdot 10^3\ mm = 5{,}0\ m$

Atividade prática

Lâmina bimetálica

Esta atividade tem por objetivo explorar os conceitos de dilatação térmica e suas aplicações práticas, enquanto desenvolve habilidades como investigação científica, análise crítica e argumentação fundamentada.

Recomendamos que ela seja realizada por você, professor, a título de demonstração, pois há manipulação de fogo. Caso opte por deixar os alunos realizarem a tarefa, é possível o uso de um secador de cabelos no lugar das velas.

Após o experimento, indague a turma sobre a aplicação desse efeito, levando-os a pensar em ligar/desligar algo tendo como resultado a possibilidade de manter-se a temperatura mais ou menos constante.

Este experimento visa estimular a curiosidade intelectual dos estudantes e os encorajar a abordar problemas científicos com investigação, reflexão, análise crítica, imaginação e criatividade. Além disso, possibilita o desenvolvimento de habilidades de argumentação e pensamento crítico, contribuindo para uma tomada de decisão informada e relacionada aos objetos de conhecimento da BNCC. Entre as habilidades trabalhadas estão a **EM13CNT205** e **EM13CNT301**.

1. Durante o experimento, a lâmina bimetálica se curva devido à diferença nos coeficientes de dilatação térmica dos materiais que a compõem. O alumínio se expande mais do que o papel quando aquecido, resultando na curvatura da lâmina na direção em que o alumínio está voltado.

2. As lâminas bimetálicas têm diversas aplicações práticas, como em termostatos para controlar a temperatura, válvulas de controle térmico, disjuntores térmicos, relógios e medidores de tempo e dispositivos de segurança contra incêndios. Elas são usadas para responder a mudanças de temperatura e realizar funções específicas em sistemas elétricos, mecânicos e de segurança.

Aplicando conhecimentos

5. **a)** A partir da equação para a dilatação térmica linear, temos:

$\Delta\ell = \ell_0 \cdot \alpha \cdot \Delta\theta \Rightarrow$

$\Rightarrow \Delta\ell = 2{,}0\ cm \cdot 2{,}5 \cdot 10^{-5}\ °C^{-1} \cdot (425 - 25)\ °C$

Logo:

$\Delta\ell = 2{,}0 \cdot 10^{-2}\ cm \Rightarrow$

$\Rightarrow \ell = \ell_0 + \Delta\ell = 2{,}00\ cm + 0{,}02\ cm = 2{,}02\ cm$

b) A partir da equação para a dilatação térmica superficial, temos:

$A = A_0 \cdot (1 + \beta_e \cdot \Delta\theta) \Rightarrow$

$\Rightarrow (2{,}02\ cm)^2 = (2{,}0\ cm)^2 \cdot (1 + \beta_e \cdot 400\ °C) \Rightarrow$

$\Rightarrow 4{,}0804 = 4{,}0000 \cdot (1 + \beta_e \cdot 400\ °C) \Rightarrow$

$\Rightarrow 1 + \beta_e \cdot 400\ °C = 1{,}0201 \Rightarrow \beta_e \cdot 400\ °C = 0{,}0201 \Rightarrow$

$\Rightarrow \beta_e = 5{,}025 \cdot 10^{-5}\ °C^{-1}$

6. A partir da equação para a dilatação térmica superficial, temos:

$\Delta A = A_0 \cdot \beta \cdot \Delta\theta \Rightarrow \Delta A = 2{,}00 \cdot 10^4\ cm^2 \cdot 16 \cdot 10^{-6}\ °C^{-1} \cdot 50\ °C \Rightarrow$

$\Rightarrow \Delta A = 16\ cm^2$

7. **a)** Do enunciado, sabemos que: $\Delta L = 0{,}4\%\ L_0 = 4{,}0 \cdot 10^{-3}\ L_0$

Então, a partir da equação para a dilatação superficial, temos:

$4{,}0 \cdot 10^{-3} \cdot L_0 = L_0 \cdot \alpha \cdot 200 \therefore \alpha = 2{,}0 \cdot 10^{-5}\ °C^{-1}$

b) A partir da equação para dilatação volumétrica, temos:

$\Delta V = \gamma \cdot V_0 \cdot \Delta\theta \Rightarrow \Delta V = 3\alpha \cdot V_0 \cdot \Delta\theta \Rightarrow$

$\Rightarrow \Delta V = 3 \cdot 2{,}0 \cdot 10^{-5}\ °C^{-1} \cdot 8.000\ cm^3 \cdot 200\ °C \Rightarrow \Delta V = 96\ cm^3$

c) A variação percentual do volume do cubo será:

$$\Delta V\% = \frac{\Delta V}{V_0} \cdot 100\% = \frac{96\ cm^3}{8.000\ cm^3} \cdot 100\% = 1{,}2\%$$

8. a) A partir da equação para dilatação volumétrica, temos:

$V = V_0 \cdot (1 + \gamma \cdot \Delta\theta) = V_0 \cdot [1 + \gamma \cdot (-\frac{1}{\gamma})] \Rightarrow$

$\Rightarrow V = 0$ (o corpo sumiu...?!)

b) Os coeficientes γ dos sólidos são da ordem de $10^{-5}\ °C^{-1}$, assim, os valores de $\frac{1}{\gamma}$ são da ordem de 10^5 °C. Um sólido jamais poderia experimentar uma variação de temperatura de – 100.000 °C!

9. O volume transbordado é dado por:

$V_{transbordado} = \Delta V_{liq} - \Delta V_{tanque}$

Então, a partir da equação para a dilatação volumétrica, temos:

$V_{transbordado} = \gamma_L \cdot V_0 \cdot \Delta\theta - \gamma_R \cdot V_0 \cdot \Delta\theta \Rightarrow$

$\Rightarrow V_{transbordado} = (\gamma_L - 3\alpha_R) \cdot V_0 \cdot \Delta\theta \Rightarrow$

$\Rightarrow V_{transbordado} = (120 - 6{,}0) \cdot 10^{-5}\ °C^{-1} \cdot 50 \cdot 10^3\ cm^3 \cdot$

$\cdot (30 - 20)\ °C \Rightarrow$

$\Rightarrow V_{transbordado} = 114 \cdot 10^{-5} \cdot 5 \cdot 10^4 \cdot 10\ cm^3 \Rightarrow$

$\Rightarrow V_{transbordado} = 570\ cm^3$

10. a) Do gráfico, vemos que a densidade da água a – 60 °C é 0,925 g/cm³, assim:

$m = d \cdot V \Rightarrow 100\ g = 0{,}925\ g/cm^3 \cdot V \Rightarrow V \simeq 108{,}11\ cm^3$

b) A partir do volume dado no enunciado, temos:

$m = d \cdot V \Rightarrow 100\ g = d \cdot 103{,}627\ cm^3 \Rightarrow d \simeq 0{,}965\ g/cm^3$

Essa densidade, no gráfico, corresponde à temperatura de 90 °C.

Mundo do trabalho

Trabalho, emprego, carreira

A atividade oportuniza o desenvolvimento da **competência geral 6**, pois oferece aos estudantes a possibilidade de refletirem sobre preferências e desafios do mundo do trabalho e como isso influencia seus projetos de vida. O Ensino Médio é o momento em que os estudantes respondem a aspirações presentes e futuras e passam a assumir riscos e responsabilidades pelas escolhas profissionais. A atividade convida o estudante a conhecer a si mesmo e a reconhecer seus desejos, preferências e comportamentos para fazer escolhas com liberdade, autonomia e consciência vinculadas a seu projeto de vida. Um dos objetivos a serem alcançados com essa atividade é favorecer a atribuição de sentido às aprendizagens, por sua vinculação aos desafios da realidade em relação ao mundo do trabalho.

1. Resposta pessoal. Em geral, as respostas são influenciadas pelos resultados que os estudantes obtêm nas avaliações dos componentes curriculares sem relativamente muito esforço. Quando as respostas forem compartilhadas, convide-os a essa reflexão: a afinidade, o gostar de um assunto, deve estar necessariamente ligada ao bom resultado na disciplina estudada? Muitas vezes, os estudantes revelam nas respostas que têm uma noção mais clara daquilo que não gostam.

2. Resposta pessoal. Muito provavelmente, os estudantes mencionarão o tempo livre como uma variável importante na escolha da atividade profissional; se isso não ocorrer, pergunte como eles gostariam de dividir o tempo dedicado ao trabalho em relação à vida pessoal.

3. Uma das diferenças entendidas na literatura entre os termos trabalho e emprego é que o emprego é uma troca, em que o indivíduo exerce alguma atividade em troca de remuneração, enquanto o trabalho é uma atividade que modifica o ambiente de acordo com um objetivo, independente da existência de uma remuneração. Na perspectiva marxista, o trabalho pode ser compreendido, de forma genérica, como uma capacidade de transformar a natureza para atender a necessidades humanas. O trabalho pode ser o cuidado com a casa ou com alguém, os estudos, um voluntariado etc. Isso significa que a compreensão de trabalho pode ser mais ampla do que a de emprego.

A carreira é a soma de todas as experiências de trabalho, dentro ou fora da área de interesse do indivíduo, que o localiza no mercado de trabalho e na comunidade. A carreira é patrimônio do indivíduo, enquanto o emprego é patrimônio da empresa ou do empregador.

4. Resposta pessoal. Uma conversa com profissionais já estabelecidos pode oferecer um panorama do mercado de trabalho e de suas tendências atuais, além de aspectos como satisfação e realização profissionais. Não deve, por outro lado, influenciar a escolha, que será sempre do indivíduo. A pesquisa do mercado para quem está começando não é nada simples. Nesse sentido, uma conversa com um profissional da área de interesse do estudante pode ajudar muito, pois ele poderá apontar aspectos como a necessidade de estar sempre atualizado quanto a conceitos que vão surgindo na área, entre outros.

Atividades finais

1. Usando a relação termométrica entre as escalas Celsius e Fahrenheit, temos:

$$\frac{\theta_C}{5} = \frac{\theta_F - 32}{9} \Rightarrow \frac{40}{5} = \frac{\theta_F - 32}{9} \Rightarrow 5\theta_F - 160 = 360 \Rightarrow$$

$\Rightarrow 5\theta_F = 520 \therefore \theta_F = 104°\ F$

Usando a relação termométrica entre as escalas Celsius e Kelvin, temos:

$T = \theta_C + 273 \Rightarrow T = 40 + 273 \therefore T = 313\ K$

2. a) Vamos comparar a escala desse termômetro (E) com a escala Celsius:

$$\frac{\theta_C}{100 - 0} = \frac{\theta_E - (-0{,}5)}{101{,}5 - (-0{,}5)} \Rightarrow 100 \cdot \theta_E + 50 = 102 \cdot \theta_C \text{ ou}$$

$\theta_E = 1{,}02 \cdot \theta_C - 0{,}5$

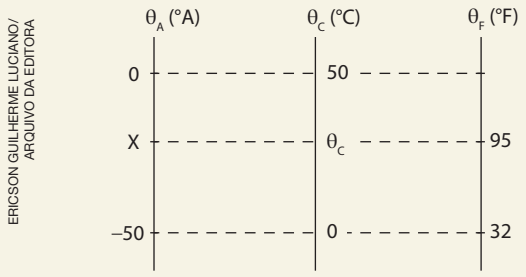
b) Estamos procurando uma temperatura x tal que $\theta_E = \theta_C = x$. Assim, usando a relação obtida no item **a**, temos:

$\theta_E = 1{,}02 \cdot \theta_C - 0{,}5 \Rightarrow x = 1{,}02 \cdot x - 0{,}5 \Rightarrow -0{,}02 \cdot x = -0{,}5 \Rightarrow$

$\Rightarrow x = 25$

Portanto, quando esse termômetro indica 25 °C, esse valor é correto.

3. A relação entre as escalas A, Celsius e Fahrenheit é mostrado na figura a seguir:



ERICSON GUILHERME LUCIANO/ ARQUIVO DA EDITORA

Usando a relação termométrica entre as escalas Celsius e Fahrenheit, temos:

$$\frac{\theta_C}{5} = \frac{\theta_F - 32}{9} \Rightarrow \frac{\theta_C}{5} = \frac{95 - 32}{9} \Rightarrow \frac{\theta_C}{5} = \frac{63}{9}$$

$\therefore \theta_C = 35\ °C$.

Comparando a escala A com a escala Celsius, temos:

$$\frac{\theta_A - (-50)}{0 - (-50)} = \frac{\theta_C}{50} \Rightarrow \frac{\theta_A + 50}{50} = \frac{35}{50} \therefore \theta_A = -15\ °A$$

Alternativa **b**

4. Do enunciado, temos:

$\Delta L = 0{,}1\%\ L_0 = 10^{-3}\ L_0$

Então, a partir da equação para dilatação térmica linear, temos:

$\Delta L = \alpha \cdot L_0 \cdot \Delta\theta \Rightarrow$

$\Rightarrow 10^{-3} \cdot L_0 = 5{,}0 \cdot 10^{-6} \cdot L_0 \cdot (\theta - 20) \therefore \theta = 220\ °C$

5. O aumento percentual no diâmetro D é:

$$\frac{\Delta D}{D_0} = [(\alpha \cdot \Delta\theta) \cdot 100\%] = 0{,}1\%$$

O aumento percentual na área A é:

$$\frac{\Delta A}{A_0} = (\beta \cdot \Delta\theta) \cdot 100\%$$

Como $\beta = 2\alpha$, temos:

$$\frac{\Delta A}{A_0} = (\beta \cdot \Delta\theta) \cdot 100\% = (2\alpha \cdot \Delta\theta) \cdot 100\% = 2 \cdot [(\alpha\ .\ \Delta\theta) \cdot 100\%]$$

Portanto:

$$\frac{\Delta A}{A_0} = 2 \cdot [0{,}1\%] = 0{,}2\%$$

Alternativa **d**

6. Sejam D o diâmetro, V o volume e d a densidade da esfera. A variação percentual do diâmetro D é:

$$\left(\frac{\Delta D}{D_0}\right)_{\%} = \alpha \cdot \Delta\theta \cdot 100\% = -1\%$$

O valor negativo decorre de $\Delta\theta < 0$ (resfriamento).

Portanto, a variação percentual do volume é:

$$\left(\frac{\Delta V}{V_0}\right)_{\%} = \gamma \cdot \Delta\theta \cdot 100\% \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \left(\frac{\Delta V}{V_0}\right)_{\%} = 3\alpha \cdot \Delta\theta \Rightarrow \left(\frac{\Delta V}{V_0}\right)_{\%} = 3 \cdot (-1\%) = -3\%$$

Para a densidade, temos:

$$d \simeq d_0 \cdot (1 - \gamma \cdot \Delta\theta) \Rightarrow d - d_0 \simeq -d_0 \cdot \gamma \cdot \Delta\theta \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \left(\frac{\Delta d}{d_0}\right)_{\%} = -\gamma \cdot \Delta\theta \Rightarrow \left(\frac{\Delta d}{d_0}\right)_{\%} = -3\alpha \cdot \Delta\theta \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \left(\frac{\Delta d}{d_0}\right)_{\%} = -3 \cdot (\alpha \cdot \Delta\theta) = -3 \cdot (-1\%) \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \left(\frac{\Delta d}{d_0}\right)_{\%} = +3\%$$

Alternativa **a**

7. I. Incorreta: quanto maior a temperatura, menor é a densidade da gasolina, isto é, você estaria comprando menos massa de combustível para encher o tanque; isso seria desvantajoso.

II. Correta: quanto menor a temperatura, maior será a densidade da gasolina, isto é, você estaria comprando mais massa de combustível por litro; isso seria vantajoso.

III. Correta: como $m = d \cdot V$, pagando pela massa podemos abastecer o tanque do veículo em qualquer temperatura, pois, numa temperatura maior, temos d menor e V será maior; numa temperatura menor, temos d maior e V será menor, mas nos dois casos o valor a pagar será o mesmo.

Alternativa **e**

Proposta de avaliação

As atividades **1**, **5** e **7** das *Atividades Finais* possibilitam uma avaliação abrangente da aprendizagem dos estudantes a respeito de conteúdos-chave do capítulo, como escalas de temperatura e dilatação

Capítulo 10 Energia térmica

Objetivos do capítulo

- Compreender o conceito de calor.
- Mostrar o comportamento de curvas de aquecimento e de resfriamento.
- Abordar a evolução histórica do conceito de calor.
- Analisar as trocas de calor entre corpos.
- Compreender o conceito de equilíbrio térmico.
- Apresentar os conceitos de capacidade térmica, calor específico, calor latente, quantidade de calor sensível e operacionalizá-los na abordagem algébrica de problemas.
- Reconhecer as particularidades inerentes a problemas envolvendo as trocas de calor.

Sugestões didáticas e comentários/ Por dentro da BNCC

A **competência geral 1** é mobilizada neste capítulo ao valorizar e utilizar os conhecimentos historicamente construídos sobre o mundo físico para entender e explicar fenômenos reais relacionados ao calor.

O conceito de calor pode ser descrito como a energia térmica transferida entre sistemas de diferentes temperaturas, até o estabelecimento do equilíbrio térmico. Nesse sentido, é importante destacar que, do ponto de vista físico, não faz sentido falar em "calor contido em um corpo"; um corpo possui, na verdade, energia térmica. A abordagem histórica de teorias anteriores ao conceito atual de calor, como a teoria do calórico, pode ser útil para demonstrar as limitações do conhecimento científico, bem como a forma como a evolução dos conceitos científicos supera essas limitações, em consonância com a habilidade **EM13CNT201**.

A importância da alimentação para a saúde, abordando a classificação dos alimentos em carboidratos, lipídeos e pro-

teínas e relacionando-os aos seus respectivos valores energéticos permite que a habilidade **EM13CNT203** seja trabalhada. A abordagem da habilidade **EM13CNT105** também é possível, uma vez que se enfatiza o ciclo da água e sua relevância para a vida no planeta Terra.

A habilidade **EM13CNT101** pode ser aprofundada com a compreensão das curvas de aquecimento e resfriamento de uma substância, bem como o conceito de equilíbrio térmico e a troca de calor entre corpos. Dessa maneira, os estudantes devem ser capazes de entender que, ao aproximar corpos com temperaturas diferentes, a energia flui do corpo mais quente para o mais frio até que se atinja a temperatura de equilíbrio.

Por fim, a abordagem e compreensão dos conceitos de capacidade térmica, calor específico de uma substância, calor sensível, calor latente, além da resolução de problemas envolvendo sistemas termicamente isolados, oportunizam o desenvolvimento da habilidade **EM13CNT301**.

Resoluções e comentários

Aplicando conhecimentos

1. Calor é a energia térmica em trânsito entre corpos em diferentes temperaturas. Logo, está errado falar em "calor contido em um corpo" ou dizer que "um corpo contém calor".
2. O sentido natural do fluxo de calor é sempre dos corpos de maior temperatura para os de menor temperatura. A resposta ao teste encontra-se na alternativa **e**.

Atividade em grupo

Organize os estudantes em grupos de 3 a 4 membros e instrua-os que cada grupo deverá analisar diferentes aspectos da fome, como: levantar dados numéricos sobre a situação global da fome (por exemplo, porcentagem de pessoas em situação de risco alimentar e localização delas no globo); a realidade específica do Brasil, identificando os grupos mais vulneráveis; investigar o que é deficiência nutricional e segurança alimentar; explorar programas de combate à fome e de promoção à agricultura sustentável no contexto nacional e internacional. O relatório mencionado no texto no livro do estudante é uma fonte indicada de referências sobre grande parte desses tópicos.

Ao final, os grupos deverão apresentar os resultados da pesquisa utilizando diferentes mídias e tecnologias digitais, como vídeos e *blogs*. Incentive-os também a trabalhar a comunicação oral e científica através de diferentes formatos textuais, como textos jornalísticos, gráficos, tabelas, mapas e cartazes. Informe aos alunos que o objetivo dessa apresentação é sensibilizar os colegas e a comunidade escolar sobre a importância de enfrentar esses desafios, contribuindo, assim, para a construção de uma sociedade mais justa, democrática e inclusiva.

Essa atividade promove a discussão do **ODS 1**, por tratar sobre a erradicação da pobreza da desigualdade social; e do **ODS 2**, por tratar sobre erradicação da fome, segurança alimentar e melhoria da nutrição. Os **TCTs Cidadania e civismo e Saúde** são mobilizados uma vez que a atividade pode sensibilizar os estudantes para aspectos da vida social e dos direitos humanos e porque contempla a educação alimentar e nutricional.

Por exigir a interpretação de textos científicos e incentivar a apresentação dos resultados para a comunidade escolar, essa atividade desenvolve as habilidades **EM13CNT302** e **EM13CNT303**.

Dialogando com o texto

Caso haja acesso à internet, o simulador promove uma compreensão mais profunda dos conceitos fundamentais que envolvem a transição de fase durante o aquecimento ou resfriamento de uma substância. Inicialmente, peça que os alunos explorem o simulador para aprenderem as principais funções. Em seguida, apresente o objetivo da atividade e forneça o *link* para o simulador interativo. Explique brevemente os estados da matéria e como a temperatura e a pressão afetam esses estados.

Peça aos grupos para acessarem o simulador "Estados da Matéria", no *site* do projeto Simulações Interativas PhET, e experimentarem alterar a temperatura das diferentes substâncias disponíveis (neônio, argônio, oxigênio e água). Durante a atividade, incentive a discussão sobre o comportamento das moléculas em cada estado da matéria. Organize os alunos em grupos após a exploração do simulador e incentive-os a compartilharem suas experiências e a relacionarem suas descobertas com a teoria discutida anteriormente. Peça aos grupos que registrem suas observações.

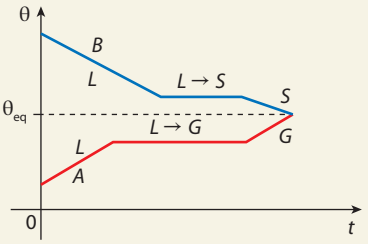
Essa atividade vai ajudar os alunos a compreenderem melhor os conceitos de estados da matéria e as mudanças que ocorrem com a variação de temperatura e pressão. Além disso, vai incentivá-los a pensar criticamente sobre como esses conceitos se aplicam ao mundo real, como na sala de aula, onde objetos podem estar em estados físicos diferentes mesmo estando na mesma temperatura. Os alunos realizarão previsões sobre as mudanças de estado físico da matéria em diferentes condições de temperatura. Eles também avaliarão como intervenções, como aumento ou diminuição da temperatura, afetam o comportamento das partículas e os estados da matéria, o que está em consonância com a habilidade **EM13CNT102**. Ao representar e interpretar modelos explicativos, dados e resultados do simulador, os alunos irão avaliar e justificar conclusões sobre o comportamento das partículas e as mudanças de estado da matéria, essa atividade desenvolve também a habilidade **EM13CNT301**.

Sobre o questionamento feito aos estudantes, verifique que, quando aumentamos a temperatura de um objeto, aumentamos a energia cinética das moléculas ou átomos e, em um sólido, as ligações ou estruturas cristalinas são "rompidas", formando um líquido. Se aumentarmos ainda mais a temperatura, as moléculas ganham mais energia cinética e conseguem se mover livremente no recipiente, ocupando seu espaço por completo no estado gasoso. No caso do resfriamento, as moléculas perdem energia cinética e se acumulam no fundo do recipiente, transformando-se do estado gasoso para o líquido. O líquido, por sua vez, solidifica, e precipitados de sólidos são formados até a solidificação completa. No caso dos sólidos, as moléculas possuem baixa mobilidade.

Aplicando conhecimentos

3. A partir do diagrama, podemos concluir que o líquido *A* será aquecido e o líquido *B* será resfriado. Assim, a mudança de estado sofrida pelo líquido *A* é a vaporização e a mudança de estado sofrida pelo líquido *B* é a solidificação. Portanto, teremos, em cada etapa do diagrama:

ERICSON GUILHERME LUCIANO/ ARQUIVO DA EDITORA



Logo, ao ser atingido o equilíbrio térmico, teremos a substância *A* no estado gasoso e a substância *B* no estado sólido.

Alternativa **d**

4. Vamos calcular, inicialmente, a quantidade de calor fornecida pela fonte:

$Q = 100\,\frac{cal}{min} \cdot 16\ min \Rightarrow Q = 1.600\ cal$

Da definição de capacidade térmica, teremos:

$C = \frac{Q}{\Delta\theta} \Rightarrow C = \frac{1.600\ cal}{80\ °C} \Rightarrow C = 20\ cal/°C$

5. Conhecida a potência da fonte térmica e o intervalo de tempo de seu funcionamento, podemos determinar a quantidade de calor recebida pelo corpo e, com ela, a capacidade térmica do corpo. Então, conhecida a massa e a capacidade térmica do corpo, determina-se o calor específico do material.

a) A quantidade de calor recebida pelo corpo é dada por:

$Q = 60\,\frac{cal}{s} \cdot 5min \Rightarrow Q = 60\,\frac{cal}{s} \cdot 300\ s \Rightarrow$

$\Rightarrow Q = 18.000\ cal$

Da definição de capacidade térmica, teremos:

$C = \frac{Q}{\Delta\theta} \Rightarrow C = \frac{18.000\ cal}{30\ °C} \Rightarrow C = 600\ cal/°C$

b) Para o calor específico do material, temos:

$C = c \cdot m \Rightarrow 600 = c \cdot 3.000 \Rightarrow c = 0{,}2\,\frac{cal}{g \cdot °C}$

6. A taxa de calor trocado pelo ambiente interno do refrigerador é −20 cal/min (negativo, pois o calor é perdido). O corpo colocado no refrigerador tem capacidade térmica $C = 5$ cal/°C e lá permanece durante o intervalo de tempo $\Delta t = 40$ min, atingindo temperatura $\theta = 20$ °C.

a) Calculemos, inicialmente, a quantidade de calor *Q* perdida pelo corpo:

$-20\,\frac{cal}{min} = \frac{Q}{40\ min} \Rightarrow$

$\Rightarrow Q = -20\,\frac{cal}{min} \cdot 40\ min \Rightarrow Q = -800\ cal$

Da definição de capacidade térmica, temos:

$C = \frac{Q}{\Delta\theta} \Rightarrow 5 = \frac{-800}{\Delta\theta} \Rightarrow \Delta\theta = \frac{-800}{5}$

$\therefore \Delta\theta = -160\ °C$

b) Calculando a temperatura inicial do corpo, temos:

$\Delta\theta = \theta - \theta_0 \Rightarrow -160 = 20 - \theta_0 \Rightarrow \theta_0 = 20 + 160$

$\therefore \theta_0 = 180\ °C$

7. Como o bloco de gelo já está na temperatura de fusão, podemos afirmar que a quantidade de calor necessária para fundir totalmente o bloco é dada apenas pela quantidade de calor latente.

Assim:

$Q = m \cdot L \Rightarrow Q = 500 \cdot 80 \therefore Q = 40.000\ cal = 40\ kcal$

8. Conhecendo-se a taxa de transferência de calor (100,0 cal/min) e o intervalo de tempo de transferência de calor (5,0 min), podemos calcular a quantidade de calor transferida ao corpo:

$Q = 100{,}0\,\frac{cal}{min} \cdot 5{,}0\ min = 500\ cal$

Agora, podemos calcular a massa de chumbo que se fundiu:

$Q = m \cdot L \Rightarrow 500 = m \cdot 94{,}5 \therefore m \simeq 5{,}3\ g$

9. Do principio geral das trocas de calor, temos:

$Q_{água} + Q_{metal} = 0 \Rightarrow$

$m_{água} \cdot c_{água} \cdot (\theta - \theta_{água}) + m_{metal} \cdot c_{metal} \cdot (\theta - \theta_{metal}) = 0$

Substituindo os valores numérico fornecidos, obtemos:

$300 \cdot 1 \cdot (25 - 20) + 100 \cdot c_{metal} \cdot (25 - 100) = 0$

$\therefore c_{metal} = 0{,}2\ cal/(g \cdot °C)$

10. Devemos observar que o bloco de gelo sofrerá fusão completa e a água resultante da fusão será aquecida até 20 °C (temperatura final de equilíbrio). Então, do princípio geral das trocas de calor, temos:

$Q_{água} + Q_{gelo} = 0 \Rightarrow$

$\Rightarrow 500 \cdot 1 \cdot (20 - 80) + m \cdot 80 + m \cdot 1 \cdot (20 - 0) = 0 \Rightarrow$

$\Rightarrow -30.000 + 80 \cdot m + 20 \cdot m = 0 \Rightarrow$

$\Rightarrow 100 \cdot m = 30.000 \therefore m = 300\ g$

Atividades finais

1. A mistura de água e gelo, em equilíbrio, encontra-se a 0 °C. Assim, a entrada de calor na garrafa provocará, inicialmente, a fusão do gelo. Logo, a quantidade de calor necessária para fundir 400 g de gelo é:

$Q = m \cdot L \Rightarrow Q = 400 \cdot 80 \therefore Q = 32.000\ cal = 32\ kcal$

Pela taxa de transferência de calor, obtemos:

0,2 kcal —— 1 min

32 kcal —— Δt

$\Delta t = \frac{32}{0{,}2} \therefore \Delta t = 160\ min$

2. Nesse exercício, pode-se aproveitar a oportunidade para reforçar o significado da grandeza física capacidade térmica.

Considerando $\Delta t = 0{,}5\ h = 30\ min$, temos:

$\Delta\theta = 130\ °C - 50\ °C = 80\ °C$

Da definição de fluxo de calor, temos:

20 cal —— 1 min

Q —— 30 min

$Q = 600\ cal$

Sabendo que a variação de temperatura foi $\Delta\theta = 130\ °C = 50\ °C = 80\ °C$, a capacidade térmica do corpo é dada por:

$C = \frac{Q}{\Delta\theta} \Rightarrow C = \frac{600}{80} \therefore C = 7{,}5\ cal/°C$

Esse resultado indica que o corpo deve receber (ou perder) 7,5 cal para que sua temperatura aumente (ou diminua) 1 °C.

3. Inicialmente, é preciso calcular a quantidade total de energia fornecida por 2,5 gramas de castanha. De acordo com a tabela nutricional, 10 gramas de castanha contêm 70 kcal; logo, por uma regra de três simples e direta, 2,5 gramas contêm 17,5 kcal.

O enunciado indica que foram utilizados apenas 50% da energia da castanha; assim: $Q = 50\% \cdot 17{,}5\ kcal = 8{,}75\ kcal$

Agora, basta utilizar a equação de calor sensível para encontrar a temperatura da água:

$Q = m \cdot c \cdot \Delta\theta \Rightarrow$

$\Rightarrow 8.750 = 350 \cdot 1 \cdot (\theta_f - 20) \therefore \theta_f = 45\ °C$

Alternativa **c**

4. A tabela informa que um grama de gasolina corresponde a 10 kcal de energia liberada. A massa da gasolina em 40 litros (40.000 mL) pode ser encontrada por meio da definição de densidade:

$d = \frac{m}{V} \Rightarrow 0{,}7 = \frac{m}{40.000} \Rightarrow m = 0{,}7 \cdot 40.000$

$\therefore m = 28.000\ g$

Logo, a energia correspondente a 28.000 gramas de gasolina é 280.000 kcal. É possível calcular a massa do etanol considerando que a energia liberada é de 280.000 kcal. Pela tabela, um grama de etanol corresponde a 6 kcal de energia liberada. Assim, por uma regra de três simples e direta, obtemos 46.666 g. Aplicando essa informação na definição de densidade, encontramos o volume do etanol:

$d = \frac{m}{V} \Rightarrow 0{,}8 = \frac{46.666}{V} \Rightarrow V = \frac{46.666}{0{,}8} \Rightarrow$

$\Rightarrow V = 58.332{,}5 \therefore V = 58.332{,}5\ mL \simeq 58\ L$

Alternativa **d**

5. De acordo com o gráfico, para uma vazão de 3 L/min, a variação de temperatura para o chuveiro morno era de 12 °C e para o aquecido era de 32 °C.

Relembre os estudantes que potência é a grandeza física escalar que indica a rapidez com que determinada quantidade de energia é transferida a um corpo ou a rapidez com que determinada quantidade de energia é convertida de um tipo em outro. Matematicamente, no contexto da energia térmica, podemos escrever que $P = \frac{Q}{\Delta t}$.

Na condição morno:

$P_{morno} = \frac{m \cdot c \cdot \Delta\theta}{\Delta t} = c \cdot \Delta\theta \cdot \left(\frac{m}{\Delta t}\right) \Rightarrow$

$\Rightarrow P_{morno} = 4{,}200 \cdot 12 \cdot \left(\frac{3}{60}\right) \therefore P_{morno} = 2.520\ W$

Na condição quente:

$P_{superquente} = \frac{m \cdot c \cdot \Delta\theta}{\Delta t} = c \cdot \Delta\theta \cdot \left(\frac{m}{\Delta t}\right) \Rightarrow$

$\Rightarrow P_{superquente} = 4{,}200 \cdot 32 \cdot \left(\frac{3}{60}\right) \therefore P_{superquente} = 6.720\ W$

Logo: $\frac{P_{morno}}{P_{superquente}} = \frac{2.520\ W}{6.720\ W} \Rightarrow \frac{P_{morno}}{P_{superquente}} = \frac{3}{8}$

Alternativa **d**

Referências suplementares

O artigo "Um estudo a respeito das concepções alternativas sobre calor e temperatura" pode auxiliar na compreensão do conceito de calor e temperatura e na superação de compreensões alternativas. Disponível em: https://periodicos.ufmg.br/index.php/rbpec/article/view/4133/2698 (acesso em: 23 de set. de 2024).

Proposta de avaliação

As atividades **1**, **3** e **4** da seção *Atividades finais* possibilitam uma avaliação abrangente da aprendizagem dos estudantes a respeito de conteúdos-chave do capítulo.

Capítulo 11 Transmissão de calor

Objetivos do capítulo

- Compreender os mecanismos para a troca de calor.
- Aprender o conceito de fluxo de calor.
- Conhecer os principais processos de transmissão de calor.
- Reconhecer quando um material é um condutor ou isolante térmico.

Sugestões didáticas e comentários/ Por dentro da BNCC

Comece o capítulo destacando o conceito de calor, informando que neste capítulo a ideia é discutir como esse calor pode se deslocar de um lugar para outro, do ponto de vista qualitativo e quantitativo, no caso da condução. Associe os processos de transferência de calor às situações do nosso cotidiano.

O capítulo trata, principalmente, das habilidades **EM13CNT101**, pois analisa e representa algumas transformações e conservações em sistemas que envolvem quantidade de matéria e de energia; e **EM13CNT301**, por meio de representação e interpretação de modelos e resultados experimentais, elaborando hipóteses e previsões.

As **competências gerais 1** e **2** são mobilizadas neste capítulo ao valorizar e utilizar os conhecimentos historicamente construídos sobre o mundo físico e exercitar a curiosidade intelectual, recorrendo à abordagem própria das ciências, incluindo a investigação, a reflexão, a análise crítica, a imaginação e a criatividade para investigar causas, elaborar e testar hipóteses, formular e resolver problemas e criar soluções.

O tópico *Aquecimento de água por energia solar* vem ao encontro das habilidades **EM13CNT103**, por meio da utilização do conhecimento sobre as radiações e suas origens para avaliar as potencialidades de sua aplicação em equipamentos de uso cotidiano e na geração de energia elétrica; e **EM13CNT106**, pois leva os estudantes a avaliar tecnologias e soluções para geração de energia, considerando suas características de produção.

Resoluções e comentários

Dialogando com o texto

As janelas de vidro duplo, também conhecidas como janelas de isolamento térmico, oferecem uma série de vantagens significativas para a eficiência energética, o conforto e a economia de custos em ambientes frios, pois esse tipo de janela tem duas camadas de vidro separadas por um espaço isolante, geralmente preenchido com ar ou gás inerte entre elas. O ar seco, por ser excelente isolante térmico, reduz consideravelmente a troca de calor através das vidraças. A redução na perda de calor através das janelas resulta em uma demanda menor por aquecimento interno. Isso, por sua vez, leva a uma economia de energia e redução nas contas de aquecimento, elétrico ou a gás, durante os meses de inverno.

Assim, janelas com vidro duplo são uma escolha inteligente em países com invernos rigorosos, pois proporcionam isolamento térmico eficaz, reduzem perda de calor, melhoram o con-

forto interno e ajudam a economizar energia e dinheiro a longo prazo. Esse exemplo é uma oportunidade para discutir como intervenções simples, como o uso de janelas com vidro duplo, podem impactar positivamente a sustentabilidade térmica em ambientes construídos, abordando indiretamente a habilidade **EM13CNT102**.

Ademais, também é uma ótima oportunidade para explorar como essas propriedades específicas dos materiais podem ser aplicadas em outras áreas além das janelas, como na seleção de materiais para isolamento térmico em geral, abordando indiretamente a habilidade **EM13CNT307**.

Atividade em grupo

O estudo da propagação de calor é fundamental para compreender como os seres humanos adaptam-se e sobrevivem em ambientes extremos, como regiões polares e desertos. Além disso, destaca-se a representação de diferenças culturais de outros povos e países, bem como a interpretação de textos de divulgação científica para compreender essas realidades diversas.

Comece introduzindo os alunos aos conceitos básicos de propagação de calor. Explique, ainda sem entrar em detalhes, como esses processos ocorrem e como influenciam a transferência de calor em diferentes materiais e ambientes.

Em seguida, apresente os casos específicos dos habitantes de regiões polares e desérticas. Discuta as adaptações que essas pessoas fazem em suas habitações e vestimentas para lidar com as condições extremas de temperatura. Destaque a importância do isolamento térmico em iglus e o papel das roupas grossas de lã usadas pelos beduínos.

Caso seja possível, construa miniaturas de iglus usando blocos de gelo ou isopor para mostrar em sala de aula. Coloque uma fonte de calor dentro de cada iglu, como uma lâmpada ou vela, e meça a temperatura no interior e no exterior ao longo do tempo. Compare os resultados para entender como o isolamento térmico afeta a transferência de calor. Também é possível envolver termômetros em amostras de tecido de lã, algodão, poliéster etc., expondo-os a uma fonte de calor e registrando como as temperaturas variam ao longo do tempo.

Encerre a atividade destacando a importância do conhecimento sobre propagação de calor para a sobrevivência humana em ambientes extremos. Incentive os alunos a pensarem em outras aplicações práticas desses conceitos em seu cotidiano e como podem contribuir para a busca de soluções sustentáveis e eficientes em termos energéticos.

Em síntese, os alunos devem chegar à conclusão de que nos polos, o uso de iglus é explicado pelo fato de o gelo ser um excelente isolante térmico, impedindo a troca de calor entre o interior e o exterior, enquanto no deserto, os beduínos usam roupas grossas de lã, que são maus condutores de energia térmica, evitando a troca de calor com o ambiente quente e protegendo a pele do excesso de luz solar direta. Ambos os exemplos demonstram a aplicação prática dos princípios da termologia em diferentes contextos geográficos e culturais.

Aplicando conhecimentos

1. O espaço existente na serragem é ocupado pelo ar atmosférico, que é um excelente isolante térmico por ter coeficiente de condutibilidade térmica muito baixa.
2. A maçaneta metálica e a porta de madeira estão à temperatura ambiente. A sensação de que a maçaneta metálica está mais quente deve-se ao fato de o metal que a compõe ter um coeficiente de condutibilidade térmica maior que o da madeira. Assim, o calor flui do metal para a mão mais rapidamente que da madeira para a mão.
3. **a)** A partir da lei de Fourier, temos:

$$\Phi = K \cdot \frac{A \cdot (\theta_1 - \theta_2)}{e} \Rightarrow \Phi = 0{,}50 \cdot \frac{5{,}0 \cdot 100}{50}$$

$$\therefore \Phi = 5{,}0 \text{ cal/s}$$

b) A lei de Fourier pode ser aplicada para qualquer trecho da barra, uma vez que o regime é estacionário. Então, para $e = 10$ cm (entre o ponto considerado e a extremidade em contato com o gelo em fusão), a diferença de temperatura será $(\theta_1 - \theta_2) = \theta - 0 = \theta$. Assim:

$$\Phi = K \cdot \frac{A \cdot (\theta_1 - \theta_2)}{e} \Rightarrow 5{,}0 = 0{,}50 \cdot \frac{5{,}0 \cdot \theta}{10}$$

$$\therefore \Phi = 20\ ^\circ\text{C}$$

4. A decisão de colocar o aquecedor no alto do guarda-roupa foi errada. Ele deveria ter colocado o aquecedor no solo, pois o ar quente tende a subir.
5. O ar frio é mais denso que o ar quente e se mantém em contato com os alimentos.
6. As camadas de ar junto ao solo apresentam temperaturas menores que as superiores e, por isso, não sobem, dificultando a dispersão dos poluentes. Essa inversão de temperaturas nas camadas atmosféricas dificulta ou impede a convecção das massas quente e fria do ar atmosférico em determinada região. A resposta ao teste encontra-se na alternativa **e**.

Em destaque

Uso do fogo pelos povos indígenas do Cerrado

Inicie a aula com uma introdução sobre a importância do Cerrado e as condições ambientais que exigem técnicas específicas de manejo do fogo. Se for possível, peça a participação do professor de Geografia para explorar esse conteúdo de forma interdisciplinar. Explique que populações antigas, como os povos de Lagoa Santa, MG, já utilizavam o fogo para o preparo de alimentos e cerimônias fúnebres, prática que foi aprimorada e transmitida aos descendentes ao longo dos séculos.

Em seguida, explique que os grupos indígenas contemporâneos do Cerrado, como os Xavante, Krahô, Kayapó, Xerente e Karajá, utilizam o fogo de forma multifuncional. Eles empregam o fogo para limpar caminhos, abrir áreas de cultivo, praticar a cultura itinerante (corte e queima), expulsar cobras e pragas, atrair animais durante a caça, estimular a rebrota e frutificação de plantas, coletar mel, sinalizar à distância e em guerras e rituais. Destaque a abrangência e a sofisticação dessas práticas, que demonstram um conhecimento profundo dos efeitos do fogo na natureza.

É importante ressaltar aos alunos que esses povos possuem métodos refinados para utilizar o fogo de maneira sustentável. Por exemplo, os Kayapó reconhecem mais de 40 tipos de florestas, savanas e campos e usam o fogo para criar "pomares" onde plantam várias árvores frutíferas e outras plantas úteis. Eles queimam a vegetação em volta desses pomares para protegê-los de fogos acidentais e realizam queimadas específicas para estimular a produção de frutos ou controlar doenças das plantas.

Aborde a prática da cultura itinerante, explicando que pequenas áreas de vegetação são queimadas após as primeiras chuvas da primavera, de forma controlada, para fertilizar o solo com as cinzas e manter a produtividade das plantas por alguns anos. Depois, a área é deixada para se recuperar naturalmente, evitando a degradação do solo e a perda de biodiversidade.

Enfatize que os povos indígenas usam o fogo com objetivos bem definidos, baseando-se em indicadores naturais como nuvens, direção do vento, nível dos rios e ciclos das principais espécies vegetais e animais.

Finalizando a aula, discuta com os alunos a importância de reconhecer e valorizar o conhecimento tradicional e as práticas sustentáveis dos povos indígenas, que podem servir de exemplo para a gestão ambiental moderna.

1. Os grupos indígenas e tradicionais do Cerrado utilizam o fogo de maneira sustentável através de um profundo conhecimento dos efeitos do fogo na natureza e métodos refinados de manejo.
2. Eles utilizam o fogo para diversas finalidades como limpar caminhos, abrir áreas de cultivo, expulsar cobras e pragas, estimular a rebrota e frutificação de plantas e proteger suas áreas de cultivo contra fogos acidentais.

Aplicando conhecimentos

7. Como o espaço entre a mão e a lâmpada é preenchido por ar, um bom isolante térmico, pode-se desprezar a transmissão de calor por condução. Além disso, o ar aquecido tende naturalmente a subir, e não a descer, até a sua mão; portanto, podemos também desprezar a transmissão de calor por convecção. Assim, dos três processos de transmissão de calor, apenas a irradiação é capaz de transmitir calor à sua mão de maneira significativa.
8. Nas regiões próximas à linha do Equador, os raios solares incidem mais diretamente do que nas regiões polares. Assim, devido ao formato esférico da Terra, a concentração de energia luminosa por unidade de área tende a ser maior nas regiões próximas à linha do Equador.
9. A temperatura em uma noite com estrelas será, provavelmente, menor do que a temperatura em uma noite sem estrelas. Isso pode ser explicado se considerarmos que, em uma noite estrelada, a maior parte da radiação emitida pela Terra se propagará pelo espaço; já em uma noite sem estrelas, a cobertura de nuvens absorve boa parte da radiação emitida pela Terra.

Educação midiática

Visualização de dados no mundo contemporâneo

A atividade visa à compreensão dos diferentes tipos de gráfico e à análise crítica de gráficos encontrados em meios de comunicação. Os alunos irão pesquisar e entender a aplicação de vários tipos de gráficos usados em *dashboards* e em outros contextos, além de identificar e avaliar gráficos reais, promovendo uma leitura crítica e reflexiva dos dados apresentados.

Inicie a aula discutindo a importância da visualização de dados no mundo atual, explicando como os gráficos são ferramentas essenciais para a interpretação e comunicação de informações complexas de forma visual e acessível. Divida a turma em pequenos grupos de 3 a 4 alunos. Se possível, utilize para cada grupo um computador ou *tablets* com acesso à internet, caso contrário, leve revistas e jornais para ajudar os alunos na pesquisa de gráficos. Instrua os grupos a pesquisarem os principais tipos de gráfico usados em *dashboards*, como gráficos de barras, gráficos de linhas, gráficos de pizza, histogramas, gráficos de dispersão, entre outros. Oriente-os a buscar a definição e as características de cada tipo de gráfico, as situações em que são mais eficazes, incluindo exemplos específicos de uso em diferentes contextos como negócios, educação e mídia, e as vantagens e desvantagens de cada um.

Em seguida, cada grupo deve escolher um tema de interesse, como o investimento de cada país no combate ao aquecimento global, o percentual de candidatas mulheres em cada partido político nas próximas eleições ou o aumento de denúncias de crime de racismo nos últimos dez anos. Peça aos alunos que pesquisem gráficos relacionados ao tema escolhido em jornais, revistas e *sites*. Para cada gráfico encontrado, os alunos devem identificar o tipo de gráfico, a fonte do gráfico (nome do jornal, revista ou *site* e data de publicação) e o propósito do gráfico, ou seja, o que ele está tentando informar.

Ao final da atividade, os grupos podem preparar uma apresentação para compartilhar suas descobertas com a turma, explicando o contexto de cada gráfico encontrado e avaliando a eficácia do gráfico com base na análise feita. Eles também devem propor melhorias para os gráficos que consideraram inadequados. Organize uma discussão na sala de aula para comparar as análises dos diferentes grupos, observando e comentando sobre a adequação dos gráficos apresentados pelos colegas. Se preferir, pode-se solicitar um relatório final que inclua as análises de cada gráfico encontrado, propostas de melhoria e justificativas, e reflexões sobre a importância de escolher o gráfico adequado para a apresentação de dados. Por fim, se possível, publique os gráficos e relatórios num site ou nas redes sociais da escola para compartilhar as descobertas com a comunidade escolar.

Essa atividade tem por objetivo a avaliação crítica da informação gráfica e suas fontes, a partir do estabelecimento de critérios de avaliação da confiabilidade, validade, clareza, precisão e eficácia. Também deseja-se tratar sobre a escolha do tipo de gráfico adequado para um determinado conjunto de dados.

Embora partindo de conceitos específicos da Física, esta atividade pretende se inserir em um contexto mais amplo, o da chamada *Data Visualization* – ou *DataViz*: campo de estudo e representação gráfica para dados de praticamente qualquer natureza. Inicie perguntando aos estudantes se eles sabem o que são *dashboards*, e como eles podem contribuir para o planejamento empresarial. Valorize possíveis contribuições e proponha

um aprofundamento, solicitando que pesquisem e tragam para a sala de aula exemplos de *dashboards*. Ressalte que são ferramentas concebidas para empresas, mas que muitos de seus conceitos podem ser aplicados em outros tipos de apresentações, como se pode ver frequentemente nos dados apresentados na forma de gráficos dinâmicos em programas jornalísticos ou em interfaces para investimento no mercado financeiro. Se houver tempo, experimentem juntos algumas ferramentas de criação de *dashboards*.

A atividade é favorável para o desenvolvimento da habilidade **EM13CO10** (Conhecer os fundamentos da Inteligência Artificial, comparando-a com a inteligência humana, analisando suas potencialidades, riscos e limites), pois menciona escolhas que precisam ser feitas por humanos.

Peça aos estudantes que leiam os gráficos apresentados e respondam às questões.

1. Solicite que escrevam um pequeno texto que traduza em palavras as informações trazidas pelo gráfico (o aumento comparado, em graus Celsius, da temperatura média global em três diferentes cenários de comportamento político). A ideia é que os estudantes percebam que textos e gráficos são duas formas de expressar informações que se inter-relacionam, e que saibam transitar entre essas linguagens.
2. Embora ambos os gráficos mostrem que, se os países não agirem, o efeito sobre o aquecimento global será maior, o gráfico da direita enfatiza esse fato pela truncagem do eixo *x*. Isso pode ser evidenciado com o auxílio de uma régua, medindo e calculando quantas vezes a diferença entre as barras é maior no gráfico da direita em relação ao da esquerda. Usar essa distorção não é eticamente aceitável. Questione os estudantes se eles costumam verificar as proporções e escalas em gráficos presentes nas mídias que consultam e, se possível, analise alguns desses gráficos com eles.
3. O gráfico da direita, pois, se os países agirem, o aumento da média de temperatura global será muito maior. Essa questão procura evidenciar o entendimento das diferenças apontadas na questão 2.
4. Organize os estudantes em grupos, atribuindo a cada um deles a tarefa de construir um tipo diferente de gráfico (como gráfico de barras, pizza e linhas). Os gráficos obtidos podem ser comparados, discutindo-se a facilidade de construção e a precisão na interpretação de cada um deles. Dentro do tema energia, o portal da *International Energy Agency* (IEA, disponível em https://www.iea.org; acesso em: 7 abr. 2024) disponibiliza centenas de gráficos, oferece a possibilidade de escolher algumas formas de apresentação e permite baixar os dados que os geraram.

A maioria das planilhas eletrônicas oferece recursos de criação de gráficos; se possível, acesse essas planilhas com os estudantes. Chame a atenção para o fato de que há recursos digitais que melhoram o aspecto estético dos gráficos, mas que podem atrapalhar sua interpretação (especialmente os recursos 3D, que podem distorcer as proporções).

Sugerimos que essas atividades sejam realizadas de forma interdisciplinar com Matemática e Ciências Humanas. Da área de Humanas, pode-se propor questões sociais relevantes para o contexto da sua comunidade escolar e que reflitam anseios dos estudantes (como a taxa de desemprego em sua região ou o acesso de determinado grupo étnico ao Ensino Superior ou às mídias digitais), para as quais estejam disponíveis ou possam ser produzidos dados estatísticos. Caberia à Matemática abordar o tratamento dos dados e a escolha do melhor gráfico para expressá-los. Os grupos podem discutir temas distintos ou o mesmo tema; neste caso, será mais fácil discutir vantagens de um ou outro tipo de representação gráfica (por outro lado, gerando um ambiente de competição que pode ser pouco produtivo). O professor de Língua Estrangeira também poderia ser convidado a participar, abordando o emprego de termos técnicos em língua inglesa, seus significados, a real necessidade de seu uso, bem como o trabalho com bases de dados em inglês, como os da *International Energy Agency* (disponível em: https://www.iea.org; acesso em: 8 abr. 2024), que traz na aba "*Data*" gráficos e dados estatísticos sobre energia que podem ser personalizados.

Os gráficos resultantes, produzidos em meio digital ou em papel, poderão ser divulgados para a comunidade escolar ou nas redes sociais da escola na forma de dossiês ou relatórios, juntamente com as conclusões possibilitadas por esses gráficos.

5. Essa questão promove a autoavaliação dos grupos, com base na efetividade da compreensão da informação. Para isso, certifique-se de que cada grupo tenha delineado e registrado, de antemão, seus objetivos.

Diversos elementos desta atividade foram baseados em *What's going on in this graph?*, um recurso didático do *The New York Times* que pode ser consultado para mais opções de abordagens. Disponível em: https://www.nytimes.com/2024/03/28/learning/whats-going-on-in-this-graph-april-10-2024.html. Acesso em: 6 abr. 2024.

Estratégia de estudo

Para auxiliar os estudantes no desenvolvimento da estratégia de estudo, se possível, separe um momento para que se dediquem a isso ainda em aula. Além de incentivar a adoção da estratégia proposta, essa atitude também abre a possibilidade de os estudantes compartilharem suas maneiras pessoais de desenvolvê-la. Sugira que eles conversem com colegas sobre como fazem o levantamento de palavras-chave e a elaboração da frase de correlação. Coloque-se no papel de mediador, ouvindo suas dificuldades, incentivando a troca de informações entre eles e limitando-se a fornecer respostas apenas de cunho conceitual.

Atividades finais

1. Do enunciado, temos: $2 \cdot \Phi_a = \Phi_b$

   Pela lei de Fourier: $2 \cdot k_a \cdot \frac{A_a \cdot \Delta\theta_a}{e_a} = k_b \cdot \frac{A_b \cdot \Delta\theta_b}{e_b}$

A variação de temperatura $\Delta\theta$ e a espessura e são iguais para os dois recipientes, assim:

$$2 \cdot k_a \cdot \frac{A_a \cdot \Delta\theta}{e} = k_b \cdot \frac{A_b \cdot \Delta\theta}{e} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow 2 \cdot k_a \cdot A_a = k_b \cdot A_b \Rightarrow \frac{k_a}{k_b} = \frac{A_b}{2 \cdot A_a} \text{ (I)}$$

Calculando as áreas A_a e A_b.

O recipiente A é um cubo com 6 faces de área $40 \times 40\ cm^2$; logo, a área A_a é:

$$A_a = 6 \cdot 40 \cdot 40 \therefore A_a = 9.600\ cm^2$$

O recipiente B é um paralelepípedo com 2 faces de áreas $40 \times 40\ cm^2$ e 4 faces com áreas iguais a $40 \times 60\ cm^2$; logo, a área de A_b é:

$$A_b = 2 \cdot 40 \cdot 40 + 4 \cdot 40 \cdot 60 \Rightarrow A_b = 12.800$$

$$\therefore A_b = 12.800\ cm^2$$

Substituindo o valor das áreas na equação (I), obtemos:

$$\frac{k_a}{k_b} = \frac{A_b}{2 \cdot A_a} \Rightarrow \frac{k_a}{k_b} = \frac{12.800}{2 \cdot 9.600} \Rightarrow \frac{k_a}{k_b} = \frac{2}{3} \simeq 0{,}67$$

Alternativa **b**

2. A alternativa **a** está correta, pois o alumínio tem maior condutividade térmica que o plástico. Isso é comprovado na primeira situação, em que a bandeja de metal perdeu energia com facilidade quando estava em cima de uma mesa, em comparação com o plástico.

3. **a)** A partir da lei de Fourier, temos:

$$\Phi = K \cdot \frac{A \cdot (\theta_1 - \theta_2)}{e} \Rightarrow \Phi = 1 \cdot 10^{-4} \cdot \frac{2 \cdot 10^4 \cdot 12}{0{,}5}$$

$$\therefore \Phi = 72\ cal/s$$

b) Temos que:

$\Delta t = 0{,}5\ h = 30\ min = 1.800\ s$

Portanto, a partir do fluxo de calor, temos:

$$\Phi = \frac{Q}{\Delta t} \Rightarrow 72 = \frac{Q}{1.800} \therefore Q = 129.600\ cal =$$

$$= 129{,}6\ kcal$$

4. A garrafa preta absorve mais rapidamente a energia radiante do que a garrafa branca, e sua taxa de variação de temperatura no aquecimento é maior. A maior rapidez de absorção da garrafa preta é acompanhada pela maior rapidez de emissão de radiação e, por isso, sua taxa de variação da temperatura no resfriamento supera a da garrafa branca.

Alternativa **e**

5. A transmissão de calor se dá predominantemente por irradiação na situação apresentada na alternativa **b**, pois a lente do tipo convergente provoca a concentração de luz (ondas eletromagnéticas) em um ponto do papel. Assim, nesse ponto, haverá grande concentração da energia transmitida pelas ondas eletromagnéticas, e a temperatura do papel vai aumentar a ponto de provocar sua combustão.

Na situação apresentada na alternativa **a** (aquecimento da água em uma torneira elétrica ligada), o resistor da torneira consome energia elétrica e a transforma em energia térmica por efeito Joule. Devido ao contato existente entre a água e o resistor, há transferência de calor do resistor para a água predominantemente por condução.

Na situação apresentada na alternativa **c** (fumaça que sobe pela chaminé de uma lareira), a transmissão de calor ocorre predominantemente por convecção dos gases aquecidos resultantes da combustão.

Na situação apresentada na alternativa **d** (aquecimento da água contida em uma panela colocada sobre a chama de um fogão), a transmissão de calor ocorre por condução, do fundo da panela e deste para a água em contato com o fundo, e por convecção, para o restante da água contida na panela.

Finalmente, na situação apresentada na alternativa **e** (aquecimento da caneca com chocolate quente), a transmissão de calor ocorre predominantemente por condução, visto que o calor se transmite pela face interna da parede da caneca (região em contato com o chocolate quente) para a face externa (região em contato com o ar).

6. O exercício explora situações relacionadas à transmissão de calor por condução e por irradiação.

I. Incorreta. O reservatório de água quente deve dificultar a perda de calor para o ambiente, e não a favorecer. Assim, o material a ser usado no reservatório deverá ser um bom isolante térmico.

II. Correta. O vidro permite a passagem da radiação emitida pelo Sol, mas dificulta a passagem das ondas puramente térmicas – radiação infravermelha – reemitidas pelos objetos.

III. Correta. Um corpo em tons escuros absorve mais energia radiante que um corpo claro ou brilhante.

Alternativa **e**

Referências suplementares

A dissertação "Sequência de atividades didáticas para uma abordagem dos processos de transmissão de calor em uma perspectiva de sala de aula invertida usando como recurso a plataforma google sala de aula" apresenta uma sequência de atividades didáticas baseada no uso de Tecnologias da Informação e Comunicação e no modelo de sala de aula invertida, que promove a autonomia e a autorregulação dos alunos. A dissertação oferece uma proposta prática, com a utilização de videoaulas e atividades em plataformas gratuitas como o Google Sala de Aula, mostrando resultados positivos em termos de aprendizado e motivação dos alunos., disponível em: https://www1.fisica.org.br/mnpef/sites/default/files/dissertacaoarquivo/polo-37-dissertacao-jailson.pdf (acesso em: 2 out. 2024).

Proposta de avaliação

As atividades **2**, **3** e **6** das *Atividades finais* possibilitam uma avaliação abrangente da aprendizagem dos estudantes a respeito de conteúdos-chave do capítulo, como as diferentes formas de transmissão de calor, lei de Fourier e quantidade de calor.

Capítulo 12 Estudo dos gases ideais

Objetivos do capítulo

- Estudar o comportamento térmico dos gases ideais com base na teoria cinética dos gases.
- Reconhecer o modelo de gás ideal como uma construção científica com contribuições de diversos cientistas.
- Reconhecer e utilizar as variáveis de estado de um gás ideal e relacioná-las pela equação de estado.
- Estudar e compreender as principais transformações gasosas e utilizá-las adequadamente em situações-problema.
- Ler e interpretar corretamente gráficos, esquemas e equações apresentados em textos.
- Saber interpretar como as variáveis de estado influenciam os processos e as transformações aos quais é submetido um gás ideal e utilizá-las corretamente.
- Compreender e utilizar a lei geral dos gases perfeitos, reconhecendo a relação de dois ou mais estados de um gás.

Sugestões didáticas e comentários/ Por dentro da BNCC

Este capítulo possibilita o desenvolvimento da habilidade **EM13MAT101** (Interpretar criticamente situações econômicas, sociais e fatos relativos às Ciências da Natureza que envolvam a variação de grandezas, pela análise dos gráficos das funções representadas e das taxas de variação, com ou sem apoio de tecnologias digitais) na medida em que incentiva o estudante a interpretar criticamente fatos relativos a ciências da natureza que envolvem variação de grandezas. A **EM13CNT205** é abordada na interpretação de resultados de experimentos, integrando probabilidade e limites explicativos das Ciências. A discussão sobre os riscos do mergulho em apneia reforça a **EM13CNT306**, enquanto a análise das propriedades dos materiais se alinha à habilidade **EM13CNT307**. A representação de transformações gasosas desenvolve a **EM13CNT101**, e a compreensão das variáveis termodinâmicas abrange habilidades como **EM13CNT102** e **EM13CNT303**, permitindo a interpretação de dados e gráficos.

Durante a leitura do capítulo, adote uma abordagem dialógica, considerando as concepções prévias dos estudantes. Por exemplo, os estudantes podem achar que a diminuição do volume de um gás ao ser resfriado ocorre devido ao aumento das forças de atração entre as partículas, quando, na verdade, está relacionada à redução da movimentação dessas partículas. Explique que, ao diminuir a temperatura de um gás, seu volume diminui, mas isso não ocorre porque as partículas se aproximam por forças de atração mais fortes, e sim porque a energia cinética das partículas diminui, fazendo com que elas se movam mais lentamente e ocupem um espaço menor.

Ao abordar as transformações isotérmicas, alguns estudantes podem acreditar que temperatura é o mesmo que calor, ou que a temperatura é proporcional ao calor, isto é, que não há troca de calor sem variação de temperatura, quando, na realidade, o calor é convertido em trabalho, como em um sistema de refrigeração.

Atividade extra

Sugerimos assistir ao vídeo disponível em https://www.youtube.com/watch?v=Iw_rFjeNOyQ (acesso em: 28 out. 2024), elaborado pelo Instituto de Física da Universidade de São Paulo, sobre transformação isobárica. Se for viável, apresente o vídeo aos estudantes e promova uma discussão sobre as variáveis do experimento. O interessante desta montagem experimental é que a variação de temperatura é feita por meios simples, com o ar quente de um secador de cabelo e a evaporação do álcool na superfície do balão de vidro.

Esta atividade possibilita o desenvolvimento das habilidades **EM13CNT301**, pois promove a interpretação de dados e de hipótese, bem como sua validação por meio de situações-problema, **EM13CNT101**, pois permite a análise e a representação das transformações gasosas, possibilitando previsões sobre seus comportamentos, e **EM13CNT102**, pois permite a realização de previsões e análise de sistemas térmicos, considerando sua composição e os efeitos das variáveis termodinâmicas sobre seu funcionamento.

Resoluções e comentários

Aplicando conhecimentos

1. Temos:

$D = 6{,}02 \cdot 10^{23}\ \text{mm} \Rightarrow 6{,}02 \cdot 10^{23} \cdot 10^{-6}\ \text{km} \Rightarrow D = 6{,}022 \cdot 10^{17}\ \text{km}$

Portanto, $D = 6{,}022 \cdot 10^{17}\ \text{km} \cdot \frac{1\ \text{ano-luz}}{10^{13}\ \text{km}} \therefore D \simeq 63.400\ \text{anos-luz}.$

O diâmetro da órbita solar em torno do centro da Via Láctea é de, aproximadamente, 60.200 anos-luz.

Alternativa **e**

2. Massa de um grão de areia:

$m = 2{,}0\ \mu\text{g} = 2{,}0 \cdot 10^{-6}\ \text{g} = 2{,}0 \cdot 10^{-6} \cdot 10^{-6}\ \text{t (toneladas)} = 2{,}0 \cdot 10^{-12}\ \text{t}$

Massa de 1 mol de grãos de areia:

$M = 6{,}022 \cdot 10^{23} \cdot 2{,}0 \cdot 10^{-12}\ \text{t} \Rightarrow M = 12{,}044 \cdot 10^{11}\ \text{t}$

$\therefore M \simeq 1{,}2$ trilhão de toneladas

Alternativa **e**

3. Temos:

$V = 1\ \text{mm}^3 = 1{,}0 \cdot (10^{-3}\ \text{m})^3 = 1{,}0 \cdot 10^{-9}\ \text{m}^3$

Então, a partir da equação de Clayperon:

$p \cdot V = n \cdot R \cdot T \Rightarrow p \cdot V = \frac{N}{N_A} \cdot R \cdot T \Rightarrow$

$\Rightarrow 3{,}0 \cdot 10^{-10} \cdot 1{,}0 \cdot 10^{-9} = \frac{N}{6{,}02 \cdot 10^{23}} \cdot 8{,}31 \cdot (-130 + 273)$

$\therefore N \simeq 152$ moléculas

4. A partir da equação de Clayperon, temos:

$p \cdot V = n \cdot R \cdot T \Rightarrow 1 \cdot V = 0{,}25 \cdot 8{,}2 \cdot 10^{-2} \cdot 310$

$\therefore V \simeq 6{,}36\ \text{L}$

Isto é, 3,2 L em cada pulmão.

Alternativa **e**

5. Devemos passar o volume e a temperatura para o SI:

$V = 24\ \text{mL} \Rightarrow 24 \cdot 10^{-3}\ \text{L} \Rightarrow V = 24 \cdot 10^{-6}\ \text{m}^3$

$T = (7 + 273)\ K \Rightarrow T = 280\ \text{K}$

A partir da equação de Clayperon, temos:

$p \cdot V = n \cdot R \cdot T \Rightarrow 2{,}8 \cdot 10^5 \cdot 24 \cdot 10^{-6} = n \cdot 8{,}0 \cdot 280$

$\therefore n = 3{,}0 \cdot 10^{-3}\ \text{mol}$

Alternativa **d**

Em destaque

Respirar para relaxar

Inicie a atividade com uma reflexão sobre como reconhecer as emoções e os sinais que o corpo dá. Também é útil identificar situações que desencadeiam emoções incômodas, como o nervosismo ao falar em público, e explorar processos de autorregulação emocional. Para que essa reflexão ocorra em um ambiente acolhedor, mude a disposição das carteiras, arrumando-as em círculo, em formato de U ou em pequenos grupos para fomentar a interação e o compartilhamento de experiências. Outra possibilidade é formar pequenos grupos de trabalho para que os estudantes se sintam mais confortáveis para discutir suas emoções. Reforce que as estratégias que funcionam para uma pessoa podem não funcionar para outra e podem mudar ao longo da vida. Por fim, valorize as estratégias individuais e o tempo necessário para equilibrar as emoções, destacando que o bem-estar emocional contribui para uma vida mais feliz. Essa atividade visa ao desenvolvimento parcial da **competência geral 8**, pois aborda o cuidado com a saúde emocional.

Aplicando conhecimentos

6. A partir da equação geral dos gases, temos:

$$\frac{p_1 \cdot V_1}{n_1 \cdot T_1} = \frac{p_2 \cdot V_2}{n_2 \cdot T_2} \Rightarrow \begin{cases} V_2 = 1{,}05 \cdot V_1 \\ \text{e} \\ \underbrace{n_1 = n_2}_{\substack{\text{a massa} \\ \text{não varia}}} \end{cases} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \frac{30 \cdot V_1}{(27 + 273)} = \frac{33 \cdot 1{,}05 \cdot V_1}{T_2} \therefore T_2 = 346{,}5\ \text{K} = 73{,}5\ ^\circ\text{C}$$

Alternativa **e**

7. **a)** Peso da válvula:

$P = m \cdot g = 100 \cdot 10^{-3}\ \text{kg} \cdot 10\ \text{m/s}^2 = 1{,}0\ \text{N}$

No limite da abertura da válvula, a pressão interna deve ser igual à soma da pressão atmosférica com a pressão exercida pela própria válvula:

$$p_{\text{interna}} = p_{\text{atm}} + p_{\text{válvula}} \Rightarrow p_{\text{interna}} = p_{\text{atm}} + \frac{mg}{A} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow p_{\text{interna}} = 1{,}0 \cdot 10^5\ \text{Pa} + \frac{1{,}0\ \text{N}}{1{,}0 \cdot 10^{-4}\ \text{m}^2}$$

$$\therefore p_{\text{interna}} = 1{,}1 \cdot 10^5\ \text{Pa}\ (1{,}1\ \text{atm})$$

b) Temos que $\frac{1}{4}$ (25%) da massa de gás escapa do recipiente, $\frac{3}{4}$ ficam lá dentro. Assim, a partir da equação geral dos gases, temos:

$$\frac{p_1 \cdot V_1}{n_1 \cdot T_1} = \frac{p_2 \cdot V_2}{n_2 \cdot T_2} \Rightarrow \frac{1{,}0\ \text{atm} \cdot 5\ \text{L}}{n \cdot 300\ \text{K}} = \frac{1{,}1\ \text{atm} \cdot 5\ \text{L}}{\frac{3}{4} \cdot n \cdot T_2} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow T_2 = \frac{4}{3} \cdot 1{,}1 \cdot 300\ \text{K} \Rightarrow T_2 = 440\ \text{K}$$

Logo: $\theta = (440 - 273)\ ^\circ\text{C} \Rightarrow \theta = 167\ ^\circ\text{C}$

Em destaque

Descompressão na ficção científica

Nesta atividade, conduza os alunos a uma reflexão sobre o uso da ciência na ficção científica, mostrando como os elementos científicos, embora baseados na realidade, são muitas vezes dramatizados para criar tensão e emoção. O objetivo principal é fazer com que os alunos analisem criticamente como a ciência é representada na literatura e, ao mesmo tempo, compreendam o fenômeno da descompressão no espaço.

Introduza o conceito de descompressão e suas implicações no corpo humano, contextualizando com o trecho do livro de Ann Leckie. Comece lendo o trecho em voz alta e pedindo aos alunos que identifiquem, por meio de palavras e termos, como a autora dramatiza a situação vivida pela personagem. Termos como "fervendo no vácuo", "dor no corpo todo" e "matar de forma súbita e violenta" são exemplos de palavras que criam um senso de urgência e perigo. A ideia aqui é mostrar que a literatura ficcional exagera certos aspectos para prender a atenção do leitor, embora mantenha um pé na realidade científica.

Questione os estudantes sobre o porquê dessa dramatização. Qual é o efeito de criar uma sensação de desespero e perigo iminentes? A resposta está no poder da narrativa ficcional de envolver emocionalmente o leitor, o que pode, de forma indireta, despertar o interesse pelos conceitos científicos envolvidos, como o comportamento dos gases no corpo humano no caso de uma descompressão.

Na sequência, ao abordar a questão da embolia gasosa, guie os alunos em uma breve pesquisa sobre o que acontece com os gases no sangue quando ocorre uma descompressão. O aumento súbito de pressão faz com que gases dissolvidos, como o nitrogênio, formem bolhas no sangue, que podem bloquear o fluxo sanguíneo, levando à embolia gasosa, uma condição perigosa. Ao fazer esse paralelo com a vida real e o exemplo do astronauta Jim LeBlanc, o professor ajuda a tornar o conceito mais tangível.

Por fim, promova uma discussão sobre como a dramatização impacta a percepção pública da ciência. A ficção científica, ao exagerar alguns efeitos ou consequências de eventos como a descompressão, pode tanto aumentar o interesse dos leitores pelos temas científicos quanto distorcer a compreensão dos fenômenos reais. Essa discussão permite que os alunos reflitam sobre a responsabilidade de autores e produtores de conteúdo ao representar a ciência e sobre como esse gênero literário pode ser uma porta de entrada para a curiosidade científica.

Com essas abordagens, o professor conseguirá explorar tanto os aspectos científicos quanto os literários da atividade, garantindo uma experiência rica em aprendizado e reflexão crítica.

1. **a)** "Súbita" e "violenta", no trecho "Gases dissolvidos no meu sangue teriam se transformado, de forma súbita e violenta."

b) Na ficção, a dramatização pode ser usada para criar tensão, tornando a história mais emocionante e apelativa e intensificando a experiência do leitor.

2. Na embolia gasosa, os gases diluídos no sangue formam bolhas de gás que se movem na corrente sanguínea, podendo resultar em obstrução dos vasos sanguíneos, dificuldade respiratória e perda de consciência. A formação dessas bolhas no coração pode levar a uma súbita insuficiência cardíaca, enquanto a presença de bolhas no cérebro pode resultar em acidente vascular cerebral (AVC) e convulsões. O tratamento geralmente envolve o uso de câmaras hiperbáricas que aplicam pressão para ajudar a dissolver novamente os gases no sangue e aliviar os sintomas.

3. Espera-se que as estudantes concluam que, na ficção científica, as representações exageradas podem distorcer a compreensão pública dos fenômenos científicos reais, criando imagens exageradas que não refletem os efeitos conhecidos pela Ciência. Entretanto esses exageros podem incentivar a curiosidade, despertando o interesse do público pela Ciência. Assim,

enquanto a ficção científica pode criar percepções imprecisas, ela também desempenha um papel importante em tornar a Ciência mais acessível e cativante para o público em geral.

Atividade prática

Amassar sem apertar

Para realizar a atividade, garanta a segurança dos estudantes e a eficácia do experimento. Prepare os materiais e informe os estudantes sobre os riscos de manuseio de água quente. Use luvas ou um pano para evitar queimaduras. Os materiais sugeridos podem ser adaptados conforme a disponibilidade: a garrafa PET pode ser substituída por uma lata de refrigerante; potes de plástico podem ser trocados por um tanque com água; se o micro-ondas não estiver disponível, uma panela no fogão pode ser usada para aquecer a água; o cronômetro pode ser substituído pelo do celular. Essas adaptações mantêm a viabilidade do experimento em diferentes contextos. Esta atividade estimula o desenvolvimento das habilidades **EM13CNT102** e **EM13CNT205**, ao permitir que os estudantes explorem os efeitos de variáveis térmicas no experimento e façam previsões baseadas nas observações, reconhecendo os limites das explicações científicas.

1. O volume diminui.

2. A pressão se mantém constante. A temperatura e o volume variam.

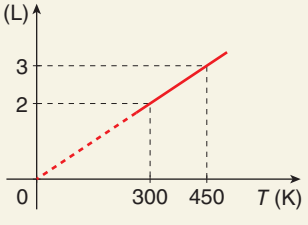
3. À pressão constante, a temperatura e o volume variam entre si na proporção direta: $V = k \cdot T$, ou seja, se a temperatura diminui, a pressão também irá diminuir.

Aplicando conhecimentos

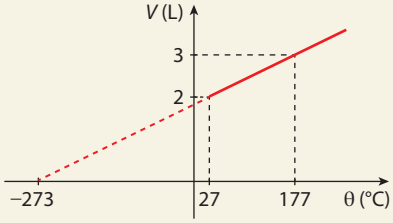
8. Se a pressão é constante, temos $V = k \cdot T$ (sendo $k = \frac{n \cdot R}{p} > 0$).
Como $T = \theta + 273$, a igualdade anterior fica $V = k \cdot (\theta + 273)$. Essa é uma função polinomial de 1º grau em θ, crescente, e, para que tenhamos $V_{mínimo} = 0$, devemos ter $\theta_{mínimo} = -273\ °C$.
Alternativa **c**

9. a) Do enunciado, temos: $T_1 = 27\ °C = 300\ K$
Então, a partir da lei de Charles e Gay-Lussac, temos:
$\frac{V_1}{T_1} \Rightarrow \frac{V_2}{T_2} \Rightarrow \frac{2\ L}{300\ K} = \frac{3\ L}{T_2} \Rightarrow T_2 = 450\ K = 177\ °C$

b)



c)



ILUSTRAÇÕES: ERICSON GUILHERME LUCIANO/ARQUIVO DA EDITORA

10. Da equação de Clapeyron, temos
$p \cdot V = n \cdot R \cdot T \Rightarrow p = \underbrace{\left(\frac{n \cdot R}{V}\right)}_{k_V} \cdot T \Rightarrow k_V = \frac{n \cdot R}{V}$
Alternativa **a**

11. a) Transformação isométrica (volume constante).

b) A pressão interna aumentou devido ao aumento da temperatura, como consequência do atrito dos pneus com o solo.

c) A pressão passou de 30 lbf para 33 lbf, o que representa um aumento de 10%:
$p = \underbrace{33\ lbf}_{10\%} = 1{,}1 \cdot 30\ lbf = 30\ lbf \cdot (1{,}0 + 0{,}1) \Rightarrow$
$\Rightarrow \Delta(p)\% = 10\%$
Como p e T são diretamente proporcionais temos: $p_0 = k_V \cdot T_0$ e $\Delta p = k_V \cdot \Delta T$. Dividindo-se a segunda igualdade pela primeira, temos $\frac{\Delta p}{p_0} = \frac{\Delta T}{T_0}$, isto é, a variação $\underbrace{\Delta\%(p)}\ \underbrace{\Delta\%(T)}$ percentual da pressão é igual à variação percentual da temperatura.

Dialogando com o texto

Se a pressão duplicar, o volume da caixa torácica tem que ser reduzido à metade do que é quando está a nível do mar. Isso resulta em uma condição chamada "espremedura", que tende a colapsar o tórax e causar dores e danos físicos.

Aplicando conhecimentos

12. Em uma transformação isotérmica, o produto $p \cdot V$ é constante, portanto não depende da pressão (nem do volume).
Alternativa **b**

13. Como se trata de uma expansão isotérmica, temos:
$p_0 \cdot V_0 = p_1 \cdot V_1 \Rightarrow p_0 \cdot V_0 = p_1 \cdot \underbrace{1{,}25}_{5/4} \cdot V_0 \Rightarrow p_1 = \frac{4}{5} p_0 \Rightarrow$
$\Rightarrow p_1 = \underbrace{0{,}80}_{80\%} \cdot p_0$
Portanto, p_1 é 80% de p_0, então p_1 é **20% menor** que p_0.
Comente com os estudantes, antes mesmo da resolução:

(I) As respostas *c* e *e* não têm significado físico, uma vez que, em uma transformação isotérmica, quando o **volume aumenta**, a **pressão diminui**.

(II) Alerte para a diferença entre "diminuir para ..." e "diminuir de ...". A pressão final é 80% do seu valor inicial p_0, portanto ela diminuiu **de** 20% em relação a p_0.
Alternativa **d**

Dialogando com o texto

O objetivo da atividade é que os estudantes explorem o comportamento dos gases em diferentes condições e compreendam como variáveis como pressão, volume e temperatura interagem entre si. Oriente os estudantes a utilizar o modo "Leis" do simulador, em que deverão analisar o que ocorre em três diferentes situações: (I) ao mover a parede do recipiente sem alterar a quantidade de partículas, (II) ao liberar partículas de dentro do recipiente mantendo a pressão constante ("Pressão V"), e (III) ao resfriar o recipiente mantendo o volume constante. Estimule os estudantes a refletir sobre as mudanças observadas em cada uma dessas situações e como elas se relacionam com as leis dos gases discutidas em sala de aula. Se houver tempo disponível, você pode incentivar os estudantes a trocar as impressões quanto aos resultados obtidos, favorecendo uma discussão coletiva que permita consolidar o entendimento do conteúdo.

Atividades finais

1. a) Se a substância está no estado gasoso, ela não pode ser liquefeita. O que pode ser liquefeito, sob alta pressão, é o **vapor**. O que há dentro do botijão é **vapor liquefeito** em alta pressão, isto é, uma mistura de líquido e vapor, portanto o GLP é, na verdade, VLP.

b) Temos que:

$$\begin{cases} 52\ g \rightarrow 1\ mol \\ 13.000\ g \rightarrow n \end{cases} \Rightarrow n = 250\ mols$$

Então, a partir da equação de Clapeyron, temos:

$p \cdot V = n \cdot R \cdot T \Rightarrow 10^5 \cdot V = 250 \cdot 8{,}3 \cdot (27 + 273)$

$\therefore V = 6{,}225\ m^3 = 6.225\ L$

Se esse balão fosse esférico, ele teria um diâmetro de 2,30 m, aproximadamente.

2. Como não há variação de temperatura nem na quantidade de gás dentro da bomba, até a abertura da válvula, temos $\begin{cases} T_1 = T_2 \\ n_1 = n_2 \end{cases}$. O volume de ar dentro da bomba é $V = S \cdot d$, sendo S a área da seção transversal do êmbolo e d a distância do êmbolo à válvula. Assim, da equação geral das transformações gasosas, temos:

$$\frac{p_1 \cdot V_1}{n_1 \cdot T_1} = \frac{p_2 \cdot V_2}{n_2 \cdot T_2} \Rightarrow p_1 \cdot V_1 = p_2 \cdot V_2 \Rightarrow$$

$$\Rightarrow 1\ atm \cdot S \cdot 24\ cm = p_2 \cdot S \cdot 16\ cm \Rightarrow p_2 = 1{,}5\ atm$$

Alternativa **a**

3. A partir da equação geral dos gases, temos:

$$\frac{p_1 \cdot V_1}{n_1 \cdot T_1} = \frac{p_2 \cdot V_2}{n_2 \cdot T_2} \Rightarrow \frac{p \cdot V}{n \cdot (\theta + 273)} = \frac{3p \cdot \frac{1}{2} \cdot V}{n \cdot (2\theta + 273)} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow 2\theta + 273 = \frac{3}{2} \cdot (\theta + 273) \Rightarrow 4\theta + 546 = 3\theta + 879$$

$\therefore \theta = 273\ °C = 546\ K.$

Alternativa **d**

4. A partir da equação geral dos gases, temos:

$$\frac{p_1 \cdot V_1}{n_1 \cdot T_1} = \frac{p_2 \cdot V_2}{n_2 \cdot T_2} \Rightarrow \frac{p \cdot V}{\frac{m_1}{M} \cdot 350\ K} = \frac{3p \cdot V}{\frac{m_2}{M} \cdot 300\ K} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow 300 \cdot m_2 = 3 \cdot 350 \cdot 10\ g \therefore m_2 = 35\ g$$

Portanto, podemos introduzir no balão, no máximo, 25 g de gás.

Alternativa **b**

5. a) Vamos aplicar a equação de Clapeyron ao estado do gás que corresponde à temperatura 27 °C:

$p \cdot V = n \cdot R \cdot T \Rightarrow p \cdot 10 = 10 \cdot 8{,}2 \cdot 10^{-2} \cdot (27 + 273)$

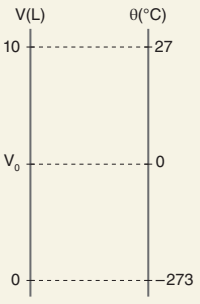
$\therefore p = 24{,}6\ atm.$

b) Vamos aplicar a equação de Clapeyron ao estado do gás que corresponde à temperatura θ_T:

$p \cdot V = n \cdot R \cdot T \Rightarrow 24{,}6 \cdot 20 = 10 \cdot 8{,}2 \cdot 10^{-2} \cdot (\theta_T + 273) \Rightarrow$

$\Rightarrow \theta_T + 273 = 600 \therefore \theta_T = 327\ °C$

c) Como V e T se relacionam linearmente, podemos montar o seguinte diagrama:



ERICSON GUILHERME LUCIANO/ ARQUIVO DA EDITORA

$$\frac{V_0 - 0}{10 - 0} = \frac{0 - (-273)}{27 - (-273)} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow V_0 = 10 \cdot \frac{273}{300} \therefore V_0 = 9{,}1\ L$$

Outra maneira de chegar a esse resultado é substituir os valores na equação de Clapeyron:

$p \cdot V_0 = n \cdot R \cdot (\theta_0 + 273) \Rightarrow$

$\Rightarrow 24{,}6 \cdot V_0 = 10 \cdot 8{,}2 \cdot 10^{-2} \cdot (0 + 273) \therefore V_0 = 9{,}1\ L$

Podemos também aplicar a lei geral dos gases perfeitos, que, nesse caso, é o mesmo que usar a lei de Charles:

$$\frac{p \cdot V_0}{n \cdot T_0} = \frac{p \cdot V_1}{n \cdot T_1} \Rightarrow \frac{V_0}{(0 + 273)} = \frac{10}{(27 + 273)} \therefore V_0 = 9{,}1\ L$$

6. Se a pressão é mantida constante, o volume e a temperatura são diretamente proporcionais entre si, portanto:

$$V = \left(\frac{n \cdot R}{p}\right) \cdot T \Rightarrow \Delta V = \left(\frac{n \cdot R}{p}\right) \cdot \Delta T \Rightarrow \frac{\Delta V}{\Delta T} = \left(\frac{n \cdot R}{p}\right)$$

Assim:

$$\gamma = \frac{1}{V} \cdot \frac{\Delta V}{\Delta T} \Rightarrow \gamma = \frac{1}{V} \cdot \left(\frac{n \cdot R}{p}\right) \Rightarrow \gamma = \left(\frac{n \cdot R}{p \cdot V}\right) \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \gamma = \left(\frac{n \cdot R}{n \cdot R \cdot T}\right) \Rightarrow \gamma = \frac{1}{T}$$

Portanto, para um gás ideal, o coeficiente de dilatação térmica volumétrica à pressão constante é igual ao inverso da temperatura absoluta do gás em cada estado e, portanto, γ não é uma constante.

Alternativa **b**

Referências suplementares

Outras atividades práticas podem ser encontradas em BISPO, E. S.; RODRIGUES, C. G. Sugestões de experimentos de fácil acesso para o ensino de termodinâmica. **Physicae Organum**. Brasília: Universidade de Brasília, v. 6, n. 2, p. 89-111, 2019. Disponível em: https://periodicos.unb.br/index.php/physicae/article/view/24394/27585. Acesso em: 28 maio 2024.

Proposta de avaliação

As atividades **2**, **4** e **5** da seção *Atividades finais* possibilitam uma avaliação abrangente da aprendizagem dos estudantes a respeito de conteúdos-chave do capítulo, como a relação entre pressão e volume, a compreensão sobre a influência da temperatura na pressão e a interpretação de gráficos que relacionam as variáveis de estado.

Capítulo 13 Termodinâmica

Objetivos do capítulo

- Apresentar o campo de estudo da Termodinâmica.
- Entender em que consiste a energia interna de um gás.
- Mostrar que um gás, ao se expandir, pode realizar trabalho mecânico.
- Apresentar a primeira lei da Termodinâmica e aplicá-la às transformações gasosas.
- Apresentar os conceitos de máquina térmica e refrigerador térmico.
- Entender o funcionamento das máquinas térmicas e suas limitações.
- Compreender e aplicar o conceito de rendimento das máquinas térmicas.
- Apresentar a segunda lei da Termodinâmica, suas aplicações e implicações.

Sugestões didáticas e comentários/ Por dentro da BNCC

O capítulo aborda os fundamentos da Termodinâmica, destacando a relação entre as variáveis termodinâmicas — calor, trabalho e energia interna — em transformações gasosas, aplicando a primeira e a segunda lei da Termodinâmica. O conteúdo está diretamente relacionado ao desenvolvimento da habilidade **EM13CNT101**, ao analisar e representar transformações que envolvem energia e matéria. A habilidade **EM13CNT301** também é contemplada, já que os exemplos do capítulo incentivam a formulação de hipóteses e a interpretação de dados.

A abordagem interdisciplinar da Física com a História, ao tratar da Revolução Industrial e do desenvolvimento da Termodinâmica, possibilita a compreensão dos contextos histórico e tecnológico que impulsionaram o aperfeiçoamento das máquinas a vapor, bem como sua relevância econômica. A habilidade **EM13CHS102** (Identificar, analisar e discutir as circunstâncias históricas, geográficas, políticas, econômicas, sociais, ambientais e culturais de matrizes conceituais (etnocentrismo, racismo, evolução, modernidade, cooperativismo/desenvolvimento etc.), avaliando criticamente seu significado histórico e comparando-as a narrativas que contemplem outros agentes e discursos) é desenvolvida ao analisar as circunstâncias históricas e sociais que fomentaram esse avanço, enquanto a habilidade **EM13CHS202** (Analisar e avaliar os impactos das tecnologias na estruturação e nas dinâmicas de grupos, povos e sociedades contemporâneos (fluxos populacionais, financeiros, de mercadorias, de informações, de valores éticos e culturais etc.), bem como suas interferências nas decisões políticas, sociais, ambientais, econômicas e culturais) estimula a reflexão sobre os impactos das tecnologias nas dinâmicas sociais contemporâneas.

Enfatize que a Termodinâmica é a área da Física dedicada ao estudo da conversão de calor em trabalho e vice-versa. Convém enfatizar, também, que tanto o calor como o trabalho são quantidades de energia transferidas entre dois sistemas.

Ao longo do estudo, a explicação do conceito de calor como medida da energia transferida entre dois sistemas sob diferentes temperaturas é fundamental para o entendimento da primeira lei da Termodinâmica.

Ressalte que o trabalho é a quantidade de energia transferida entre dois sistemas, pela ação de um sistema de forças. Os estudantes devem ser levados a perceber que, durante a expansão, as forças exercidas pelo gás sobre um êmbolo realizam um trabalho motor (positivo), pois a força atuará no mesmo sentido do deslocamento do êmbolo. No entanto, na compressão do gás, o trabalho será resistente (negativo).

Os estudantes devem perceber que as grandezas físicas temperatura, pressão e quantidade de um gás estão intimamente relacionadas a aspectos microscópicos da matéria e descrevem o comportamento médio de um grande número de átomos e moléculas que formam o sistema em estudo.

Assim, a energia interna de um gás ideal é medida com base em grandezas macroscópicas, a temperatura absoluta e a quantidade de matéria em mols do gás, mas está diretamente ligada a uma grandeza microscópica, a energia cinética de translação de todas as moléculas do gás.

Enfatize que o desenvolvimento da primeira lei da Termodinâmica como a conhecemos hoje ocorreu ao longo de muitos anos e com a colaboração de diversos engenheiros, físicos, químicos etc. Se julgar pertinente, faça uma rápida abordagem da história da Ciência, reconstruindo o período da elaboração da primeira lei da Termodinâmica.

Para a abordagem da segunda lei da Termodinâmica, recomenda-se a utilização de exemplos práticos que envolvam a análise do funcionamento de máquinas térmicas, como geladeiras e motores de combustão interna. Pode-se apresentar a segunda lei da Termodinâmica como uma lei que estabelece o sentido da transformação de energia em processos naturais: o calor jamais flui espontaneamente de um corpo de menor temperatura para um corpo de maior temperatura. A abordagem também deve incluir discussões sobre eficiência e impossibilidade de alcançar um rendimento de 100% devido à rejeição de calor para uma fonte fria, conceito trabalhado no ciclo de Carnot.

Resoluções e comentários

Atividade em grupo

Nesta atividade, deve ser explorado o impacto sócio-econômico das máquinas a vapor, que, além de serem empregadas para bombear água das minas de carvão, também foram fundamentais para a automação dos teares da indústria têxtil, resultando em um grande desenvolvimento da produção fabril. Entretanto, mais do que explorar tais avanços, esta atividade visa mostrar aos estudantes as condições de trabalho nas fábricas da época e levá-los à reflexão sobre as relações sociais e de trabalho naquele período. A partir dessa temática, a proposta oferece um contexto histórico rico, que permite abordar diversas competências da BNCC.

Peça aos estudantes que pesquisem a questão das mãos de obra infantil e feminina nas fábricas, preferidas por seu menor custo, permitindo uma reflexão sobre temas de justiça social e direitos humanos, o que remete à **competência geral 9**. Ao discutir essas questões, os estudantes são incentivados a desenvolver empatia, diálogo e uma compreensão crítica da diversidade e das condições de vida e trabalho dos grupos sociais da época.

Ao investigar essas temáticas, a atividade dialoga diretamente com a **competência geral 1**, ao valorizar e utilizar conhecimentos históricos sobre o mundo físico, social e cultural. O estudo da Revolução Industrial permite aos estudantes compreenderem a transformação das relações de trabalho, economia e tecnologia, conectando esse conhecimento ao mundo contemporâneo e promovendo a construção de uma sociedade mais justa e inclusiva.

Além disso, essa atividade envolve a **competência geral 6**, já que incentiva os estudantes a valorizar a diversidade de saberes e vivências culturais, compreendendo as relações entre o contexto da Revolução Industrial e o mundo do trabalho. Essa abordagem favorece que façam boas escolhas para seu projeto de vida, com liberdade e responsabilidade.

No âmbito das Ciências da Natureza, a atividade contribui para o desenvolvimento da habilidade **EM13CNT305**, ao possibilitar a discussão sobre o uso indevido de conhecimentos científicos e tecnológicos da época para justificar a exploração e a discriminação de trabalhadores. A análise crítica sobre as condições de vida dos operários, especialmente mulheres e crianças, reforça a importância da equidade e do respeito à diversidade, temas que podem ser aprofundados com a colaboração dos professores de História e de Sociologia.

Aplicando conhecimentos

1. a) O valor da pressão inicial do gás pode ser calculado a partir da equação de Clapeyron:

$p \cdot V = n \cdot R \cdot T \Rightarrow p \cdot 2 = 10 \cdot 8{,}31 \cdot 500 \therefore p = 20.775 \text{ N/m}^2$

b) Em uma transformação isobárica:

$\tau = p \cdot \Delta V \Rightarrow \tau = 20.775 \cdot (+1) \therefore \tau = 20.775 \text{ J}$

2. Como o módulo do trabalho é, numericamente, igual à área sob o gráfico $p \times V$, temos:

$$|\tau| = \frac{(\text{base maior} + \text{base menor})}{2} \cdot \text{altura} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow |\tau| = \frac{(30 + 10)}{2} \cdot 0{,}4 \therefore |\tau| = 8 \text{ J}$$

Durante a transformação, o volume do gás aumentou e o gás realizou trabalho. Logo, $\tau = +8$ J.

3. a) Vamos aplicar a equação de Clapeyron à situação inicial do gás:

$p \cdot V = n \cdot R \cdot T \Rightarrow 1 \cdot 10^5 \cdot 2 = n \cdot 8{,}31 \cdot 100 \therefore n \simeq 240 \text{ mols}$

b) A partir da lei geral dos gases, temos:

$$\frac{p_1 \cdot V_1}{T_1} = \frac{p_2 \cdot V_2}{T_2} \Rightarrow \frac{1 \cdot 10^5 \cdot 2}{100} = \frac{3 \cdot 10^5 \cdot 4}{T_2} \therefore T_2 = 600 \text{ K}$$

c) Considerando um gás monoatômico, temos que a variação da energia interna é:

$$\Delta U = \frac{3}{2} \cdot n \cdot R \cdot \Delta T \Rightarrow \Delta U = \frac{3}{2} \cdot 240 \cdot 8{,}31 \cdot (600 - 100)$$

$\therefore \Delta U \cong 1{,}5 \cdot 10^6$ J

d) No diagrama de Clapeyron, o trabalho é dado, numericamente, pela área sob a curva. Então:

$$\tau = \frac{(3 \cdot 10^5 + 1 \cdot 10^5)}{2} \cdot (4 - 2) \therefore \tau = +4 \cdot 10^5 \text{ J}$$

4. Sabemos que, para um gás ideal monoatômico:

$U = \frac{3}{2} \cdot n \cdot R \cdot T$.

Então, se a quantidade de gás for reduzida à terça parte ($n' = n/3$) e sua temperatura absoluta for duplicada ($T' = 2T$), teremos:

$$U' = \frac{3}{2} \cdot \left(\frac{n}{3}\right) \cdot \text{R} \cdot (2 \cdot T) \Rightarrow U' = n \cdot R \cdot T \Rightarrow U' = \frac{2}{3} \cdot \text{U}$$

Assim, a nova energia interna do gás será $U' = \frac{2}{3} \cdot U$.

5. Sim, um gás pode receber calor e sua temperatura diminuir. De acordo com a primeira lei da Termodinâmica, se o trabalho realizado pelo gás durante sua expansão for maior que a quantidade de calor recebida, sua energia interna diminuirá e, consequentemente, sua temperatura também diminuirá.

6. O gás sofre uma compressão e o meio realiza trabalho sobre ele, ou seja, o gás recebe trabalho ($\tau = -1.500$ J). Como a quantidade de calor é recebida pelo gás, ela é positiva ($Q = +2.000$ J). A variação de energia interna é dada pela primeira lei da Termodinâmica:

$\Delta U = Q - \tau \Rightarrow \Delta U = (+2.000) - (-1.500) \therefore \Delta U = +3.500$ J

Na presente situação, o gás recebe energia de duas maneiras: na forma de trabalho e na forma de calor. Logo, sua energia interna e, consequentemente, sua temperatura só poderiam aumentar.

7. O aumento da energia interna do gás indica que sua temperatura aumentou. Como o volume do gás não variou durante a transformação, pois ele sofreu uma transformação isocórica, podemos concluir que, durante a transformação, sua pressão aumentou.

8. O trabalho realizado pelo gás, durante a expansão isobárica, é dado por: $\tau = p \cdot \Delta V$ (I)

Com a equação de Clapeyron, $p \cdot V = n \cdot R \cdot T$, podemos obter a variação de energia interna de um gás perfeito monoatômico como função da pressão constante p e da variação do volume ΔV:

$\Delta U = \frac{3}{2} \cdot n \cdot R \cdot \Delta T \Rightarrow \Delta U = \frac{3}{2} \cdot p \cdot \Delta V$ (II)

De (I) e (II), obtemos a relação entre trabalho e variação de energia interna nessa expansão isobárica: $\Delta U = \frac{3}{2} \cdot \tau$

9. Para certa quantidade de gás ideal (ou perfeito), a energia interna depende somente da sua temperatura. Assim, em um processo isotérmico não há variação de temperatura nem da energia interna do gás e, consequentemente, o calor absorvido será convertido totalmente em trabalho do gás sobre o meio externo.

Alternativa **d**

10. a) Não há troca de calor com o ambiente, pois a expansão é adiabática, ou seja: $Q = 0$.

b) De acordo com a primeira lei da Termodinâmica, temos:

$\Delta U = Q - \tau \Rightarrow \Delta U = 0 - \tau \therefore \Delta U = -520$ J

Esse resultado mostra que, em uma expansão adiabática, o trabalho é realizado à custa da diminuição da energia interna do gás.

c) O fato de a energia interna diminuir permite concluir que a temperatura do gás diminui; como se trata de uma expansão, o volume do gás aumenta. Considerando a equação de Clapeyron, concluímos que a pressão do gás diminui, pois:

$$p \cdot V = n \cdot R \cdot T \Rightarrow p = \frac{n \cdot R \cdot T\downarrow}{V\uparrow}$$

11. a) Temos que:

$\tau_{(1 \text{ ciclo})} = 60 \text{ cal} - 45 \text{ cal} = 15 \text{ cal} = 15 \text{ cal} \cdot 4{,}2 \text{ J/cal} = 63 \text{ J}$

Portanto:

$$\tau_{(1 \text{ segundo})} = 6 \text{ ciclos} \cdot 63 \frac{\text{J}}{\text{ciclo}} = 378 \text{ J}$$

b) A partir da definição de potência, temos:

$$P_{\text{útil}} = \frac{\tau}{\Delta t} = \frac{378 \text{ J}}{1 \text{ s}} = 378 \text{ W}$$

c) A partir da definição de rendimento, temos:

$$\eta = \frac{\tau_{(1 \text{ ciclo})}}{Q_1} = \frac{15 \text{ cal}}{60 \text{ cal}} = 0{,}25 = 25\%$$

12. a) Temos que:

$$Q_1 = Q_2 + \tau \Rightarrow Q_1 = 375 \text{ cal} + \frac{483 \text{ J}}{(4{,}2 \text{ J/cal})} = 490 \text{ cal}$$

b) A partir da definição de eficiência, temos:

$$e = \frac{Q_2}{\tau} = \frac{375 \text{ cal}}{115 \text{ cal}} \Rightarrow e = 3{,}26$$

Esse resultado indica que, para cada joule de energia elétrica consumida pelo refrigerador, ele consegue retirar 3,26 joules de calor do congelador.

13. Entre essas temperaturas, o rendimento máximo teórico é:

$$\eta_{\text{máx}} = 1 - \frac{T_2}{T_1} \Rightarrow \eta_{\text{máx}} = 1 - \frac{(27 + 273)}{(327 + 273)} = 1 - \frac{300}{600} = \frac{1}{2} = 50\%$$

Esse é o rendimento de uma máquina térmica ideal; portanto, a máquina real referida no enunciado certamente tem rendimento MENOR que 50%.

Alternativa **d**

14. a) Algumas respostas possíveis:

- uma vela queimando
- chuva caindo
- uma pedra de gelo derretendo sobre uma mesa etc.

b) Processos IRREVERSÍVEIS.

c) Algumas respostas possíveis:

- um elevador subindo ou descendo verticalmente, visto de fora;
- o piscar das lâmpadas em árvore de natal;
- uma pessoa abrindo ou fechando uma janela etc.

Estratégia de estudo

Para auxiliar os estudantes no desenvolvimento da estratégia de estudo, se possível, reserve um momento para que se dediquem a isso ainda em aula. Além de incentivar a adoção da estratégia proposta, essa atitude também abre a possibilidade de os estudantes compartilharem suas maneiras pessoais de desenvolvê-la. Sugira que eles conversem com os colegas sobre como fazem o levantamento de palavras-chave e a elaboração da frase de correlação. Coloque-se no papel de mediador, ouvindo as dificuldades e incentivando a troca de informações entre eles e limitando-se a fornecer respostas apenas de cunho conceitual.

Atividades finais

1. Podemos considerar que os recipientes não sofrem alteração de volume, pois são indeformáveis. Ao receberem quantidades iguais de calor, os dois gases sofrem a mesma variação de energia interna (processo isocórico). Entretanto, inicialmente, como as massas (e, portanto, o número de mols) eram diferentes, eles apresentavam energias internas diferentes ($U_1 \neq U_2$), embora estivessem à mesma temperatura T. Por conseguinte, com um mesmo acréscimo de energia, eles vão apresentar energias internas finais diferentes, ou seja: $U'_1 \neq U'_2$.

Alternativa **e**

2. a) Para a primeira transformação isobárica, temos:
$\tau_1 = p_1 \cdot \Delta V_1 = 2 \cdot (5 - 2) \therefore \tau_1 = 6 \text{ atm} \cdot \text{L}$
Para a segunda transformação isobárica:
$\tau_2 = p_2 \cdot \Delta V_2 = 1{,}5 \cdot (8 - 4) \therefore \tau_2 = 6 \text{ atm} \cdot \text{L}$

b) A energia interna U do gás monoatômico é calculada por: $U = \frac{3}{2} \cdot n \cdot R \cdot T$
Se utilizarmos a equação de Clapeyron, $p \cdot V = n \cdot R \cdot T$, podemos escrever que: $U = \frac{3}{2} \cdot n \cdot R \cdot T = \frac{3}{2} \cdot p \cdot V$.
Então: $\Delta U = \frac{3}{2} \cdot (p_2 \cdot V_2 - p_1 \cdot V_1)$
Para a primeira transformação:
$\Delta U_1 = \frac{3}{2} \cdot (2 \cdot 5 - 2 \cdot 2) \therefore \Delta U_1 = 9 \text{ atm} \cdot \text{L}$
Para a segunda transformação:
$\Delta U_2 = \frac{3}{2} \cdot (1{,}5 \cdot 8 - 1{,}5 \cdot 4) \therefore \Delta U_2 = 9 \text{ atm} \cdot \text{L}$

c) A quantidade de calor Q será obtida a partir da primeira lei da Termodinâmica, $\Delta U = Q - \tau$.
Para a primeira transformação:
$9 = Q_1 - 6 \therefore Q_1 = 15 \text{ atm} \cdot \text{L}$
Para a segunda transformação:
$9 = Q_2 - 6 \therefore Q_2 = 15 \text{ atm} \cdot \text{L}$

3. a) Como a transformação é adiabática: $Q = 0$

b) Em uma transformação adiabática: $\Delta U = -\tau$
Assim, como $\tau = -2.500$ J, temos: $\Delta U = +2.500$ J

c) O volume do gás diminui (compressão), sua temperatura aumenta ($\Delta U > 0$) e sua pressão também aumenta, pois:
$p \cdot V = n \cdot R \cdot T \Rightarrow p = \frac{n \cdot R \cdot T\uparrow}{V\downarrow}$

4. a) Incorreta. A energia interna de certa massa de gás ideal é função exclusiva de sua temperatura absoluta (lei de Joule).

b) Incorreta. Pela primeira lei da Termodinâmica, temos:
$\Delta U = Q - \tau \Rightarrow \Delta U = 48 - 16 \therefore \Delta U = 32$ J

c) Incorreta. O trabalho em uma transformação gasosa depende do "caminho" da transformação. Lembre-se de que, no diagrama $p \times V$, o trabalho, em módulo, é numericamente igual à área sob a curva.

d) Incorreta. Parte do calor recebido pelo sistema pode provocar variação da energia interna.

e) Correta. Durante uma transformação cíclica, o estado final do sistema é o mesmo do início; logo, a variação de energia interna é nula.

Alternativa **e**

5. De acordo com a segunda lei da Termodinâmica, a máquina térmica M_1 não pode ser construída. Não é possível converter todo o calor retirado da fonte quente em calor.

Alternativa **e**

6. a) A partir da definição de eficiência, temos:
$e = \frac{Q_2}{\tau} \Rightarrow 5{,}6 = \frac{42 \text{ kcal}}{E} \Rightarrow E = 7{,}5 \text{ kcal} = 31{,}5 \text{ kJ}$

b) Para o refrigerador térmico, temos que:
$Q_1 = Q_2 + \tau = 42 \text{ kcal} + 7{,}5 \text{ kcal} = 49{,}5 \text{ kcal}$

c) Para uma máquina térmica reversível, a eficiência também pode ser calculada pelas temperaturas absolutas, logo:
$e = \frac{T_2}{T_1 - T_2} = \frac{258}{300 - 258} \simeq 6{,}14.$
Portanto, esse compressor não realiza um ciclo reversível.

Referências suplementares

A dissertação "Aprendizagem Baseada em Problemas: um roteiro para o ensino de termodinâmica na educação básica" apresenta o desenvolvimento e a aplicação de um produto educacional relacionado à Aprendizagem Baseada em Problemas (PBL) para o ensino da primeira lei da Termodinâmica em uma escola pública de São Paulo. Utilizando o método PBL Parcial e com apoio da teoria vigotskiana, o estudo descreve a criação de dois problemas, sua implementação em sala de aula e a percepção dos estudantes e do professor sobre a aprendizagem. Disponível em: https://repositorio.ufscar.br/handle/ufscar/13093 (acesso em: 22 set. 2024).

Proposta de avaliação

As atividades **2**, **5** e **6** da seção *Atividades finais* possibilitam uma avaliação abrangente da aprendizagem dos estudantes a respeito de conteúdos-chave do capítulo.

Capítulo 14 Ondas e energia

Objetivos do capítulo

- Conhecer as grandezas físicas que caracterizam uma onda.
- Classificar as ondas segundo sua natureza e direção de propagação.
- Relacionar propagação de onda com transferência de energia.
- Apresentar o conceito de velocidade de propagação de uma onda e discutir os fatores que influem no seu valor.
- Compreender os fenômenos ondulatórios reflexão, refração, difração, interferência e polarização.

Sugestões didáticas e comentários/ Por dentro da BNCC

O conteúdo do capítulo possibilita o desenvolvimento das habilidades **EM13CNT301**, pois incentiva que os estudantes elaborem hipóteses, previsões e estimativas sobre situações que envolvam ondas, e da habilidade **EM13MAT306** (Resolver e elaborar problemas em contextos que envolvem fenômenos periódicos reais (ondas sonoras, fases da lua, movimentos cíclicos, entre outros) e comparar suas representações com as funções seno e cosseno, no plano cartesiano, com ou sem apoio de aplicativos de álgebra e geometria), pois incentiva os estudantes a resolver e elaborar problemas relacionados a fenômenos periódicos reais, como ondas sonoras.

Durante a leitura do capítulo, adote uma abordagem dialógica, levando em consideração as concepções prévias dos estudantes. Por exemplo, eles podem acreditar que as ondas transportam matéria e energia. Para lidar com essa concepção errônea, o professor pode realizar uma demonstração prática provocando ondas na superfície da água na qual flutuem alguns fragmentos de rolha, mostrando que as partículas apenas oscilam ao redor de uma posição de equilíbrio, sem que a matéria seja transportada com a onda.

Se necessário, para estudantes com deficiências visuais, o professor pode oferecer uma representação de onda transversal tátil, colando um barbante no formato de uma onda em uma folha de sulfite. Faça gráficos táteis com diferentes frequências e amplitudes. Esse recurso pode ajudar os estudantes a compreender as características da onda, como amplitude, vale, crista, comprimento de onda e frequência. Esse mesmo recurso pode ser utilizado para ilustrar os fenômenos da reflexão e da refração.

Resoluções e comentários

Dialogando com o texto

Esta atividade é propícia ao desenvolvimento do **TCT Ciência e tecnologia**, pois levanta a reflexão sobre a condição tecnológica no qual o ser humano está imerso, e do **TCT Cidadania e civismo**, porque ressalta o impacto que atitudes individuais podem ter na vida em família e na sociedade. Tendo em vista que analisa e avalia os impactos das tecnologias na estruturação e nas dinâmicas de grupos, povos e sociedades contemporâneos, é contemplada a habilidade **EM13CHS202** (Analisar e avaliar os impactos das tecnologias na estruturação e nas dinâmicas das sociedades contemporâneas (fluxos populacionais, financeiros, de mercadorias, de informações, de valores éticos e culturais etc.), bem como suas interferências nas decisões políticas, sociais, ambientais, econômicas e culturais). Por propiciar a reflexão crítica sobre o impacto das tecnologias digitais da informação e comunicação, a atividade propicia o desenvolvimento da habilidade **EM13LGG702** (Avaliar o impacto das tecnologias digitais da informação e comunicação (TDIC) na formação do sujeito e em suas práticas sociais, para fazer uso crítico dessa mídia em práticas de seleção, compreensão e produção de discursos em ambiente digital).

A pesquisa pode ser individual e breve, servindo de subsídio para a discussão em sala de aula, para que os estudantes debatam sobre a importância de checar informações antes de compartilhá-las.

Aplicando conhecimentos

1. Pode-se, por exemplo, colocar uma bola ou uma rolha para flutuar na água de uma bacia. Em seguida, perturba-se a superfície do líquido. Com a propagação da perturbação, pode-se perceber que o objeto oscila por causa da energia transferida pela onda, mas não se desloca sobre a superfície, ou seja, a onda só transporta energia; não transporta matéria.
2. Quando a criança fala em uma das latas, ondas sonoras, produzidas por vibrações das pregas vocais, propagam-se no ar e fazem o fundo dessa lata vibrar. As vibrações do fundo da lata são transmitidas ao barbante e se propagam até o fundo da outra lata. As vibrações no fundo dessa outra lata são transmitidas ao ar e se propagam até a orelha da criança na outra extremidade do barbante.

Dialogando com o texto

Esta atividade visa explorar a tecnologia 5G, sua aplicação prática e suas diferenças em relação à tecnologia 4G. Ao realizar esta atividade, os estudantes são levados a desenvolver a habilidade **EM13CNT308**, que propõe investigar e analisar o funcionamento de equipamentos elétricos e/ou eletrônicos para compreender as tecnologias contemporâneas. Além disso, essa discussão se relaciona à habilidade **EM13CHS202**, que envolve a análise dos impactos das tecnologias nas dinâmicas sociais. Por promover o debate de questões sociais, a atividade também propicia o desenvolvimento da habilidade **EM13LGG303** (Debater questões polêmicas de relevância social, analisando diferentes argumentos e opiniões manifestados, para negociar e sustentar posições, formular propostas, e intervir e tomar decisões democraticamente sustentadas, que levem em conta o bem comum e os Direitos Humanos, a consciência socioambiental e o consumo responsável em âmbito local, regional e global). Além disso, a atividade favorece o **ODS 9**, por tratar sobre uma infraestrutura que apoia o desenvolvimento econômico e o bem-estar humano, e os **TCTs Ciência e tecnologia** e **Cidadania e civismo**, porque incentiva o debate sobre uma tecnologia de comunicação que possui impacto na vida em sociedade.

Oriente os estudantes a explorar diferentes setores nas aplicações do 5G para garantir uma variedade de informações a serem apresentadas. Após a pesquisa, promova uma discussão em sala de aula sobre os principais pontos levantados pelos grupos. Pergunte aos estudantes como eles veem o impacto do 5G na vida diária e futuramente. Incentive os estudantes a refletir sobre as implicações sociais, econômicas e éticas do uso generalizado da tecnologia 5G. Organize um debate em sala de aula sobre os prós e os contras da tecnologia 5G. Divida a turma em dois grupos, um defendendo os benefícios, e o outro, os possíveis desafios e preocupações. Avalie os estudantes com base na participação, na qualidade das pesquisas e apresentações e na capacidade de análise crítica demonstrada durante a discussão e a reflexão. Considere também a colaboração e o trabalho em equipe durante o desenvolvimento da atividade.

Aplicando conhecimentos

3. Relâmpago é uma onda eletromagnética, principalmente luz, ... e trovão é onda sonora, e, como sabemos, ondas eletromagnéticas se propagam no ar com velocidades muitíssimo maiores que o som no ar. Portanto, a luz do relâmpago chega a nós muito antes do som do trovão.

4. A explosão não poderia ser ouvida no espaço, pois o som, uma onda mecânica, precisa de um meio material para se propagar. Entretanto, se a explosão ocorresse na atmosfera terrestre, veríamos a luz da explosão muito antes de ouvir o estrondo, já que a velocidade de propagação da luz no ar é muito maior que a velocidade de propagação do som nesse meio.

5. a) Durante uma oscilação completa, ou um ciclo, a perturbação percorre uma distância que denominamos comprimento de onda.

b) Se a energia transmitida pela fonte for maior, o máximo afastamento das partículas do meio da posição de equilíbrio, que caracteriza a amplitude, aumentará. Assim, se a fonte oscilar com mais energia, a amplitude aumentará.

c) A frequência e a amplitude de uma onda são grandezas independentes uma da outra, mas ambas dependem de características da fonte que gera a onda.

6. a) $f = \frac{n}{\Delta t} \Rightarrow \frac{240}{60} \therefore f = 4\ \text{Hz}$

b) $\Delta t = T = \frac{1}{f} = \frac{1}{4} \therefore T = 0{,}25\ \text{s}$

Assim, os pontos da corda realizam uma oscilação completa em 0,25 s, isto é, seu período é igual a 0,25 s.

c) $v = \frac{\Delta S}{\Delta t} \Rightarrow v = \frac{240}{1} \therefore v = 240\ \text{cm/s}$

Então, a partir da equação fundamental da ondulatória, temos:

$v = \lambda \cdot f \Rightarrow 240 = \lambda \cdot 4 \therefore \lambda = 60\ \text{cm}.$

Portanto, o comprimento de onda é igual a 60 cm.

7. Pode-se aproveitar esse exercício para estudar com mais detalhes os fenômenos relacionados à reflexão do som. Se o som refletido e o som direto chegam juntos à orelha da pessoa que emitiu o som, o cérebro dessa pessoa não os diferencia; por isso, ela percebe um único som, mais intenso. Esse fenômeno é chamado de reforço.

Se o som refletido atinge a orelha da pessoa menos de 0,1 s depois do som direto, ela ainda percebe apenas um som, agora mais duradouro; o fenômeno é denominado reverberação.

a) Para ouvir o som refletido como som distinto (eco), o intervalo de tempo (Δt) de ida e volta do som deve ser de, no mínimo, 0,1 s.

Assim, sendo D a distância entre a pessoa e o obstáculo refletor, temos:

$v = \frac{\Delta S}{\Delta t} \Rightarrow \Delta S = v \cdot \Delta t \Rightarrow 2D = 340 \cdot 0{,}1 \Rightarrow 2D = 34$

$\therefore D = 17\text{m}$

Logo, uma pessoa só conseguirá perceber o eco de sua voz se um obstáculo refletor estiver a, no mínimo, 17 m de distância.

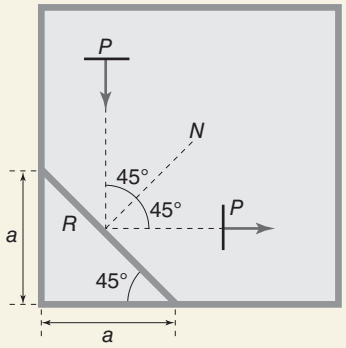
b) $v = \frac{\Delta S}{\Delta t} \Rightarrow \Delta S = v \cdot \Delta t \Rightarrow 2D = 1.600 \cdot 0{,}1 \Rightarrow 2D = 160$

$\therefore D = 80\ \text{m}$

Portanto, a distância mínima entre o mergulhador e o obstáculo refletor para que ele perceba o eco deve ser de 80 m.

8. O exercício sobre a reflexão de um pulso de onda reto exige uma resolução gráfica.

Prolongando-se a linha de propagação do pulso P até encontrar o obstáculo R, vemos que essa linha forma um ângulo de incidência i de 45° com a reta normal N, perpendicular ao obstáculo. Então, após a reflexão em R, a linha de propagação de P também formará um ângulo de reflexão r de 45° com N e, portanto, será horizontal. Assim, sendo P perpendicular à linha de propagação, sua posição será vertical, como mostra a figura a seguir.



ERICSON GUILHERME LUCIANO/ARQUIVO DA EDITORA

A resposta ao teste está na alternativa **a**.

9. Da figura, observa-se que, quando a onda se propaga na água, o comprimento de onda é maior. Isso indica um aumento na velocidade de propagação da onda, já que a frequência deve ser a mesma. Portanto, trata-se de uma onda mecânica. Se fosse eletromagnética, a velocidade de propagação da onda na água seria menor, assim como o comprimento de onda.

10. a) A onda sonora contorna o muro, chegando à terceira pessoa. Esse fenômeno chama-se difração.

b) O fenômeno da difração pode ocorrer com qualquer tipo de onda, desde que as dimensões do obstáculo, objeto ou orifício sejam da mesma ordem de grandeza que o comprimento de onda da onda em questão.

c) O muro tem dimensões próximo do comprimento de onda do som; por isso, as ondas sonoras podem transpor o muro e ser ouvidas do outro lado, diferentemente do que acontece com a luz visível, que tem comprimento de onda muitíssimo menor.

11. Somente ondas transversais podem ser polarizadas; as longitudinais provocam oscilações unidirecionais, impossibilitando a polarização. Assim, como as ondas eletromagnéticas podem ser polarizadas, podemos modelá-las como ondas transversais.

Alternativa **a**

Mundo do trabalho

Classificação Brasileira de Ocupações

Nesta seção, são propostas a análise de características de um exemplo de ocupação, segundo a Classificação Brasileira de Ocupações, e a reflexão sobre cursos de possível interesse do estudante para início de uma formação profissional. Desse modo, deseja-se que os estudantes reflitam sobre suas experiências e aprendizagens individuais e interpessoais, confiando em sua capacidade de aprender. Esta atividade desenvolve a **competência geral 6** ao buscar entender as competências demandadas pelo mundo do trabalho, possibilitando que os estudantes reflitam sobre seu projeto de vida com criticidade e responsabilidade.

1. Resposta pessoal. O objetivo é propiciar uma reflexão a respeito das atribuições e dos desafios de uma atividade que requer disciplina rigorosa para seguir uma agenda de trei-

namentos, não só da técnica do esporte, mas também de preparação física e mental. Como não há a exigência de uma educação formal para se tornar atleta profissional, a carreira pode ser construída por distintos caminhos. Devido ao desempenho do atleta depender diretamente de uma condição física plena, é comum que alguns se aposentem cedo, entre 30 e 40 anos. Nesse caso, há possibilidades de atuação no esporte em outras funções, como treinador e comentarista esportivo, por exemplo.

2. Resposta pessoal. O objetivo é que os estudantes reflitam sobre cada uma das competências elencadas para os atletas. Convide os estudantes a questionar se necessitam dessas competências para exercer as profissões que têm interesse.

3. Resposta pessoal. A pesquisa de cursos técnicos pode despertar o interesse do estudante por alguma área e transformar-se em uma opção para a ampliação ou continuidade dos estudos, ao mesmo tempo que se prepara para o ingresso no mundo do trabalho. Alguns exemplos de instituições que podem oferecer cursos desse tipo são: colégios técnicos, institutos federais, Serviços Nacionais de Aprendizagem, como Senai e Senac. É importante os estudantes terem ciência de que alguns cursos técnicos podem ser desenvolvidos de forma articulada com o Ensino Médio ou serem subsequentes a ele. Se houver acesso à internet e computador, apresente aos estudantes: o Catálogo Nacional de Cursos Técnicos (CNTC), disponível em http://cnct.mec.gov.br/apresentacao (acesso em: 11 jun. 2024), o qual apresenta mais de 200 cursos, agrupados por eixos tecnológicos; e o *website* de Consulta Pública das Escolas e Cursos Técnicos Regulares nos Sistemas de Ensino e Cadastradas no MEC, disponível em https://sistec.mec.gov.br/consultapublicaunidadeensino/ (acesso em: 17 jun. 2024), em que é possível fazer buscas por estado.

Atividades finais

1. Durante sua propagação, ondas transportam energia, mas não transportam matéria. Assim, a impressão de que o surfista é levado pela onda é falsa. O surfista usa a superfície da água como uma rampa, movendo-se pela ação da gravidade.

Alternativa **d**

2. a) As ondas sísmicas consistem em deformações elásticas do meio que se propagam transportando energia. Essas ondas são classificadas como ondas mecânicas.

b) A ola se assemelha a uma onda transversal.

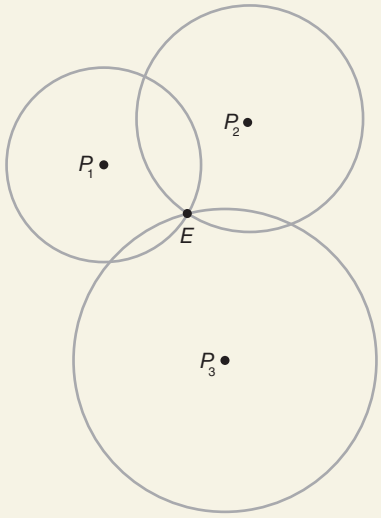
c) Os pesquisadores precisam medir o intervalo de tempo decorrido entre a chegada da onda de pressão e a chegada da onda de deslocamento ao posto de monitoramento. Veja:

$D = v_P \cdot t_P \Rightarrow t_P = \frac{D}{v_P}$

$D = v_D \cdot t_D \Rightarrow t_D = \frac{D}{v_D}$

$\Delta t = t_D - t_P = \frac{D}{v_D} - \frac{D}{v_P} \Rightarrow D = \frac{v_D \cdot v_P}{v_P - v_D} \cdot \Delta t$

d) São necessários pelo menos três. Cada posto, P_1, P_2 e P_3, determina a distância entre sua localização e o epicentro (E), D_1, D_2 e D_3. O ponto E será a interseção das 3 circunferências com centros nos respectivos postos e raio D. Veja:



ERICSON GUILHERME LUCIANO/ARQUIVO DA EDITORA

3. a) No experimento 2, foram geradas menos cristas porque a fonte realizou menos oscilações que no experimento 1, no mesmo intervalo de tempo. Do experimento 1 para o experimento 2, a frequência da fonte de ondas diminuiu.

b) Observando as figuras, vemos que, no experimento 1, foram geradas 8 cristas e, no experimento 2, apenas 4 no mesmo intervalo de tempo. Assim, temos:

$f_1 = \frac{8}{\Delta t}$ e $f_2 = \frac{4}{\Delta t}$

Portanto: $\frac{f_1}{f_2} = \frac{\frac{8}{\Delta t}}{\frac{4}{\Delta t}} \Rightarrow \frac{f_1}{f_2} = 2$

c) Como as características físicas do meio (a água) não se alteraram de um experimento para o outro, a velocidade de propagação da onda é certamente a mesma em ambos os experimentos.

4. Relembre com os estudantes o conceito de período de uma onda e o de comprimento de onda.

Se a cada intervalo de 3 s passa uma crista de onda pela proa do barco, esse intervalo de tempo é o período T da onda.

Como em determinado instante existe uma crista na proa, outra no ponto médio e outra na popa do barco de 12 m, concluímos que a distância entre duas cristas sucessivas é de 6 m; portanto, o comprimento de onda dessas ondas é $\lambda = 6$ m.

Assim, pela equação fundamental da propagação ondulatória, temos:

$v = \lambda \cdot f \Rightarrow v = \lambda \cdot \frac{1}{T} \Rightarrow v = 6 \cdot \frac{1}{3} \therefore v = 2$ m/s

5. a) Pela equação fundamental da propagação ondulatória, temos:

$v_{ar} = \lambda_{ar} \cdot f \Rightarrow 340 = 17 \cdot f \therefore f = 20$ Hz

Portanto, a frequência dessa onda sonora é de 20 Hz.

É importante lembrar que a frequência dessa onda sonora não muda durante sua propagação do ar para a água.

b) $v_{água} = \lambda_{água} \cdot f \Rightarrow 1.500 = \lambda_{água} \cdot 20 \therefore \lambda_{água} = 75$ m. O item **b** também pode ser resolvido pela relação: $\frac{V_{ar}}{\lambda_{ar}} = \frac{V_{água}}{\lambda_{água}}$, já que a frequência é a mesma nos dois meios.

Referências suplementares

Apresente aos estudantes a simulação computacional do PhET — Ondas em corda disponível em: https://phet.colorado.edu/sims/html/wave-on-a-string/latest/wave-on-a-string_all.html?locale=pt_BR (acesso em: 20 set. 2024). Com essa ferramenta, é possível explorar visualmente como as ondas se comportam em uma corda, ajustando parâmetros como a tensão da corda, a amplitude e a frequência. Os estudantes podem observar como essas variáveis afetam a forma e a propagação das ondas, além de interagir com a simulação para criar diferentes padrões de ondas.

Proposta de avaliação

As atividades **1**, **2** e **4** da seção *Atividades finais* possibilitam uma avaliação abrangente da aprendizagem dos estudantes a respeito de conteúdos-chave do capítulo.

Capítulo 15 Acústica

Objetivos do capítulo

- Conceituar som, infrassom e ultrassom quanto aos valores das respectivas frequências.
- Apresentar e diferenciar as qualidades que identificam um determinado som: altura, timbre e intensidade.
- Explorar com alguns detalhes a fisiologia do aparelho auditivo humano.
- Estudar o efeito Doppler-Fizeau e explorar suas aplicações.
- Ressaltar as características dos sons musicais e das escalas musicais.
- Apresentar o fenômeno da ressonância e relacioná-lo com a formação de ondas estacionárias.
- Estudar as ondas estacionárias, suas características e aplicações, como as cordas vibrantes e os tubos sonoros.

Sugestões didáticas e comentários/ Por dentro da BNCC

O capítulo inicia-se com um pequeno texto introdutório sobre ecobatimetria e destaca os principais objetivos para o estudo da acústica. Na sequência, são apresentadas as características das ondas sonoras na primeira seção, passando ao estudo das qualidades do som e dos fenômenos sonoros, na sequência.

Ao conceituar as ondas sonoras, enfatize que qualquer onda sonora é sempre gerada por algum tipo de vibração: o som de um tambor é gerado pela membrana vibrante; o som de um violão é gerado pela vibração das cordas; nossa voz é produzida pela vibração de músculos (as pregas vocais); e assim por diante. Além disso, apresente as características ondulatórias do som: som é uma onda mecânica, longitudinal nos gases (ou mista nos sólidos e nos líquidos) e tridimensional.

Sobre a velocidade das ondas sonoras, deve-se estabelecer uma relação entre as características de rigidez do meio e a velocidade da onda sonora. Além disso, ao considerar a equação fundamental da ondulatória, pode-se verificar a relação de proporcionalidade inversa entre a frequência e o comprimento de onda, o que vai ao encontro da habilidade **EM13CNT301**.

Outro ponto relevante diz respeito às qualidades fisiológicas das ondas sonoras (altura, timbre e intensidade). É crucial diferenciar o uso dos termos na forma coloquial e na científica, como no caso da palavra "altura", que no cotidiano tem um significado, mas na Física ela está associada à frequência das ondas sonoras.

A abordagem sobre a intensidade sonora pode ser feita por meio da apresentação da equação que relaciona a potência da fonte sonora, bem como pela apresentação da expressão que possibilita determinar o nível de intensidade sonora da onda, que, de certa forma, é uma maneira matemática mais prática de nos referirmos à intensidade da onda. A esse respeito, ainda que a habilidade **EM13CNT103** focalize as problemáticas relacionadas com a exposição às radiações, podemos estabelecer um paralelo com ela, por meio da análise das problemáticas associadas à exposição a sons muito intensos por longos períodos, além de ser uma oportunidade de mobilizar a habilidade **EM13CNT306**.

O ensino do efeito Doppler-Fizeau, em um primeiro momento, deve objetivar destacar sua origem, focalizando o desenvolvimento de um olhar para o estudo de um fenômeno que deve ser formalizado bem como podem ser abordados exemplos e exercícios, indo ao encontro das habilidades **EM13CNT301** e **EM13CNT302**.

O quinto tópico do capítulo trata dos sons musicais, começando pelo conceito de escala musical e sua divisão em notas e oitavas. O uso de instrumentos como violão, teclado e flauta doce pode dinamizar a aula, tornando a aprendizagem mais significativa. Além disso, esses instrumentos podem ser utilizados para explorar o conceito de ondas estacionárias, ilustrando a relação entre as cordas vibrantes e os tubos sonoros. Ao sistematizar os comprimentos de onda e as frequências associadas a cada modo de oscilação normal, é possível enfatizar habilidades como **EM13CNT301**, **EM13CNT302** e **EM13MAT305** (Resolver e elaborar problemas com funções logarítmicas nos quais é necessário compreender e interpretar a variação das grandezas envolvidas, em contextos como os de abalos sísmicos, pH, radioatividade, Matemática Financeira, entre outros).

Resoluções e comentários

Atividade prática

Transmitindo sons

Nesta atividade prática, os estudantes irão construir um telefone de barbante, uma montagem simples que permite investigar algumas características da transmissão do som. Esse experimento é uma forma divertida e educativa de demonstrar princípios básicos da acústica, proporcionando uma experiência prática para os estudantes.

A atividade tem como objetivo ajudar os estudantes a compreender como o som se transmite por meio de diferentes materiais. Ao construir e utilizar um telefone de barbante, os estudantes aprenderão sobre a propagação das ondas sonoras e a importância da tensão no meio de transmissão. Por incentivar a elaboração de hipóteses, previsões e estimativas acerca de um experimento, esta atividade contempla a habilidade **EM13CNT301**.

Comece a aula explicando o conceito básico de ondas sonoras e como elas se propagam através de diferentes meios (sólidos, líquidos e gases). Certifique-se de que há espaço suficiente para que os estudantes possam se espalhar e esticar o barbante sem obstáculos. Se necessário, mova as mesas e cadeiras para as laterais da sala.

1. O barbante deve ser mantido esticado para que as vibrações sonoras possam ser transmitidas de maneira eficaz. Quando você fala no copo, as ondas sonoras fazem vibrar o fundo do copo. Essas vibrações são transmitidas pelo barbante esticado até o outro copo, permitindo que o som seja ouvido claramente pelo estudante.

2. Se você segurar o fio esticado entre o polegar e o indicador enquanto fala, as vibrações sonoras serão interrompidas ou atenuadas. Isso ocorre porque a pressão dos dedos no barbante dissipa parte da energia vibracional, impedindo que as vibrações se transmitam de forma eficiente de um copo ao outro, resultando em um som mais fraco ou inexistente.

3. Ao amarrar um segundo barbante esticado, ligado a outro copo, no meio do fio do telefone original, espera-se que as vibrações sonoras se dividam entre os dois caminhos. Isso significa que o som poderá ser transmitido para dois copos adicionais, criando uma espécie de sistema de "telefone" em cadeia. No entanto, a intensidade do som pode diminuir à medida que as vibrações são divididas entre mais fios.

Aplicando conhecimentos

1. A frequência é a mesma, no ar ou na água, portanto:

$v_{ar} = \lambda_{ar} \cdot f_{ar} \Rightarrow 336 = 1{,}2 \cdot f_{ar} \therefore f_{ar} = 280\ \text{Hz}$

$v_{água} = \lambda_{água} \cdot f_{água} \Rightarrow 1.428 = \lambda_{água} \cdot 280 \therefore \lambda_{água} = 5{,}1\ \text{m}$

Alternativa **b**

2. A partir dos dados do enunciado, temos:

$$\Delta t_{ar} - \Delta t_{aço} = 0{,}236\ \text{s} \Rightarrow \frac{L}{v_{ar}} - \frac{L}{v_{aço}} = 0{,}236\ \text{s} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \underbrace{\frac{84\ \text{m}}{326\ \text{m/s}}}_{0{,}250\ \text{s}} - \frac{84\ \text{m}}{v_{aço}} = 0{,}236\ \text{s}$$

$$\Rightarrow \frac{84\ \text{m}}{v_{aço}} = 0{,}250\ \text{s} - 0{,}236\ \text{s} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow v_{aço} = \frac{84\ \text{m}}{0{,}014\ \text{s}} \therefore v_{aço} = 6 \cdot 10^3\ \text{m/s}$$

3. Sabemos que $I = \frac{P}{4\pi d^2}$.

Portanto: $I' = \frac{P}{4\pi\left(\frac{d}{2}\right)^2} = \underbrace{\frac{4 \cdot P}{4\pi d^2}}_{I} \Rightarrow I' = 4I$

Alternativa **e**

4. Aplicando a lei de Weber, temos:

$N' - N = 10 \cdot \log\left(\frac{I'}{I}\right) \Rightarrow N' - 80 = 10 \cdot \log\left(\frac{4 \cdot I}{I}\right) \Rightarrow$

$\Rightarrow N' = 80 + 10 \cdot \log 4 \therefore N' \simeq 86\ \text{dB}$

Alternativa **c**

5. Da situação apresentada no enunciado, com a boia parada, temos duas frentes de onda por segundo: $f_F = 2$ Hz. Sendo $v = \lambda \cdot f \Rightarrow 2 = \lambda \cdot 2 \therefore \lambda = 1$ m.

Quando a boia vai de encontro às frentes de onda com velocidade V_b, a frequência se altera para $f' = 3$ Hz, mas o comprimento de onda fica igual, já que a fonte não se move. Relativamente à boia, as ondas têm velocidade $v' = v_b + 2$ m/s. Assim: $v' = \lambda \cdot f' \Rightarrow v_b + 2 = 1 \cdot 3 \therefore v_b = 1$ m/s

Alternativa **b**

6. Para uma fonte em movimento e observador em repouso, utilizamos a seguinte equação:

$f_0 = f_F \cdot \frac{v}{v \pm v_F}$

Assim, como a fonte está se movendo no mesmo sentido da propagação das ondas, temos:

$f_0 = 2 \cdot \frac{2}{2-1} \therefore f_0 = 4\ \text{Hz}$

Isso significa que chegam à boia (observador) 4 frentes de onda por segundo.

Alternativa **d**

Atividade em grupo

Para desenvolver a atividade, divida os estudantes em grupos de 3 a 4 membros e distribua um instrumento para cada grupo. Oriente-os a investigar a origem, o uso e o contexto cultural do instrumento escolhido. Eles devem também analisar as características físicas do instrumento, como forma, tamanho e materiais, e como essas características influenciam o som produzido.

Por exemplo, no caso do maracá, os estudantes podem explorar como o preenchimento interno (sementes e pequenas pedras) e o tamanho do recipiente influenciam o timbre. Para a zabumba, podem investigar como a tensão das peles e o diâmetro do tambor afetam o timbre e a intensidade do som. Na viola de cocho, eles podem analisar como o comprimento das cordas e o material de construção influenciam a frequência dos sons. Com a cuíca, devem observar como a pressão aplicada na haste interna e a tensão da membrana variam o som. No caso da gaita ponto, a exploração pode ser sobre como o tamanho das palhetas e a quantidade de ar insuflada mudam o tom e o volume do som.

Sugira que os estudantes utilizem recursos multimídia para suas apresentações, como vídeos que mostram o instrumento em uso, entrevistas com músicos locais, ou gravações que demonstrem as variações de som causadas pelas mudanças nas características físicas do instrumento. Isso enriquecerá a apresentação e tornará o aprendizado mais interativo e envolvente.

Peça a cada grupo que faça uma apresentação detalhando o instrumento escolhido. Eles devem integrar a análise técnica com a riqueza cultural e histórica que cada instrumento carrega, proporcionando uma compreensão mais completa do tema.

Essa atividade permite que os estudantes explorem a interseção entre ciência e cultura, demonstrando como a física pode ser observada nos instrumentos musicais brasileiros. Por propor a análise de objetos culturais, essa atividade favorece o desenvolvimento da habilidade **EM13CHS104** (Analisar objetos da cultura material e imaterial como suporte de conhecimentos, valores, crenças e práticas que singularizam diferentes sociedades inseridas no tempo e no espaço).

Aplicando conhecimentos

7. O procedimento descrito no enunciado tem como objetivo mudar o comprimento vibratório das cordas, alterando suas frequências de vibração e, consequentemente, a frequência do som emitido.

8. a) Aumentar. Aumentando-se a tração na corda, aumenta-se a velocidade de propagação da onda na corda, aumentando-se, consequentemente, a frequência.

b) Diminuir. Diminuindo-se o comprimento da corda, para uma mesma tração e mesma velocidade de propagação, aumenta-se a frequência.

c) A razão entre as frequências é igual à razão inversa dos comprimentos vibratórios; portanto:

$\frac{L'}{L} = \frac{f}{f'} \Rightarrow L' = \frac{330}{440} \cdot L \Rightarrow L' = \frac{3}{4} \cdot L$

9. a) A surdina faz com que a intensidade diminua, isto é, o som fica mais fraco (ou com menor "volume").

b) Outra consequência do uso da surdina é deixar o som mais alto, isto é, aumenta sua frequência.

Educação midiática

Tecnologias assistivas

Esta atividade, em consonância com as Normas sobre Computação na Educação Básica da BNCC, traz uma contribuição ne-

sentido de "preparar os estudantes para analisar a interação entre usuários e artefatos computacionais", em especial no que diz respeito à acessibilidade de pessoas com deficiência (PcD) ou outras limitações. Sabe-se que, ao projetar ambientes digitais (ou qualquer outro) de forma inclusiva, beneficiam-se não somente esses públicos, mas todos os que fazem uso dessas tecnologias, garantindo o direito igualitário de acesso, produção e distribuição de informações expresso na Declaração Universal dos Direitos Humanos. A atividade ainda contempla o **ODS 4**, pois assegura a educação inclusiva, equitativa e de qualidade e promove oportunidades de aprendizagem ao longo da vida para os estudantes.

A interação das pessoas com as tecnologias no cotidiano remete à questão da aplicabilidade da Ciência. Pergunte aos estudantes se defendem ou refutam a ideia de que toda a Ciência deve ter aplicação prática, e quais seus argumentos. Ouça com eles a canção "Queremos saber", de Gilberto Gil (que pode ser encontrada em várias versões na internet, e da qual destacamos os versos "Queremos saber/Quando vamos ter/Raio *laser* mais barato", diretamente relacionados à óptica, no contexto de seu uso prático e socialmente justo), que reforça o senso comum da aplicabilidade prática da Ciência, mas lembre-os, como contraponto, de que a maioria das tecnologias que usamos hoje se baseiam em conceitos que levaram muito tempo para originar aplicações práticas (como no caso dos aparelhos de rádio e TV e da própria internet, consequências dos estudos de eletromagnetismo e óptica). Para aprofundar esse debate, convide os professores de Ciências Humanas, Arte e Língua Portuguesa, que poderão contribuir com as diferentes abordagens, próprias de suas áreas do conhecimento, para articular a discussão da influência das tecnologias nas relações sociais e a linguagem poética e musical que expressa essas relações na canção de Gil.

Pergunte aos estudantes o que entendem pela primeira frase, promovendo um debate que os leve a perceber que as formas de veicular o conhecimento, construir o ambiente físico, projetar equipamentos etc., usadas por pessoas sem deficiência, muitas vezes não levam em conta as PcD, e até mesmo dificultam a vida destas. Todavia, tecnologias e atitudes assistivas, além de tornar possíveis atividades antes impensáveis para PcD, facilitam a vida de todas as pessoas. Peça então que leiam os depoimentos e estimule-os a expressar o que entendem e sentem. Se possível, assistam juntos ao vídeo indicado como fonte do depoimento de uma pessoa surda, que possibilita uma análise mais aprofundada e uma interface com as áreas de Língua Portuguesa e de Língua Estrangeira, para a discussão de conceitos ligados à língua, comunicação, interpretação e tradução. Caso haja PcD na sala de aula, ou na comunidade, elas podem ser convidadas a contar suas dificuldades em relação às mídias tradicionais e digitais. Organize os estudantes em grupos e proponha que respondam às questões.

1. Pessoa 1 - Dificuldades relatadas para avaliar a limpeza da casa e a vestimenta dos filhos; se deslocar sozinha na rua e ler textos. As soluções encontradas são limpar em demasia a casa, contar passos e ler o mesmo texto várias vezes.

Pessoa 2 - Dificuldade relatada para ler. Algumas soluções utilizadas são uso de lupas, ampliação do texto, aumento da iluminação, livros falados, leitores de telas, pessoas que ditam o que está no quadro.

Pessoa 3 - Dificuldade relatada de falta de informações na língua Libras. Não foi apontada solução.

Após essa primeira etapa de contextualização e sensibilização, peça aos estudantes que observem as imagens. Explique que tecnologias assistivas (TA) são recursos que proporcionam autonomia e melhora na qualidade de vida de PcD.

2. a) Espera-se que os estudantes encontrem exemplos de aplicativos para aparelhos móveis, como celular.

b) Ressalte que não é necessário que a tecnologia escolhida ou criada seja executada na prática (o que demandaria conhecimentos e recursos específicos que não necessariamente estarão disponíveis); o que se deseja é embasar uma proposta coerente e teoricamente eficaz. Sugira exercícios que ajudem a testar as propostas e evidenciar dificuldades, como: criação de legendas para um pequeno vídeo ou trecho de filme em arquivo digital ou disponível na internet; uso dos recursos de acessibilidade (fontes aumentadas, contraste, leitura de tela) presentes em *smartphones* e alguns programas de computador. Leve os estudantes a reconhecer limitações e a refletir se pessoas com ou sem deficiência conseguem cumprir tarefas da mesma forma nesses equipamentos.

c) Resposta pessoal.

Em destaque

Sonar para vigilância urbana

Esta atividade estimula o desenvolvimento das habilidades **EM13CNT304** e **EM13CNT305**, ao analisar a aplicação de conhecimentos da área de Ciências da Natureza e investigar o uso indevido desses conhecimentos, e da habilidade **EM13CNT308**, ao ajudar os estudantes a compreender as tecnologias e avaliarem seus impactos. Além disso, a atividade incentiva uma análise ética e consciente das consequências das decisões tecnológicas, alinhando-se com a **competência geral 7**.

1. A onda citada no texto é sonora, ou seja, de natureza mecânica. As ondas mecânicas necessitam de um meio material para se propagar, como o ar ou a água, e podem ser usadas para mapeamento de relevos.

2. O funcionamento da tecnologia de sonar no filme pode ser explicado pelo fenômeno da reflexão das ondas sonoras. O sonar utiliza ondas sonoras que são emitidas por uma antena emissora e se propagam por um meio material. Ao encontrarem um obstáculo, as ondas são refletidas e captadas pela antena, que também funciona como um receptor. O intervalo de tempo entre a emissão e a recepção das ondas é utilizado para calcular a distância da antena até o obstáculo. A análise do padrão das ondas refletidas pode fornecer informações sobre o formato do obstáculo. No caso do filme, a antena emissora/receptora é o celular e o meio de propagação da onda sonora é o ar atmosférico.

3. A viabilidade científica da tecnologia apresentada no filme pode ser questionada, considerando que os microfones e os alto-falantes dos telefones celulares não operam em frequências ultrassônicas. A tecnologia apresentada pode sofrer limitações de alcance devido à atenuação de ondas sonoras de alta frequência (ultrassom).

4. A ficção científica pode distorcer ou simplificar conceitos científicos para atender às necessidades narrativas, criar efeitos dramáticos ou explorar possibilidades imaginativas que não estão restritas pelas leis da física real. Essas simplificações podem levar o público a ter uma compreensão imprecisa da ciência e das tecnologias atuais, potencialmente gerando expectativas irreais ou mal-entendidos sobre o que é cientificamente viável.

5. Espera-se que os defensores da tecnologia destaquem as vantagens de uma segurança aprimorada, da prevenção de crimes, da busca por pessoas desaparecidas e do monitoramento do trânsito. Já dos críticos da tecnologia, espera-se que destaquem preocupações com a privacidade dos cida-

dãos, o não consentimento do uso dos aparelhos celulares para este fim, os riscos de usos indevidos e a interferência em seres vivos que são sensíveis a essa faixa de frequência sonora (como morcegos, corujas e baleias).

Oriente os grupos a preparar seus argumentos com base em discussões e pesquisas em livros ou computador. Incentive um debate respeitoso e equilibrado, permitindo que ambos os lados apresentem suas opiniões e argumentos de forma clara. Utilize a lousa para registrar as ideias e os argumentos que surgirem durante o debate. Para finalizá-lo, é essencial fazer uma síntese dos pontos discutidos, garantir que todas as vozes sejam ouvidas e orientar os estudantes a refletir sobre as conclusões alcançadas.

Atividades finais

1. I. Incorreta. As ondas sonoras são ondas longitudinais e necessitam de um meio material para se propagar.

II. Correta. A velocidade de propagação depende do meio material e da temperatura; portanto, os sons, os infrassons e os ultrassons propagam-se no ar com velocidades de mesmo módulo, mantidas as condições do meio.

III. Correta. Como a velocidade é a mesma, o comprimento de onda é inversamente proporcional à frequência. Sendo $f_{infrassom} < f_{som} < f_{ultrassom}$, temos $\lambda_{infrassom} > \lambda_{som} > \lambda_{ultrassom}$.

Alternativa **e**

2. a) Para o cálculo da velocidade do som (v_{som}), temos:

Aproximação da fonte sonora,

$$\frac{f_0}{v_{som} \pm v_o} = \frac{f_F}{v_{som} \pm v_s} \Rightarrow \frac{550}{v_{som} \pm 0} = \frac{f_F}{v_{som} - 35} \text{ (I)}$$

Afastamento da fonte sonora,

$$\frac{f_0}{v_{som} \pm v_o} = \frac{f_F}{v_{som} \pm v_F} \Rightarrow \frac{450}{v_{som} \pm 0} = \frac{f_F}{v_{som} + 35} \text{ (II)}$$

Dividindo-se as equações (I) e (II) entre si, temos:

$$\frac{550}{450} = \frac{v_{som} + 35}{v_{som} - 35} \therefore v_{som} = 350 \text{ m/s}$$

b) Substituindo-se v_{som} na equação (I) ou na (II), temos:

$$\frac{f_0}{v_{som} \pm v_0} = \frac{f_S}{v_{som} \pm v_S} \Rightarrow \frac{450}{350 \pm 0} = \frac{f_s}{350 + 35} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow 450 \cdot 385 = f_S \cdot 350 \Rightarrow f_S = \frac{450 \cdot 385}{350}$$

$$\therefore f_S = 495\text{Hz}$$

3. A explicação para o som melodioso na taça e sua quebra diante da voz do tenor está no fenômeno da ressonância. Ao passar o dedo (úmido, para aumentar a aderência entre a pele e o vidro) na borda da taça, uma grande variedade de frequências sonoras é emitida. Entre as diversas frequências, a maioria é absorvida ou refletida para fora da taça de modo imperceptível; contudo, uma pequena parte delas apresenta frequência igual à frequência normal de oscilação da cavidade da taça. Essas ondas são absorvidas e reemitidas de forma sincronizada, constituindo-se interferência construtiva entre as ondas recém-produzidas e as que estão no interior da cavidade.

4. Em geral, quanto maior a densidade do meio, maior a velocidade do som nele. Assim, podemos afirmar que as velocidades apresentam a seguinte relação: $v_{ar} < v_{água} < v_{ferro}$

Como a distância percorrida h é a mesma, temos:

$v_{ar} \cdot \Delta t_{ar} = v_{água} \cdot \Delta t_{água} = v_{ferro} \cdot \Delta t_{ferro}$

Portanto: $\Delta t_{ar} > \Delta t_{água} > \Delta t_{ferro}$

Alternativa **d**

5. Para calcular uma distância, precisamos conhecer um intervalo de tempo (no caso, a diferença dos instantes entre os ecos produzidos pelas superfícies dos órgãos) e também uma velocidade (no caso, a velocidade de propagação do som no interior dos tecidos).

Alternativa **d**

6. a) Incorreta. A resposta da professora deve mencionar o fato de a escala ser exponencial. Isso implica que, quanto mais à direita, maiores os intervalos.

Pense nos intervalos de 1 a 10 (10^0 e 10^1) e de 10 a 100 (10^1 e 10^2); evidentemente, temos mais números inteiros no segundo intervalo que no primeiro.

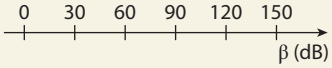
b) Basta substituir os valores fornecidos para a intensidade I no cálculo do nível de intensidade sonora de Weber β:

$$\beta = 10 \cdot \log \frac{I}{I_0} = 10 \cdot \log \frac{I}{10^{-12}}$$

Por exemplo, para $I = 10^{-12}$ W/m², encontramos $\beta = 0$; para $I = 10^{-9}$ W/m², encontramos $\beta = 30$ dB; e assim sucessivamente. Ou seja:

I (W/m²)	β (dB)
10^{-6}	60
10^{-3}	90
10^{0}	120
10^{3}	150

Logo, para os valores de I apresentados no eixo horizontal, a escala de intensidade sonora β será:



ERICSON GUILHERME LUCIANO/ARQUIVO DA EDITORA

c) Sim, a escala dos níveis sonoros de Ernst Heinrich Weber é linear.

7. Frase correta: "Zezinho, diminua a intensidade do som da TV; está muito forte...".

8. O comprimento de onda do primeiro harmônico possível nessa situação é dado por: $\lambda = 4L$. Portanto, utilizando a equação fundamental da propagação ondulatória, temos:

$$v = \lambda \cdot f \Rightarrow f = \frac{v}{\lambda} \Rightarrow f = \frac{340}{4 \cdot (3{,}4 \cdot 10^{-2})} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow f = 2.500 \therefore f = 2{,}5 \text{ kHz}$$

Alternativa **b**

Referências suplementares

TECNOLOGIAS assistivas. Escola digital professor. Secretaria da Educação/Governo do Estado do Paraná. Disponível em: https://professor.escoladigital.pr.gov.br/tecnologias_assistivas. Acesso em: 28 out. 2024.

AGUADED, I. *et al*. **Currículo Alfamed de formação de professores em educação midiática**. São Paulo: Palavra Aberta, [s.d.]. Disponível em: https://educamidia.org.br/api/wp-content/uploads/2021/10/2021-Curriculo-Alfamed-PT-final-1-compactado.pdf. Acessos em: 3 abr. 2024.

Proposta de avaliação

As atividades **1**, **2** e **8** da seção *Atividades finais* possibilitam uma avaliação abrangente da aprendizagem dos estudantes a respeito de conteúdos-chave do capítulo.

Capítulo 16 Óptica Geométrica

Objetivos do capítulo

- Apresentar o fenômeno de reflexão da luz.
- Saber em que condições ocorre a propagação retilínea da luz, conhecer as leis da reflexão e de Snell-Descartes e como utilizá-las corretamente.
- Conhecer os processos gráficos e analíticos para a obtenção de imagens em espelhos planos, espelhos esféricos e lentes esféricas.
- Apresentar o fenômeno de refração da luz e os sistemas ópticos em que ocorre, como prismas e lentes.
- Reconhecer e identificar as funções de espelhos côncavos e convexos, para associá-los a aplicações tecnológicas corretamente.

Sugestões didáticas e comentários/ Por dentro da BNCC

Neste capítulo, é possível desenvolver a habilidade **EM13MAT308** (Aplicar as relações métricas, incluindo as leis do seno e do cosseno ou as noções de congruência e semelhança, para resolver e elaborar problemas que envolvem triângulos, em variados contextos.) ao aplicar relações métricas para resolver e criar problemas relacionados a triângulos, dentro do contexto da óptica geométrica. O estudo da reflexão da luz em espelhos planos e esféricos contribui para o desenvolvimento da habilidade **EM13CNT307**, permitindo que os estudantes analisem as propriedades dos materiais e avaliem sua adequação para diversas aplicações. Além disso, ao abordar o fenômeno da refração e as lentes esféricas, os alunos também podem desenvolver a habilidade **EM13CNT301**, promovendo a formulação de questões e hipóteses, bem como a análise de dados e a extração de conclusões a partir dos exercícios propostos.

Durante a leitura do capítulo, adote uma abordagem dialógica, considerando as ideias que os alunos já têm. Por exemplo, ao discutir a reflexão em espelhos, muitos acreditam que a imagem se encontra exatamente na superfície do espelho, quando na verdade ela se forma em uma posição virtual atrás do espelho. Explique que a imagem é virtual porque os raios de luz refletem na superfície do espelho e se espalham, mas o cérebro interpreta que eles estão vindo de um ponto atrás do espelho.

Para alunos com deficiência, especialmente visual, é recomendado que o professor utilize recursos táteis para ilustrar os conceitos abordados. Por exemplo, para o estudo da reflexão em espelhos planos, o professor pode colar um pedaço de EVA sobre uma folha de sulfite ou cartolina para representar o espelho, e usar palitos cortados para simbolizar os raios incidente e refletido. Esse recurso permite que os estudantes sintam o comportamento da luz, facilitando a compreensão dos fenômenos de reflexão.

Para o estudo da refração em superfícies planas, o professor pode colar um pedaço de lixa sobre uma folha de sulfite, onde o papel representa um meio menos denso e a lixa, um meio mais denso. Ao posicionar os palitos formando ângulos de 45° e 30° em relação à normal, é possível representar os raios incidente e refratado, permitindo que os alunos percebam ao toque como a luz se comporta ao mudar de meio.

Atividade extra

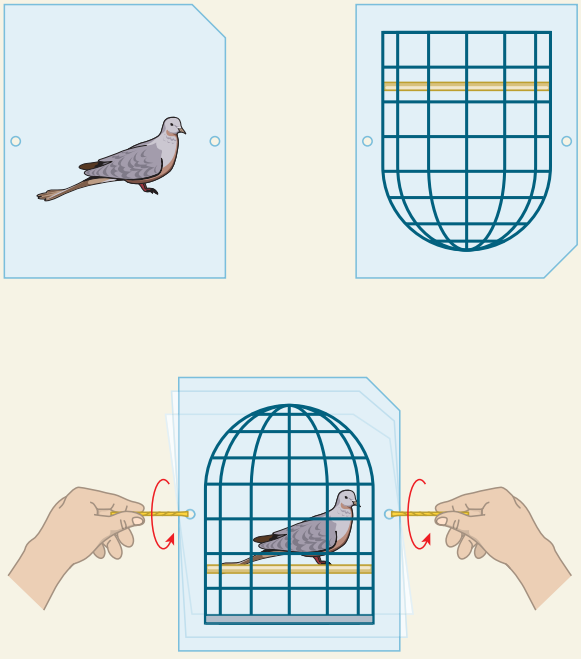
Persistência retiniana

Material necessário:

- um lápis preto;
- um pedaço de cartolina (20 cm × 20 cm);
- um pedaço de papelão reforçado;
- uma tesoura com pontas arredondadas;
- uma régua;
- uma caixa de lápis de cor ou canetas hidrográficas;
- elásticos.

Os estudantes devem recortar um cartão quadrado de papelão de aproximadamente 5 cm de lado, desenhar um pássaro em um dos lados do cartão e, no verso, uma gaiola, conforme a figura a seguir.

Solicite aos estudantes que façam furos nas laterais no cartão, prendam um pedaço de elástico em cada um deles e deem várias voltas no cartão, torcendo os elásticos. Por fim, eles devem soltar o cartão, mantendo os elásticos esticados, de modo que ele gire rapidamente.

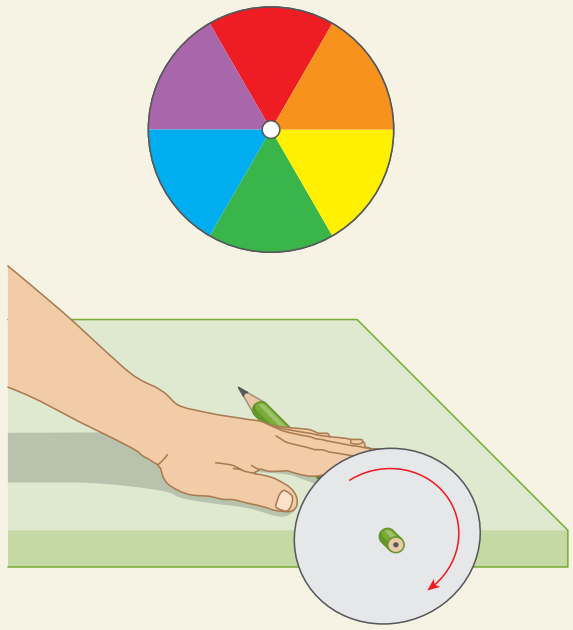


ILUSTRAÇÕES: ADILSON SECCO/ARQUIVO DA EDITORA

Os estudantes provavelmente verão o pássaro dentro da gaiola. Isso ocorre devido à persistência retiniana: ao ver o desenho da gaiola, a imagem do pássaro, vista anteriormente, ainda persiste na retina. Por isso, temos a impressão de que o pássaro está dentro da gaiola. É graças ao mesmo princípio que, no cinema, temos a sensação de movimento, pois, na verdade, o filme é uma série de fotogramas projetados numa velocidade de 24 quadros por segundo.

Agora, os estudantes devem recortar um disco de cartolina de aproximadamente 5 cm de raio. Solicite a eles que dividam

o disco em seis setores iguais e pintem cada setor de uma cor, na seguinte ordem: vermelho, alaranjado, amarelo, verde, azul e violeta. Peça que façam um pequeno furo no centro do disco, passem por ele um lápis, apoiem uma extremidade do lápis próximo à borda de uma mesa, conforme a figura, e girem o disco rapidamente. Será possível observar o disco cinza-claro. Explique tal fato, tendo em vista a persistência retiniana.



ADILSON SECCO/ARQUIVO DA EDITORA

Essa atividade extra destina-se a explicar aos estudantes o conceito de persistência retiniana: um estímulo luminoso produz em nossa retina uma determinada sensação visual; quando esse estímulo se encerra, a sensação visual permanece por um pequeno intervalo de tempo, de aproximadamente um décimo de segundo.

Após a realização da experiência do pássaro na gaiola, você poderá comentar que a persistência retiniana é responsável pela sensação de movimento que observamos nos filmes: cada fotograma é projetado na tela durante um pequeno intervalo de tempo (da ordem de 0,04 s, ou seja, em um segundo são projetados 24 fotogramas). Cada foto projetada na tela impressiona nossa retina, sendo logo substituída pela seguinte, ainda que em nosso olho perdure a anterior.

No caso do disco de Newton (segunda parte da experiência), as cores refletidas pelos diversos setores se superpõem em nossa retina, quando o disco está em rotação. Acima de certa frequência de rotação, o disco será visto numa cor cinza-clara.

Outra opção de como colocar o disco em rotação, além da apresentada no livro, é girá-lo como um pião, sendo o lápis o eixo de rotação.

Você também pode chamar a atenção dos estudantes para o fato de que o espectro contínuo da luz branca apresenta um número infinito de tonalidades que, superpostas, originam a cor branca. No caso do experimento, dividimos o círculo em somente seis setores; por isso, o disco em rotação não se apresenta branco.

Uma questão que pode ser proposta aos estudantes é que olhem para o disco em rotação e pisquem rapidamente. Nessa situação, as cores dos setores podem ser vistas separadamente.

Quebrando os padrões de beleza na escola

Espelho, espelho meu, existe alguém mais bonito do que eu? Quantos de nós já ouvimos está frase na infância, em meio a contos e histórias envolvendo a rainha má e a princesa Branca de Neve? O incentivo à busca pela beleza, desde as princesas e príncipes formosos até a filtros de embelezamento de aplicativos em celulares, vem sendo imposto em uma cultura sobre o tipo padrão de beleza. Essas crenças quanto à beleza ideal são desafios aos quais a juventude está exposta, o que têm gerado diversos problemas psicoemocionais nos jovens e a promoção de atitudes racistas e preconceituosas entre jovens e adultos. Neste sentido, sugerimos a atividade a seguir, com o objetivo de promover a unicidade de cada indivíduo e a quebra de padrões de beleza na escola.

1º momento: olhar-se ao espelho. Improvise uma caixa com espelho. Solicite aos estudantes que, um de cada vez, olhem sua imagem refletida no espelho e escrevam uma frase sobre o que acham de suas características físicas (cabelo, formato do nariz, cor da pele, entre outros).

2º momento: apresente o vídeo "Padrão de beleza em família," disponível em https://portal.fiocruz.br/video/padrao-de-beleza-em-familia (acesso em: 30 out. 2024). Este material aborda o tema dos padrões de beleza e suas influências de uma maneira que considera a diversidade familiar e cultural. Caso julgue necessário, outros vídeos complementares podem ser incluídos conforme a realidade da turma.

Finalize a atividade com uma roda de conversa para discutir as impressões, reflexões e inquietações suscitadas pela prática com o espelho e vídeos. Proponha a elaboração de cartazes com recortes de revistas, jornais e suas próprias fotos, com frases que exaltem a beleza em sua ampla diversidade (por exemplo, a beleza negra, indígena, dos diferentes corpos, entre outros), no intuito de reconstruir a identidade dos estudantes.

Esta atividade complementar possibilita o desenvolvimento da habilidade **EM13CNT207**, pois promove a análise e discussão vinculadas a um desafio em que a juventude é exposta, a fim de desenvolver ações para promover o bem-estar e a saúde mental dos estudantes, quanto à quebra de padrões de beleza e à reconstrução da identidade dos estudantes. A **competência geral 9** também é evidenciada, na medida em que promove o respeito ao outro e aos direitos humanos, com acolhimento e valorização da diversidade de indivíduos, sem preconceitos de qualquer natureza.

Resoluções e comentários

Atividade prática

Medir sombras para conhecer a altura

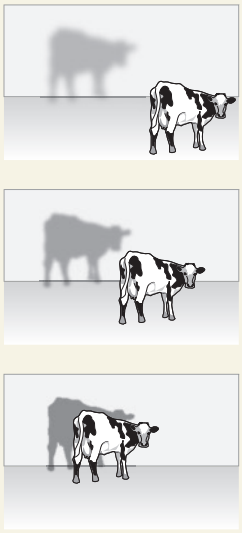
Essa atividade tem por finalidade realçar que a formação de sombras e penumbras é consequência do princípio da propagação retilínea da luz e destacar que a determinação da altura do poste envolve o estudo de semelhanças de triângulos.

Pode-se dividir a turma em pequenos grupos, de três ou quatro estudantes, e efetuar várias medidas da altura do poste

cada uma correspondendo à altura *h* e ao comprimento da sombra *s* de cada componente do grupo. O valor mais provável de *H* é a média aritmética dos valores encontrados nas diversas medidas.

É interessante destacar que os raios emitidos pelo Sol que atingem o poste e os estudantes são praticamente paralelos. Isso ocorre porque as dimensões do poste e das pessoas são muito pequenas quando comparadas às dimensões do Sol e da sua distância até a Terra. Pode-se aproveitar a oportunidade para fazer considerações sobre a formação de penumbras, mostrando que, quanto mais próximo um objeto estiver do anteparo, mais nítida é a sombra projetada.

Esta atividade possibilita o desenvolvimento da habilidade **EM13CNT301**, pois promove ao estudante construir hipóteses, empregar instrumentos de medição, estimar valores e analisar os dados coletados. Além disso, a **competência geral 2** também é evidenciada nesta atividade, na medida em que o estudante deve exercitar a curiosidade intelectual e recorrer à abordagem própria das ciências, para investigar causas, elaborar e testar hipóteses, formular e resolver problemas e criar soluções.



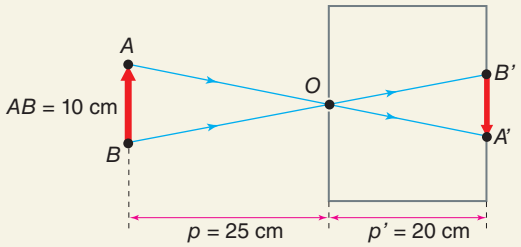
ILUSTRAÇÕES: ADILSON SECCO/ARQUIVO DA EDITORA

Cabe lembrar que as medidas de sombra devem ser feitas em um intervalo de tempo curto (poucos minutos), pois a inclinação do Sol muda, e com ela alteram-se os comprimentos das sombras. É interessante que os estudantes realizem esta proposta experimental em dois horários distintos: às 10 h e às 16 h, para que possam comparar como a inclinação da luz solar e os comprimentos das sombras se alteram ao longo do dia.

Aplicando conhecimentos

1. A estrela Sirius produz a luz que emite. É, portanto, fonte de luz primária. Já o planeta Marte e seus satélites, Fobos e Deimos, um palito de fósforo apagado e as páginas de um jornal são fontes de luz secundárias, isto é, não têm luz própria. Elas refletem a luz que recebem de outras fontes.

2. Representamos esquematicamente o objeto, a câmara e a imagem projetada.



ADILSON SECCO/ARQUIVO DA EDITORA

Da semelhança entre os triângulos *ABO* e *A'B'O*, temos:

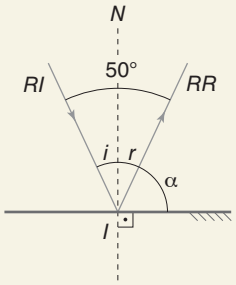
$\frac{A'B'}{AB} = \frac{p'}{p} \Rightarrow \frac{A'B'}{10} = \frac{20}{25} \therefore A'B' = 8 \text{ cm}$

Portanto, a altura da imagem projetada é 8 cm.

3. O exercício é uma aplicação imediata do que chamamos de segunda lei da reflexão: o ângulo de reflexão *r* do raio de luz é igual ao ângulo de incidência *i*. A primeira lei da reflexão estabelece que o raio incidente *RI*, o raio refletido *RR* e a reta *N*, normal à superfície refletora no ponto de incidência *I*, são coplanares, ou seja, pertencem a um mesmo plano (no caso, o plano do papel ou da tela do monitor).

Então, sendo $i + r = 50°$ e sabendo que $i = r$, temos:

$i + i = 50° \Rightarrow 2 \cdot i = 50° \Rightarrow i = 25°$

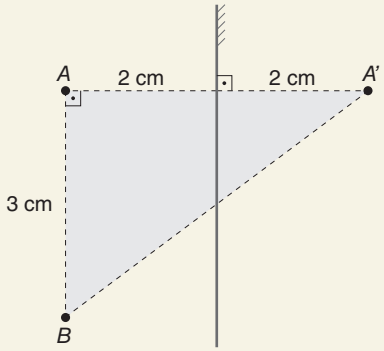


ADILSON SECCO/ARQUIVO DA EDITORA

Seja α o ângulo que o raio refletido *RR* forma com a superfície do espelho. Temos:

$r + \alpha = 90° \Rightarrow 25° + \alpha = 90° \Rightarrow \alpha = 65°$

4. Inicialmente, determinamos a imagem (*A'*) do ponto *A*, lembrando que *A* e *A'* são simétricos em relação à superfície do espelho. A figura a seguir mostra a posição do objeto *A*, de sua imagem *A'* e do ponto *B*.



ADILSON SECCO/ARQUIVO DA EDITORA

Observe que a distância *A'B* corresponde à hipotenusa do triângulo *BAA'*, retângulo em *A*, e pode ser calculada pelo teorema de Pitágoras:

$(A'B)^2 = 3^2 + 4^2 = 9 + 16 \Rightarrow$

$\Rightarrow (A'B)^2 = 25 \Rightarrow A'B = \sqrt{25} \therefore A'B = 5 \text{ cm}$

Em destaque

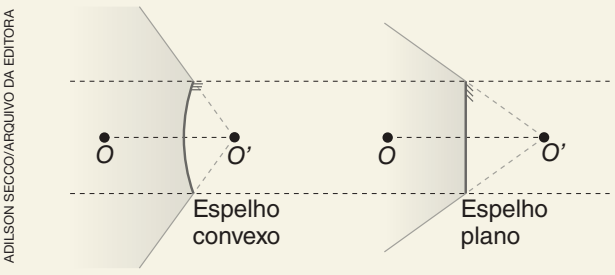
Espelhos esféricos e parabólicos

Esta atividade sobre espelhos esféricos e parabólicos tem como objetivo explorar as propriedades ópticas desses dispositivos e suas aplicações práticas, permitindo que os alunos façam conexões entre o conteúdo teórico e situações do cotidiano. Explique que os espelhos esféricos são utilizados como espelhos retrovisores em veículos e em portas de elevadores devido ao seu maior campo visual, em comparação aos espelhos planos. A atividade propõe que os alunos analisem por que o espelho convexo proporciona esse aumento no campo de visão, utilizando esquemas para ilustrar a diferença entre um espelho plano e um convexo com base na posição do olho do observador.

Além disso, os espelhos côncavos são destacados pela capacidade de formar imagens ampliadas quando o objeto está entre o foco e o vértice. Isso explica seu uso em espelhos de maquiagem e de barbear, bem como em equipamentos médicos, onde o espelho côncavo direciona a luz em exames de cavidades internas. Com base nessas explicações, incentive os alunos a construir esquemas da formação de imagens em diferentes situações, como a posição do objeto entre o foco e o centro de curvatura de um espelho côncavo, analisando se as imagens são reais ou virtuais, invertidas ou direitas, maiores ou menores em relação ao objeto.

Os espelhos parabólicos, utilizados em faróis de automóveis, são apresentados como uma solução para produzir feixes de luz paralelos ou direcionados, dependendo da posição da lâmpada em relação ao foco.

Ao realizar as tarefas propostas, como construir a imagem de um objeto em diferentes configurações de espelhos esféricos e comparar a formação de imagens em espelhos convexos e côncavos, os alunos desenvolvem a capacidade de aplicar o conhecimento teórico em situações práticas. O uso de esquemas e a análise de casos reais ou virtuais reforçam a compreensão do comportamento da luz nesses dispositivos, consolidando o aprendizado de conceitos-chave da óptica.



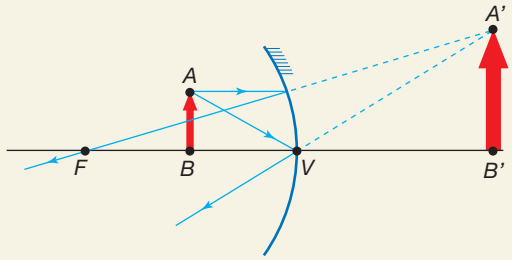
ADILSON SECCO/ARQUIVO DA EDITORA

Aplicando conhecimentos

5. Apresentamos dois conceitos primordiais, o foco principal e as regras para raios notáveis de espelhos esféricos; com esses conceitos é possível estimar as formações de imagens de espelhos esféricos. Caso julgue pertinente, realize o exercício junto com os estudantes.

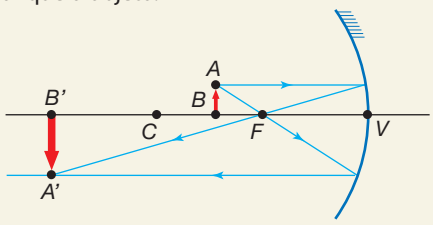
Espelho côncavo

I) objeto entre *F* e *V*: imagem formada é virtual, direita e maior que o objeto.



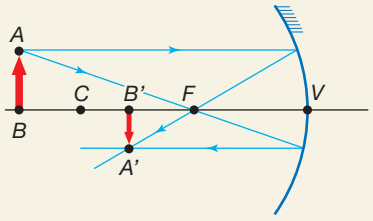
ADILSON SECCO/ARQUIVO DA EDITORA

II) objeto entre *C* e *F*: imagem formada é real, invertida e maior que o objeto.



ADILSON SECCO/ARQUIVO DA EDITORA

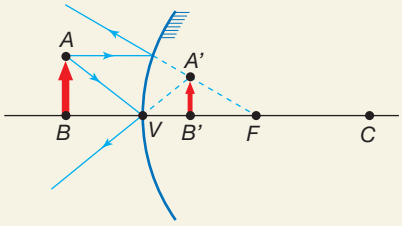
III) objeto antes de *C*: imagem formada é real, invertida e menor que o objeto.



ADILSON SECCO/ARQUIVO DA EDITORA

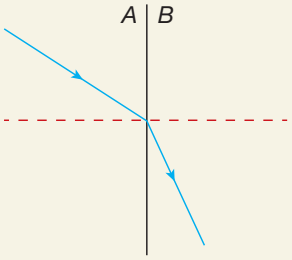
Esférico convexo

Em um espelho esférico convexo, qualquer que seja a posição do objeto colocado diante do espelho, a imagem formada é sempre virtual, direita e menor do que o objeto.



ADILSON SECCO/ARQUIVO DA EDITORA

6. Este exercício deve ser iniciado com a identificação da reta normal ao plano de separação dos meios. Nesse caso, a reta normal possui direção horizontal, enquanto o plano de interface entre os meios está disposto verticalmente, diferente dos exemplos trabalhados anteriormente. Podemos verificar, na figura a seguir, que o raio refratado possui um maior distanciamento angular da reta normal, que só pode ocorrer se o índice de refração do meio *B* for menor do que o do meio *A* e a razão entre os índices n_A e n_B é maior do que 1, descartando as demais alternativas.



ADILSON SECCO/ARQUIVO DA EDITORA

Alternativa **d**

7. Nesta questão, é necessário lembrar que, em um meio material transparente, o índice de refração é sempre maior do que 1, pois $c > v$. O enunciado considera a aproximação do índice de refração do ar para 1,0, visto que a diferença de velocidade da luz no ar e no vácuo é muito pequena. Assim sendo, uma vez que o raio passa por um bloco de vidro e muda sua direção de incidência, precisamos considerar que o índice de refração do vidro é maior do que 1,0 e o raio refratado deve diminuir sua velocidade e se aproximar da reta normal. Assim, o desvio de 15 graus representa um ângulo de 30 graus em relação à normal, ou seja, os 45 graus de incidência menos 15 graus de desvio. Usando a lei de Snell-Descartes, temos:

$n_1 \cdot \text{sen } i = n_2 \cdot \text{sen } r \Rightarrow n_2 = n_1 \cdot \frac{\text{sen } i}{\text{sen } r} \Rightarrow$

$\Rightarrow n_2 = 1{,}0 \cdot \frac{\text{sen } 45°}{\text{sen } 30°} = \sqrt{2} \therefore n_2 \cong 1{,}41$

8. a) Para haver reflexão total, a luz deve se propagar no sentido do meio mais refringente para o meio menos refringente, isto é, do meio 2, de índice de refração 2, para o meio 1, de índice de refração $\sqrt{2}$. Além disso, o ângulo de incidência deve ser maior que o ângulo limite.

b) Como vimos, pela lei de Snell-Descartes na situação de reflexão total, o seno do ângulo limite pode ser escrito como:

$\text{sen } L = \frac{n_{menor}}{n_{maior}} = \frac{\sqrt{2}}{2} \therefore L = 45°$

9. A questão explora o cálculo do ângulo-limite e as condições em que ocorre a reflexão total da luz.

a) Calculemos, inicialmente, o ângulo-limite para essa situação. Temos:

$\text{sen } L = \frac{n_{menor}}{n_{matior}} = \frac{\sqrt{3}}{2} \therefore L = 60°$

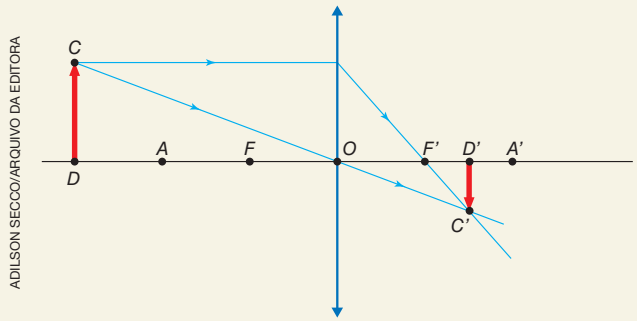
A refração ocorre, portanto, para o ângulo de incidência i no intervalo: $0 \leqslant i \leqslant 60°$

Para ângulos de incidência nesse intervalo, ocorrem refração e reflexão simultaneamente.

b) Ocorre reflexão total quando $i > L$, isto é, para $i > 60°$.

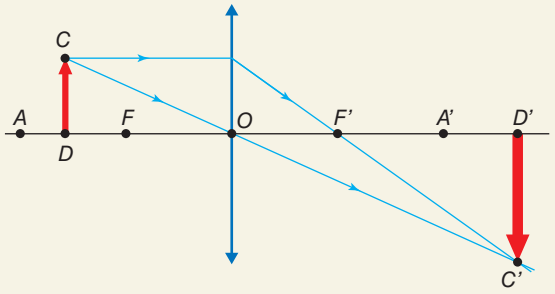
10. Considerando inicialmente a lente convergente, temos as seguintes situações:

I) Objeto antes de *A*: imagem formada é real, invertida e menor do que o objeto, como podemos ver na figura a seguir. Este tipo de imagem se obtém nas máquinas fotográficas.



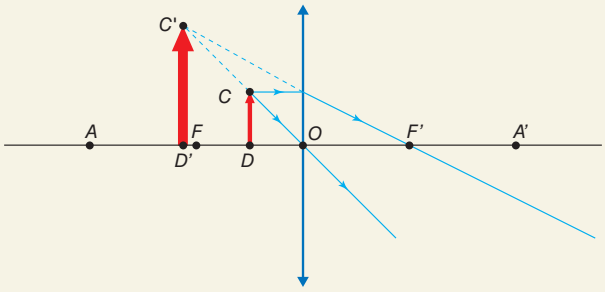
ADILSON SECCO/ARQUIVO DA EDITORA

II) Objeto entre *A* e *F*: imagem formada é real, invertida e maior do que o objeto, como podemos ver na figura a seguir. Este tipo de imagem se obtém nos projetores de cinema.



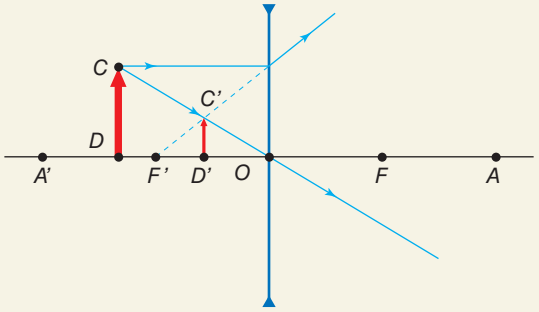
ADILSON SECCO/ARQUIVO DA EDITORA

III) Objeto entre *F* e O: imagem formada é virtual, direita e maior do que o objeto, como podemos ver na figura a seguir. Este tipo de imagem se obtém nas lentes de aumento.



ADILSON SECCO/ARQUIVO DA EDITORA

Considerando agora a lente divergente, cuja imagem é sempre virtual, direita e menor do que o objeto, podemos fazer o desenho a seguir.



ADILSON SECCO/ARQUIVO DA EDITORA

11. A questão envolve a aplicação da equação de Gauss a um espelho esférico côncavo.

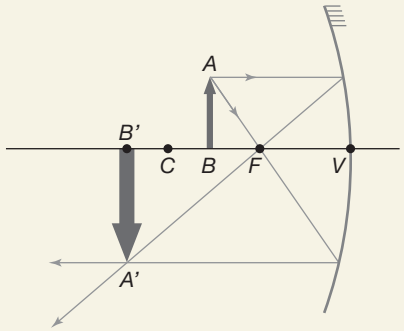
Primeiro caso: imagem real.

Sendo o objeto e a imagem reais, temos $p = 20$ cm e $p' = 60$ cm. A distância focal f é obtida a partir da equação de Gauss:

$\frac{1}{f} = \frac{1}{p} + \frac{1}{p'} \Rightarrow \frac{1}{f} = \frac{1}{20} + \frac{1}{60} \therefore f = 15 \text{ cm}$

O raio de curvatura do espelho é igual ao dobro da distância focal: $R = 2 \cdot f = 30$ cm

Concluímos que o objeto está situado entre o centro de curvatura *C* e o foco principal *F*. A imagem se forma antes do centro de curvatura e é invertida e maior que o objeto:



ADILSON SECCO/ARQUIVO DA EDITORA

Segundo caso: imagem virtual

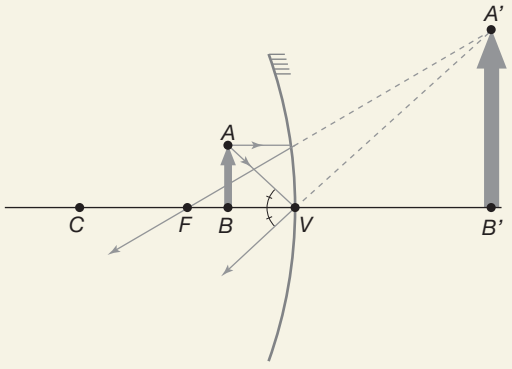
Sendo o objeto real e a imagem virtual, temos $p = 20$ cm e $p' = -60$ cm.

A distância focal *f* é obtida com a equação de Gauss:

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{p} + \frac{1}{p'} \Rightarrow \frac{1}{f} = \frac{1}{20} + \frac{1}{-60} \therefore f = 30 \text{ cm}$$

O raio de curvatura do espelho é igual ao dobro da distância focal: $R = 2 \cdot f = 60$ cm

Concluímos que o objeto está situado entre o foco principal *F* e o vértice *V* do espelho. A imagem se forma "atrás" do espelho e é direita e maior que o objeto:



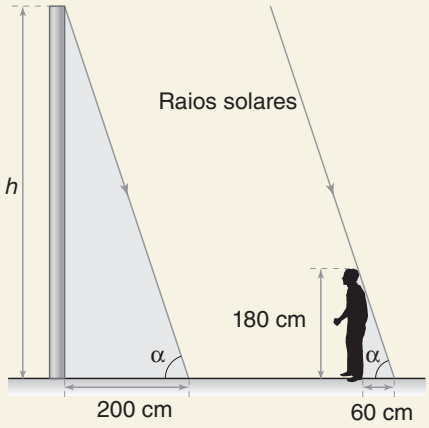
ADILSON SECCO/ARQUIVO DA EDITORA

Estratégia de estudo

Para auxiliar os estudantes no desenvolvimento da estratégia de estudo, se possível, separe um momento para que se dediquem a isso ainda em aula. Além de incentivar a adoção da estratégia proposta, essa atitude também abre a possibilidade de os estudantes compartilharem suas maneiras pessoais de desenvolvê-la. Sugira que eles conversem com colegas como fazem o levantamento de palavras-chave e a elaboração da frase de correlação. Coloque-se no papel de mediador, ouvindo suas dificuldades, incentivando a troca de informações entre eles e limitando-se a fornecer respostas apenas de cunho conceitual.

Atividades finais

1. No instante em que a sombra de uma pessoa (que tem 180 cm de altura) mede 60 cm, a sombra de um poste (que tem *h* cm de altura) mede 200 cm. A figura a seguir ilustra a formação das sombras.

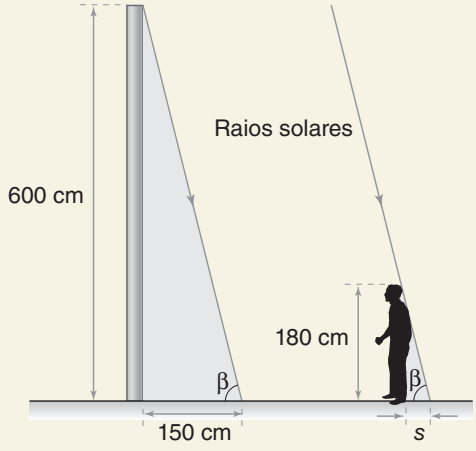


ADILSON SECCO/ARQUIVO DA EDITORA

Da semelhança de triângulos, temos:

$$\frac{h}{180} = \frac{200}{60} \therefore h = 600 \text{ cm}$$

Portanto, a altura do poste é 600 cm (sua sombra tem 200 cm). Se, mais tarde, a sombra do poste passou a medir 150 cm (pois diminuiu 50 cm), então, sendo *s* a medida da nova sombra da mesma pessoa, temos a nova figura com as sombras formadas.



ADILSON SECCO/ARQUIVO DA EDITORA

Da nova semelhança de triângulos, obtemos:

$$\frac{s}{150} = \frac{180}{600} \therefore s = 45 \text{ cm}$$

Alternativa **b**

2. As fotos apresentadas no enunciado mostram que os eclipses são parciais e, portanto, foram fotografados da região de penumbra.

Na primeira foto, o Sol está quase totalmente eclipsado e, assim, a foto foi tirada pelo observador próximo da sombra projetada (posições III ou IV). Como a parte visível do Sol está à esquerda do observador, concluímos que a foto foi obtida do ponto III.

A terceira foto foi obtida da posição II (observador mais afastado da sombra projetada). Note que a 1ª e a 3ª fotos foram tiradas de pontos situados do mesmo lado em relação à sombra projetada.

A segunda foto foi tirada da posição V, que é simétrica de II em relação à sombra projetada.

Resumindo, temos: a foto 1 foi tirada a partir da posição III, a foto 2, a partir da posição V, e, finalmente, a foto 3 a partir da posição II.

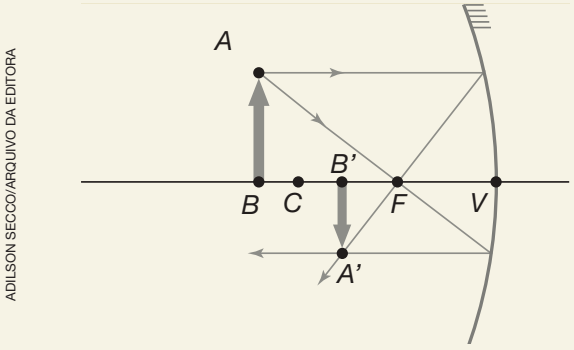
Alternativa **a**

3. Sob luz solar, o retângulo, o losango, o círculo, a faixa central e o lema apresentam-se nas cores verde, amarela, azul e branca, respectivamente. Ao ser iluminada com luz monocromática azul, a região verde parecerá negra, pois a luz azul será absorvida nessa região. Assim, o retângulo e o lema parecerão negros. O losango amarelo também absorverá a luz azul e nada refletirá, parecendo negro. O círculo central, azul, reflete o azul e, portanto, continuará azul. A faixa branca, que antes refletia todas as cores, agora refletirá apenas o azul e também parecerá azul.

4. Todo raio de luz que incide no espelho em uma direção que contém o foco principal *F* reflete paralelamente ao eixo principal.

Alternativa **c**

5. O objeto está situado antes do centro de curvatura *C*. A figura a seguir mostra as características da imagem fornecida pelo espelho côncavo.



ADILSON SECCO/ARQUIVO DA EDITORA

A imagem formada é real, invertida, menor que o objeto e está localizada entre *C* e *F*.

Alternativa **b**.

6. a) Da definição de ângulo limite, temos:

$$\text{sen } L = \frac{n_{menor}}{n_{maior}} = \frac{1}{\sqrt{2}} = \frac{\sqrt{2}}{2} \therefore L = 45°$$

b) $i = 30° < L = 45°$. Portanto, ocorre refração. Observe que a refração sempre é acompanhada de reflexão. Mas esta não é total.

c) $i = 60° > L = 45°$. Portanto, ocorre reflexão total. Observe que, nessa situação, nenhuma luz refrata.

7. O exercício explora a dispersão da luz. Deve-se lembrar aos alunos que, em determinado meio material, das ondas luminosas do espectro visível, a violeta é a que se propaga com a menor velocidade.

I. Correta. À luz vermelha, que se propaga com a maior velocidade, o prisma oferece o menor índice de refração. Portanto, ela é a que menos desvia.

II. Correta. À luz violeta, que se propaga com a menor velocidade, o prisma oferece o maior índice de refração. Portanto, ela é a que mais desvia.

III. Correta. Como vimos na afirmação I, a luz vermelha é a que apresenta o menor índice de refração.

IV. Correta. Como vimos na afirmação II, a luz violeta é a que apresenta o maior índice de refração.

Alternativa **d**

8. O exercício envolve novamente a aplicação da equação de Gauss.

São dados: $p = 15$ cm e $|f| = 10$ cm. Como o espelho utilizado é convexo, sua distância focal é negativa, ou seja, $f = -10$ cm. A distância da imagem ao espelho p', é obtida com a equação de Gauss:

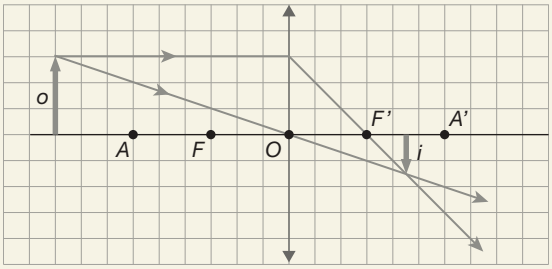
$$\frac{1}{f} = \frac{1}{p} + \frac{1}{p'} \Rightarrow \frac{1}{-10} = \frac{1}{15} + \frac{1}{p'} \therefore p' = 6,0 \text{ cm}$$

A imagem é virtual ($p' < 0$) e se forma a 6,0 cm do espelho.

Alternativa **e**

9. a) Primeiro item da série que exige a construção gráfica da imagem de um objeto real dada por uma lente convergente. Convém lembrar aos alunos que, como no caso dos espelhos esféricos, bastam dois raios luminosos para definir graficamente a imagem.

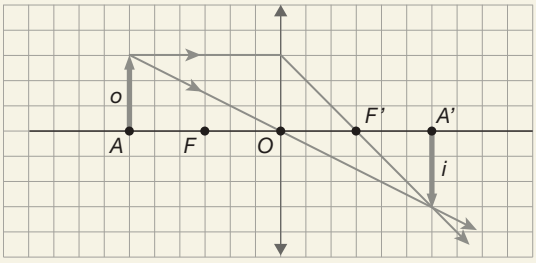
O objeto *O*, nesse caso, encontra-se antes do ponto antiprincipal *A*.



ADILSON SECCO/ARQUIVO DA EDITORA

A imagem é real, invertida e menor que o objeto.

b) O objeto, agora, encontra-se sobre o ponto antiprincipal *A* da lente convergente.

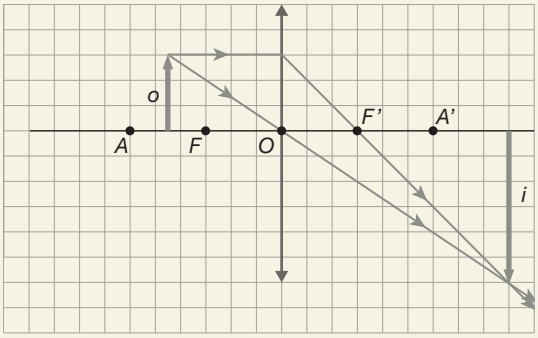


ADILSON SECCO/ARQUIVO DA EDITORA

A imagem é real, invertida e da mesma altura do objeto. Note que, para um objeto sobre o ponto antiprincipal *A*, a correspondente imagem se forma no ponto antiprincipal *A'*.

A distância entre o objeto e a imagem, nesse caso, é igual a 4 · f.

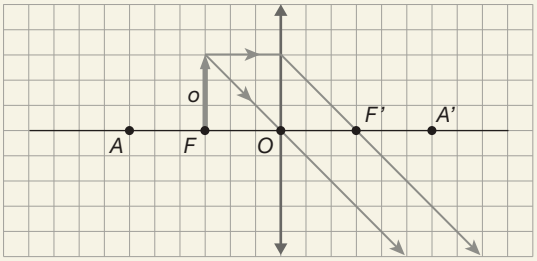
c) O objeto real, nesse caso, encontra-se entre o ponto antiprincipal *A* e o foco *F*.



ADILSON SECCO/ARQUIVO DA EDITORA

A imagem é real, invertida e maior que o objeto.

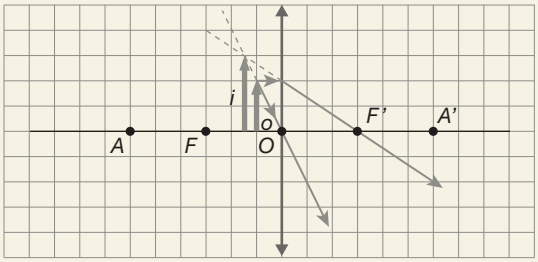
d) O objeto situa-se sobre o foco principal objeto *F* da lente convergente.



ADILSON SECCO/ARQUIVO DA EDITORA

Deve-se ressaltar aos alunos que os raios emergentes da lente são paralelos. Diz-se que a imagem se forma "no infinito" ou que a imagem é imprópria. Nesse caso, a lente não fornece imagem do objeto.

e) O objeto, nesse caso, encontra-se entre o foco principal objeto *F* e o centro óptico *O* da lente convergente.



ADILSON SECCO/ARQUIVO DA EDITORA

A imagem é virtual, direita e maior que o objeto.

10. A objetiva fornece uma imagem i_1 real e a ocular, funcionando como lupa, fornece uma imagem final i_2 virtual.

Alternativa **a**

11. O exercício explora a óptica da visão comparando o funcionamento do olho humano ao de uma máquina fotográfica.

I. Correta. O cristalino é constituído de fibras e substâncias gelatinosas transparentes, funcionando como uma lente biconvexa convergente.

II. Correta. O olho conjuga, a um objeto visado, uma imagem real, invertida e reduzida, que é projetada sobre a retina. Esta corresponde ao filme (ou sensor) de uma máquina fotográfica.

III. Correta. A regulagem da luz que entra em uma máquina fotográfica é feita por um dispositivo chamado diafragma. No olho, esse papel é desempenhado pela íris e tal mecanismo é denominado adaptação visual.

Assim, todas as afirmativas são verdadeiras.

Alternativa **e**

Referências suplementares

A dissertação "Sequência didática para o ensino de óptica para alunos com deficiência visual" apresenta o desenvolvimento de uma sequência didática voltada para a compreensão dos conceitos de reflexão, refração e dispersão da luz por estudantes com deficiência visual. A proposta inclui o uso de materiais táteis e gráficos audíveis, permitindo a participação ativa dos alunos nas atividades. Além de promover um aprendizado inclusivo, a metodologia estimula a interação e a colaboração entre os estudantes, contribuindo para uma formação integral no campo da Física. Disponível em: https://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/26911/2/ensinoopticadeficienciavisual_produto.pdf (acesso em: 21 set. 2024).

Proposta de avaliação

As atividades **1**, **7** e **8** da seção *Atividades finais* possibilitam uma avaliação abrangente da aprendizagem dos estudantes a respeito de conteúdos-chave do capítulo como a abordagem de proporções na formação de sombras, a dispersão da luz e as características da imagem formada por uma lente delgada.

Capítulo 17 Eletricidade estática

Objetivos do capítulo

- Compreender o termo carga elétrica.
- Estudar os processos de eletrização: atrito, contato e indução.
- Apresentar a lei de Coulomb.
- Conceituar campo elétrico e vetor campo elétrico.
- Conhecer as características (módulo, direção e sentido) do vetor campo elétrico no campo de uma carga elétrica puntiforme fixa e no campo de várias cargas elétricas puntiformes fixas.
- Definir linha de força e conhecer suas propriedades.

Sugestões didáticas e comentários/Por dentro da BNCC

O capítulo contempla as habilidades **EM13CNT101**, por abordar a princípio de conservação das cargas elétricas, e **EM13CNT301**, por estimular o estudante a elaborar hipóteses, previsões e estimativas sobre corpos eletrizados. Por exigir do estudante o uso de notação científica, o capítulo também favorece o desenvolvimento da habilidade **EM13MAT313** (Utilizar, quando necessário, a notação científica para expressar uma medida, compreendendo as noções de algarismos significativos e algarismos duvidosos, e reconhecendo que toda medida é inevitavelmente acompanhada de erro). O capítulo valoriza e utiliza os conhecimentos historicamente construídos sobre o mundo físico, permitindo, assim, o trabalho com a **competência geral 1**.

Durante a leitura do capítulo e das atividades propostas, adote uma abordagem dialógica, buscando evidenciar as concepções alternativas dos alunos para tornar o ensino mais significativo. Por exemplo, muitos alunos podem pensar que, ao friccionar dois objetos, um deles perde toda a carga elétrica enquanto o outro ganha toda essa carga. Pode-se dar o exemplo de um bastão de vidro e um pano de lã sendo esfregados, explicando que o processo de eletrização por fricção envolve a transferência de uma pequena quantidade de elétrons de um objeto para o outro, e não a perda ou ganho completo de cargas. Além disso, outra concepção alternativa é a ideia de que a força elétrica é linearmente proporcional à distância. Nesse caso, pode-se usar a lei de Coulomb para mostrar que a força elétrica varia com o inverso do quadrado da distância, utilizando gráficos e exemplos numéricos para clarificar a relação. Outra concepção alternativa é a de que, quando um raio atinge um carro, são os pneus, isolantes elétricos, que protegem os ocupantes do carro, quando na verdade esse é o fenômeno da blindagem eletrostática. O professor pode explicar que o que protege os ocupantes é a estrutura metálica do carro, que atua como uma gaiola de Faraday. Quando o raio atinge o carro, as cargas elétricas se distribuem pela superfície externa, sem penetrar no interior, protegendo as pessoas.

Resoluções e comentários

Atividade em grupo

Divida a turma em grupos e peça que investiguem os procedimentos adotados para evitar situações de risco com eletricidade estática. Os alunos devem pesquisar sobre medidas de segurança em diferentes contextos, como a aviação e a indústria de eletrônicos. A pesquisa pode incluir o uso de equipamentos de segurança, materiais adequados e procedimentos de manipulação.

Temas que poderão ser pesquisados:

- A geração da eletricidade estática no dia a dia. Nesse tema podem ser abordadas várias situações, como a eletrização dos cabelos quando é penteado com um pente de plástico; a eletrização de um agasalho quando é retirado do corpo em dias de baixa umidade do ar; a eletrização de uma pessoa ao caminhar em um tapete de lã.
- A razão pela qual uma pessoa, ao descer de um carro, tocando a parte metálica, pode levar um pequeno choque.
- A prevenção de incêndios em caminhões que transportam combustíveis quando estão abastecendo os postos de serviços. Será interessante entrevistar um frentista de posto e uma pessoa responsável pelo transporte.

de combustível, para obter informações sobre o procedimento adotado. Para enriquecer a discussão em sala de aula, pode-se fotografar o abastecimento de combustível.

- A eletrização dos aviões em voo por atrito com o ar atmosférico. Por que existem pequenos fios nas asas dos aviões? Pode-se mostrar fotografias para a turma ou, se possível, fazer uma visita com os alunos a um aeroclube local. Qual é o procedimento a ser seguido quando um avião é reabastecido no aeroporto?

Sugere-se que os estudantes elaborem um painel reunindo seus resultados, o qual pode ser utilizado na apresentação oral para a turma.

Esta atividade possibilita o desenvolvimento da habilidade **EM13CNT301**, ao incentivar que o estudante construa questões, elabore hipóteses, previsões e estimativas para construir, avaliar e justificar conclusões no enfrentamento de situações-problema sob uma perspectiva científica. A habilidade **EM13CNT302** é desenvolvida na medida em que incentiva a comunicação de resultados de análises, pesquisas e/ou experimentos, por meio de diferentes linguagens. Ao aplicarem os conhecimentos das Ciências da Natureza para justificar o uso de equipamentos e comportamentos de segurança, visando à integridade física, é desenvolvida a habilidade **EM13CNT306**. Também permite analisar as propriedades dos materiais para avaliar a adequação de seu uso em diferentes aplicações e propor soluções seguras e sustentáveis, atendendo à habilidade **EM13CNT307**. A **competência geral 4** também é desenvolvida, ao utilizar diferentes linguagens para se expressar, partilhar informações e para a compreensão e produção de textos e discursos.

Aplicando conhecimentos

1. Entre as esferas *A* e *B* ocorre repulsão, logo, elas estão eletrizadas com cargas elétricas de mesmo sinal. Entre as esferas *B* e *C* ocorre atração, logo, elas estão eletrizadas com cargas elétricas de sinais opostos.

Portanto, estando *A* e *B* com cargas elétricas de mesmo sinal, concluímos que *A* e *C* estão eletrizadas com cargas elétricas de sinais opostos. Entre *A* e *C* tem-se atração.

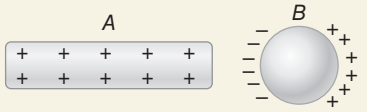
Alternativa **c**

2. O pente e os cabelos de Eneida eletrizam-se por atrito com cargas elétricas de sinais opostos. Se o pente se eletrizar negativamente, os cabelos se eletrizam positivamente. Assim, os cabelos eletrizados se repelem. Analogamente, o escorregador e a Dani se eletrizam por atrito, com cargas elétricas de sinais opostos. Desse modo, os cabelos eletrizados de Dani se repelem.

Alternativa **a**

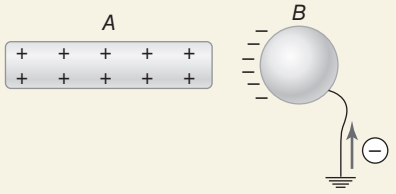
3. A cada contato, a carga elétrica total das esferas que se tocam permanece constante. Assim, após o primeiro contato, entre as esferas *A* e *B*, cada uma delas terá carga elétrica igual a $+ 2\,Q$. Após o segundo contato, entre as esferas *B* e *C*, com cargas, respectivamente, iguais a $+2\,Q$ e $-2\,Q$, ambas as esferas se neutralizam. Portanto, após os contatos, as esferas *A*, *B* e *C* terão cargas, respectivamente, iguais a $+2\,Q$, zero e zero.

4. a) Ocorre o fenômeno da indução eletrostática.



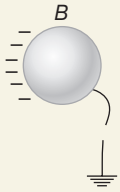
(Representação fora de proporção)

b) (1) Liga-se o condutor *B* à Terra.



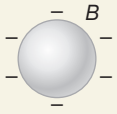
(Representação fora de proporção)

(2) Desfaz-se a ligação de *B* com a Terra.



(Representação fora de proporção)

(3) Separa-se a barra *A* do condutor *B*.



(Representação fora de proporção)

c) O condutor *B* se eletriza negativamente, isto é, com carga elétrica de sinal contrário ao de *A*.

5. Como as cargas têm sinais opostos, elas se atraem. Pela lei de Coulomb, com $|q_1| = 2{,}5\ \mu C = 2{,}5 \cdot 10^{-6}\ C$, $|q_2| = 5{,}5\ \mu C = 5{,}5 \cdot 10^{-6}\ C$ e $d = 25\ cm = 2{,}5 \cdot 10^{-1}\ m$, temos:

$$F = K \cdot \frac{|Q_1| \cdot |Q_2|}{d^2} \Rightarrow F = 9 \cdot 10^9 \cdot \frac{2,5 \cdot 10^{-6} \cdot 5,5 \cdot 10^{-6}}{(2,5 \cdot 10^{-1})^2}$$

$\therefore F = 1{,}98\ N$

6. a) Após o contato, cada uma das esferas ficará com metade da carga elétrica total do sistema. Portanto, cada esfera ficará com carga q e, pelo princípio da atração e repulsão, por terem cargas elétricas de mesmo sinal, elas passam a se repelir mutuamente.

b) A distância entre as cargas é a mesma, antes e depois do contato. Assim, a intensidade da força elétrica irá depender apenas do produto dos módulos das cargas. De acordo com a lei de Coulomb, a intensidade da força elétrica é diretamente proporcional ao produto dos módulos das cargas. Na situação inicial, tal produto é igual a $15 \cdot q^2$ e, após o contato entre elas, o produto é q^2. Assim, como o produto dos módulos das cargas diminuiu 15 vezes, o mesmo ocorrerá com a intensidade da força. Portanto, após o contato, a nova força de interação elétrica terá intensidade igual a $\frac{F}{15}$.

ILUSTRAÇÕES: ADILSON SECCO/ARQUIVO DA EDITORA

Dialogando com o texto

Se houver acesso à internet, use o simulador interativo disponível no endereço https://phet.colorado.edu/sims/html/charges-and-fields/latest/charges-and-fields_all.html?locale=pt_BR (acesso em: 2 jul. 2024) para oferecer uma oportunidade dos alunos visualizarem e explorarem de maneira prática e interativa os fenômenos associados aos campos elétricos.

Ao iniciar a exploração do simulador, é importante que os estudantes reconheçam os botões de como adicionar cargas elétricas positivas e negativas, como utilizar o medidor de campo elétrico e como visualizar as linhas de campo geradas pelas cargas. Isso ajudará os alunos a se familiarizarem com as ferramentas do simulador antes de iniciar a atividade principal.

Inicie a atividade adicionando uma carga elétrica positiva. Peça aos alunos que observem atentamente as linhas de campo elétrico ao redor da carga e que desenhem no papel como essas linhas se comportam. Esse exercício de desenho é essencial, pois ajuda os alunos a internalizarem a visualização das linhas de campo, facilitando a compreensão dos padrões de campo elétrico.

Utilizando o medidor de campo elétrico, os alunos devem medir a intensidade do campo em diferentes pontos ao redor da carga positiva isolada. Instrua-os a registrar os valores medidos com a distância da carga. Este procedimento não só reforça a compreensão dos alunos sobre a variação da intensidade do campo com a distância, mas também desenvolve suas habilidades de coleta e análise de dados experimentais. Repita o mesmo processo com uma carga negativa. Esta repetição permite que os alunos comparem e contrastem os campos elétricos gerados por cargas de sinais opostos, reforçando a ideia de que cargas positivas e negativas criam campos com sentidos opostos.

Para aprofundar a investigação sobre a interação entre cargas, peça aos alunos que coloquem uma carga positiva e uma carga negativa próximas uma da outra. Eles devem observar, descrever e desenhar como as linhas de campo elétrico se comportam entre essas cargas. Esta etapa é crucial para que os alunos entendam o conceito de atração entre cargas opostas e como isso se reflete nas linhas de campo.

Por fim, instrua os alunos a moverem uma das cargas e observarem as mudanças nas linhas de campo. Peça que registrem suas observações sobre como a posição das cargas afeta o campo elétrico resultante. Este exercício ajuda a solidificar a compreensão de que a configuração espacial das cargas influencia significativamente o campo elétrico ao redor delas.

Estimule-os a fazer conexões entre a teoria aprendida em sala de aula e os fenômenos observados no simulador. Por exemplo, você pode perguntar: "O que acontece com a intensidade do campo elétrico quando a distância da carga aumenta?" ou "Como as linhas de campo nos ajudam a entender a força entre duas cargas?"

Atividade em grupo

Esta atividade possibilita o desenvolvimento da habilidade **EM13LGG704** ao apropriar-se criticamente de processos de pesquisa e busca de informação. A habilidade **EM13CNT306** é desenvolvida quando os alunos utilizam os conhecimentos de Ciências da Natureza para justificar o uso de equipamentos e práticas de segurança, garantindo a preservação da integridade física. Além disso, ao analisarem as propriedades dos materiais, os estudantes podem avaliar sua adequação para diferentes finalidades e propor soluções que sejam seguras e sustentáveis, o que está alinhado com a habilidade **EM13CNT307**. Por estimular processos de pesquisa e busca de informações, esta atividade é propícia para o desenvolvimento da habilidade **EM13LGG704** (Apropriar-se criticamente de processos de pesquisa e busca de informação, por meio de ferramentas e dos novos formatos de produção e distribuição do conhecimento na cultura de rede).

Durante a atividade, oriente os alunos a consultarem fontes confiáveis, como livros, artigos científicos ou *sites* especializados, e garantir que eles compreendam o princípio físico por trás da blindagem eletrostática.

Se julgar apropriado, altere a organização da sala para tornar a atividade mais dinâmica e colaborativa. Por exemplo, reorganize as carteiras em grupos pequenos ou em formato de círculo para facilitar a interação entre os alunos durante a pesquisa e a discussão. Outra sugestão é formar uma roda de conversa para que, após a pesquisa, os alunos compartilhem suas descobertas com a turma, possibilitando uma troca de ideias mais aberta.

Durante a apresentação dos resultados, estimule a troca de ideias entre os grupos, fazendo perguntas que incentivem a reflexão, como "Por que o campo elétrico no interior do carro é nulo?" ou "Quais outras aplicações práticas da blindagem eletrostática vocês conhecem?". Isso ajudará a consolidar o entendimento e promover uma discussão crítica.

Aplicando conhecimentos

7. Como a força elétrica é vertical, concluímos que o campo elétrico também é vertical, pois a força elétrica e o campo elétrico sempre têm mesma direção. Como a carga q é negativa, concluímos que o campo elétrico tem sentido oposto ao da força elétrica. Portanto, o campo elétrico é vertical e orientado para baixo.

Para a determinação do módulo desse campo, temos:

$$E = \frac{F}{|q|} \Rightarrow E = \frac{6 \cdot 10^{-1}}{2 \cdot 10^{-6}} \therefore E = 3 \cdot 10^{5} \text{ N/C}$$

8. Para a primeira carga, Q, temos: $E = K \cdot \frac{|Q|}{d^2}$. Seja E' o campo gerado pela carga $3Q$, então:

$$E' = K \cdot \frac{|3Q|}{\left(\frac{d}{2}\right)^2} \Rightarrow E' = 3 \cdot K \cdot \frac{|Q|}{\frac{d^2}{4}} \therefore E' = 12E$$

Atividades finais

1. Ao dizer que o corpo está eletrizado positivamente, entende-se que ele está com falta de elétrons ou que apresenta quantidade de carga elétrica positiva, pois nele passa a predominar a carga dos prótons.

2. a) Na eletrização por atrito, os corpos se eletrizam com cargas de sinais opostos. Portanto, se a seda se eletrizou positivamente, então a régua de plástico se eletrizou negativamente.

b) A esfera neutra, devido à indução eletrostática, será atraída pela régua de plástico. Na região da esfera mais afastada da régua, haverá uma concentração de elétrons e a região eletriza-se negativamente; a região oposta eletriza-se positivamente.

c) Após o contato, a esfera eletriza-se negativamente, pois recebe elétrons da régua de plástico. Por isso, a esfera e a régua se repelem mutuamente.

3. A força trocada entre as cargas Q_1 e Q_2 é dada pela aplicação da lei de Coulomb: $F = K \cdot \frac{|Q_1| \cdot |Q_2|}{d^2}$

a) Quando a distância entre as cargas dobrar teremos:

$$F' = K \cdot \frac{|Q_1| \cdot |Q_2|}{(2d)^2} \Rightarrow F' = K \cdot \frac{|Q_1| \cdot |Q_2|}{4 \cdot d^2} \Rightarrow F' = \frac{F}{4}$$

A nova força F' será quatro vezes menor que a força F inicial.

b) Quando a distância entre as cargas triplicar teremos:

$$F' = K \cdot \frac{|Q_1| \cdot |Q_2|}{(3d)^2} \Rightarrow F' = K \cdot \frac{|Q_1| \cdot |Q_2|}{9 \cdot d^2} \Rightarrow F' = \frac{F}{9}$$

A nova força F' será nove vezes menor que a força F inicial.

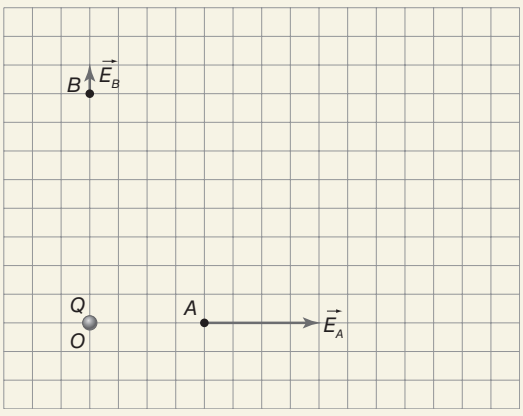
c) Quando a distância entre as cargas for metade da inicial teremos:

$$F' = K \cdot \frac{|Q_1| \cdot |Q_2|}{\left(\frac{d}{2}\right)^2} \Rightarrow F' = K \cdot \frac{|Q_1| \cdot |Q_2|}{\frac{d^2}{4}} \Rightarrow F' = 4 \cdot F$$

A nova força F' será quatro vezes maior que a força F inicial.

4. a) O vetor campo elétrico E_A é de afastamento. Logo, o sinal da carga elétrica Q é positivo.

b)



ADILSON SECCO/ARQUIVO DA EDITORA

c) Sendo $d_B = 2d_A$, resulta:

$$E_B = \frac{E_A}{4} \therefore E_B = 1,0 \cdot 10^5 \text{ N/C}$$

d) $F_A = |q| \cdot E_A \Rightarrow F_A = 1,0 \cdot 10^{-6} \cdot 4,0 \cdot 10^5 \therefore F_A = 0,4 \text{ N}$

e) Sendo $q > 0$, concluímos que o sentido de $\vec{F}_A$ é o mesmo de $\vec{E}_A$.

5. É interessante recordar com os estudantes que, no interior de um condutor metálico, o campo elétrico é nulo. Portanto, o telefone celular mantido no interior da caixa metálica não poderá receber ligações, visto que as micro-ondas usadas na transmissão dos sinais de telefonia celular são ondas eletromagnéticas.

Alternativa **b**

Referências suplementares

A dissertação de mestrado sugerida apresenta uma série de roteiros de atividades experimentais voltadas para o ensino de eletrostática e eletromagnetismo, com foco na prática educativa de baixo custo. Cada seção inclui uma fundamentação teórica, seguida por atividades experimentais que podem ser realizadas em sala de aula, como o pêndulo eletrostático, os processos de eletrização e a máquina de choques caseira. Essas atividades podem complementar as atividades propostas neste capítulo, possibilitando ilustrar os conteúdos trabalhados no capítulo com exemplos práticos.

OLIVEIRA, H. S. S. **Propostas de roteiros de atividades experimentais de eletrostática e eletromagnetismo de baixo custo para o ensino médio**. 2023. Dissertação (Mestrado em Ensino de Física) — Universidade Federal do Acre, Acre, 2023. Orientador: Dr. Jorge Luis López Aguilar. Disponível em: http://www2.ufac.br/mnpef/menu/produtos-educacionais/hemila-produtor-educacional.pdf (acesso em: 22 de set. 2024).

Proposta de avaliação

As atividades **2**, **4** e **5** da seção *Atividades finais* possibilitam uma avaliação abrangente da aprendizagem dos estudantes a respeito de conteúdos-chave do capítulo.

Capítulo 18 Corrente elétrica e circuitos elétricos

Objetivos do capítulo

- Entender os fenômenos que ocorrem devido ao movimento ordenado de cargas elétricas.
- Conceituar tensão e potência elétrica.
- Analisar as partes que compõem uma lâmpada elétrica incandescente.
- Apresentar as associações em série e paralelo de lâmpadas.

Sugestões didáticas e comentários/ Por dentro da BNCC

O conteúdo do capítulo permite o desenvolvimento das habilidades **EM13CNT107**, ao realizar previsões qualitativas e quantitativas sobre o funcionamento de geradores, com base na análise dos processos de transformação e condução de energia envolvidos, e **EM13CNT308**, ao investigar e analisar o funcionamento de equipamentos elétricos e/ou eletrônicos. Além disso, evidencia a habilidade **EM13MAT101** (Interpretar criticamente situações econômicas, sociais e fatos relativos às Ciências da Natureza que envolvam a variação de grandezas, pela análise dos gráficos das funções representadas e das taxas de variação, com ou sem apoio de tecnologias digitais.), ao interpretar criticamente fatos relativos às Ciências da Natureza que envolvam a variação de grandezas, pela análise dos gráficos das funções representadas e das taxas de variação.

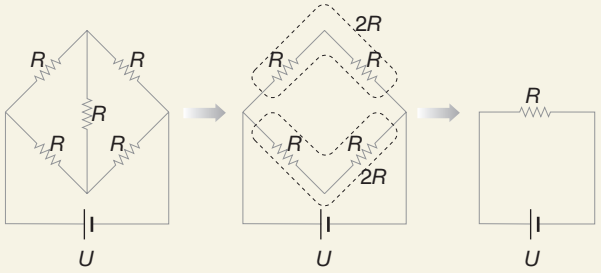
Durante a leitura do capítulo adote uma abordagem dialógica, considerando o conhecimento prévio dos estudantes e suas concepções alternativas sobre circuitos elétricos. Alguns exemplos de concepções alternativas comumente externalizadas pelos estudantes são: a corrente elétrica é gerada pela fonte e vai se desgastando conforme percorre o circuito, reduzindo sua intensidade ao passar por dispositivos como lâmpadas e resistores; a corrente elétrica flui simultaneamente de ambos os polos da fonte e é utilizada ao se encontrar com os componentes do circuito; a corrente elétrica é vista como uma característica exclusiva da fonte, sem depender dos outros elementos conectados no circuito.

Para trabalhar com essas concepções alternativas, utilize perguntas orientadoras e debates coletivos que incentivem os estudantes a refletirem sobre seus próprios entendimentos. Por exemplo, ao discutir o conceito de corrente elétrica, peça aos estudantes que expliquem como acreditam que a corrente se comporta em um circuito fechado. A partir dessas respostas, guie uma análise crítica das explicações dadas, utilizando analogias e representações visuais, como diagramas de circuitos, para esclarecer como a corrente realmente se comporta. Além disso, explore cenários hipotéticos, como perguntar o que aconteceria se a corrente se gastasse completamente após um componente, incentivando os estudantes a questionarem suas próprias concepções e a desenvolverem uma compreensão mais científica. Por fim, crie situações-problema em que os estudantes devem aplicar os conceitos corretos, permitindo que confrontem e corrijam suas concepções à medida que resolvem os desafios.

Atividade extra

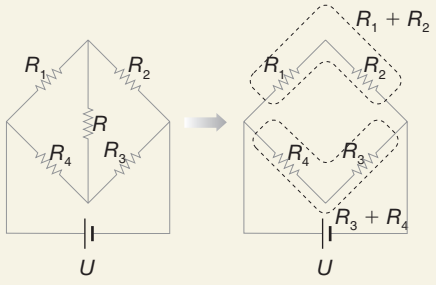
Uma atividade experimental que pode ser proposta aos estudantes é a construção de uma ponte de Wheatstone. Para isso, deve-se dispor de cinco soquetes, cinco lâmpadas de lanterna de 1,5 V cada, duas pilhas comuns de 1,5 V, um porta-pilhas e fios de cobre de ligação. Na ilustração a seguir as lâmpadas são representadas pelas resistências elétricas (R).

A finalidade é observar que, das cinco lâmpadas, quatro apresentam brilho normal e uma não acende. Esta pode ser retirada do circuito e, para efeito de cálculos, é como se não existisse. Por isso, para determinar a resistência equivalente de uma ponte de Wheatstone constituída de resistores iguais, procede-se da maneira esquematizada a seguir



ADILSON SECCO/ARQUIVO DA EDITORA

O mesmo procedimento pode ser feito quando os produtos das resistências, situadas em lados opostos, forem iguais. Assim, no caso a seguir, sendo $R_1 . R_3 = R_2 . R_4$, o resistor de resistência R pode ser retirado. Desse modo, os resistores de resistência R_1 e R_2 ficam em série, o mesmo ocorrendo com os resistores de resistências R_3 e R_4.



ADILSON SECCO/ARQUIVO DA EDITORA

Esta Atividade extra permite o desenvolvimento da habilidade **EM13CNT308**, ao investigar e analisar o funcionamento de equipamentos elétricos e/ou eletrônicos.

Resoluções e comentários

Aplicando conhecimentos

1. Exercício conceitual sobre a corrente elétrica em condutores metálicos. Convém salientar que corrente elétrica é o nome dado a qualquer movimentação ordenada de cargas elétricas. No caso de um condutor metálico, a corrente elétrica deve-se à movimentação ordenada de elétrons livres, em sentido oposto ao sentido convencional da corrente.

Alternativa **c**.

2. A quantidade de carga que passa pela seção transversal do fio pode ser calculada pela expressão $\Delta Q = n \cdot e$, em que $n = 6{,}0 \cdot 10^{10}$ é o número de partículas elementares e $e = 1{,}6 \cdot 10^{-19}$ C é a carga elétrica de cada uma delas.

Substituindo, obtemos:

$\Delta Q = \text{n} \cdot \text{e} \Rightarrow \Delta Q = 6{,}0 \cdot 10^{10} \cdot 1{,}6 \cdot 10^{-19}$

$\therefore \Delta Q = = 9{,}6 \cdot 10^{-9}$ C

Como essa passagem de corrente elétrica ocorre no intervalo de tempo $\Delta t = 1$ s, a intensidade de corrente vale:

$i = \frac{\Delta Q}{\Delta T} \Rightarrow i = \frac{9,6 \cdot 10^{-9}}{1} \therefore i = 9{,}6 \cdot 10^{-9}$ A $= 9{,}6$ nA

Em destaque

Nova espécie de peixe-elétrico

Os peixes elétricos, como o poraquê, possuem órgãos elétricos especializados para produzir descargas elétricas. Esses órgãos contêm células chamadas eletrócitos, que funcionam como pequenas baterias biológicas. No poraquê, há três órgãos elétricos principais: o órgão de Sachs, o órgão principal e o órgão de Hunter. Os eletrócitos, derivados de tecido muscular, geram eletricidade através de diferenças na concentração de íons, como sódio e potássio. Quando o peixe decide emitir uma descarga, um sinal nervoso provoca a abertura dos canais de íons nos eletrócitos, permitindo a passagem rápida de íons e gerando uma corrente elétrica. A soma das tensões produzidas por muitos eletrócitos em série resulta em uma descarga poderosa, usada para defesa e caça.

A atividade proposta visa aprofundar o conhecimento dos estudantes sobre os peixes elétricos, especialmente o poraquê, e a produção de descargas elétricas. Além disso, promove a leitura de reportagens científicas, incentivando a pesquisa e a análise crítica.

Essa atividade pode ser enriquecida pela colaboração com o professor de biologia. Enquanto o foco da física está na compreensão dos mecanismos elétricos, o professor de biologia pode fornecer *insights* sobre a anatomia e fisiologia dos peixes elétricos, abordando aspectos como a estrutura e a função dos órgãos elétricos, a evolução adaptativa desses órgãos em diferentes espécies, e a ecologia e comportamento dos peixes elétricos no seu habitat natural. Essa abordagem interdisciplinar não só facilita a compreensão dos conceitos envolvidos, mas também demonstra a interconexão entre as ciências naturais, oferecendo uma visão mais holística do fenômeno estudado.

Incentivar os estudantes a lerem reportagens científicas tem vários benefícios. Primeiramente, mantém os estudantes informados sobre descobertas recentes e avanços científicos. Em segundo lugar, promove a análise crítica e a capacidade de distinguir entre fontes confiáveis e não confiáveis. Além disso, desperta o interesse por áreas específicas da Ciência que podem ser exploradas em profundidade e mostra como a Ciência é aplicada para resolver problemas e responder a perguntas importantes sobre o mundo natural.

A estrutura da atividade pode começar com a leitura do texto da reportagem pelos estudantes. Incentive uma leitura atenta, destacando pontos importantes como a voltagem emitida pelo peixe elétrico e a homenagem a Alessandro Volta. Em seguida, promova uma discussão inicial para verificar a compreensão do texto e aborde a importância das colaborações institucionais mencionadas.

Essa atividade não apenas enriquece o conhecimento dos estudantes sobre um tema científico, mas também os envolve em um processo de aprendizagem ativa e interdisciplinar, fortalecendo suas habilidades de pesquisa e análise crítica.

Dialogando com o texto

A atividade tem como objetivo aprofundar o conhecimento dos estudantes sobre as características e diferenças entre lâmpadas LED e fluorescentes. Além disso, visa promover a compreensão do impacto ambiental dessas tecnologias e a importância das políticas públicas na promoção da eficiência energética e sustentabilidade. Os estudantes deverão realizar uma pesquisa detalhada sobre as características das lâmpadas LED (diodo emissor de luz) e das lâmpadas fluorescentes. A pesquisa deve incluir o consumo de energia, medido em watts, comparando a quantidade de energia consumida por cada tipo de lâmpada; a vida útil, analisando a durabilidade das lâmpadas em termos de horas de uso; a eficiência luminosa, medida em lumens por watt, que indica a quantidade de luz emitida por unidade de energia consumida; e o impacto ambiental, considerando o processo de fabricação, o descarte e a presença de materiais tóxicos, como o mercúrio nas lâmpadas fluorescentes.

A tabela a seguir resume as principais diferenças entre as lâmpadas incandescentes, fluorescentes e LEDs, destacando o menor consumo de energia e a maior vida útil das LEDs, além de sua maior eficiência luminosa.

Informe aos estudantes que as lâmpadas LED possuem um impacto ambiental reduzido, pois não contêm mercúrio e geram menos resíduos devido à sua longa vida útil. Em contraste, as lâmpadas fluorescentes apresentam um impacto ambiental moderado, pois contêm mercúrio e precisam ser descartadas com mais frequência, resultando em maior volume de resíduos.

Após a pesquisa, os estudantes devem discutir em grupo como a substituição de lâmpadas fluorescentes por LEDs contribui para a redução do consumo de energia e para a preservação ambiental. É importante que eles reflitam sobre a eficiência energética dos LEDs, que consomem menos energia e têm uma vida útil mais longa, resultando em menos resíduos e menor demanda por recursos naturais. Além disso, a discussão deve abordar a importância de políticas públicas, como a Lei nº 13.280, que promove a substituição de lâmpadas menos eficientes por tecnologias mais sustentáveis. Essa legislação não só incentiva a economia de energia, mas também reduz o impacto ambiental. A atividade ajuda os estudantes a entenderem a relevância das escolhas tecnológicas sustentáveis e o papel das políticas governamentais na promoção de um futuro mais ecológico e eficiente.

Esta atividade possibilita o desenvolvimento da habilidade **EM13CNT301**, ao incentivar que o estudante construa atividades, elabore hipóteses, previsões e estimativas para construir, avaliar e justificar conclusões no enfrentamento de situações.

Aplicando conhecimentos

3. Para calcular a resistência elétrica de um fio, usamos a fórmula da segunda lei de Ohm para resistores em função das dimensões do condutor:

$R = \rho \cdot \frac{L}{A} \Rightarrow R = 1{,}72 \cdot 10^{-2} \cdot \frac{100}{0{,}4} \therefore R = 4{,}3\ \Omega$

4. Como os fios são do mesmo material, a resistividade ρ é a mesma para os dois fios. Além disso, o raio da seção transversal do fio 2 é o dobro do fio 1, ou seja, $r_2 = 2 \cdot r_1$

Para o fio 1, temos:

$R = \rho \cdot \frac{L}{\pi \cdot r_1^2}$

Para o fio 2, temos:

$R_2 = \rho \cdot \frac{L}{\pi \cdot r_2^2} \Rightarrow R_2 = \rho \cdot \frac{L}{\pi \cdot (2 \cdot r_1)^2} \Rightarrow R_2 = \frac{1}{4} \cdot \rho \cdot \frac{L}{\pi \cdot r_1^2} \Rightarrow$

$\Rightarrow R_2 = \frac{1}{4} \cdot R \Rightarrow R_2 = \frac{R}{4}$

5. O exercício permite comparar o tempo de funcionamento de uma lâmpada e de um chuveiro elétrico que consomem a mesma energia elétrica.

$(E_{el})_{lâmpada} = (E_{el})_{chuveiro} \Rightarrow (P \cdot \Delta t)_{lâmpada} = (P \cdot \Delta t)_{chuveiro} \Rightarrow$

$\Rightarrow 60 \cdot \Delta t = 5.400 \cdot 20 \therefore \Delta t = 1.800$ minutos $= 30$ h

6. a) Com a chave seletora na posição "VERÃO", a potência do chuveiro é de 2.200 W. Então:

$P = U \cdot i \Rightarrow 2.200 = 220 \cdot i \therefore i = 10$ A

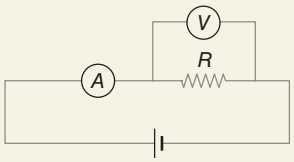
b) Com a chave seletora na posição "INVERNO", a potência do chuveiro passa a ser de 4.400 W ou 4,4 kW. Assim, em um banho de meia hora, a energia elétrica consumida será:

$E_{el} = P \cdot \Delta t \Rightarrow E_{el} = 4,4 \cdot 0,5 \therefore E_{el} = 2,2$ kWh

Como a energia elétrica custa R$ 0,40/kWh, concluímos que o custo de um banho de meia hora, com a chave na posição "INVERNO", é de R$ 0,88 (R$ 0,40/kWh · 2,2 kWh).

7. a) O amperímetro deve ser ligado em série com o resistor, pois, para medir a intensidade da corrente elétrica que passa pelo resistor, ele deve ser atravessado pela mesma corrente que atravessa o resistor. O voltímetro deve ser ligado em paralelo, pois deve estar submetido à mesma ddp que o resistor.

ADILSON SECCO/ ARQUIVO DA EDITORA



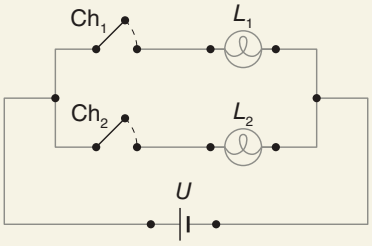
b) O amperímetro ideal tem resistência elétrica nula e o voltímetro ideal tem resistência elétrica infinitamente grande.

c) A partir da primeira lei de ohm, temos:

$U = R \cdot i \Rightarrow 12 = R \cdot 4 \therefore R = 3\ \Omega$

8. O sistema circulatório de uma pessoa é constituído pelo coração (análogo à fonte de tensão do circuito), que bombeia sangue (análogo à corrente elétrica, um fluxo ordenado de cargas elétricas) através das veias e artérias (análogos aos fios de ligação). Nessa analogia, o calibre das veias e artérias determina a quantidade de sangue que fluirá por elas (análogo à resistência elétrica dos elementos dos circuitos).

9. Temos a seguinte representação:



ADILSON SECCO/ARQUIVO DA EDITORA

Observe que a chave que controla a lâmpada deve estar ligada em série com a respectiva lâmpada.

10. Podemos determinar a resistência elétrica de R_1 com a primeira lei de Ohm:

$U = R \cdot i \Rightarrow 12 = R_1 \cdot 3 \therefore R_1 = 4\ \Omega$

Para a associação em série de R_1 e R_2, novamente usando a primeira lei de Ohm, obtemos:

$U = R \cdot i \Rightarrow 12 = (4 + R_2) \cdot 2 \Rightarrow 6 = 4 + R_2 \therefore R_2 = 2\ \Omega$

11. a) Como na **associação em série** a corrente elétrica será a mesma para as duas lâmpadas, brilhará mais a lâmpada que tiver a maior resistência elétrica, pois $P = R \cdot i^2$. Portanto, a lâmpada L_2 brilha mais intensamente que L_1, pois $R_2 > R_1$.

b) Na **associação em paralelo**, a ddp U será a mesma para as duas lâmpadas e brilhará mais a lâmpada que tiver a menor resistência elétrica, pois $P = \frac{U^2}{R}$. Assim, L_1 brilha mais intensamente que L_2, pois $R_1 < R_2$.

Estratégia de estudo

Reforce com os estudantes que o mapa conceitual pode ser montado de diferentes maneiras e que não há uma única forma correta de fazê-lo. Caso seja possível, escolha um tópico do capítulo e incentive-os a montar o mapa conceitual referente a ele, ainda em sala de aula. Peça que façam isso individualmente e depois encoraje-os a compartilharem seus mapas uns com os outros para que percebam a diversidade de possibilidades de organização de um mesmo assunto.

Uma dificuldade que pode surgir na montagem do mapa é a determinação da relação de causa e efeito entre palavras-chave, o que interfere na organização e na hierarquia entre as palavras. Converse com os estudantes sobre isso, dando um exemplo do assunto do capítulo, por exemplo: a aplicação de uma diferença de potencial (voltagem) em um circuito elétrico fechado causa o movimento ordenado de elétrons, o que resulta em uma corrente elétrica. Essa é uma dificuldade que pode ser resolvida a partir de esclarecimentos conceituais, portanto, coloque-se a disposição dos estudantes para tratar de dúvidas desse tipo.

Atividades finais

1. Aplicação simples e imediata da definição de intensidade da corrente elétrica. Deve-se atentar para as unidades de medidas utilizadas. A carga $\Delta Q = 6,0 \cdot 10^{-6}$ C que passa pela seção reta do fio em $\Delta t = 3,0$ ms $= 3,0 \cdot 10^{-3}$ s determina uma corrente elétrica de intensidade dada por:

$i = \frac{\Delta Q}{\Delta t} \Rightarrow i = \frac{6{,}0 \cdot 10^{-6}}{3{,}0 \cdot 10^{-3}} \therefore i = 2{,}0 \cdot 10^{-3}\ \text{A} = 2{,}0\ \text{mA}$

Alternativa **b**

2. Acender uma lâmpada de 120 V usando uma tomada de 127 V tem como resultado maior potência (65 W), maior luminosidade (920 lúmens) e menor durabilidade (452 h).

Alternativa **d**

3. Para esta bateria, temos: $\varepsilon = 12$ V e $r = 0{,}5\ \Omega$. Então, de $U = \varepsilon - r \cdot i$, vem: $U = 12 - 0{,}5 \cdot i$ (com U em volt e i em ampere)

a) Para $i = 4$ A, teremos: $U = 12 - 0{,}5 \cdot 4 \therefore U = 10$ V

b) Para $U = 8$ V, teremos: $8 = 12 - 0{,}5 \cdot i \therefore i = 8$ A

4. a) A lei de Pouillet fornece:

$i = \frac{\varepsilon - \varepsilon'}{r + r'} \Rightarrow i = \frac{12 - 9}{0{,}2 + 0{,}4} \Rightarrow i = \frac{3}{0{,}6} \therefore i = 5\ \text{A}$

b) Podemos calcular a ddp entre os pontos A e B considerando ou o gerador (no ramo superior) ou o receptor (no ramo inferior). Para o gerador, temos:

$U_{AB} = 12 - 0{,}2 \cdot 5 \therefore U_{AB} = 11$ V

ou para o receptor:

$U_{AB} = 9 + 0{,}4 \cdot 5 \therefore U_{AB} = 11$ V

5. A atividade é uma aplicação da lei de Pouillet para circuito gerador-receptor-resistor. São dados:

$\varepsilon = 25$ V; $\varepsilon' = 15$ V; $r = 2\ \Omega$; $r' = 3\ \Omega$ e $R = 15\ \Omega$.

a) A aplicação da lei de Pouillet permite calcular a intensidade de corrente que circula pelo circuito:

$i = \frac{\varepsilon - \varepsilon'}{r + r' + R} \Rightarrow i = \frac{25 - 15}{2 + 3 + 15} \therefore i = 0{,}5\text{A}$

b) A ddp nos terminais do gerador pode ser determinada pela aplicação de sua equação característica:

$U = \varepsilon - r \cdot i \Rightarrow U = 25 - 2 \cdot 0{,}5 \therefore U = 24$ V

A ddp nos terminais do receptor pode ser determinada pela aplicação de sua equação característica:

$U' = \varepsilon' + r' \cdot i \Rightarrow U' = 15 + 3 \cdot 0{,}5 \therefore U' = 16{,}5$ V

Referências suplementares

Essa simulação oferece uma ferramenta acessível para incluir estudantes com deficiência no aprendizado de conceitos de eletricidade. Ele permite que os estudantes construam e explorem circuitos elétricos de forma visual e interativa, o que é especialmente útil para aqueles com deficiência intelectual ou dificuldades de aprendizagem, pois possibilita a visualização do comportamento da corrente e dos componentes do circuito em tempo real. Além disso, o simulador oferece configurações de personalização e pode ser utilizado em dispositivos com leitores de tela, facilitando o acesso para estudantes com deficiência visual. A interface intuitiva também favorece a inclusão de estudantes com deficiência motora, já que os circuitos podem ser montados com cliques simples. Disponível em: https://phet.colorado.edu/pt_BR/simulations/circuit-construction-kit-dc. (acesso em: 23 out. 2024).

A monografia "Ensino de Física com Perspectiva Inclusiva: Proposta Didático-Metodológica para a Abordagem de Conceitos Básicos da Eletrodinâmica" de Carolina Tereza de Araujo Xavier explora uma sequência didática voltada para o ensino de eletrodinâmica a alunos cegos ou com baixa visão. A obra apresenta experimentos de baixo custo e fácil reprodução, destacando a percepção multissensorial dos fenômenos físicos. Essa referência é uma ferramenta valiosa para professores que buscam implementar práticas pedagógicas inclusivas e acessíveis. Disponívelem:https://app.uff.br/riuff/bitstream/handle/1/3921/monocompleta.pdf?sequence=1 (acesso em: 24 set. 2024).

Proposta de avaliação

As atividades **2**, **4** e **5** da seção *Atividades finais* possibilitam uma avaliação abrangente da aprendizagem dos estudantes a respeito de conteúdos-chave do capítulo como a relação entre várias variáveis elétricas (potência, tensão, corrente elétrica etc.), comparação entre lâmpadas com diferentes potências e seu consumo de energia elétrica e o cálculo da corrente elétrica em circuitos com geradores e receptores elétricos.

Capítulo 19 Eletromagnetismo

Objetivos do capítulo

- Compreender as propriedades básicas dos ímãs.
- Entender o conceito de campo magnético.
- Perceber que toda corrente elétrica gera um campo magnético.
- Analisar a ação da força magnética.

Sugestões didáticas e comentários/ Por dentro da BNCC

Este capítulo aborda, de maneira geral, a habilidade **EM13CNT106**, pois trata sobre a geração de energia elétrica. Por utilizar linguagens gráfica e iconográfica para tratar sobre campos eletromagnéticos e ação de forças sobre partículas eletrizadas, o capítulo favorece o desenvolvimento da habilidade **EM13CHS106** (Utilizar as linguagens cartográfica, gráfica e iconográfica, diferentes gêneros textuais e tecnologias digitais de informação e comunicação de forma crítica, significativa, reflexiva e ética nas diversas práticas sociais, incluindo as escolares, para se comunicar, acessar e difundir informações, produzir conhecimentos, resolver problemas e exercer protagonismo e autoria na vida pessoal e coletiva). Na medida em que apresenta modelos empregando as funções polinomiais de 1º grau e problemas que envolvem grandezas determinadas pela razão ou pelo produto de outras, este capítulo favorece também o desenvolvimento das habilidades **EM13MAT302** (Construir modelos empregando as funções polinomiais de 1º ou 2º graus, para resolver problemas em contextos diversos, com ou sem apoio de tecnologias digitais) e **EM13MAT314** (Resolver e elaborar problemas que envolvem grandezas determinadas pela razão ou pelo produto de outras (velocidade, densidade demográfica, energia elétrica etc.)).

Durante a leitura do capítulo, explore os conhecimentos prévios dos alunos sobre o tema, que frequentemente apresentam concepções alternativas sobre magnetismo, por exemplo, confundindo magnetismo e eletricidade, a ideia de que um ímã

pode ter apenas um polo e a compreensão incorreta da direção da força magnética. Para abordá-las, utilize exemplos do cotidiano, como a interação entre um ímã e objetos metálicos para ilustrar que sempre existem polos opostos e que a eletricidade pode gerar magnetismo, como no funcionamento de motores elétricos. Além disso, explique a força magnética usando situações como a atração de um ímã por uma geladeira, mostrando que a direção da força varia conforme a posição do ímã em relação ao objeto. Essas estratégias ajudam a contextualizar os conceitos e a esclarecer as ideias errôneas dos alunos.

Resoluções e comentários

Aplicando conhecimentos

1. É importante lembrar aos alunos que uma barra de ferro não imantada pode ser atraída por um ímã. Já uma repulsão só pode ocorrer entre dois polos magnéticos. Como A_1 repele C_2, concluímos que as barras *A* e *C* são ímãs permanentes. A_1 atrai B_1 e B_2. Logo, a barra *B* não é ímã.

Alternativa **d**

2. a) Incorreta. Quando um ímã é serrado transversalmente, as partes obtidas são ímãs completos. Por isso, não existem ímãs com apenas um polo.

b) Incorreta. As partes *A*, *B* e *C* são ímãs.

c) Incorreta. A extremidade 1 da parte *A* é um polo sul e a extremidade 4 da parte *C* é um polo norte. Entre as extremidades 1 (S) e 4 (N) tem-se atração.

d) Correta. A extremidade 2 é um polo norte. Entre a extremidade 2 e o polo sul da parte *C* tem-se atração.

e) Incorreta. A parte *B*, por ser um ímã, se orienta aproximadamente na direção norte-sul dos polos geográficos da Terra.

Alternativa **d**

Atividade em grupo

Pode-se dividir a turma em pequenos grupos, de três ou quatro integrantes, e propor a pesquisa dos seguintes temas:

- Invenção da bússola e seu importante papel nas navegações. (Para pesquisa, leitura e discussão em sala de aula, recomendamos o livro *Bússola: a invenção que mudou o mundo*, de Amir D. Aczel. Rio de Janeiro: Zahar, 2002.)
- O que é declinação e inclinação magnética de um lugar?
- A carta magnética de declinação e as linhas isógonas.
- Como é feita a orientação, utilizando-se uma bússola e uma carta magnética de declinação?

A navegação pelo mundo sempre foi um grande desafio para o ser humano. Mesmo com a utilização de novas tecnologias para localização como o GPS, a bússola é o instrumento de navegação mais importante a bordo, obrigatório pelas normas da Marinha do Brasil.

Com origem na China, por volta do século IV a.C., a bússola somente foi utilizada no Ocidente a partir do século XII. A partir do século XV, esse instrumento se tornou indispensável na navegação e diversas tecnologias passariam a ser agregadas a ele para aumentar sua precisão.

Já se sabia que a direção apontada pela bússola não coincidia com a direção norte-sul geográfica, ou seja, havia um ângulo de declinação entre a direção norte-sul geográfica e a direção apontada pela bússola (norte-sul magnética), mas na época não se conheciam bem os valores dessas declinações em locais longínquos. Hoje, entretanto, por meio de vários mapeamentos, cálculos e simulações, conhece-se a declinação em praticamente todos os locais da Terra, mesmo ela variando com o passar dos anos. Tais mapas apresentam uma série de linhas isógonas, ou seja, linhas que indicam as regiões com a mesma declinação magnética, semelhantes às curvas de nível presentes em mapas topográficos.

Esta *Atividade em grupo* permite o desenvolvimento da habilidade **EM13CNT302**, ao comunicar resultados de pesquisas por meio de diferentes linguagens e mídias. À medida que os estudantes participam de processos de produção colaborativa, utilizando diferentes linguagens, mídias e ferramentas digitais em processos de produção coletiva, essa atividade favorece o desenvolvimento das habilidades **EM13LGG301** (Participar de processos de produção individual e colaborativa em diferentes linguagens (artísticas, corporais e verbais), levando em conta suas formas e seus funcionamentos, para produzir sentidos em diferentes contextos) e **EM13LGG703** (Utilizar diferentes linguagens, mídias e ferramentas digitais em processos de produção coletiva, colaborativa e projetos autorais em ambientes digitais).

Mundo do trabalho

Benefícios do trabalho em grupo

Esta seção foi proposta de maneira a valorizar o trabalho em equipe, forma de trabalho que permeia todo o fazer discente da Educação Básica. Como já foi dito, o trabalho escolar em equipe é uma habilidade desejada porque os estudantes potencializam suas características individuais para a consecução de um resultado comum. Para além da escola, em qualquer instância da vida em sociedade, equipes cujos participantes têm capacidades diversas conseguem alcançar objetivos com mais eficiência. Para trabalhar em equipe, os estudantes precisam praticar a escuta ativa, a alteridade, a colaboração, o compartilhamento de saberes; tolerar diferenças, acolhendo-as, deixando-se influenciar e se transformar por elas. A escola é um lugar com muitas possibilidades para enfrentar esses desafios.

O desenvolvimento desta seção está alinhado com algumas finalidades do Ensino Médio, como proporcionar uma cultura favorável ao desenvolvimento de atitudes, capacidades e valores que promovam o desenvolvimento pessoal; e prever o suporte aos jovens para que reconheçam suas potencialidades, identifiquem perspectivas e possibilidades, construam aspirações e metas de formação.

1. Incentive os alunos a utilizarem mais de um dicionário para chegarem às definições das competências mencionadas no texto, compondo uma frase que faça sentido para o grupo. Caso haja acesso à internet, existem várias opções gratuitas de dicionários da língua portuguesa *on-line*. Uma das possíveis definições estão a seguir:

Responsabilidade: qualidade de um indivíduo que responde por atos ou obrigações que lhes são impostos.

Colaboração: ocorre quando indivíduos oferecem recursos próprios para realizar uma tarefa.

Organização: capacidade de planejamento, em que se dá ordem e sentido a recursos, identifica-se a prioridade de tarefas e realiza-se uma gestão adequada do tempo.

Proatividade: capacidade de um indivíduo identificar problemas em potencial e resolvê-los de maneira autônoma e antecipada.

Raciocínio lógico: uso da razão ou uma sequência de juízos que permite, a partir de uma premissa, aceita como válida, chegar a uma conclusão ou resolver um problema, por meio de uma regra.

Relacionamento interpessoal: vínculo entre indivíduos motivados por razões pessoais ou profissionais, pautado pelo ambiente, pelas características desses atores, por respeito, cooperação e empatia, e sujeito a conflitos e divergências típicos de situações da rotina. No contexto das relações interpessoais, a flexibilidade é a capacidade mental de se adaptar a mudanças e novas informações.

Trabalho em equipe: modo de resolver um problema ou realizar uma tarefa por meio da articulação do talento e do esforço de vários indivíduos.

Após a autoavaliação do grupo, valorize a diversidade de competências entre eles. Enfatize que a potência do grupo está nas diferenças existentes entre todos.

2. Espera-se que os alunos percebam que as pessoas possuem desenvolvimentos diferentes em relação a cada competência.

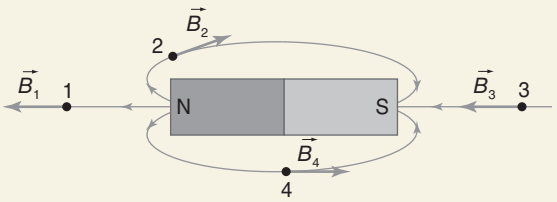
3. Pode-se interpretar do provérbio que o desempenho da união de indivíduos em determinada tarefa resulta em uma *performance* melhor do que o desempenho de um indivíduo. Para além de uma questão de âmbito técnico (cada pessoa contribuindo com um tipo de conhecimento, por exemplo), pode-se considerar a questão motivacional: quando um membro ou parte da equipe desanima ou diminui o ritmo das tarefas, outros podem motivá-lo ou assumir temporariamente a execução de mais tarefas.

Aplicando conhecimentos

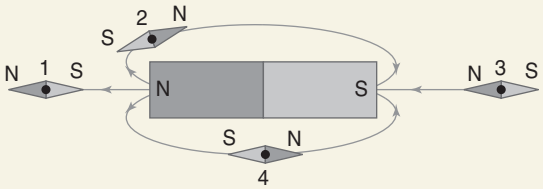
3. Convém relembrar aos alunos as características do vetor indução magnética e o comportamento de um ímã ao ser colocado na presença de um campo magnético.

a) Os vetores indução magnética, de módulos B_1, B_2, B_3 e B_4, são tangentes às linhas de indução pelos pontos 1, 2, 3 e 4. Os sentidos desses vetores acompanham os sentidos das linhas de indução do campo magnético criado pelo imã.

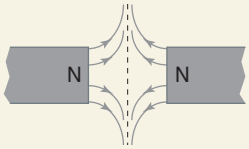
ADILSON SECCO/ ARQUIVO DA EDITORA



b) As pequenas agulhas magnéticas se dispõem nos sentidos dos respectivos vetores indução magnética existentes nos pontos 1, 2, 3 e 4. O polo norte de cada agulha fica posicionado no mesmo sentido do vetor indução magnética existente no ponto onde cada uma foi colocada:



4. No caso em questão, como as linhas de indução partem do polo norte, temos:



5. Presume-se que existam aves que, em suas viagens, orientam-se pelo campo magnético terrestre como se tivessem pequenas bússolas dentro de si. Pode-se aproveitar essa atividade para sugerir aos alunos uma pesquisa que explique essa teoria com mais detalhes. Eles poderão também consultar o professor de Biologia.

ILUSTRAÇÕES: ADILSON SECCO/ARQUIVO DA EDITORA

Atividade prática

Experimento de Oersted

Antes de realizar a *Atividade prática*, é interessante comentar com os estudantes que as propriedades dos ímãs foram estudadas durante muito tempo, sem que se estabelecesse relação entre os fenômenos magnéticos e os fenômenos elétricos. Mas, em 1820, o físico dinamarquês Hans Christian Oersted (1777-1851) constatou que toda corrente elétrica origina um campo magnético na região que a envolve. A constatação desse fato é a finalidade dessa proposta experimental.

Com o material indicado, monte o dispositivo proposto.

O fio deve inicialmente estar paralelo à agulha magnética, que se orienta na direção norte-sul. O estudante vai observar que, quando o circuito é fechado, a agulha da bússola gira em certo sentido, voltando à sua posição inicial ao se abrir o circuito. Ao se inverter o sentido da corrente, em contrapartida, a agulha gira em sentido oposto ao anterior. O sentido para o qual o polo norte da agulha magnética aponta após o giro é o do vetor $\vec{B}$, no ponto onde se situa a agulha magnética. Assim, o estudante pode constatar a validade da regra da mão direita.

Esta atividade evidencia o trabalho com a habilidade **EM13CNT301**, na medida em que os estudantes são convidados a construir questões, elaborar hipóteses, previsões e estimativas sobre uma condição experimental.

1. Quando o circuito é fechado e a corrente elétrica começa a fluir pelo fio de cobre, a agulha magnética da bússola se move. Isso ocorre porque a corrente elétrica no fio gera um campo magnético ao seu redor, conforme descrito pela lei de Oersted. Esse campo magnético interage com o campo magnético da agulha da bússola, causando a deflexão da agulha. Ao abrir o circuito, a corrente elétrica para de fluir,

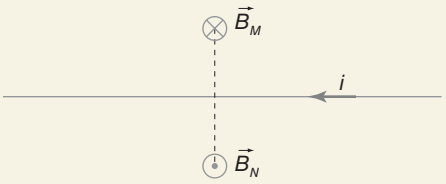
o campo magnético ao redor do fio desaparece, e a agulha magnética retorna à sua posição original, alinhada com o campo magnético da Terra.

2. Quando a posição dos fios de ligação é invertida, o sentido da corrente elétrica no fio também é invertido. Isso resulta na inversão do sentido do campo magnético gerado ao redor do fio. Ao fechar o circuito novamente, a agulha magnética da bússola se deflete, mas agora em sentido oposto ao da deflexão observada anteriormente.

3. A regra da mão direita pode ser usada para prever o sentido do vetor campo magnético. Segundo essa regra, se você segurar o fio com a mão direita de modo que o polegar aponte no sentido da corrente elétrica, os dedos semidobrados ao redor do fio indicam o sentido do campo magnético ao redor do fio.

Aplicando conhecimentos

6. A atividade é uma aplicação simples e imediata da regra da mão direita. Aplicando essa regra, concluímos que o vetor campo magnético, no ponto *M*, está entrando no plano do papel, e, no ponto *N*, está saindo do plano do papel:



ADILSON SECCO/ ARQUIVO DA EDITORA

7. A atividade é uma boa oportunidade para se revisar as características do vetor indução magnética gerado pela corrente elétrica nas proximidades de um fio retilíneo.

(01) Incorreta. A intensidade *B* do vetor indução magnética não é constante, pois tal intensidade depende da distância do ponto ao fio.

(02) Correta. O módulo, ou intensidade, *B* do vetor indução magnética é dado por:

$$B = \frac{\mu \cdot i}{2 \cdot \pi \cdot d} \Rightarrow B = \frac{4 \cdot \pi \cdot 10^{-7} \cdot 3{,}0}{2 \cdot \pi \cdot 0{,}25} \therefore B = 2{,}4 \cdot 10^{-6}\ \text{T}$$

(04) Correta. A aplicação da regra da mão direita permite obter o sentido dos campos de indução magnética. Acima do fio, o campo é perpendicular ao plano do papel e saindo por ele; abaixo do fio, é perpendicular ao plano do papel e entrando por ele.

(08) Incorreta. De acordo com a regra da mão direita, o sentido do campo de indução magnética muda quando a corrente elétrica é invertida.

(16) Correta. No Sistema Internacional (SI), a unidade de medida do campo de indução magnética é o tesla (símbolo T).

Resposta: 02 + 04 +16 = 22

8. A atividade é uma aplicação numérica simples para o cálculo do módulo do campo magnético criado no centro de uma espira circular.

Os campos magnéticos, de módulos *B* e *B'*, são calculados por:

$$B = \frac{\mu \cdot i}{2 \cdot R}\ \text{(I)}$$

e

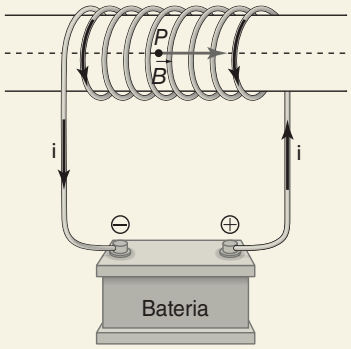
$$B' = \frac{\mu \cdot 3 \cdot i}{2 \cdot (2 \cdot R)} \Rightarrow B' = \frac{3}{2} \cdot \frac{\mu \cdot i}{2 \cdot R}\ \text{(II)}$$

Da comparação entre (I) e (II), obtemos:

$$B' = \frac{3}{2} \cdot B \Rightarrow B' = 1{,}5 \cdot B$$

Alternativa **c**

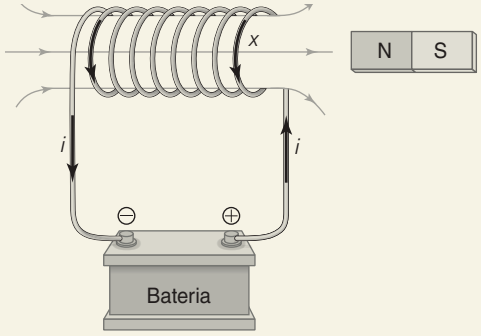
9. a) O vetor campo de indução magnética $\vec{B}$ tem a direção do eixo do solenoide. Para determinar o sentido de $\vec{B}$, determinamos o sentido da corrente elétrica *i* que percorre o solenoide e aplicamos a regra da mão direita. Considerando o eixo do solenoide horizontal, concluímos que o sentido de $\vec{B}$ é para a direita:



ADILSON SECCO/ARQUIVO DA EDITORA

b) A agulha magnética se orienta na direção de $\vec{B}$ e com o polo norte no sentido de $\vec{B}$.

c) A face *X* do solenoide é um polo norte.



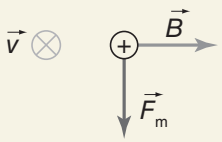
ADILSON SECCO/ARQUIVO DA EDITORA

Portanto, entre o ímã e o solenoide ocorre repulsão.

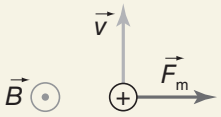
10. A atividade é uma aplicação simples da regra da mão esquerda. Deve-se relembrar aos alunos que, no caso de carga negativa, a regra é aplicada e a força, assim obtida, deve ter seu sentido invertido.

Pela regra da mão esquerda, obtemos:

a)



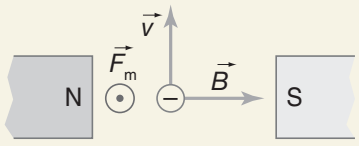
b)



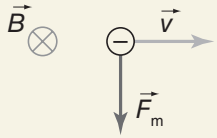
ILUSTRAÇÕES: ADILSON SECCO/ ARQUIVO DA EDITORA

ILUSTRAÇÕES: ADILSON SECCO/ ARQUIVO DA EDITORA

c)



d)



11. A atividade explora as propriedades e o cálculo das forças elétrica e magnética.

a) A carga elétrica q é negativa, pois o sentido do vetor força elétrica, de módulo F_{el}, é contrário ao do vetor campo elétrico, de intensidade E. Pode-se confirmar esse fato notando-se que o sentido da força magnética, de módulo F_m, é contrário ao dado pela regra da mão esquerda.

b) Como a velocidade vetorial da carga é constante, concluímos que, pelo princípio da inércia, a força resultante sobre ela é nula. Então, a força magnética deve equilibrar a força elétrica, ou seja, ambas devem ter a mesma intensidade. Portanto:

$F_m = F_{el} \Rightarrow |q| \cdot v \cdot B \cdot \text{sen}\,\theta = |q| \cdot E \Rightarrow$

$\Rightarrow v \cdot B \cdot \text{sen}\,90° = E \Rightarrow v \cdot B = E \Rightarrow v = \frac{E}{B}$

12. Quando uma partícula carregada se move perpendicularmente a um campo magnético, ela descreve um movimento circular devido à força magnética que age como uma força centrípeta. Nesse caso, o raio R da trajetória é dado por:

$R = \frac{m \cdot v}{q \cdot B}$

Se a velocidade da partícula é dobrada, o novo raio R' da trajetória será dado por:

$R' = \frac{m \cdot (2v)}{q \cdot B} \Rightarrow R' = 2\frac{m \cdot v}{q \cdot B} \Rightarrow R' = 2R$

Portanto, quando a velocidade é dobrada, o raio da trajetória também dobra.

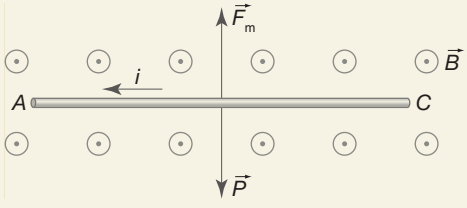
O período T do movimento circular é o tempo que a partícula leva para descrever uma volta completa, e é dado pela relação:

$T = \frac{2\pi \cdot m}{q \cdot B}$

Note que o período não depende da velocidade da partícula. Portanto, mesmo quando a velocidade é dobrada, o período T permanece o mesmo.

13. a) No condutor agem o peso $\vec{P}$ (vertical para baixo) e a força magnética $\vec{F}_{m'}$ vertical e para cima, para equilibrar o peso:

ADILSON SECCO/ ARQUIVO DA EDITORA



Conhecidos os sentidos de $\vec{F}_m$ e de $\vec{B}$, determinamos, pela regra da mão esquerda, o sentido de i: de C para A.

b) Para haver equilíbrio, a força magnética e o peso, além de ter mesma direção e sentidos opostos, devem ter mesma intensidade. Portanto:

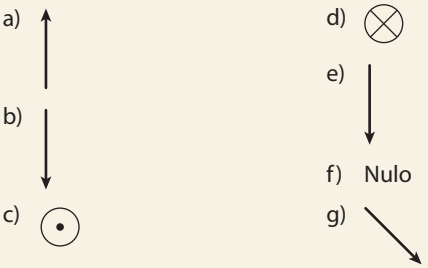
$F_m = P \Rightarrow B \cdot i \cdot L = m \cdot g \Rightarrow B = \frac{m \cdot g}{i \cdot L}$

Atividades finais

1.

Alternativa **c**

2.



ILUSTRAÇÕES: ADILSON SECCO/ARQUIVO DA EDITORA

3. Para resolver essa atividade, precisamos calcular o campo magnético gerado por cada condutor no ponto P, levando em consideração as direções das intensidades das correntes elétricas e as distâncias dos fios até o ponto P.

O campo magnético no ponto P devido ao condutor 2 é dado por:

$B = \frac{\mu_0 \cdot i}{2\pi r}$

A corrente está entrando no plano do papel, e o campo magnético em P, devido a esse fio (pela regra da mão direita), tem intensidade B e é dirigido para baixo.

O campo magnético no ponto P, devido ao condutor 1, é dado por:

$B_1 = \frac{\mu_0 \cdot i}{2\pi \cdot (2r)} \Rightarrow B_1 = \frac{1}{2} \cdot \frac{\mu_0 \cdot i}{2\pi r} \Rightarrow B_1 = \frac{1}{2}B$

A corrente está saindo do plano do papel, e o campo magnético em P devido a esse fio é dirigido para cima e tem intensidade $\frac{B}{2}$.

O campo magnético no ponto P, devido ao condutor 3, é dado por:

$B_3 = \frac{\mu_0 \cdot i}{2\pi r} \Rightarrow B_3 = B$

A corrente está saindo do plano do papel, e o campo magnético em P devido a esse fio é dirigido para baixo e tem intensidade B.

O campo magnético resultante é dado pela soma vetorial dos três campos magnéticos no ponto P.

$\vec{B}_R = \vec{B}_1 + \vec{B}_2 + \vec{B}_3$

Adotando que vetores para cima são positivos e vetores para baixo são negativos temos que:

$B_R = \frac{B}{2} - B - B \Rightarrow B_R = -\frac{3B}{2}$

O sinal negativo de B_R indica que o seu sentido é vertical para baixo.

4. Para resolver essa atividade, precisamos calcular o campo magnético gerado por cada espira no centro comum O.

Como as correntes elétricas nas espiras estão no mesmo sentido o campo magnético resultante no centro *O* é a soma dos campos magnéticos de cada espira no centro *O*.

Campo magnético gerado pela espira de raio R_1:

$$B_1 = \frac{\mu_0 \cdot i_1}{R_1} \Rightarrow B_1 = \frac{4\pi \cdot 10^{-7} \cdot 5}{2 \cdot 0{,}05} \therefore B_1 = 6{,}28 \cdot 10^{-5}\,\text{T}$$

Campo magnético gerado pela espira de raio R_2:

$$B_2 = \frac{\mu_0 \cdot i_2}{R_2} \Rightarrow B_1 = \frac{4\pi \cdot 10^{-7} \cdot 5}{2 \cdot 0{,}1} \therefore B_2 = 3{,}14 \cdot 10^{-5}\,\text{T}$$

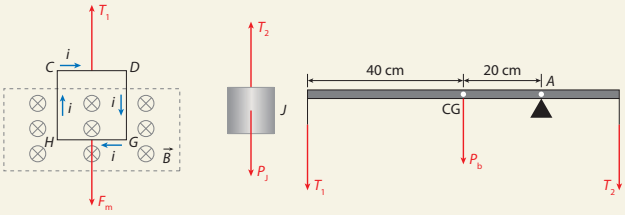
O campo magnético resultante é dado por:

$$B_R = B_1 + B_2 \Rightarrow B_R = 6{,}28 \cdot 10^{-5} + 3{,}14 \cdot 10^{-5} \therefore B_R = 9{,}42 \cdot 10^{-5}\,\text{T}$$

5. Pela regra da mão esquerda, observamos que a trajetória *III* corresponde aos pósitrons, pois o sentido da força magnética não precisa ser invertido. A trajetória *I* corresponde aos elétrons, pois, ao aplicar a regra da mão esquerda, devemos inverter o sentido da força magnética. Note que as trajetórias *I* e *III* são simétricas em relação à trajetória *II* — que corresponde aos nêutrons, pois tais partículas atravessam o campo magnético sem desvio.

6.

ADILSON SECCO/ ARQUIVO DA EDITORA



As forças magnéticas nos lados *CH* e *DG* da espira se anulam mutuamente. A força magnética no lado *CD* é nula pois esse lado está fora do campo.

Equilíbrio da espira:

$T_1 = F_m = B \cdot i \cdot L = 0{,}4 \cdot 4 \cdot 0{,}5 \Rightarrow T_1 = 0{,}8\,\text{N}$

Equilíbrio do bloco *J*: $T_2 = P_J$

Peso da barra: $P_b = 2\,\text{N}$

Equilíbrio da barra, no ponto de apoio:

$T_1 \cdot (40 + 20) + P_b \cdot 20 = T_2 \cdot 20 \Rightarrow$

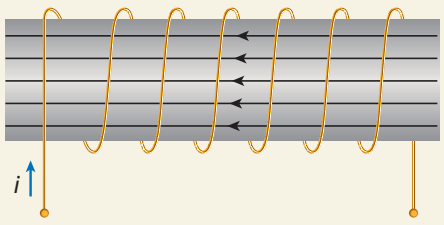
$\Rightarrow 0{,}8 \cdot 60 + 2 \cdot 20 = P_J \cdot 20 \;\therefore\; P_J = 4{,}4\,\text{N}$

7. a) Direção horizontal e sentido para a esquerda.

b) O observador vê a corrente nas espiras no sentido horário, portanto, ele está vendo o polo sul do solenoide. A face *X* é um polo sul.

c)

ADILSON SECCO/ ARQUIVO DA EDITORA



d) Supondo um solenoide de comprimento $L = 1{,}0$ m, temos:

$B = \mu_0 \cdot \frac{n}{L} \cdot i \Rightarrow 4\pi \cdot 10^{-3} = 4\pi \cdot 10^{-7} \cdot 1.000 \cdot i \therefore i = 10\,\text{A}$

Referências suplementares

Uma ferramenta para complementar o ensino sobre magnetismo é a simulação do PhET intitulada "Laboratório Magnético de Faraday". Ela permite que os alunos explorem conceitos fundamentais relacionados à indução eletromagnética, oferecendo uma experiência prática em um ambiente virtual.

Os estudantes podem manipular ímãs, bobinas e circuitos para observar as variáveis com a intensidade do campo magnético e velocidade do movimento influenciam a geração de corrente elétrica.

Ao utilizar esta simulação, o professor pode promover uma compreensão mais profunda dos princípios de Faraday, facilitando a visualização de fenômenos que são difíceis de observar em situações reais. Além disso, a simulação oferece uma oportunidade para discutir e explorar os efeitos do magnetismo em aplicações tecnológicas contemporâneas, reforçando o aprendizado por meio de uma abordagem interativa e envolvente.

PHET interactive simulations. Laboratório Magnético de Faraday. Disponível em: https://phet.colorado.edu/sims/html/faradays-electromagnetic-lab/ltest/faradays-electromagnetic-lab_all.html?locale=pt. (acesso em: 22 out. 2024).

A dissertação de mestrado de Kélen da Silva Xavier, defendida na Universidade Federal de Santa Catarina, apresenta uma contribuição relevante para o ensino de eletromagnetismo. A autora explora as concepções alternativas que os alunos trazem sobre temas de eletromagnetismo, com base nos princípios da Teoria de Aprendizagem Significativa de Ausubel e nas contribuições do sociointeracionismo de Vygotsky.

A dissertação demonstra como essas concepções podem interferir na aprendizagem formal dos conceitos científicos e defende que os professores podem identificar e trabalhar diretamente com essas ideias prévias. Ao confrontá-las e ressignificá-las, os estudantes são incentivados a construir um entendimento mais preciso e alinhado com a ciência contemporânea.

XAVIER, Kélen da Silva. **O eletromagnetismo no ensino de Ciências**: uma proposta de utilização de unidades de ensino potencialmente significativas (UEPS). 2021. Dissertação (Mestrado Profissional em Ensino de Física) – Universidade Federal de Santa Catarina, Araranguá, SC, 2021. Orientador: Claudio Michel Poffo. Disponível em: https://www1.fisica.org.br/mnpef/sites/default/files/dissertacaoarquivo/p41-dissertacao-kelen.pdf. (acesso em: 22 out. 2024).

Proposta de avaliação

As atividades **1**, **3**, **5** e **6** da seção *Atividades finais* possibilitam uma avaliação abrangente da aprendizagem dos estudantes a respeito de conteúdos-chave do capítulo.

Capítulo 20 Indução eletromagnética

Objetivos do capítulo

- Entender o fenômeno da indução eletromagnética.
- Reconhecer os resultados do experimento de Faraday.
- Formalizar os conceitos de fluxo magnético e de força eletromotriz induzida.
- Compreender a lei de Lenz.
- Reconhecer as aplicações da indução eletromagnética em diversos artefatos tecnológicos.

Sugestões didáticas e comentários/ Por dentro da BNCC

O capítulo inicia com um pequeno texto introdutório sobre a indução eletromagnética e a sua importância para a compreensão e a aplicação da eletricidade no contexto da sociedade contemporânea. Essa reflexão utiliza os transformadores elétricos como um elemento capaz de problematizar esse tópico conceitual. Assim, por meio da compreensão do uso desse artefato tecnológico, busca-se fundamentar a importância da indução eletromagnética.

Na sequência, é importante formalizar o que é a indução eletromagnética e apresentar o experimento proposto por Faraday, destacando quais foram as observações desse cientista e as suas conclusões. Dessa maneira, o estudante pode compreender como ocorreu o processo de construção desse tópico no contexto do século XIX.

Ao explicar a lei de Lenz, relacione-a com o princípio de conservação de energia: a energia adicional utilizada para provocar a variação do fluxo magnético é convertida em energia elétrica. Use como exemplo a geração de energia elétrica em um dínamo instalado em uma bicicleta: quando ligado, torna-se mais difícil pedalar na bicicleta, e a energia adicional que o ciclista despende é parcialmente convertida em energia elétrica, que se transforma em energia luminosa no farol da bicicleta. Caso algum estudante tenha bicicleta equipada com dínamo, sugira que a leve para a escola para a verificação da indução eletromagnética. A análise das situações relacionadas com a lei de Lenz possibilitará a aplicação da regra da mão direita para determinar o sentido da corrente induzida, o que se relaciona com o desenvolvimento da habilidade **EM13CNT301**.

Explique aos estudantes que uma das aplicações dos transformadores é a distribuição da energia gerada em uma usina elétrica. A tensão elétrica fornecida por uma usina é elevada a valores muito altos por meio de transformadores existentes na chamada subestação elevadora, localizada próximo da usina. Sob essa alta-tensão, a energia elétrica é transportada através das linhas de transmissão. Operando sob alta-tensão, diminui-se a dissipação de energia elétrica ao longo da linha. O capítulo desenvolve as habilidades **EM13CNT107** e **EM13CNT308**, uma vez que trata da essência do funcionamento de geradores, transformadores e outros equipamentos elétricos.

Se possível, pode ser interessante levar para a sala de aula uma guitarra elétrica ou imagens de guitarras elétricas, para que os estudantes identifiquem os elementos apresentados no texto, tornando a aprendizagem ainda mais significativa. Além da guitarra, a apresentação de um dínamo e de um transformador pode tornar a abordagem desses artefatos tecnológicos mais significativa para os estudantes.

Atividade extra

O professor pode propor aos alunos a construção de um mini aerogerador eólico com o objetivo de acender LEDs. Para isso, os estudantes devem ser orientados a construir ou adaptar hélices, que serão fixadas no eixo de um motor elétrico de carrinho. Esse motor funcionará como um gerador, convertendo a energia cinética gerada pelo movimento das hélices em energia elétrica.

A ligação elétrica entre o motor e o LED deve ser feita com pequenos fios, conectando os polos do motor aos terminais do LED. Nesse caso, o motor, que normalmente recebe energia para mover o carrinho, será utilizado de forma inversa, atuando como gerador. Quando o eixo do motor gira, a energia mecânica é convertida em energia elétrica, tem se, assim, uma corrente elétrica que pode acender o LED.

É crucial observar a polaridade ao conectar o motor ao LED. Como o LED é um componente semicondutor, ele só funcionará corretamente se a corrente elétrica fluir no sentido correto. O LED possui dois terminais: o anodo (positivo) e o catodo (negativo). Assim, o fio positivo do motor deve ser ligado ao anodo do LED, e o fio negativo, ao catodo. Se a polaridade estiver invertida, o LED não acenderá, pois ele só permite a passagem de corrente em um único sentido.

Além disso, vale lembrar que o motor de carrinho, quando usado como gerador, produz corrente contínua (DC), e a quantidade de energia gerada depende da velocidade de rotação das hélices.

Uma recomendação importante para os alunos é realizar testes iniciais girando as hélices manualmente para verificar se o LED acende. Se isso não acontecer, pode ser necessário inverter as ligações dos fios para corrigir a polaridade. Uma alternativa é conectar mais de um LED em série ou em paralelo, dependendo da tensão gerada pelo motor, otimizando o funcionamento do circuito.

Resoluções e comentários

Aplicando conhecimentos

1. O fluxo magnético, por definição, é dado por: $\Phi = B \cdot A \cdot \cos\alpha$. Note que o ângulo α, nesse caso, vale 60°, pois o ângulo entre o vetor campo magnético $\vec{B}$ e a superfície da espira vale 30°. Então:

$\Phi = B \cdot A \cdot \cos\alpha \Rightarrow \Phi = 5 \cdot 10^{-3} \cdot 2 \cdot \cos 60° \Rightarrow$

$\Rightarrow \Phi = 5 \cdot 10^{-3} \cdot 2 \cdot \frac{1}{2} \therefore \Phi = 5 \cdot 10^{-3}\ \text{Wb}$

2. Note que um fio, de comprimento L, deve ser usado para construir as espiras.

Para a espira circular, seu raio R será tal que:

$L = 2 \cdot \pi \cdot R \Rightarrow R = \frac{L}{2 \cdot \pi}$

Então, o fluxo magnético Φ_1 através da área da espira circular será:

$$\Phi_1 = B \cdot A \cdot \cos\alpha \Rightarrow \Phi_1 = B \cdot \pi \cdot \left(\frac{L}{2 \cdot \pi}\right)^2 \cdot \cos 0° \Rightarrow \Phi_1 = \frac{B \cdot L^2}{4 \cdot \pi}$$

De forma análoga, para a espira quadrada, de lado L', devemos ter: $L = 4 \cdot L' \Rightarrow L' = \frac{L}{4}$.

Então, o fluxo magnético Φ_2 através da área da espira quadrada será:

$$\Phi_2 = B \cdot A \cdot \cos\alpha \Rightarrow \Phi_2 = B \cdot \left(\frac{L}{4}\right)^2 \cdot \cos 0° \Rightarrow \Phi_2 = \frac{B \cdot L^2}{16}$$

Portanto, a relação pedida, $\frac{\Phi_1}{\Phi_2}$, vale:

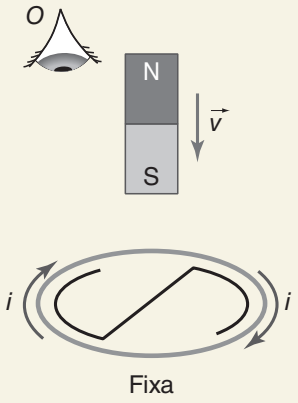
$$\frac{\Phi_1}{\Phi_2} = \frac{\frac{B \cdot L^2}{4 \cdot \pi}}{\frac{B \cdot L^2}{16}} \Rightarrow \frac{\Phi_1}{\Phi_2} = \frac{4}{\pi}$$

3. a) Como $\Phi = B \cdot A \cdot \cos\alpha$, então, na situação inicial:
$\Phi = 0{,}5 \cdot (2 \cdot 4) \cdot \cos 0° \therefore \Phi = 4\ \text{Wb}$

b) Na situação final, como $\alpha = 0°$ e $\cos 0° = 0$, o fluxo é nulo:
$\Phi = 0$.

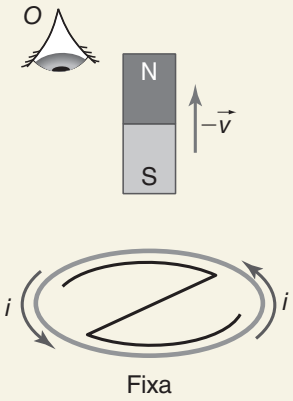
c) O módulo da variação do fluxo será:
$|\Delta\Phi| = |0 - 4| \therefore |\Delta\Phi| = 4\ \text{Wb}$

4. a) O polo sul do ímã se aproxima da espira. Ocorre variação do fluxo magnético na superfície da espira, e surge nela uma corrente elétrica induzida. A corrente induzida gera, na face da espira voltada para o ímã, um polo que se opõe à aproximação do polo sul do ímã. Logo, na face da espira voltada para o ímã, surge um polo sul. Portanto, a corrente induzida tem sentido horário em relação ao observador *O*.



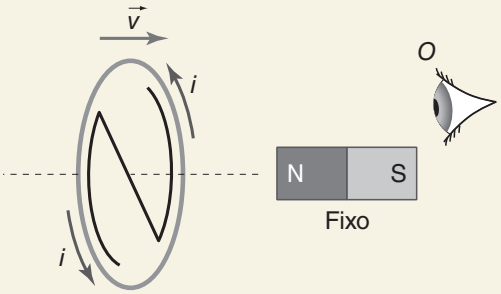
ADILSON SECCO/ARQUIVO DA EDITORA

b) O polo sul do ímã se afasta da espira. Ocorre variação do fluxo magnético na superfície da espira, e surge na espira uma corrente elétrica induzida. A corrente induzida gera, na face da espira voltada para o ímã, um polo que se opõe ao afastamento do polo sul do ímã. Logo, na face da espira voltada para o ímã, surge um polo norte. Portanto, a corrente induzida tem sentido anti-horário em relação ao observador *O*.



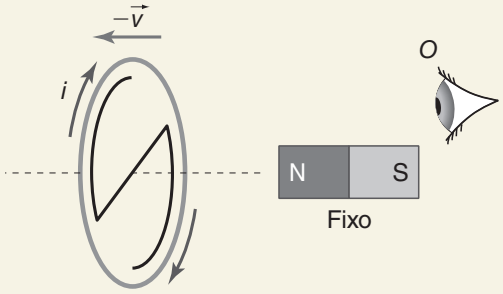
ADILSON SECCO/ARQUIVO DA EDITORA

c) Ao se aproximar a espira do polo norte do ímã, surge, na face da espira voltada para o ímã, um polo norte que se opõe à aproximação. Portanto, a corrente induzida tem sentido anti-horário em relação ao observador *O*.



ADILSON SECCO/ARQUIVO DA EDITORA

d) Ao se afastar a espira do polo norte do ímã, surge, na face da espira voltada para o ímã, um polo sul que se opõe ao afastamento. Portanto, a corrente induzida tem sentido horário em relação ao observador *O*.

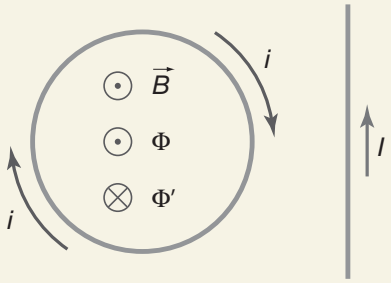


ADILSON SECCO/ARQUIVO DA EDITORA

e) Nesse caso, a corrente induzida é nula, pois, não havendo movimento relativo entre o ímã e a espira, não há variação de fluxo magnético.

5. A corrente elétrica *i*, que percorre o condutor retilíneo, cria, nos pontos em que está a espira, um campo magnético $\vec{B}$ saindo do plano do papel. Como *i* cresce, B cresce, e o fluxo indutor Φ também cresce. O fluxo induzido Φ' surge em sentido contrário, opondo-se ao crescimento de Φ. Conhecendo-se o sentido de Φ', que é o mesmo do campo induzido, determinamos, pela regra da mão direita, que o sentido da corrente elétrica induzida é horário.

ADILSON SECCO/ARQUIVO DA EDITORA

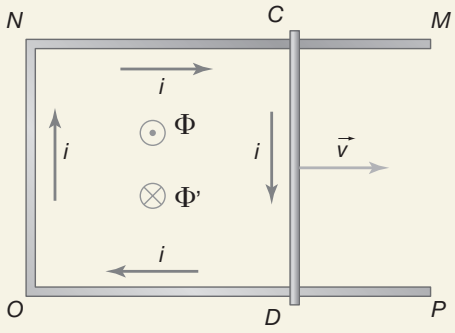


6. O exercício é uma aplicação direta da lei de Lenz. Pode-se usar a força magnética que atua no condutor em movimento para, a partir dela, determinar o sentido da corrente. A força magnética que surge no condutor opõe-se ao seu deslocamento. Vamos resolver pelos fluxos indutor e induzido:

a) O condutor *CD* é deslocado para a direita. Nesse caso, o fluxo indutor Φ, através da superfície da espira, aumenta. O fluxo induzido Φ′ surge em sentido contrário, opondo-se ao aumento de Φ. Conhecendo o sentido de Φ′, que é o mesmo do campo magnético criado pela corrente induzida, determinamos, pela regra da mão direita, o sentido dessa corrente.

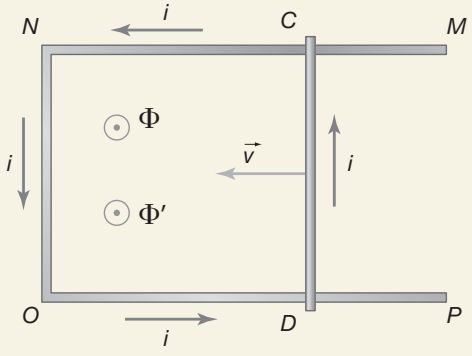
Portanto, concluímos que a corrente elétrica induzida circula na espira no sentido horário.

ADILSON SECCO/ARQUIVO DA EDITORA



b) O condutor *CD* é deslocado para a esquerda. Nesse caso, o fluxo indutor Φ decresce. O fluxo induzido Φ′ surge no mesmo sentido, opondo-se ao decréscimo de Φ. Pela regra da mão direita, concluímos que o sentido da corrente elétrica induzida na espira é anti-horário.

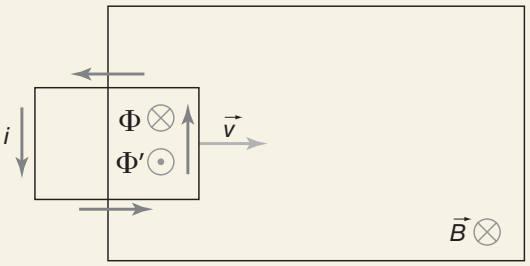
ADILSON SECCO/ARQUIVO DA EDITORA



7. O exercício é semelhante ao anterior. Deve-se lembrar aos alunos que, na entrada, a área da espira imersa no campo magnético aumentará; já na saída, a área imersa no campo diminuirá.

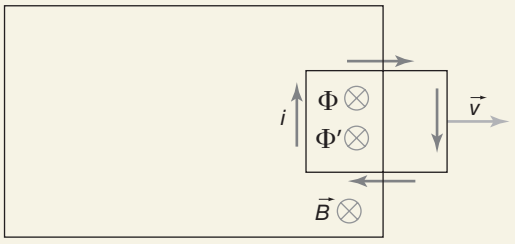
a) Durante a entrada da espira, o fluxo indutor Φ aumenta, e o fluxo induzido Φ′ aparece em sentido contrário, opondo-se ao aumento de Φ. Pela regra da mão direita, concluímos que o sentido da corrente elétrica induzida é anti-horário.

ADILSON SECCO/ARQUIVO DA EDITORA



Durante a saída da espira, o fluxo indutor Φ diminui, e o fluxo induzido Φ′ aparece no mesmo sentido, opondo-se à diminuição de Φ. Pela regra da mão direita, concluímos que o sentido da corrente elétrica induzida é horário.

ADILSON SECCO/ARQUIVO DA EDITORA



b) Durante o deslocamento da espira, enquanto ela estiver totalmente imersa no campo magnético, não haverá variação do fluxo magnético Φ, e, portanto, a corrente elétrica induzida será nula.

Em destaque

Michael Faraday

A atividade introduz os alunos ao papel de Michael Faraday na descoberta da indução eletromagnética, incentivando a compreensão do processo científico por meio da experimentação e estudo persistente. Também explora a importância dos registros históricos, mostrando como documentos detalhados, como diários e correspondências, revelam o desenvolvimento científico. Inicie com uma breve discussão sobre o contexto do eletromagnetismo no século XIX e a contribuição de cientistas como Oersted e Faraday. Em seguida, peça que os alunos leiam o trecho e identifiquem o percurso de Faraday até sua famosa experiência de 1831. Esta atividade desenvolve a competência geral 1, pois trata de um aspecto histórico do eletromagnetismo, valorizando a compreensão científica e seu contexto histórico.

1. As datas precisas são indicadores de que os historiadores das ciências têm acesso a documentos detalhados sobre os trabalhos de Faraday.

2. Oriente as duplas a discutirem sobre como documentos históricos, como diários de laboratório e correspondências, preservam o contexto e a evolução dos conhecimentos científicos, sendo fontes fundamentais para a compreensão de como as teorias e práticas científicas se desenvolveram ao longo do tempo.

Atividade prática

Gerando corrente elétrica induzida

A atividade é propícia para o desenvolvimento das habilidades **EM13CNT301**, pois motiva os estudantes a elaborar hipóteses, previsões e estimativas sobre o experimento, e **EM13CNT107**, porque trata sobre a essência do funcionamento de motores elétricos e de processos de transformação e condução de energia.

Espera-se que o aluno observe que:

- Quando se aproxima ou se afasta o ímã da bobina, o galvanômetro acusa passagem de corrente elétrica em um sentido durante a aproximação e em sentido oposto durante o afastamento. Quando o ímã para, o ponteiro do galvanômetro volta à posição zero.
- Aproximando-se ou afastando-se mais rapidamente o ímã da bobina, isto é, variando-se mais rapidamente o fluxo magnético, a intensidade da corrente induzida aumenta. Esse fato já prepara o aluno para o item relativo à lei de Faraday.
- Para se ter corrente elétrica induzida, deve haver movimento relativo entre o ímã e a bobina. Por isso, fixando-se o ímã e movimentando-se a bobina, o galvanômetro indica passagem de corrente elétrica.

Pode-se propor aos alunos a seguinte questão: teríamos corrente induzida se o ímã e a bobina se deslocassem simultaneamente para a direita ou para a esquerda, ambos com a mesma velocidade? A resposta é não.

Sobre o questionamento feito no livro do estudante, espera-se que os estudantes concluam que, quando o fluxo magnético varia na superfície de uma bobina, surge nela uma corrente elétrica (corrente elétrica induzida).

Aplicando conhecimentos

8. O exercício é uma aplicação numérica simples da lei de Faraday, com dados fornecidos por um gráfico. No intervalo de tempo entre $t = 0$ e $t = 1{,}0$ s, ocorre variação do fluxo e, com isso, surge uma força eletromotriz induzida média na espira. Tal força eletromotriz induzida média, em valor absoluto, vale, de acordo com a lei de Faraday:

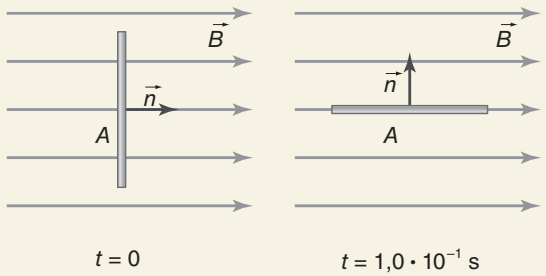
$$|\varepsilon_m| = \frac{|\Delta\Phi|}{\Delta t} \Rightarrow |\varepsilon_m| = \frac{5{,}0 - 0}{1{,}0 - 0} \therefore |\varepsilon_m| = 5{,}0\ \text{V}$$

No intervalo de tempo entre $t = 1{,}0$ s e $t = 2{,}0$ s, o fluxo é constante e igual a 5,0 Wb. Portanto, não havendo variação do fluxo, não haverá força eletromotriz induzida na espira. Portanto, nesse intervalo de tempo, temos: $|\varepsilon_m| = 0$.

Entre $t = 2{,}0$ s e $t = 3{,}0$ s, o fluxo novamente varia. Observe que, nesse intervalo de tempo (1,0 s), tal variação é, em módulo, igual àquela ocorrida no intervalo de $t = 0$ a $t = 1{,}0$ s (5,0 Wb). Logo: $|\varepsilon_m| = 5{,}0$ V.

9. Novamente, o exercício explora a lei de Faraday. Pode-se ressaltar aos alunos que o fluxo magnético é uma grandeza física que nos dá uma ideia da quantidade de linhas de indução do campo magnético que atravessam a espira.

a) Vamos calcular o fluxo através da espira na situação inicial ($t = 0$) e na situação final ($t = 1{,}0 \cdot 10^{-1}$ s).



ADILSON SECCO/ARQUIVO DA EDITORA

Na situação inicial (com $\alpha = 0°$), temos:

$$\Phi_1 = B \cdot A \cdot \cos\alpha \Rightarrow \Phi_1 = 2{,}0 \cdot 10^{-2} \cdot 1{,}0 \cdot 10^{-2} \cdot \cos 0°$$

$$\therefore \Phi_1 = 2{,}0 \cdot 10^{-4}\ \text{Wb}$$

Na situação final, com $\alpha = 90°$, temos: $\Phi_2 = 0$.

b) Com a lei de Faraday, podemos calcular o valor absoluto da força eletromotriz induzida média na espira nesse intervalo de tempo:

$$|\varepsilon_m| = \frac{|\Delta\Phi|}{\Delta t} \Rightarrow |\varepsilon_m| = \frac{|0 - 2{,}0 \cdot 10^{-4}|}{1{,}0 \cdot 10^{-1}} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow |\varepsilon_m| = \frac{2{,}0 \cdot 10^{-4}}{1{,}0 \cdot 10^{-1}} \therefore |\varepsilon_m| = 2{,}0 \cdot 10^{-3}\ \text{V}$$

10. O exercício é semelhante ao anterior. A variação do fluxo é agora obtida por meio de uma variação da intensidade do campo de indução magnética.

a) O fluxo inicial é calculado com:

$$\Phi_1 = B \cdot A \cdot \cos\alpha \Rightarrow \Phi_1 = 3{,}0 \cdot 10^{-2} \cdot 2{,}0 \cdot 10^{-2} \cdot \cos 0°$$

$$\therefore \Phi_1 = 6{,}0 \cdot 10^{-4}\ \text{Wb}$$

O fluxo final é nulo, pois B torna-se nulo.

Então, a variação do fluxo magnético é dada por:

$$\Delta\Phi = \Phi_2 - \Phi_1 \Rightarrow \Delta\Phi = 0 - 6{,}0 \cdot 10^{-4}$$

$$\therefore \Delta\Phi = -6{,}0 \cdot 10^{-4}\ \text{Wb}$$

b) A lei de Faraday fornece o valor absoluto da força eletromotriz induzida média na espira:

$$|\varepsilon_m| = \frac{|\Delta\Phi|}{\Delta t} \Rightarrow |\varepsilon_m| = \frac{|-6{,}0 \cdot 10^{-4}|}{4{,}0} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow |\varepsilon_m| = \frac{6{,}0 \cdot 10^{-4}}{4{,}0} \therefore |\varepsilon_m| = 1{,}5 \cdot 10^{-4}\ \text{V}$$

c) A intensidade média da corrente induzida que circula na espira pode ser obtida pela lei de Ohm ou pela lei de Pouillet. Temos, então:

$$i = \frac{|\varepsilon_m|}{R} \Rightarrow i = \frac{1{,}5 \cdot 10^{-4}}{10} \therefore i = 1{,}5 \cdot 10^{-5}\ \text{A}$$

Dialogando com o texto

A atividade colabora para o desenvolvimento da **competência geral 1**, pois trata de aspectos históricos do estudo de correntes elétricas.

O filme *A batalha das correntes* destaca as personalidades contrastantes de Tesla e Edison e como suas escolhas impacta-

ram a indústria e a sociedade da época. Caso seja possível, recomenda-se que os alunos assistam ao filme.

A rivalidade entre Tesla e Edison não apenas impulsionou a tecnologia, mas também refletiu aspectos da natureza humana, como ego, competitividade e ambição. Esta abordagem ajuda os alunos a conectarem eventos históricos com questões atuais de desenvolvimento tecnológico e ética na Ciência.

Espera-se que os estudantes listem as seguintes características de cada tipo de corrente elétrica:

- Corrente elétrica contínua (CC) – mais segura para uso doméstico devido à tensão mais baixa, o que reduz o risco de choques elétricos fatais; os geradores e os motores que operam em CC são mais simples de construir; por fornecer uma tensão constante, a CC era mais propícia para muitos equipamentos elétricos da época.
- Corrente elétrica alternada (CA) – esse tipo de corrente elétrica é transmitida com menos perda de energia, devido à possibilidade de elevar e diminuir a tensão com uso de transformadores; a CA era mais eficiente para o motor de indução que Tesla desenvolveu na época; a CA requer uma infraestrutura de transmissão mais barata que a CC.

Educação midiática

Cibersegurança: navegando seguro pelas ondas da rede

Os objetivos desta atividade são discutir a segurança em ambiente digital, como forma de motivar os estudantes a compreenderem conhecimentos básicos da tecnologia digital, das ferramentas e redes de comunicação, bem como do seu uso em diferentes contextos e para diferentes propósitos; e reconhecer a importância da segurança da informação nas mídias. A atividade, por tratar de segurança cibernética e preservação de privacidade, contempla a BNCC Computação, na habilidade **EM13CO08** (Entender como mudanças na tecnologia afetam a segurança, incluindo novas maneiras de preservar sua privacidade e dados pessoais *on-line*, reportando suspeitas e buscando ajuda em situações de risco).

Proponha a leitura individual do primeiro parágrafo da seção e então abra o debate para o grupo, estimulando-os a expressarem suas opiniões, pedindo argumentos que as embasem. É provável que muitos dos estudantes tragam exemplos reais de ciberataques ou lembrem de filmes sobre o assunto. Valorize essas contribuições, que ajudarão a ilustrar o tema.

Organize os estudantes em grupos de quatro a cinco indivíduos para a leitura do *Pequeno guia de cibersegurança* e as atividades propostas ao final.

Use a atividade 1 para promover uma compreensão mais aprofundada sobre cada item do guia. Conduza as atividades acompanhando as discussões nos grupos, de forma a garantir que sejam percebidas as limitações e as necessidades específicas de idosos. Lembre aos estudantes que garantir a inclusão desse grupo tem o efeito de facilitar também o acesso das demais pessoas às tecnologias de cibersegurança. Sobretudo, é preciso desenvolver a empatia, de forma a compreender como essas pessoas veem as tecnologias e as dificuldades reais que enfrentam, para então pensar em soluções, e isso passa pela inclusão de idosos entre os tomadores de decisão e os desenvolvedores de tecnologias. De qualquer forma, estimule e valorize a criatividade dos estudantes. O documento *Internet com responsa +60*, indicado a seguir, pode auxiliar nesse trabalho.

A atividade 2 busca promover a leitura crítica dos termos de uso e das autorizações de *cookies* com os quais os estudantes se deparam cotidianamente na internet. Leve-os a refletirem sobre as consequências da atitude frequente de clicar no botão "li e concordo" ou similares sem terem lido o texto (geralmente, por serem cheios de jargões jurídicos, longos e em letras pequenas).

1. a) Resposta pessoal.
b) Resposta pessoal.
c) Resposta pessoal.
d) Resposta pessoal. Alguns exemplos de soluções são aplicativos com letras maiores e com botões de cores diferentes e o uso de gerenciadores de senhas, que permitem usar diversas senhas a partir da memorização de uma senha principal.

2. a) Frequentemente, os *cookies* são classificados de acordo com sua finalidade e aparecem agrupados para o usuário: os estritamente necessários para o *website* funcionar (por exemplo, informações de segurança e acesso a áreas restritas); os de publicidade (para prover propagandas direcionadas ao perfil do usuário); e os analíticos, que podem ser divididos em performance ou desempenho (para o *website* funcionar de acordo com as preferências do usuário, como localidade e linguagem), estastística (normalmente anônimos, alimentam o relatório de funcionamento do *website*, como a localidade dos usuários, quanto tempo navegaram pelo *website* etc.) e funcionais (por exemplo, *link* para redes sociais e funcionamento de comentários e *chatbots*).
b) Uma empresa poderia vender dados privativos que coleta de seus clientes/usuários, como gênero e informações do cartão de crédito, para uma empresa parceira fazer publicidade direcionada. Normalmente, as empresas lucram com esse tipo de ação. Caso informações sensíveis, como número do CPF e endereço residencial, circulem em meios desconhecidos, pessoas podem ser alvo de ações mal-intencionadas, como clonagem de cartão de crédito, furto de identidade, abertura de conta bancária não autorizada.

3. "*Hackers* do bem" são pessoas com habilidades em computação especialistas em identificar problemas de segurança em sistemas digitais, ou seja, cibersegurança. Eles podem atuar na gestão de risco de empresas, mapeando vulnerabilidades, prevenindo ações de ataque e implementando soluções e padrões de segurança.

Documento indicado:

ANGELINI, K. *Internet com responsa +60*: cuidados e responsabilidades no uso da internet. [*S. l.*]: nic.br/cgi.br, 2024. Disponível em: https://nic.br/media/docs/publicacoes/13/internet_com_responsa_+60.pdf (acesso em: 30 out. 2024).

O documento, produzido pelo Núcleo de Informação e Comitê Gestor da Internet no Brasil, pode ser útil não só ao público a que se destina (pessoas idosas), como também a qualquer pessoa não especialista em segurança digital. Possui linguagem acessível e

acessível e traz exemplos de casos reais para ilustrar determinadas situações.

Estratégia de estudo

Reforce com os estudantes que o mapa conceitual pode ser montado de diferentes maneiras e que não há uma única forma correta de fazê-lo. Caso seja possível, escolha um tópico do capítulo e incentive-os a montar o mapa conceitual referente a ele, ainda em sala de aula. Peça que façam isso individualmente e depois encoraje-os a compartilharem seus mapas uns com os outros para que percebam a diversidade de possibilidades de organização de um mesmo assunto.

Uma dificuldade que pode surgir na montagem do mapa é a determinação da relação de causa e efeito entre palavras-chave, o que interfere na organização e na hierarquia entre as palavras. Converse com os estudantes sobre isso, dando um exemplo do assunto do capítulo, por exemplo: o movimento de um ímã em relação a uma bobina causa uma variação no fluxo magnético, que, por sua vez, gera uma corrente elétrica induzida. Essa é uma dificuldade que pode ser resolvida a partir de esclarecimentos conceituais, portanto, coloque-se à disposição dos estudantes para tratar de dúvidas desse tipo.

Atividades finais

1. Inicialmente, temos um afastamento relativo entre o ímã (polo norte) e a primeira espira (lado esquerdo) da bobina. Com esse afastamento, a polaridade magnética da espira é um polo sul de acordo com a lei de Lenz, e a corrente elétrica tem o sentido horário (visto da perspectiva do imã ímã).

Se invertermos a polaridade do ímã e produzirmos uma aproximação relativa entre eles, de acordo com a lei de Lenz, haverá uma repulsão entre a espira e o ímã. Consequentemente, surge na espira um polo sul magnético, e a corrente terá o sentido horário (visto da perspectiva ímã).

Um dos modos de se fazer a aproximação relativa é movimentar a bobina para a esquerda e o ímã (invertido) para a direita.

Alternativa **a**

2. O surgimento da corrente elétrica induzida na espira é devido à variação do fluxo magnético através da área da espira. Durante a aproximação do ímã, o fluxo magnético aumenta; durante o afastamento, o fluxo magnético diminui. Portanto, na espira surge corrente quando o ímã se aproxima ou se afasta da espira.

É importante destacar que o sentido da corrente elétrica induzida na espira inverte-se quando ocorre a passagem do ímã pela espira.

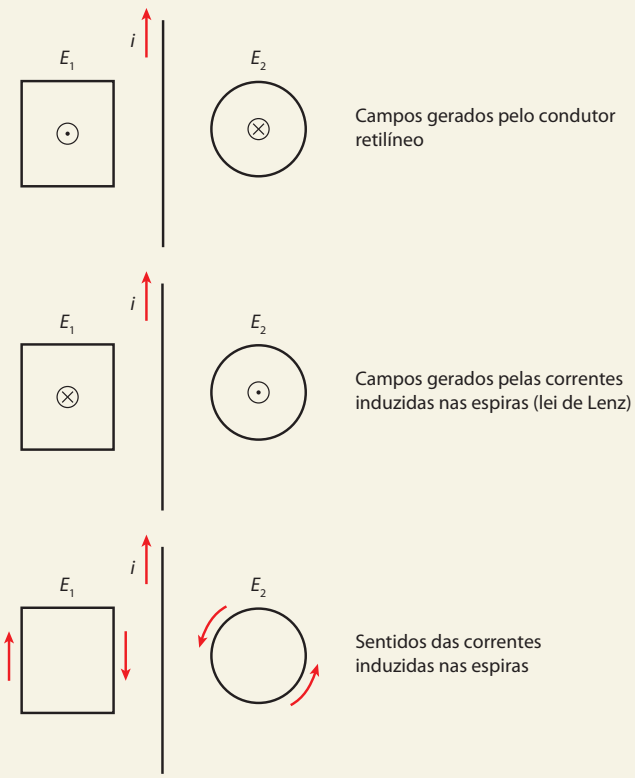
Alternativa **e**

3. Devemos observar inicialmente que a intensidade da corrente elétrica aumenta com o tempo. Com o aumento da intensidade de corrente elétrica, a intensidade do campo magnético nas proximidades do condutor retilíneo também aumenta. Assim, o fluxo de indução magnética através das duas espiras aumenta com o passar do tempo.

Na espira E_1 o campo magnético gerado pelo condutor retilíneo, usando a regra da mão direita, é orientado "para fora" do plano da figura. Assim, pela lei de Lenz, o campo magnético induzido pela corrente elétrica induzida na espira deve ser orientado "para dentro" do plano da figura, e a corrente elétrica induzida na espira, pela regra da mão direita, terá sentido horário.

Na espira E_2 o campo magnético gerado pelo condutor retilíneo, usando a regra da mão direita, é orientado "para dentro" do plano da figura. Assim, pela lei de Lenz, o campo magnético induzido pela corrente elétrica induzida na espira deve ser orientado "para fora" do plano da figura, e a corrente elétrica induzida na espira, pela regra da mão direita, terá sentido anti-horário.

As figuras a seguir ilustram os passos seguidos.



ADILSON SECCO/ARQUIVO DA EDITORA

4. a) No intervalo de 0 a 1,0 s, temos:

$$\left|\varepsilon_m\right| = \frac{|6{,}0 \cdot 10^{-6} - 0|}{1{,}0} \therefore \left|\varepsilon_m\right| = 6{,}0 \cdot 10^{-6}\ \text{V}$$

b) No intervalo de 1,0 s a 2,0 s, temos:

$$\left|\varepsilon_m\right| = \frac{|6{,}0 \cdot 10^{-6} - 6{,}0 \cdot 10^{-6}|}{1{,}0} \therefore \left|\varepsilon_m\right| = 0$$

c) No intervalo de 2,0 s a 4,0 s, temos:

$$\left|\varepsilon_m\right| = \frac{|0 - 6{,}0 \cdot 10^{-6}|}{2{,}0} \therefore \left|\varepsilon_m\right| = 3{,}0 \cdot 10^{-6}\ \text{V}$$

5. a) Com o deslocamento do condutor, a área da espira aumenta, e, com isso, o fluxo de indução magnética varia. Então:

$$\left|\varepsilon_m\right| = \frac{|\Delta\Phi|}{\Delta t} \Rightarrow \left|\varepsilon_m\right| = \frac{B \cdot \Delta A}{\Delta t} \Rightarrow \left|\varepsilon_m\right| = \frac{B \cdot L \cdot \Delta s}{\Delta t} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \left|\varepsilon_m\right| = B \cdot L \cdot v$$

b) Com o aumento da área da espira, o fluxo magnético também aumenta. Assim, o fluxo magnético induzido deverá se opor a esse aumento, e o campo magnético criado pela corrente induzida terá sentido oposto. Pela regra da mão direita, a corrente induzida terá sentido anti-horário.

A intensidade média da corrente elétrica induzida é obtida com a lei de Ohm:

$\varepsilon_m = R \cdot i \Rightarrow B \cdot L \cdot v = R \cdot i \Rightarrow i = \frac{B \cdot L \cdot v}{R}$

6. Pela regra da mão direita, o fio origina, na região onde está a espira, um campo magnético perpendicular à folha, penetrando pelo plano da figura. Se a corrente induzida na espira estiver no sentido horário, então o fluxo induzido deve também estar penetrando no plano da espira. Tal fluxo, que favorece o fluxo originado pelo campo magnético do fio retilíneo, deve se opor a esse aumento. Assim, isso ocorrerá se a espira estiver se afastando (fluxo magnético no interior da espira diminuindo) do condutor retilíneo.

Alternativa **e**

7. Sabendo que a potência do primário é igual à do secundário, temos que:

$P_P = P_S \Rightarrow U_P \cdot i_P = U_S \cdot i_S \Rightarrow 220 \cdot 3 = 120 \cdot i_S \Rightarrow 660 = 120 \cdot i_S$
$\therefore i_S = 5{,}5\ \text{A}$

8. Quando o detector é aproximado de um objeto metálico, ocorre uma variação do fluxo magnético através do objeto, induzindo nele correntes elétricas (correntes de Foucault). Essas correntes, por sua vez, geram um campo magnético variável, que induz corrente na bobina, alterando o valor do campo magnético de referência. Essa alteração indica a presença do objeto metálico.

9. As cordas feitas de náilon apresentam uma magnetização desprezível sob a ação do ímã permanente. Assim, não ocorre o fenômeno da indução eletromagnética, e o amplificador ligado ao instrumento não emite mais som.

Alternativa **c**

Referências suplementares

Para enriquecer ainda mais a aula, caso haja acesso à internet e computador, mostre aos estudantes a simulação: https://phet.colorado.edu/sims/html/faradays-law/latest/faradays-law_pt.html (acesso em: 1º nov. 2024).

Proposta de avaliação

As atividades **1**, **3** e **9** da seção *Atividades finais* possibilitam uma avaliação abrangente da aprendizagem dos estudantes a respeito de conteúdos-chave do capítulo.

Capítulo 21 Ondas eletromagnéticas

Objetivos do capítulo

- Conhecer as características das ondas que constituem o espectro eletromagnético e os fenômenos a elas relacionados.
- Utilizar os conhecimentos de radiações e suas origens para avaliar as potencialidades e os riscos de sua aplicação no cotidiano, na indústria, no ambiente, na saúde, na tecnologia espacial, na pesquisa por vida extraterrestre, entre outros.
- Reconhecer os benefícios e os riscos à saúde e ao ambiente, considerando a intensidade e a natureza das ondas eletromagnéticas.
- Conhecer e analisar como as descobertas nos ramos da eletricidade e do magnetismo impulsionaram o desenvolvimento tecnológico nos séculos XIX e XX.
- Ter ciência de como as tecnologias das comunicações impactaram a vida econômica, política e cultural das sociedades modernas.

Sugestões didáticas e comentários/ Por dentro da BNCC

A abertura do capítulo destaca a busca por indícios de vida extraterrestre; entretanto, uma das condições para que exista vida em outros lugares do Universo, da forma como a conhecemos, exige, pelo menos, água líquida, elementos químicos associados à vida (como carbono, oxigênio e nitrogênio) e moléculas orgânicas. A identificação desses elementos químicos ou moléculas é realizada por diversos tipos de telescópios e seus instrumentos capazes de captar distintos comprimentos de onda. As diversas ondas eletromagnéticas possuem diferentes poderes de penetração, dependendo de como elas são geradas. A previsão teórica da existência dessas radiações e a posterior detecção experimental delas constituíram um longo processo histórico. A aplicação do Eletromagnetismo às necessidades da sociedade da época gerou diversas invenções, como a emissão e a recepção de mensagens sem fio, que influenciaram as tecnologias atuais de comunicação.

Após uma breve introdução histórica do desenvolvimento do Eletromagnetismo, em que há um enfoque sobre a unificação da eletricidade e do magnetismo com as equações de Maxwell, sugerimos aproveitar o momento para destacar que a construção da Ciência se dá historicamente e corresponde às necessidades e aos anseios de cada época e que uma das consequências das equações de Maxwell foi a previsão das ondas eletromagnéticas, que hoje são amplamente empregadas em Ciência e tecnologia. É interessante destacar em aula que as ondas eletromagnéticas foram confirmadas experimentalmente em 1886, por Heinrich Hertz, e, somente vários anos depois, apareceram as primeiras aplicações práticas delas. Essa discussão vem ao encontro da **competência geral 1**, por valorizar e utilizar os conhecimentos historicamente construídos sobre o mundo físico, social, cultural e digital para entender e explicar a realidade, continuar aprendendo e colaborar para a construção de uma sociedade justa, democrática e inclusiva.

Convém esclarecer aos estudantes que uma onda eletromagnética propaga energia, transmite impulso e exerce pressão (pressão de radiação) e que seu poder de penetração na matéria é tanto maior quanto maior for sua frequência. Desse modo, eles poderão compreender melhor o uso de determinado tipo de onda em cada aplicação prática e desenvolver a habilidade **EM13CNT103**.

É importante salientar que as ondas eletromagnéticas não necessitam de um meio material para se propagar, embora possam se propagar nesses meios, e propagam-se no vácuo com

a mesma velocidade de propagação da luz nesse meio. Além disso, as características das ondas eletromagnéticas devem ser apresentadas, principalmente sua velocidade de propagação no vácuo, a orientação espacial relativa dos vetores campo elétrico, campo magnético e velocidade de propagação. É interessante mostrar aos estudantes uma comparação entre tamanhos de certos objetos e comprimentos de onda de algumas radiações eletromagnéticas para que eles possam ter uma melhor ideia dessas dimensões.

Nesse momento, podem surgir dúvidas referentes ao porquê de existirem diferentes classificações de ondas, viabilizando uma discussão sobre o fato de diferentes comprimentos de ondas apresentarem diferentes poderes de penetração e energia; assim, diversas aplicabilidades e alcances tecnológicos podem proporcionar tanto benefícios quanto malefícios se utilizados de forma incorreta, podendo provocar riscos à saúde, à sociedade e ao ambiente, portanto, colocando em prática a habilidade **EM13CNT104**.

Deve-se salientar aos estudantes que as radiações de frequências mais elevadas (ultravioleta, raios X e raios gama) podem ser perigosas aos seres vivos em decorrência de seu alto poder de penetração (devido aos pequenos comprimentos de onda) e seu poder energético (por causa das altas frequências). Entretanto, essas radiações fazem parte de fenômenos da natureza e possuem muitas aplicações tecnológicas. É uma boa oportunidade para relacionar o espectro eletromagnético com aplicações em telecomunicações e Medicina. Por estimular os estudantes a construírem questões, elaborarem hipóteses, fazerem estimativas, interpretarem modelos físicos o capítulo desenvolve a habilidade **EM13CNT301**.

É importante evidenciar que nem sempre uma descoberta é feita por uma só pessoa; em geral, alguém avança a partir de determinado conhecimento a que outros chegaram. Enfatize que o conhecimento e o domínio da eletricidade e do magnetismo impulsionaram um avanço significativo nas tecnologias de comunicação, inicialmente com o telégrafo e, depois, com o telefone, com o rádio, com a televisão, etc.

Atividade extra

Solicite aos estudantes que produzam uma história em quadrinhos sobre como imaginam que seria uma comunicação extraterrestre "inteligente" com os humanos. É importante que os estudantes usem como base conceitos sobre ondas eletromagnéticas e tecnologias de comunicação, principalmente com uso de ondas de rádio. Indique que eles pesquisem sobre o projeto SETI (sigla em inglês que significa Busca por Inteligência Extraterrestre).

Resoluções e comentários

Aplicando conhecimentos

1. A partir da definição de velocidade média, temos:

$\Delta S = c \cdot \Delta t \Rightarrow 372.000 \text{ km} = 300.000 \text{ km/s} \cdot \Delta t \Rightarrow$

$\Rightarrow \Delta t = 1{,}24$ segundo

Isso significa que, ao olhar para a Lua, você está vendo uma imagem de como ela era 1 segundo e 24 centésimos de segundo atrás.

2. a) A partir da equação fundamental da ondulatória, temos:

$v = \lambda \cdot f \Rightarrow 3{,}0 \cdot 10^8 = \lambda \cdot 120 \cdot 10^6 \therefore \lambda = 2{,}5$ m

b) Os campos induzidos E e B oscilam em fase, portanto têm a mesma frequência, isto é: $f_E = f_B = 120$ MHz.

c) Utilizando a regra da mão esquerda temos que o vetor $\vec{E}$ tem direção vertical e sentido para cima.

Sua amplitude é calculada pela relação:

$$v = \frac{E_{máx}}{B_{máx}} \Rightarrow E_{máx} = v \cdot B_{máx} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow E_{máx} = 3{,}0 \cdot 10^8 \cdot 7{,}0 \cdot 10^{-9} \therefore E_{máx} = 2{,}1 \text{ V/m}$$

Atividade em grupo

Divida a turma em grupos e permita que cada um escolha uma das tecnologias mencionadas. Oriente-os a realizar uma pesquisa aprofundada sobre a invenção da tecnologia escolhida, seus desenvolvimentos ao longo do tempo e seu papel atual na disseminação de informações e nas interações sociais. Sugira que eles busquem fontes confiáveis, como livros, artigos acadêmicos e documentários, para embasar suas pesquisas.

Peça que cada grupo pense em exemplos práticos que ilustram como a tecnologia impacta o dia a dia das pessoas e a forma como consomem informações. Por exemplo, a televisão revolucionou o entretenimento e a educação, permitindo que informações e eventos chegassem rapidamente às massas, mas também contribuiu para a difusão de estereótipos e desinformação. O rádio, por sua vez, foi crucial para a comunicação durante guerras e crises, permitindo que mensagens importantes fossem disseminadas rapidamente.

A internet e os computadores mudaram radicalmente a forma como acessamos e compartilhamos informações. Eles possibilitaram o surgimento das redes sociais, que transformaram a maneira como nos conectamos e interagimos, mas também levantaram questões sobre privacidade e a propagação de *fake news*. Os *smartphones* e os aplicativos de mensagens instantâneas trouxeram a comunicação em tempo real para a palma da mão, facilitando a interação social, mas também contribuindo para a ansiedade e a pressão social entre os jovens.

Para as apresentações, encoraje os grupos a utilizarem recursos criativos, como vídeos e *slides*, para tornar a comunicação de suas descobertas mais envolvente. Lembre-os da importância de uma apresentação clara e concisa, que destaque os pontos principais de suas pesquisas e os exemplos escolhidos. Também é fundamental que eles pratiquem a apresentação, para garantir que todos os membros do grupo estejam envolvidos e confortáveis ao compartilhar as informações com os colegas.

Estimule-os a pensar criticamente sobre as possíveis evoluções futuras dessas tecnologias e o que elas podem significar para as próximas gerações.

Essa abordagem não apenas ajuda os alunos a compreenderem a evolução das tecnologias de comunicação, mas também os envolve em uma reflexão sobre seu impacto na sociedade, promovendo o desenvolvimento da **competência geral 2**.

Dialogando com o texto

Comece a aula introduzindo a estrutura da molécula de água, destacando sua polarização: uma região eletrizada nega-

tivamente, representada pelo átomo de oxigênio, e uma região eletrizada positivamente, correspondente aos átomos de hidrogênio. Utilize diagramas para facilitar a visualização.

Em seguida, discorra sobre como a presença de um campo elétrico intenso faz com que as moléculas de água girem e se alinhem, resultando em um aumento do "grau de agitação" das moléculas. Explique também a conversão de energia potencial eletrostática em energia térmica, que causa o aumento da temperatura da água.

Divida os alunos em duplas e proponha a questão: "Por que o prato que contém um alimento aquecido no forno de micro-ondas também fica quente?" A resposta é que o prato se aquece pelo processo de condução, uma vez que está em contato direto com o alimento quente. Incentive os alunos a discutir essa resposta e relacioná-la com os conceitos abordados. Para enriquecer a discussão, sugira que consultem um professor de química sobre a estrutura da molécula de água e suas ligações.

Essa atividade proporciona uma abordagem interdisciplinar, conectando conhecimentos de física e química enquanto explora um fenômeno cotidiano.

Educação midiática

Diversidade e estereótipos na mídia e na inteligência artificial

O objetivo desta atividade é promover a conscientização sobre a importância da representatividade da interpretação de imagens na mídia e do olhar crítico para informações criadas por sistemas que geram informações a partir de IA. Espera-se que os estudantes desenvolvam a percepção sobre o contexto sociocultural dos conteúdos midiáticos e de seu impacto na interpretação da informação, compreendendo que não é suficiente estarem presentes os diversos grupos sociais e étnico-raciais. É necessário garantir que eles sejam representados de forma livre de preconceitos e estereótipos, sob sua própria perspectiva. Ressalte que políticas públicas voltadas para a erradicação de todo e qualquer tipo de preconceito são fundamentais para que mais pessoas pertencentes a grupos socialmente minorizados possam exercer plenamente suas potencialidades. Uma maneira de fazer isso é representá-las na mídia.

Procure ainda colaborar para desfazer o estereótipo do cientista como possuidor de uma inteligência acima da média, reforçando que a Ciência é uma área de trabalho que exige o desenvolvimento de competências e habilidades específicas, acessível a qualquer pessoa, desde que as condições de equidade social sejam garantidas.

Se houver condições, exiba o vídeo *Mulheres na Fiocruz: pioneiras*, que trata sobre o processo histórico de inserção das mulheres na Ciência e a problematização da baixa representatividade das mulheres negras. Disponível em: https://portal.fiocruz.br/video/mulheres-na-fiocruz-pioneiras (acesso em: 04 out. 2024).

1. a) A vestimenta de Gladys, um tipo de terninho, mostra que ela trabalhava em um ambiente formal. Esse tipo de roupa traz atributos masculinos à cientista, sugerindo que sua aceitação entre os cientistas pode ter sido reforçada por uma imagem formal e discreta.

b) Não é possível inferir a relação de trabalho entre Gladys e Sam. Apesar de ela estar aparentemente à frente da situação, é importante comentar que, na década de 1980, provavelmente, não existiam muitas mulheres, principalmente negras, em cargos altos.

2. Instrua os estudantes a interpretarem a imagem de maneira semelhante ao que foi feito na atividade 1. A vestimenta das pessoas, suas posturas, os objetos ao redor das pessoas e também ao fundo são elementos que indicam uma mensagem. É importante inferir o grupo étnico-racial, a faixa etária e o gênero das pessoas nas fotos. Se a imagem fizer parte de uma reportagem e tiver legenda, é relevante para o exercício de criticidade considerar o que está escrito. Caso haja algum estudante com baixa visão ou cego, faça a descrição das imagens escolhidas de maneira imparcial, com atenção para não passar impressões esterotipadas.

3. Espera-se que os estudantes percebam que a diversidade de bagagens dos membros de uma equipe deve ser benéfica para o trabalho de monitoramento de um algoritmo de IA, uma vez que a pluralidade de olhares tem maior probabilidade de identificar situações preconceituosas e/ou discriminatórias.

4. Os usuários devem ser criteriosos ao receberem informações de um sistema que utiliza IA. Além de avaliar a presença de ideias preconceituosas, é importante também analisar a veracidade de informações, pois os algoritmos de IA podem gerar dados incorretos ou imprecisos.

Aplicando conhecimentos

3. Como as velocidades de propagação são iguais, temos:

$\lambda_{AM} \cdot f_{AM} = \lambda_{FM} \cdot f_{FM}$. Assim:

$\lambda_{AM} \cdot 980 \cdot 10^3\ \text{Hz} = \lambda_{FM} \cdot 98 \cdot 10^6\ \text{Hz} \Rightarrow \lambda_{AM} = 10^2 \cdot \lambda_{FM}$

Comente que, como a velocidade de propagação é a mesma para as duas ondas, à maior frequência corresponde o menor comprimento de onda e vice-versa.

4. a) A partir da equação fundamental da ondulatória, temos:

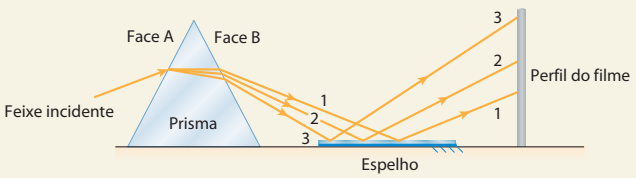
$v = \lambda \cdot f \Rightarrow 3 \cdot 10^8 = \lambda \cdot 2{,}45 \cdot 10^9 \therefore \lambda = 12{,}24\ \text{cm}$

b) Superfícies metálicas refletem boa parte da radiação incidente, podendo danificar a fonte geradora das micro-ondas.

5. Para as radiações em questão, temos as seguintes relações para as suas velocidades de propagação dentro do vidro e os respectivos índices de refração:

$v_{\text{vermelha}} > v_{\text{verde}} > v_{\text{azul}} \Rightarrow n_{\text{vermelha}} < n_{\text{verde}} < n_{\text{azul}}$

Logo, a luz vermelha é a que sofre menor desvio ao penetrar no prisma e ao sair dele também. A luz azul é a que sofre maior desvio.



ADILSON SECCO/ ARQUIVO DA EDITORA

Assim, na face B, temos: 1 = vermelha, 2 = verde e 3 = azul.

Portanto, no filme, lendo de baixo para cima, temos: vermelha, verde e azul.

Alternativa **a**

6. a) A frequência da radiação no ar e no meio X é a mesma:

$f_X = f_{ar} = \frac{v_{ar}}{\lambda_{ar}} = \frac{2{,}945 \cdot 10^8 \text{ m/s}}{589 \cdot 10^{-9} \text{ m}} \Rightarrow f_X = 5{,}0 \cdot 10^{14} \text{ Hz}$

b) O índice de refração absoluto de um meio é $n = \frac{c}{v}$, sendo v a velocidade de propagação da radiação no meio e c a velocidade de propagação da radiação no vácuo. Assim:

$c = n_{ar} \cdot v_{ar} = n_X \cdot v_X \Rightarrow 1{,}0 \cdot 2{,}945 \cdot 10^8 \text{ m/s} = 1{,}25 \cdot v_X$

$\therefore v_X = 2{,}356 \cdot 10^8 \text{ m/s}.$

O comprimento de onda no meio X é igual a:

$\lambda_X = \frac{v_X}{f_X} = \frac{2{,}356 \cdot 10^8 \frac{\text{m}}{\text{s}}}{5{,}0 \cdot 10^{14} \text{ Hz}} \therefore \lambda_X = 4{,}712 \cdot 10^{-7} \text{ m} =$

$= 471{,}2 \text{ nm}$

Em destaque

Sirius, o acelerador de elétrons brasileiro

A atividade ressalta o funcionamento de um equipamento de pesquisa brasileiro que está à disposição da comunidade científica. Caso os estudantes se interessem pelo funcionamento do acelerador de elétrons, o *website* do CNPEM contém muitas informações voltadas para público não especializado. Há muitos vídeos disponíveis nos canais oficiais da instituição sobre atividades dos laboratórios nacionais que compõem o CNPEM. O Sirius faz parte do Laboratório Nacional de Luz Síncroton (LNLS), o qual é apenas um dos laboratórios da instituição.

Por as pesquisas no Sirius envolverem a incidência de radiação eletromagnética em amostras, a atividade favorece o desenvolvimento da habilidade **EM13CNT103**. A habilidade **EM13CNT303** também é mobilizada, uma vez que os estudantes são estimulados a interpretarem textos de divulgação científica.

1. Resposta pessoal. Indique que os estudantes utilizem o *website* do CNPEM e suas redes sociais para buscar descritivos de pesquisas desenvolvidas no Sirius.

2. Resposta pessoal.

3. Estimule que todos os estudantes participem da roda de conversa, trazendo informações sobre os aspectos levantados das pesquisas. Questione-os sobre o que acharam mais curioso nas pesquisas escolhidas. Façam a contabilidade, entre as pesquisas selecionadas, da representatividade de mulheres e da localidade das instituições de filiação dos pesquisadores. É significativa a quantidade de mulheres pesquisadoras em relação à quantidade de homens pesquisadores? Todas as regiões brasileiras aparecem no levantamento dos estudantes?

Em destaque

Marie Curie e o Primeiro Nobel Feminino

Inicie a atividade usando a trajetória de Marie Curie como um exemplo inspirador para incentivar os alunos a explorarem o papel das mulheres na Ciência. Comece apresentando a biografia de Marie Curie, destacando suas conquistas e desafios. Explique como, em um contexto em que o acesso à educação era limitado para as mulheres, ela se destacou por sua determinação e coragem, participando de grupos de estudos secretos e, posteriormente, se mudando para Paris para completar sua formação.

Após essa introdução, proponha aos alunos que realizem uma pesquisa sobre outras cientistas que fizeram contribuições significativas em suas áreas. Sugira algumas cientistas que podem ser estudadas, como Ada Lovelace, que é reconhecida por seus avanços na computação, Rosalind Franklin, famosa por suas contribuições à estrutura do DNA, e Katherine Johnson, uma matemática cujos cálculos foram cruciais para as missões espaciais da NASA. Outras sugestões são Annie Scott Dill Maunder, Alice Perry, Lise Meitner, Emmy Noether e Florence Sabin. Encoraje os alunos a investigarem como o trabalho dessas mulheres se relaciona com a Física, a Química e outras disciplinas científicas, bem como as barreiras que elas enfrentaram em suas respectivas áreas de atuação. Isso ajudará a cultivar um ambiente de respeito e valorização pela diversidade no campo científico, reforçando que todos, independentemente de gênero, podem ter um papel de destaque na construção do conhecimento.

Aplicando conhecimentos

7. A radiação é mais absorvida nos materiais mais densos, que, no caso em questão, são os ossos.

Alternativa **b**

8. O chumbo, por ser um metal muito denso, impede que a radiação atinja regiões do corpo do paciente que não estão sendo investigadas e, portanto, não devem ser expostas à radiação.

9. A energia emitida por segundo é a potência irradiada P. Para uma onda esférica, temos:

$I = \frac{P}{4\pi \cdot d^2} \Rightarrow P = 4\pi \cdot I \cdot d^2 \Rightarrow$

$\Rightarrow P = 4\pi \cdot 1.362 \frac{\text{W}}{\text{m}^2} \cdot \left(1{,}5 \cdot 10^{11} \text{ m}\right)^2 \Rightarrow P \simeq 3{,}85 \cdot 10^{26} \text{ W}$

Portanto, um valor próximo de $4{,}0 \cdot 10^{26}$ J de energia eletromagnética por segundo.

Alternativa **d**

Atividades finais

1. A partir da definição de velocidade média, temos:

$\Delta S = c \cdot \Delta t \Rightarrow 1{,}5 \cdot 10^8 \text{ km} \simeq 3{,}0 \cdot 10^5 \text{ km/s} \cdot \Delta t \Rightarrow$

$\Rightarrow \Delta t \simeq 500 \text{ s} = 08 \text{ min } 20 \text{ s}$

Isso significa que, ao olhar para o Sol, você está vendo uma imagem de como ele era 8 minutos e 20 segundos atrás.

2. a) A partir da equação fundamental da ondulatória, temos:

$v = \lambda \cdot f \Rightarrow 3{,}0 \cdot 10^8 = 20 \cdot 10^{-2} \cdot f$

$\therefore f = 1{,}5 \cdot 10^9 \text{ Hz} = 1{,}5 \text{ GHz}$

b) $v = \frac{E_{máx}}{B_{máx}} \Rightarrow 3{,}0 \cdot 10^8 = \frac{0{,}3}{B_{máx}} \therefore B_{máx} = 1{,}0 \cdot 10^{-9} \text{ T} = 1{,}0 \text{ nT}$

c) Como os vetores $\vec{E}$, $\vec{B}$ e $\vec{v}$ são perpendiculares entre si, se dois deles têm as direções dos eixos *x* e *y*, o terceiro terá a direção do eixo *z*.

3. Comente com a turma que, como o produto $\lambda \cdot f$ deve ser igual para as duas frequências, ao maior comprimento de onda deve corresponder a menor frequência, e vice-versa.

Sendo iguais as velocidades de propagação dessas ondas, temos:

$\lambda_{máx} \cdot f_{mín} = \lambda_{mín} \cdot f_{máx} \Rightarrow 556\ cm \cdot f_{(2)} = 33{,}7\ cm \cdot f_{(83)} \Rightarrow$

$\Rightarrow \frac{f_{(2)}}{f_{(83)}} = \frac{33{,}7}{556} \simeq \frac{1}{16{,}5}$

Não há a necessidade de se calcularem as frequências, visto que o exercício pede apenas a razão.

Alternativa **b**

4. Dentro do forno, formam-se ondas estacionárias com quatro regiões ventrais, isto é, $4 \cdot \frac{\lambda}{2} = 32\ cm \Rightarrow \lambda = 16\ cm = 0{,}16\ m$. Assim, a partir da equação fundamental da ondulatória, temos:

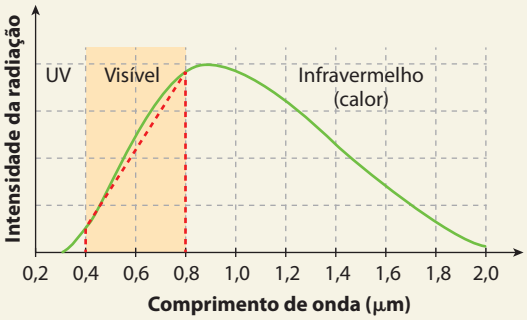
$v = \lambda \cdot f \Rightarrow v = 0{,}16 \cdot 1{,}75 \cdot 10^9 \therefore v = 0{,}28 \cdot 10^9\ m/s =$

$= 2{,}8 \cdot 10^8\ m/s$

Alternativa **b**

5. A área A_V a seguir da curva na faixa visível do espectro pode ser calculada aproximadamente pela área de um trapézio com bases 0,5 u e 3,8 u e altura (0,8 – 0,4), sendo "u" uma unidade arbitrária de intensidade.

ADILSON SECCO/ARQUIVO DA EDITORA



Assim:

$A_V = \frac{(B + b) \cdot h}{2} = \frac{(3{,}8\ u + 0{,}5\ u) \cdot (0{,}8 - 0{,}4)}{2} \simeq 0{,}86\ u$

A área total A_T abaixo da curva toda pode ser calculada aproximadamente pela área de um triângulo de base (2,0 – 0,3) e altura 4,0 u. Assim:

$A_T = \frac{B \cdot h}{2} = \frac{(2{,}0 - 0{,}3) \cdot 4{,}0\ u}{2} \simeq 3{,}4\ u$

Portanto, a eficiência luminosa pedida é

$e = \frac{A_V}{A_T} = \frac{0{,}86\ u}{3{,}4\ u} \simeq 0{,}253 \simeq 25{,}3\%$.

Outro modo de resolver a questão seria "contar" quadradinhos; um processo mais demorado e mais impreciso, mas também dá um resultado próximo de 25%.

Alternativa **c**

Referências suplementares

ESTEVES, Bernardo. Surpresa tecnológica na Grécia antiga: análise de dispositivo usado para calcular movimentos planetários revela complexidade insuspeita. *Ciência Hoje On-line*, [*S. l.*], 29 nov. 2006. Disponível em https://cienciahoje.org.br/surpresa-tecnologica-na-grecia-antiga/ (acesso em: 4 out. 2024). A partir dos resultados de estudos com tomografia de raios X, descobriu-se mais sobre o funcionamento de um dispositivo da Grécia Antiga chamado máquina de Anticítera.

Proposta de avaliação

As atividades **2**, **4** e **5** da seção *Atividades finais* possibilitam uma avaliação abrangente da aprendizagem dos estudantes a respeito de conteúdos-chave do capítulo.

Capítulo 22 Física Quântica, Física Nuclear e Nanotecnologia

Objetivos do capítulo

- Entender a importância da lei de Planck como um dos pilares da Física Moderna e seu papel no desenvolvimento da Física Quântica.
- Conhecer e reconhecer as condições para que ocorra o efeito fotoelétrico, bem como suas aplicações tecnológicas.
- Explicar como o modelo de Bohr surgiu para corrigir as limitações dos modelos atômicos anteriores, especialmente o de Rutherford.
- Compreender o caráter dual da luz e ser capaz de identificar corretamente os comportamentos corpuscular e ondulatório em um fenômeno físico.
- Compreender o conceito de radioatividade e os três principais tipos de emissões radiativas: alfa (α), beta (β) e gama (γ).
- Compreender os fundamentos dos processos de fissão nuclear e fusão nuclear, bem como suas aplicações.
- Compreender o conceito e o campo de atuação da Nanotecnologia.

Sugestões didáticas e comentários/ Por dentro da BNCC

Enfatize aos alunos que a Física Quântica surge da necessidade de descrever fenômenos em escala atômica e subatômica, indo além dos limites das teorias clássicas. Embora novas teorias não invalidem as anteriores, elas ampliam a compreensão científica. Para facilitar a compreensão da teoria quântica de Planck, apresente aos alunos o conceito de radiação de corpo negro com exemplos práticos, como a emissão de radiação pelas estrelas, a radiação emitida por um forno de pizzaria e o funcionamento de lâmpadas incandescentes, relacionando esses fenômenos com o gráfico da distribuição espectral de energia em diferentes temperaturas. Esse processo de análise crítica contribui para o desenvolvimento da **competência geral 2**, que

envolve o exercício da curiosidade intelectual e o uso de conhecimentos científicos para compreender e explicar a realidade.

O estudo do efeito fotoelétrico possibilita a compreensão da interação entre luz e matéria, crucial em tecnologias atuais, como sensores de luz. A relação entre a energia dos fótons e a emissão de elétrons nos materiais utiliza o conceito de quantização da energia, permitindo ao estudante mobilizar a **competência geral 2**, ao comparar as explicações clássicas e quânticas sobre a interação entre luz e matéria e como essa compreensão evoluiu ao longo do tempo. O exemplo explora a importância da frequência da radiação, abordando a transição de paradigmas entre a mecânica clássica e a quântica.

A natureza dual dos fenômenos em escala quântica é evidenciada pelo comportamento dual das ondas e das partículas de matéria, sendo fundamental para o desenvolvimento da habilidade **EM13CNT205**, que envolve a interpretação de resultados e previsões sobre a probabilidade e a incerteza presentes nos fenômenos naturais e experimentais. Ao introduzir a relação de De Broglie, o estudante compreende que a escala interfere diretamente na observabilidade dos fenômenos quânticos, fortalecendo a capacidade de analisar a transição entre os modelos ondulatório e corpuscular da luz, levando em conta os limites explicativos das teorias.

O conteúdo também aborda o desenvolvimento da Física Nuclear e a identificação de partículas subatômicas, permitindo o desenvolvimento da habilidade **EM13CNT101**, que visa analisar e representar as transformações e conservações em sistemas que envolvam quantidade de matéria, energia e movimento. Se possível, mencione a participação do Brasil em pesquisas avançadas, como o acelerador de elétrons Sirius, contextualizando o tema na realidade científica nacional, conectando essas descobertas a previsões sobre os impactos tecnológicos e produtivos no cotidiano e no desenvolvimento sustentável.

Explore os processos de fissão e fusão nuclear e a relação deles com a equação de equivalência massa-energia. A análise das propriedades dos materiais envolvidos nesses processos nucleares, como sua adequação e os riscos associados ao uso de materiais radioativos, permite que os alunos avaliem soluções tecnológicas seguras e sustentáveis, oferecendo-lhes a oportunidade de desenvolver a habilidade **EM13CNT307**.

A Nanotecnologia é introduzida a partir de uma visão do mundo submicroscópico, permitindo ao estudante explorar como a Ciência opera em dimensões tão reduzidas. O conteúdo dialoga com a habilidade **EM13CNT205**, pois aborda as implicações tecnológicas e científicas de manipular a matéria em escalas tão pequenas, aplicando princípios da Física quântica ao desenvolvimento de novos materiais e tecnologias e destacando as incertezas e possibilidades de inovação neste campo.

Resoluções e comentários

Aplicando conhecimentos

1. a) Essas radiações estão na ordem **crescente** quanto à **frequência**. Como as radiações propagam-se no vácuo, as velocidades de propagação são iguais, portanto, essa é a ordem **decrescente** dos comprimentos de onda; assim, a ordem crescente dos comprimentos de onda é **violeta**, **azul**, **verde**, **amarelo**.

b) As energias dos fótons são diretamente proporcionais às frequências das radiações; portanto, a ordem crescente das energias é a mesma das frequências: **amarelo**, **verde**, **azul**, **violeta**.

2. I – Incorreta: o aumento da intensidade da radiação aumenta a emissão dos fotoelétrons, desde que a frequência dessa radiação seja maior que a frequência de corte do metal.

II, III e IV são corretas e autoexplicativas.

Alternativa **c**

3. Para se manter em "órbita" ao redor do próton, o elétron deve ter uma velocidade tal que a força de atração eletrostática entre eles seja a resultante centrípeta necessária para manter o movimento circular do elétron. Essa é a mesma explicação para a pergunta "Por que a Lua não cai sobre a Terra?".

4. a) No estado fundamental, o elétron do átomo de hidrogênio tem –13,6 eV de energia. Assim, ele precisa receber, no mínimo, 13,6 eV para se tornar um elétron livre.

b) A menor energia necessária para ionizar o átomo de hidrogênio a partir do seu estado fundamental vale 13,6 eV.

Portanto:

$$E_{mín(fóton)} = \frac{h \cdot c}{\lambda_{máx}} \Rightarrow 13{,}6\ eV = \frac{1.240\ eV \cdot nm}{\lambda_{máx}} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \lambda_{máx} = \frac{1.240\ eV \cdot nm}{13{,}6\ eV} \Rightarrow \lambda_{máx} = 91{,}2\ nm$$

5. A ideia expressa nessa frase é incorreta. Os comportamentos ondulatório e corpuscular da matéria não são contraditórios entre si nem se excluem mutuamente; na verdade, esses comportamentos se complementam. Embora apenas um deles ocorra em cada situação analisada, ambos são necessários para explicar os fenômenos naturais.

6. Da equação de De Broglie, temos que:

$$\lambda_B = \frac{h}{\sqrt{2 \cdot m \cdot E_C}}$$

Dobrando a energia cinética, temos um comprimento de onda de De Broglie (λ'_B):

$$\lambda'_B = \frac{h}{\sqrt{2 \cdot m \cdot 2E_C}} = \frac{1}{\sqrt{2}} \cdot \frac{h}{\sqrt{2 \cdot m \cdot E_C}} \Rightarrow \lambda'_B = \frac{1}{\sqrt{2}} \cdot \lambda_B$$

Dobrando a velocidade do elétron, quadruplica-se a sua energia cinética e temos λ''_B.

$$\lambda''_B = \frac{h}{\sqrt{2 \cdot m \cdot 4E_C}} = \frac{1}{2} \cdot \frac{h}{\sqrt{2 \cdot m \cdot E_C}} \Rightarrow \lambda''_B = \frac{1}{2} \cdot \lambda_B$$

7. Para uma partícula de massa muito pequena, como um elétron, um próton, um íon ou uma molécula, esse produto de incertezas tem valor grande, isto é, as incertezas na posição e na velocidade são significativas. Essas partículas terão suas posições ou suas velocidades determinadas com um grau maior de imprecisão. Para um corpo de massa grande, como uma bola de futebol ou uma pessoa, o produto de incertezas é muito pequeno, isto é, as incertezas na posição e na velocidade são desprezíveis. A bola e a pessoa terão suas posições e suas velocidades determinadas com grande precisão.

Atividade em grupo

Essa atividade visa desenvolver habilidades como a **EM13CNT105**, relacionada à análise de ciclos naturais e os impactos humanos nesses processos, e a **EM13CNT302**, que incentiva a comunicação científica clara e eficaz para diversos públicos, utilizando mídias e tecnologias digitais, promovendo debates sobre temas de relevância social e cultural.

Inicie a atividade apresentando o método de datação por carbono-14 como uma ferramenta científica utilizada para determinar a idade de materiais orgânicos antigos, como fósseis e artefatos arqueológicos. Para contextualizar, é importante explicar brevemente que o carbono-14 é formado na atmosfera a partir da interação de raios cósmicos com o nitrogênio, sendo então absorvido por organismos vivos durante seu ciclo de vida. Após a morte do organismo, o carbono-14 começa a decair, e a taxa desse decaimento, medida em termos de meia-vida (aproximadamente 5.730 anos), é o que permite estimar a idade do material.

Em seguida, os estudantes devem ser orientados a realizar uma pesquisa em grupos de três a quatro membros. Na primeira etapa da pesquisa, os estudantes devem procurar, em fontes confiáveis como o carbono-14 se forma na atmosfera e é absorvido pelos organismos vivos.

Na segunda etapa, os grupos devem focar o funcionamento do método de datação por carbono-14 e sua aplicação prática, especialmente na Arqueologia e na Paleontologia. Sugira que os estudantes explorem exemplos reais de descobertas arqueológicas que foram datadas com esse método, incentivando a compreensão das limitações do processo. Um ponto importante a ser discutido é a dificuldade em datar materiais muito antigos, devido à quantidade de carbono-14 residual se tornar insignificante após determinado tempo, limitando a precisão do método para períodos menores que 50 mil anos.

Por fim, os estudantes devem preparar uma apresentação para compartilhar os resultados de sua pesquisa com a turma. Ressalte a importância de uma apresentação clara e objetiva, incentivando o uso de imagens, gráficos ou esquemas que ajudem a explicar o processo. Durante as apresentações, o professor deve atuar como mediador, promovendo debates sobre a validade e os desafios desse método de datação e como ele se encaixa em contextos maiores de estudo científico, como a evolução humana e as descobertas arqueológicas.

Aplicando conhecimentos

8. a) O número atômico Z é o número de prótons do núcleo, portanto: $Z = P$.

b) O número de massa A é a soma do número de prótons (P) com o número de nêutrons (N) do núcleo, portanto: $A = P + N \Rightarrow N = A - P$

c) A energia de ligação do núcleo é o produto do quadrado da velocidade da luz no vácuo (c^2) pela diferença entre a soma das massas dos núcleons e a massa M do núcleo: $E_{lig} = (P \cdot m_P + N \cdot m_N - M) \cdot c^2$

9. a) A contagem inicial é de 4.000 contagens/s; passando uma meia-vida, a taxa cai para 2.000 contagens/s; passando mais uma meia-vida, a taxa cai para 1.000. Como decorreram duas meias-vidas em 10 minutos, concluímos que o tempo de meia-vida do material é de 5 minutos.

b) Como 30 minutos são seis meias-vidas, a nova taxa de contagem será:

$r = \left(\frac{1}{2}\right)^n \cdot r_0 \Rightarrow$

$\Rightarrow r = \left(\frac{1}{2}\right)^6 \cdot 4.000 \text{ cont/s} = 62{,}5 \text{ cont/s}$

10. a) Conservação do número de massa:

$11 + 1 = 8 + a \Rightarrow a = 4$

Conservação do número atômico:

$5 + 1 = 4 + b \Rightarrow b = 2$

b) O nuclídeo ${}^{a}_{b}X$ tem número de massa 4 e número atômico 2, portanto, ele representa o núcleo de hélio (${}^{4}_{2}He$), também conhecido como partícula alfa (α).

Dialogando com o texto

Inicie a atividade explicando brevemente o conceito de Nanotecnologia, destacando o fato de que ela envolve a manipulação direta de átomos e moléculas em escalas extremamente pequenas, na ordem de nanometros, o que possibilita interações precisas e controladas com outras estruturas, como células biológicas. Utilize o exemplo das nanopartículas no tratamento de câncer, que são desenvolvidas para se ligarem especificamente a células cancerígenas por meio de forças eletromagnéticas, para garantir essa seletividade. Esse princípio de funcionamento demonstra como a Nanotecnologia pode ser mais eficiente que os tratamentos tradicionais, justamente pela precisão com que as nanopartículas interagem no nível celular.

Após essa introdução, os estudantes devem ser direcionados a realizar uma pesquisa sobre o uso de nanopartículas em diversos campos. A pesquisa pode ser dividida em duas áreas principais: Medicina e Engenharia. No campo da Medicina, os alunos devem investigar o uso de nanopartículas no desenvolvimento de novos medicamentos, como as terapias que utilizam essas partículas para administrar doses específicas de drogas em células doentes, aumentando a eficácia do tratamento e diminuindo os efeitos colaterais.

Na área de Engenharia, os estudantes devem pesquisar o uso de nanopartículas na criação de sensores com maior poder de captação e mais precisos, além de materiais de alta resistência, que são utilizados em indústrias como as de construção civil e a aeroespacial. Incentive a investigação de como a Nanotecnologia está sendo aplicada na produção de materiais mais leves, duráveis e com propriedades únicas, como a resistência ao calor ou a capacidade de conduzir eletricidade com mais eficiência.

Durante a pesquisa, enfatize a importância de consultar fontes confiáveis e científicas e indique que os estudantes procurem as implicações éticas e tecnológicas do uso da Nanotecnologia. Ao final, os estudantes podem compartilhar suas descobertas em um debate, quando pode-se tratar sobre os impactos da Nanotecnologia na sociedade e na Ciência.

conectando a atividade às habilidades **EM13CNT207**, que aborda a relação entre Ciência, tecnologia e inovação na vida das pessoas, e **EM13CNT203**, que envolve a análise das transformações de materiais e suas aplicações.

Atividades finais

1. I – Correta: o quociente $\frac{v}{\lambda}$ é a frequência da radiação, que não se altera na refração.

II – Incorreta: o certo seria $\frac{v_A}{\lambda_A} = \frac{v_B}{\lambda_B}$.

III – Correta: como $f_A = f_B$, temos $h \cdot f_A = h \cdot f_B$, que são as energias dos fótons nos meios *A* e *B*.

Alternativa **d**

2. A emissão de fotoelétrons é precedida pela incidência e a absorção de radiação eletromagnética.

Alternativa **a**

3. a) Analisando a equação temos: $X = 198$ e $Y = 80$

b) ${}^{X}_{Y}Z$ representa o elemento químico de número atômico 80, que na tabela periódica é o mercúrio (Hg), e número de massa 198, portanto, trata-se do isótopo ${}^{198}_{80}Hg$ do mercúrio.

4. a) É a energia mínima necessária para separar todos os núcleons componentes desse núcleo.

b) A afirmação é incorreta: os elementos ${}^{16}_{8}O$ e ${}^{175}X$ têm a mesma energia de ligação média por núcleon, aproximadamente 8,0 MeV. Entretanto, os valores totais são diferentes:

$E_{lig}({}^{16}O) = 16 \cdot 8{,}0\ MeV = 128\ MeV$

$E_{lig}({}^{175}X) = 175 \cdot 8{,}0\ MeV = 1.400\ MeV = 1{,}4\ GeV$

c) Localizando no gráfico o ${}^{235}U$, percebe-se que sua energia de ligação por núcleon é maior que a do ${}^{238}U$. Isso significa que, ao sofrer fissão, ${}^{235}U$ libera mais energia por núcleon que o ${}^{238}U$, embora esse não seja o único motivo para a escolha do ${}^{235}U$ como combustível nuclear. Aqui, a ideia é o aluno localizar o ${}^{235}U$ no gráfico e ver que a energia de ligação desse núcleo é maior que a do ${}^{238}U$.

5. A partir da conservação do número de massa, temos:

$235 + 1 = 140 + 94 + 2a \Rightarrow a = 1$

A partir da conservação do número atômico, temos:

$92 + 0 = 56 + 36 + 2b \Rightarrow b = 0$

Portanto, o nuclídeo ${}^{a}_{b}X$ é o nêutron ${}^{1}_{0}n$.

Referências suplementares

A dissertação "Tópicos de física moderna e contemporânea no ensino médio: interfaces de uma proposta didática para mecânica quântica" investiga a inserção da Física Moderna e Contemporânea (FMC), com foco em Mecânica Quântica, no Ensino Médio. Com base nas teorias de transposição didática de Chevallard e na abordagem sociointeracionista de Vygotsky, a pesquisa demonstrou que o uso de ferramentas diversificadas e voltadas para a realidade dos alunos aumenta o interesse e a motivação pela FMC. Disponível em: http://tede.upf.br/jspui/handle/tede/580. Acesso em: 30 set. 2024.

Proposta de avaliação

As atividades **2**, **4** e **5** da seção *Atividades finais* possibilitam uma avaliação abrangente da aprendizagem dos estudantes a respeito de conteúdos-chave do capítulo.

Capítulo 23 Teoria da Relatividade, Astrofísica e Cosmologia

Objetivos do capítulo

- Compreender que o conhecimento é dinâmico e que, frente a novas constatações, ele deve evoluir e se enquadrar às novas interpretações da natureza, sem mistificações.
- Verificar que o conhecimento é uma construção humana contínua e que, via de regra, cada avanço é alicerçado em conhecimentos anteriores.
- Introduzir noções básicas das teorias relativísticas de Albert Einstein.
- Apresentar noções relacionadas às interações fundamentais, às partículas elementares e ao modelo padrão da Física de partículas.
- Discutir as bases da Astronomia e da Astrofísica.
- Reconhecer as relações entre a Física das partículas elementares com as teorias de evolução do Universo e o ciclo evolutivo das estrelas.
- Apresentar a teoria do *Big Bang*.
- Apresentar e discutir a lei de Hubble.

Sugestões didáticas e comentários/Por dentro da BNCC

A abertura do capítulo descreve uma situação hipotética em que uma irmã realiza uma viagem interestelar a 80% da velocidade da luz, enquanto sua irmã gêmea permanece na Terra. Esse exercício de pensamento, conhecido como Paradoxo dos Gêmeos, tem o objetivo de estimular uma reflexão sobre a passagem do tempo para observadores em diferentes referenciais.

Nesse contexto, ao introduzir essa problemática, podem-se apresentar os postulados da teoria da relatividade restrita e os conceitos fundamentais para sua compreensão, como a noção de referencial e simultaneidade. Além disso, é importante destacar a distinção em relação à mecânica newtoniana, que considera espaço e tempo conceitos absolutos, enquanto, na relatividade, esses conceitos são relativos, isto é, dependem do referencial do qual se observa um evento.

Ao explorar as consequências da relatividade, a habilidade **EM13CNT301** pode ser desenvolvida ao incentivar os alunos a formular questões e hipóteses relacionadas à dilatação do tempo, à contração do espaço e à energia de um corpo em movimento a grandes velocidades. A sistematização da equação do fator de Lorentz e suas aplicações oferece oportunidades para empregar instrumentos de medição teórica e interpretar modelos explicativos. A análise dos resultados possibilita a construção de previsões e a justificativa de conclusões científicas para enfrentar situações-problema com base na relatividade.

Ao abordar a teoria da relatividade geral, direcione a discussão para o desenvolvimento da habilidade **EM13CNT204**, evidenciando a origem do campo gravitacional, associado à deformação do espaço-tempo provocada por uma massa.

Por fim, as habilidades **EM13CNT201** e **EM13CNT209** podem ser trabalhadas por meio da introdução de noções de Astrofísica e Cosmologia, com ênfase em tópicos como a evolução estelar e o desenvolvimento da teoria do *Big Bang*. Além dessa habilidade, a discussão da lei de Hubble também contribui para o desenvolvimento da habilidade **EM13CNT301**.

É importante destacar que, ao longo do capítulo, deve-se enfatizar o caráter epistemológico associado à evolução do conhecimento científico. Nesse sentido, a ciência deve ser compreendida como uma forma de conhecimento construída pelo ser humano e que apresenta uma natureza dinâmica. Ademais, possibilite que os estudantes reconheçam características próprias desses conteúdos mais contemporâneos da Física, como incerteza, indeterminação e relatividade, que não fazem parte dos aspectos estruturantes da Física Clássica.

Resoluções e comentários

Aplicando conhecimentos

1. a) Estando em uma posição equidistante dos postes, a luz das duas luminárias chega a João no mesmo instante $t_J > 0$, portanto, para ele, os eventos *A* e *B* são simultâneos. Maria está se afastando de P_1 e se aproximando de P_2, assim, a luz que vem de P_1 percorre uma distância maior e, portanto, chegará a ela depois da luz que vem de P_2.

b) Como Maria afasta-se do poste P_1 e aproxima-se do poste P_2, a luz da luminária de P_2 percorre até ela uma distância menor que a luz vinda do poste P_1, portanto, Maria vê o evento *A* ocorrer depois do evento *B*.

2. a) Lembremos que 1 anos-luz = 1 ano · *c*

Como a velocidade da nave é constante, podemos escrever:

$D_{Terra} = v \cdot \Delta t_{Terra} \Rightarrow 4{,}24 \text{ ano-luz} = 0{,}80c \cdot \Delta t_{Terra} \Rightarrow$

$\Rightarrow 4{,}24 \text{ anos} \cdot c = 0{,}80c \cdot \Delta t_{Terra} \Rightarrow \Delta t_{Terra} = 5{,}30 \text{ anos}$

b) O fato γ será:

$$\gamma = \frac{1}{\sqrt{1 - \left(\frac{v}{c}\right)^2}} = \frac{1}{\sqrt{1 - \left(\frac{0{,}80\,c}{c}\right)^2}} =$$

$$= \frac{1}{\sqrt{1 - \left(\frac{4}{5}\right)^2}} = \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{16}{25}}} = \frac{1}{\sqrt{\frac{9}{25}}} = \frac{5}{3}$$

Então:

$\Delta t_{Terra} = \gamma \cdot \Delta t_{nave} \Rightarrow 5{,}30 \text{ anos} = \frac{5}{3} \cdot \Delta t_{nave}$

$\therefore \Delta t_{nave} = 3{,}18 \text{ anos}$

3. Isso é um sofisma (raciocínio ilusório com aparência de verdade). Obviamente, o raciocínio está errado. Vejamos o porquê.

Você realmente gastou menos tempo que a luz, porém percorreu uma distância menor. A luz leva 4,0 anos para percorrer 4,0 anos-luz, por isso sua velocidade é $c = 1$ ano-luz/ano. Você, na nave, leva 3,6 anos para percorrer 2,88 anos-luz, com velocidade 0,8*c*. Aqui, o termo "mais rápido" está sendo usado no sentido de "menor tempo", quando, na verdade, "mais rápido" significa maior velocidade.

4. Solução para os itens *a* e *b*: fótons são partículas de luz, portanto, em módulo, sua velocidade é sempre *c*, medida em referencial inercial. Assim, $V_{2,1} = -c$ e $V_{1,2} = +c$.

c) Pela relatividade galileana, temos:

$V_{2,1} = v_2 - v_1 = -c - (+c) = -2c$

e

$V_{1,2} = v_1 - v_2 = +c - (-c) = +2c$

Dialogando com o texto

Para conduzir esta atividade, explique aos alunos que o eclipse solar de 1919, observado em Sobral, no Ceará, foi um evento marcante na história da Ciência, pois serviu para validar a teoria da relatividade geral de Albert Einstein. O fenômeno observado foi a curvatura da luz das estrelas ao passar perto de grandes corpos celestes, como o Sol, algo previsto teoricamente por Einstein, mas ainda não comprovado experimentalmente até aquele momento. Durante o eclipse, a luz das estrelas que ficavam por trás do Sol foi desviada devido à influência gravitacional do astro, um fenômeno conhecido como deflexão da luz.

Oriente os alunos a se organizarem em duplas e realizarem uma pesquisa sobre os detalhes do eclipse de 1919. Eles devem investigar o comitê científico responsável pela observação, os equipamentos utilizados e as metodologias adotadas para medir a deflexão da luz. Incentive-os a focar os resultados obtidos pela equipe de astrônomos, que confirmaram a previsão da teoria da relatividade geral. Além disso, peça que expliquem o fenômeno da deflexão da luz por corpos massivos, conectando essa explicação com o que aprenderam sobre gravitação.

A atividade deve estimular os alunos a explorarem o contexto histórico e científico, permitindo-lhes compreender como um fenômeno astronômico contribuiu para a evolução das teorias físicas.

Aplicando conhecimentos

5. A partir da equação fornecida pelo enunciado, temos:

$$v = \frac{a \cdot t}{\sqrt{1 + \left(\frac{at}{c}\right)^2}} \Rightarrow (0{,}60 \cdot c)^2 = \frac{(a \cdot t)^2}{1 + \left(\frac{at}{c}\right)^2} \Rightarrow$$

$\Rightarrow 0{,}36 \cdot c^2 + 0{,}36 \cdot (a \cdot t)^2 = (a \cdot t)^2 \Rightarrow$

$\Rightarrow 0{,}36 \cdot c^2 = 0{,}64 \cdot (a \cdot t)^2 \Rightarrow 0{,}6 \cdot c = 0{,}8 \cdot a \cdot t \Rightarrow$

$$\Rightarrow t = \frac{3}{4} \cdot \frac{c}{a} \Rightarrow t = \frac{3}{4} \cdot \frac{3{,}0 \cdot 10^8}{30} \therefore t = 7{,}5 \cdot 10^6 \text{ s}$$

Transformando em dias, temos:

1 dia —— 86.400 s

x —— $7{,}5 \cdot 10^6$ s

$\therefore x \simeq 87$ dias

Esse é o intervalo de tempo decorrido no referencial da Terra, aproximadamente igual ao intervalo de tempo decorrido no referencial da nave, pois a razão $\frac{a}{c}$ é muito pequena. No referencial da nave, o intervalo de tempo seria de 86 dias, aproximadamente.

Em destaque

César Lattes e a descoberta do méson pi

Para conduzir esta atividade, inicie explicando aos alunos que César Lattes foi um dos grandes nomes da Ciência brasileira, e sua participação na descoberta do méson pi marcou um importante avanço no campo da Física de partículas. O méson pi é uma partícula responsável pela interação de prótons e nêutrons dentro do núcleo atômico, resolvendo um dos grandes mistérios da época: como partículas com carga positiva, como os prótons, permaneciam unidas no núcleo atômico, apesar de sua tendência natural de se repelirem? A teoria do físico japonês Hideki Yukawa propôs a existência dessa partícula mediadora, e foi Lattes, trabalhando com emulsões nucleares, quem ajudou a confirmar sua existência experimentalmente.

Oriente os alunos a se organizarem em duplas para realizar a pesquisa e responder às perguntas propostas. Eles devem começar revisando o papel do méson pi na mediação da interação nuclear forte, a força responsável por manter o núcleo atômico unido. Em seguida, os alunos devem pesquisar exemplos de partículas que foram descobertas utilizando aceleradores de partículas, como o bóson de Higgs ou o quark top, relacionando o progresso científico feito após a descoberta do méson pi com o uso de tecnologias mais avançadas.

Além disso, incentive-os a explorar o envolvimento de Lattes em iniciativas políticas e científicas no Brasil, como sua participação na criação do Centro Brasileiro de Pesquisas Físicas (CBPF) e em alianças internacionais que contribuíram para o desenvolvimento da Ciência no país. Desta forma, os alunos compreenderão não apenas a importância de suas contribuições experimentais, mas também seu papel no fortalecimento da Física e da pesquisa científica no Brasil.

1. A interação forte no núcleo do átomo, entre prótons e nêutrons.

2. Algumas partículas descobertas em aceleradores de partículas são bóson de Higgs, bósons Z e W, píons, múons, dentre outras.

3. Lattes liderou alianças científicas com a Bolívia e o Japão e também ocupou cargos importantes no Centro Brasileiro de Pesquisas Físicas (CBPF), no Rio de Janeiro. O impacto de seu trabalho contribuiu para a criação no Brasil do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (Capes).

Aplicando conhecimentos

6. a) Uma partícula subatômica nunca está em repouso e, estando ligada ao átomo, certamente está em movimento.

b) Parte da energia cinética do elétron incidente é convertida em matéria, gerando o par elétron-pósitron. É o processo inverso da aniquilação, chama-se formação de par matéria-antimatéria.

7. Como a relação entre v e d, na lei de Hubble, é linear, a variação na velocidade é diretamente proporcional à variação da distância. Assim:

$\Delta v = H_0 \cdot \Delta d \Rightarrow \Delta v = 2{,}27 \cdot 10^{-2} \frac{\text{m/s}}{\text{ano-luz}} \cdot 10^6 \text{ anos-luz} \Rightarrow$

$\Rightarrow \Delta v = 2{,}27 \cdot 10^4 \text{ m/s} = 22{,}7 \text{ km/s}$

Estratégia de estudo

Reforce com os estudantes que o mapa conceitual pode ser montado de diferentes maneiras e que não há uma única forma correta de fazê-lo. Caso seja possível, escolha um tópico do capítulo e incentive-os a montar o mapa conceitual referente a ele, ainda em sala de aula. Peça que façam isso individualmente e depois encoraje-os a compartilharem seus mapas uns com os outros, para que percebam a diversidade de possibilidades de organização de um mesmo assunto.

Uma dificuldade que pode surgir na montagem do mapa é a determinação da relação de causa e efeito entre palavras-chave, o que interfere na organização e na hierarquia entre as palavras. Converse com os estudantes sobre isso, dando um exemplo do assunto do capítulo; por exemplo, um fenômeno observado a partir de um referencial inercial que se desloca em relação a outro referencial inercial, com velocidade próxima a da luz, terá seu tempo de duração dilatado no referencial em movimento. Essa é uma dificuldade que pode ser resolvida a partir de esclarecimentos conceituais; portanto, coloque-se à disposição dos estudantes para tratar de dúvidas desse tipo.

Atividades finais

1. a) O fator γ será:

$$\gamma = \frac{1}{\sqrt{1 - \left(\frac{v}{c}\right)^2}} = \frac{1}{\sqrt{1 - \left(\frac{0{,}60\,c}{c}\right)^2}} = \frac{1}{\sqrt{1 - 0{,}36}} =$$

$$= \frac{1}{\sqrt{0{,}64}} = \frac{1}{0{,}8} = \frac{1}{\frac{4}{5}} = \frac{5}{4} = 1{,}25$$

b) Como 12 anos-luz = 12 anos $\cdot$ c, temos:

$D_{\text{Terra}} = v \cdot \Delta t_{\text{Terra}} \Rightarrow 12 \text{ anos-luz} = 0{,}60c \cdot \Delta t_{\text{Terra}} \Rightarrow$

$\Rightarrow 12 \text{ anos} \cdot c = 0{,}60c \cdot \Delta t_{\text{Terra}}$

$\therefore \Delta_{\text{Terra}} = \frac{12 \text{ anos}}{0{,}6} = 20 \text{ anos}$

c) A duração da viagem medida por um tripulante da naveserá:

$\Delta t_{\text{Terra}} = \gamma \cdot \Delta t_{\text{nave}} \Rightarrow 20 \text{ anos} = \frac{5}{4} \cdot \Delta t_{\text{nave}}$

$\therefore \Delta t_{\text{nave}} = 16 \text{ anos}$

d) A distância percorrida pela nave no seu próprio referencial será:

$D_{\text{nave}} = v \cdot \Delta t_{\text{nave}} \Rightarrow D_{\text{nave}} = 0{,}60c \cdot 16 \text{ anos} \Rightarrow$

$\Rightarrow D_{\text{nave}} = 9{,}6 \text{ anos} \cdot c = 9{,}6 \text{ anos-luz}$

Obs.: No referencial da nave, a distância percorrida é menor que a distância medida no referencial da Terra. Enfatize que não há necessidade de usar o valor numérico de c quando os cálculos forem feitos em anos-luz.

2. A equação da contração do comprimento é $L = \frac{1}{\gamma} \cdot L_0$, assim:

$0{,}8\,L_0 = \frac{1}{\gamma} \cdot L_0 \Rightarrow \gamma = 1{,}25 = \frac{5}{4}$, mas $\gamma = \frac{1}{\sqrt{1 - \left(\frac{v}{c}\right)^2}}$, então:

$$1 - \left(\frac{v}{c}\right)^2 = \frac{1}{\gamma^2} \Rightarrow \frac{v}{c} = \frac{\sqrt{\gamma^2 - 1}}{\gamma} \Rightarrow \frac{v}{c} = \frac{\sqrt{\left(\frac{5}{4}\right)^2 - 1}}{\frac{5}{4}} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \frac{v}{c} = \frac{\sqrt{\frac{25}{16} - 1}}{\frac{5}{4}} \Rightarrow \frac{v}{c} = \frac{\sqrt{\frac{9}{16}}}{\frac{5}{4}} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \frac{v}{c} = \frac{\frac{3}{4}}{\frac{5}{4}} \Rightarrow \frac{v}{c} = \frac{3}{5} \Rightarrow v = 0{,}6 \cdot 3{,}0 \cdot 10^5 \therefore v = 1{,}8 \cdot 10^5 \text{ km/s}$$

3. a) A energia de repouso E_0 de uma partícula de massa m é a energia que ela tem pelo simples fato de ter massa. O valor da energia de repouso é o produto da massa da partícula pelo quadrado da velocidade de propagação da luz no vácuo: $E_0 = m \cdot c^2$.

b) Energia de repouso de um elétron:

$$E_{0(\text{elétron})} = m_e \cdot c^2 = 9{,}1 \cdot 10^{-31} \text{ kg} \cdot (3{,}0 \cdot 10^8 \text{ m/s})^2 \Rightarrow$$

$$\Rightarrow E_{0(\text{elétron})} \simeq 8{,}2 \cdot 10^{-14} \text{ J}$$

c) Temos: $E_{0(\text{elétron})} \simeq 8{,}2 \cdot 10^{-14} \text{ J} \cdot 6{,}25 \cdot 10^{12} \text{ MeV/J} \simeq$ $\simeq 0{,}51$ MeV.

4. Devido ao movimento orbital, o relógio no satélite registra um intervalo de tempo Δt_{sat} menor que o intervalo de tempo Δt_0 medido por um relógio idêntico, em repouso na superfície da Terra: $\Delta t_{sat} = \frac{\Delta t_0}{\gamma_L}$. Devido à altitude, o relógio no satélite registra um intervalo de tempo $\Delta t_{sat} = \gamma_G \cdot \Delta t_0$. Portanto:

$$\frac{\Delta t_0}{\gamma_L} = \gamma_G \cdot \Delta t_0 \Rightarrow \gamma_L \cdot \gamma_G = 1 \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \left(1 - \frac{v^2}{2c^2}\right) \cdot \left(1 + \frac{g \cdot h}{c^2}\right) = 1 \Rightarrow \frac{g \cdot h}{c^2} - \frac{v^2}{2c^2} - \frac{g \cdot h \cdot v^2}{2c^4} = 0$$

O último termo do membro esquerdo dessa igualdade é desprezível se for comparado aos demais, assim:

$$\frac{g \cdot h}{c^2} - \frac{v^2}{2c^2} = 0 \Rightarrow v^2 = 2 \cdot g \cdot h \Rightarrow v = \sqrt{2 \cdot g \cdot h}$$

5. a) Na aniquilação, a massa transforma-se em energia cinética dos fótons resultantes.

b) Houve conservação do "par" massa-energia, isto é, a massa das partículas converteu-se em uma quantidade de energia.

c) A energia total do par de fótons gama deve ser igual à energia total do par elétron-pósitron. Portanto, cada fóton deverá ter metade dessa energia:

$$2 \cdot E_{\text{fóton}} = 1{,}52 \text{ MeV} \Rightarrow E_{\text{fóton}} = 0{,}76 \text{ MeV}$$

6. É necessário lembrar que a constante de Hubble é utilizada em 2 unidades: a dada no enunciado e $H_0 \simeq 2{,}27 \cdot 10^{-2} \frac{\text{m/s}}{\text{ano-luz}}$.

A segunda opção é mais apropriada para a resolução da atividade, pois ela representa o aumento na velocidade de um astro a cada ano-luz que ela se afasta. Como 1 m/s equivale as 3,6 km/h, temos:

$$H_0 \simeq 2{,}27 \cdot 10^{-2} \frac{\text{m/s}}{\text{ano-luz}} \simeq 2{,}27 \cdot 10^{-2} \frac{3{,}6 \text{ km/h}}{\text{ano-luz}} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow H_0 \simeq 8{,}17 \cdot 10^{-2} \frac{\text{km/h}}{\text{ano-luz}}$$

Portanto, após um percurso de 1.000 anos-luz, a velocidade da galáxia terá aumentado $1.000 \cdot 8{,}17 \cdot 10^{-2}$ km/h $\simeq 81{,}7$ km/h.

Referências suplementares

Website mantido pelo Centro Internacional para Física Teórica (sigla em inglês ICTP), vinculado à Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho (UNESP), que traz uma abordagem histórica da Física de partículas, com uma parte dedicada ao César Lattes e uma biblioteca de entrevistas com especialistas: https://outreach.ictp-saifr.org/particulas/ (acesso em: 30 out. 2024).

Proposta de avaliação

As atividades **1**, **5** e **6** da seção *Atividades finais* possibilitam uma avaliação abrangente da aprendizagem dos estudantes a respeito de conteúdos-chave do capítulo, como os efeitos da relatividade restrita, a aniquilação elétron-pósitron e a lei de Hubble.

Capítulo 24 Geração de energia, poluição ambiental e reciclagem

Objetivos do capítulo

- Conhecer as principais fontes de energia.
- Apresentar o panorama do consumo de energia no Brasil.
- Apresentar reflexões sobre questões econômicas e sociais envolvendo a geração de energia.
- Analisar as vantagens e as desvantagens do uso de cada fonte de energia.
- Indicar fontes alternativas de energia.
- Identificar as causas dos diferentes tipos de poluição.
- Compreender as consequências da poluição.
- Entender como podemos agir para reduzir a poluição.
- Apresentar os materiais passíveis de reciclagem e as vantagens de sua implementação.

Sugestões didáticas e comentários/ Por dentro da BNCC

Inicie o capítulo com a apresentação da limitação da energia disponível e os custos envolvidos em sua geração. Estimule a consciência da necessidade do uso racional da energia e a preservação de recursos naturais. A partir da análise de processos alternativos de geração de energia, espera-se que o estudante compreenda os desafios e as possibilidades para a sustentabilidade energética. O conteúdo aborda a relação entre diferentes tipos de energia, seus usos e os problemas decorrentes da falta de racionalização no consumo, permitindo a análise crítica dos impactos socioambientais e econômicos do uso de fontes não renováveis.

As habilidades **EM13CHS301** (Problematizar hábitos e práticas individuais e coletivos de produção, reaproveitamento e descarte de resíduos em metrópoles, áreas urbanas e rurais, e comunidades com diferentes características socioeconômicas, e elaborar e/ou selecionar propostas de ação que promovam a sustentabilidade socioambiental, o combate à poluição sistêmica e o consumo responsável) e **EM13CHS303** (Debater e avaliar o papel da indústria cultural e das culturas de massa no estímulo ao consumismo, seus impactos econômicos e socioambientais, com vistas à percepção crítica das necessidades criadas pelo consumo e à adoção de hábitos sustentáveis) são parcialmente desenvolvidas ao promover o estudo de hábitos e práticas de consumo de energia para discutir os impactos ambientais e sociais. O capítulo também mobiliza a **competência geral 1**, que trata da valorização do conhecimento historicamente construído sobre o mundo físico, e a **competência geral 7**, que trata de

argumentar para defender pontos de vista e decisões coletivas, inserindo o estudante em discussões relevantes para a sociedade.

No contexto das transformações energéticas e dos impactos ambientais, o capítulo oportuniza o desenvolvimento das seguintes habilidades da área de Ciências da Natureza: **EM13CNT101**, **EM13CNT206** e **EM13CNT309**. A abordagem permite que os estudantes reflitam sobre consequências do uso de fontes de energia, como combustíveis fósseis, e sobre alternativas sustentáveis, como energia solar, eólica e de biomassa, incentivando uma visão crítica e responsável do papel de cada cidadão na mitigação de crises energéticas e na preservação do meio ambiente.

No campo das fontes renováveis, os estudantes são incentivados a explorar pontos positivos e negativos dessas alternativas, como os impactos socioambientais da energia solar e da eólica, a necessidade de infraestruturas adequadas e a avaliação dos custos e benefícios dessas fontes. A habilidade **EM13CNT206** é mobilizada ao avaliar os efeitos das ações humanas no consumo de energia e nos ecossistemas, promovendo uma análise crítica dos impactos ambientais da energia e dos resíduos na sociedade contemporânea.

O estudo deste capítulo também tem como objetivo ampliar a compreensão do impacto ambiental causado pelo uso inadequado de energia e o descarte irresponsável de resíduos. Incentive os estudantes a reconhecerem as consequências do consumo excessivo de energia de fontes não renováveis, como a intensificação da poluição atmosférica, o aumento das emissões de gases de efeito estufa e os impactos na saúde pública.

A reciclagem de materiais surge como uma solução crucial na diminuição do impacto ambiental. O conteúdo permite que os estudantes problematizem hábitos de produção, reaproveitamento e descarte de resíduos, conectando-se diretamente à habilidade que trata de práticas individuais e coletivas para a sustentabilidade, **EM13CHS301** (Problematizar hábitos e práticas individuais e coletivos de produção, reaproveitamento e descarte de resíduos em metrópoles, áreas urbanas e rurais, e comunidades com diferentes características socioeconômicas, e elaborar e/ou selecionar propostas de ação que promovam a sustentabilidade socioambiental, o combate à poluição sistêmica e o consumo responsável.). A importância da reciclagem e do uso eficiente dos recursos é discutida sob a perspectiva da redução de resíduos sólidos e da economia de recursos naturais. A compreensão de processos de reciclagem, como de papel, vidro e metais, permite que os estudantes analisem os benefícios da economia circular, além de refletirem sobre o ciclo de vida dos produtos e os impactos do descarte inadequado.

O capítulo também destaca os efeitos negativos da poluição decorrente da queima de combustíveis fósseis e do acúmulo de lixo urbano, provocando discussões sobre alternativas, como o uso de biocombustíveis e a transformação de resíduos orgânicos em biogás, o que também está alinhado à habilidade **EM13CNT101**, ao abordar processos de transformação de energia com foco na sustentabilidade.

Por meio dessas discussões, o capítulo favorece o desenvolvimento de competências que envolvem a tomada de decisões sustentáveis, como a **competência geral 10**, que orienta os estudantes a tomarem decisões baseadas em princípios éticos e de sustentabilidade, estimulando a cidadania ativa e o compromisso com a preservação ambiental. Assim, os conteúdos não só abordam o impacto da poluição e do descarte inadequado de resíduos, mas também oferecem soluções práticas e reflexões críticas sobre como a sociedade pode mitigar esses problemas por meio da reciclagem, do consumo consciente e do uso de energias renováveis.

Atividade extra

Convide os estudantes a produzirem papel reciclado de forma caseira a partir das instruções do vídeo https://www.youtube.com/watch?v=FfD8MrA3d7o (acesso: em 31 out. 2024).

Resoluções e comentários

Aplicando conhecimentos

1. Primeiro, explique que emissões antrópicas são realizadas pelas ações humanas. Analisando o gráfico de emissão de poluentes, é possível observar que os transportes são os principais emissores de poluentes. Uma maneira de diminuir esse índice é utilizar meios de transporte alternativos, como caminhada, bicicleta, carona, transporte coletivo, entre outros.

Em destaque

Comunidade Yanomami recebe *kits* de placas fotovoltaicas

Para abordar o uso de diferentes fontes de energia em comunidades indígenas Yanomami de forma didática, comece apresentando o texto que descreve a substituição dos geradores a diesel por sistemas de energia solar fotovoltaica. Explique aos estudantes que o objetivo é entender vantagens e desvantagens de cada sistema e como essas mudanças impactam as comunidades.

Após a leitura coletiva do texto, incentive uma discussão sobre a geração de energia que foi substituída e a nova geração de energia implementada. Destaque que, anteriormente, as comunidades utilizavam motores geradores de energia à base de óleo *diesel*, que demandavam grandes quantidades desse combustível e apresentavam desafios logísticos, além de implicações ambientais negativas. Com a substituição por sistemas de energia solar fotovoltaicos com baterias, os impactos ambientais são reduzidos, a logística torna-se mais segura, e os custos são menores.

Oriente os estudantes a refletirem sobre as vantagens da energia solar, como a sustentabilidade e a redução de custos operacionais, e as possíveis desvantagens, como a dependência da disponibilidade de luz solar e o custo inicial de instalação. Discuta como essas mudanças podem influenciar a vida das comunidades, melhorando a qualidade dos serviços de saúde e reduzindo a dependência de combustíveis fósseis.

Explique aos estudantes que, para otimizar o aproveitamento da energia solar, podem ser utilizados dois processos de captação: coletores solares para aquecimento de água, como em chuveiros e torneiras, em que a energia solar não é convertida em energia elétrica, e painéis fotovoltaicos para a geração de eletricidade necessária ao funcionamento de aparelhos elétricos.

Sobre o questionamento feito no livro do estudante, o texto apresenta que, na aldeia, são utilizados a energia solar e o diesel. As vantagens do *diesel* são o seu baixo consumo e sua alta potência. Já a desvantagem do *diesel* é a geração de gases poluentes, contribuindo para o aquecimento global. As vanta-

gens dos painéis fotovoltaicos são que não geram nenhum tipo de resíduo, não há consumo de combustível de qualquer espécie e podem garantir a autossuficiência energética nos locais onde é feita a instalação. No entanto, possuem baixas potência e eficiência, e, em dias nublados, não há produção de energia.

Aplicando conhecimentos

2. A atividade exige do estudante a interpretação e a correlação dos dados apresentados no gráfico que acompanha o enunciado.

a) Os projetos de irrigação diminuiriam consideravelmente a quantidade de água dos reservatórios usados para a geração de energia elétrica.

b) A energia elétrica de origem eólica seria usada para suprir a energia de origem hídrica, em vista de a velocidade dos ventos ser maior exatamente na época em que há diminuição na vazão do Rio São Francisco. Tal suprimento extra de energia elétrica poderia ser gerado por volta do mês de agosto.

3. A atividade, por si só, pode servir como motivação para debater os pontos destacados nesse tópico.

a) A captação de energia solar e a posterior conversão em outras modalidades de energia é um processo limpo, bastante eficiente, porém requer períodos relativamente longos de incidência da luz solar. Os métodos convencionais de geração de eletricidade são descritos a seguir.

Energia hidrelétrica: as usinas hidrelétricas requerem enormes quantidades de água – cada vez mais escassa – e provocam grandes impactos ambientais; em alguns casos, até cidades desaparecem para dar lugar ao reservatório da usina.

Combustíveis fósseis (petróleo, carvão mineral, gás natural): além de serem fontes não renováveis, esses combustíveis, ao serem queimados, acarretam emissão de poluentes no ar e no ambiente em geral.

Combustíveis nucleares: nesse caso, o problema maior é a periculosidade do material usado como combustível, que, em casos de vazamentos, pode contaminar o ambiente com substâncias radioativas. Outro problema é o armazenamento do "lixo nuclear", subprodutos não utilizáveis, porém ainda com altas taxas de emissões radioativas.

b) A expressão "libertinagem energética" refere-se ao uso crescente da energia elétrica na sociedade moderna, que, em grande parte, é gerada pela queima de combustíveis fósseis e nucleares. Nesses dois casos, os impactos ambientais são enormes, o que requer um redirecionamento urgente dos investimentos na geração de energia elétrica a partir de fontes renováveis de energia.

4. A atividade pode ser resolvida, opcionalmente, por uma regra de três simples e direta. Se o calor de combustão do carvão é $C = 8.000$ cal/g, a massa $m = 9\ t = 9 \cdot 10^6$ g fornecerá, ao ser queimada, a quantidade de energia E, dada por:

$E = m \cdot C \Rightarrow E = 9 \cdot 10^6 \cdot 8.000 \therefore E = 72 \cdot 10^9$ cal.

Essa é, portanto, a quantidade de energia obtida da fissão de 1 grama de urânio U-235.

Para a fissão da massa de urânio $m' = 30\ kg = 30 \cdot 10^3$ g, a energia liberada E' pode ser calculada por:

$E' = m' \cdot E \Rightarrow E = 30 \cdot 10^3 \cdot 72 \cdot 10^9 \therefore E' = 2{,}16 \cdot 10^{15}$ cal

5. Devido à topografia plana desta região e à escassez de recursos hídricos, a construção de hidrelétricas não é viável. A falta de reservatórios de combustíveis fósseis impede a exploração de produtos derivados do petróleo. O cultivo de matéria-prima para biocombustíveis também não é satisfatório, pois a disponibilidade é limitada. Além disso, como a região é chuvosa, a quantidade de luz solar disponível é insuficiente para viabilizar a instalação de painéis solares. No entanto, a combinação de terreno plano e ventos constantes torna a energia eólica uma opção viável.

Alternativa **e**

Mundo do trabalho

Revoluções industriais, produtos e ocupações

As Revoluções Industriais são importantes marcos históricos que transformaram os processos de produção, trazendo novas tecnologias, produtos e ocupações. Esses avanços conectam-se diretamente aos **TCTs Ciência** e **Tecnologia e Economia**.

Destacam-se duas competências gerais relevantes para o Ensino Médio: a **competência geral 5**, que trata da cultura digital, e a **competência 6**, que aborda o trabalho e o projeto de vida.

No contexto do Ensino Médio e das juventudes, é fundamental:

- Relacionar o aprendizado aos desafios do mundo real, explicando os contextos em que os conhecimentos são produzidos e circulam;
- Contextualizar os conteúdos, integrando as dimensões do trabalho, da Ciência, da tecnologia e da cultura, para que os estudantes vejam sentido nas aprendizagens.

Essa abordagem favorece uma educação mais significativa e conectada com o cotidiano e o futuro das juventudes.

1. Primeira Revolução Industrial – carvão; Segunda Revolução Industrial – petróleo; Terceira Revolução Industrial – núcleos atômicos; Quarta Revolução Industrial – fontes renováveis, como energia solar e vento.

2. a) A tecnologia gera tecnologias mais sofisticadas. Máquinas geram máquinas mais potentes.

b) A rápida expansão de conhecimentos, alavancada pelas novas tecnologias, acelerou o consumo de tecnologia, e isso aumenta a disponibilidade de tecnologia, tal como é mencionado na citação com o caso do carvão, na Primeira Revolução Industrial. Assim, as mudanças esperadas para um novo período são mais abrangentes, com alcance e potenciais de impacto que ainda não conseguimos antecipar.

3. Criados na década de 1980, os CDs vieram substituir as fitas magnéticas e os discos de vinil. Durante vinte anos, foi a tecnologia dominante na indústria fonográfica e uma importante solução para armazenamento e transferência de arquivos digitais, mas tornou-se obsoleta pela capacidade de armazenamento de dados, que ficou pequena frente à evolução do processamento de dispositivos eletrônicos e à consequente produção de uma enorme quantidade de dados.

4. Engenheiro de materiais, engenheiro eletricista, engenheiro civil, engenheiro ambiental, instalador fotovoltaico, meteorologista, entre outras.

Dialogando com o texto

A atividade proposta tem como objetivo integrar os conhecimentos sobre poluição atmosférica e a importância da tecnologia no controle de emissões veiculares, proporcionando aos estudantes a oportunidade de relacionar conceitos de Química com aplicações práticas no cotidiano. No caso específico dos catalisadores automotivos, os estudantes deverão refletir sobre as reações químicas que ocorrem dentro do conversor catalítico e como esse equipamento auxilia na redução de poluentes nocivos, como monóxido de carbono (CO), óxidos de nitrogênio (NO e NO_2) e hidrocarbonetos (C_xH_y), convertendo-os em substâncias menos prejudiciais, como dióxido de carbono (CO_2), nitrogênio (N_2) e água (H_2O).

Para orientar a discussão em sala de aula, é importante que o professor resgate, inicialmente, os conhecimentos prévios dos estudantes sobre combustão e poluição do ar, favorecendo a contextualização do problema ambiental causado pelos motores de combustão interna. Essa abordagem inicial pode ser feita por meio de perguntas que estimulem a reflexão: "O que acontece com o ar que respiramos quando utilizamos veículos movidos por meio da queima de combustíveis fósseis?" ou "De que maneira as tecnologias podem ajudar a mitigar os danos ao meio ambiente?".

Após a leitura do texto sobre o conversor catalítico, é essencial conduzir os estudantes à compreensão das reações químicas envolvidas, destacando o papel dos metais catalisadores, como platina, paládio e ródio, na transformação dos poluentes. Nesse momento, incentive a análise crítica, questionando a eficiência dos catalisadores e levando os estudantes a refletirem sobre desafios e limitações dessa tecnologia.

A produção do texto explicativo pelos estudantes deve ser acompanhada de uma retomada dos conceitos abordados, permitindo que expressem, com clareza, a importância do catalisador na minimização dos impactos ambientais. Ajude os estudantes na compreensão de termos técnicos, como "reação de oxidação" e "reação de redução", promovendo a ampliação do vocabulário científico, ao mesmo tempo que incentiva a comunicação eficiente de ideias complexas de forma acessível. A discussão oral que precede a redação do texto pode ajudar a sedimentar esses conceitos, garantindo uma aprendizagem mais significativa e crítica.

Dialogando com o texto

O filme mencionado narra a história verídica de Erin Brockovich, americana do Kansas que, após se separar do marido, desempregada e com um bebê recém-nascido, sofre um acidente de carro e procura um escritório de advocacia para representá-la. O proprietário do escritório contrata Erin, que passa a trabalhar na empresa como arquivista.

Ela acaba por se interessar pelo caso de uma empresa de eletricidade cujos dejetos estavam poluindo a água de uma pequena cidade da Califórnia com substâncias tóxicas. Durante cinco anos, Erin visitou diariamente as famílias que viviam na cidadezinha, acompanhando os casos de envenenamento e reunindo provas para abrir uma ação judicial contra a companhia.

Apesar de todos os contratempos, Erin não se desanimou até ganhar a causa, no valor de centenas milhões de dólares – dos quais recebeu uma comissão de 2,5 milhões.

Com a pesquisa, espera-se que os estudantes se deparem com casos de poluição de água ou do solo. Incentive-os a fazerem a busca em jornais da região em que moram para tentarem achar situações que ocorreram no município em que residem ou nas proximidades.

Dispor os estudantes em roda favorece a discussão entre todos os participantes. Convide todos a compartilharem as informações encontradas e incentive o respeito ao momento de fala de cada um, garantindo que estão sendo ouvidos por todos.

Aplicando conhecimentos

6. A desvantagem da incineração do lixo é a emissão de gases poluentes, que são lançados na atmosfera. Uma forma de minimizar essa desvantagem do processo de incineração em relação a outros métodos de tratamento do lixo seria a utilização de filtros nas chaminés desses incineradores para diminuir a poluição atmosférica.

Alternativa **b**

7. A destruição da camada de ozônio é causada, principalmente, pelo gás clorofluorcarbono (CFC), enquanto o efeito estufa é ocasionado pelo dióxido de carbono, e as chuvas ácidas são causadas pelo dióxido de enxofre.

Alternativa **c**

8. I. Correta. As principais causas de poluição de rios, lagos e oceanos são águas usadas em residências e despejadas em grandes quantidades, diretamente ou por meio de esgotos, dejetos químicos industriais, assim como adubos levados pelas águas das chuvas.

II. Correta. O derramamento de petróleo causa prejuízos enormes à biodiversidade marinha e às aves, que ficam impregnados de óleo; à flora marinha, que é destruída, ocasionando a morte de animais que se alimentam dela; e à população que vive da pesca nas áreas atingidas. Várias são as causas do derramamento de petróleo: acidentes em plataformas de extração de petróleo, vazamento de tanques de navios petroleiros, vazamento de petróleo em águas profundas.

III. Correta. Quando os esgotos são despejados em grandes quantidades e sem tratamento, provocam um aumento considerável da população de microrganismos decompositores, que, ao respirar, consomem o oxigênio dissolvido na água. Consequentemente, os peixes podem morrer por asfixia.

Alternativa **d**

9. Os metais, de modo geral, podem ser reciclados indefinidamente sem perder suas propriedades.

Alternativa **b**

10. Em relação ao lixo doméstico, recomenda-se a separação de resíduos orgânicos (que podem ser posteriormente destinados à compostagem) dos materiais recicláveis (metal, plástico, vidro e papel).

Alternativa **a**

Estratégia de estudo

Reforce com os estudantes que o mapa conceitual pode ser montado de diferentes maneiras e que não há uma única forma correta de fazê-lo. Caso seja possível, escolha um tópico do capítulo e incentive-os a montar o mapa conceitual referente a ele, ainda em sala de aula. Peça que façam isso individualmente e depois encoraje-os a compartilharem seus mapas uns com os outros, para que percebam a diversidade de possibilidades de organização de um mesmo assunto.

Uma dificuldade que pode surgir na montagem do mapa é a determinação da relação de causa e efeito entre palavras-chave, o que interfere na organização e na hierarquia entre as palavras. Converse com os estudantes sobre isso, dando um exemplo do assunto do capítulo, por exemplo: a emissão de gases poluentes pelas indústrias resulta na intensificação do efeito estufa. Essa é uma dificuldade que pode ser resolvida a partir de esclarecimentos conceituais, portanto, coloque-se à disposição dos estudantes para tratar de dúvidas desse tipo.

Atividades finais

1. O principal efeito da utilização do biocombustível, mais do que diminuir a dependência do petróleo, é contribuir para a diminuição da emissão dos gases que causam o efeito estufa.

Alternativa **a**

2. Aos domingos, com a diminuição em 40% da demanda, a cidade necessita de 144 MW, ou seja, 60% de 240 MW. Cada turbina produz 10 MW, pois temos 24 turbinas que, juntas, produzem 240 MW. Assim, para suprir a demanda de 144 MW, poderíamos usar:

I. todas as turbinas com 60% da capacidade, isto é,

240 MW —— 100%

$P_{60\%}$ —— 60%

$$\therefore P_{60\%} = \frac{60\% \cdot 240\ \text{MW}}{100\ \%} \Rightarrow P_{60\%} = 144\ \text{MW}$$

II. metade das turbinas funcionando em capacidade máxima, que corresponde a 120 MW; o restante, com 20% da capacidade máxima:

120 MW —— 100%

$P_{20\%}$ —— 20%

$$\therefore P_{20\%} = \frac{20\% \cdot 120\ \text{MW}}{100\ \%} \Rightarrow P_{20\%} = 24\ \text{MW}$$

Ou seja, 144 MW.

III. quatorze turbinas funcionando em capacidade máxima, que correspondem a 140 MW, e uma com 40% da capacidade máxima, que corresponde a 4 MW; assim, a potência fornecida será de 144 MW.

Dessa forma, poderíamos utilizar todas as configurações citadas nos itens I, II e III.

Alternativa **e**

3. Em certas usinas nucleoelétricas ocorre a transformação do U-238 (não físsil) em Pu-239 (físsil), que pode ser usado em bombas atômicas como a que foi lançada em Nagasaki, Japão, em 9 de agosto de 1945.

Alternativa **c**

4. Das estratégias apresentadas, a que pode alterar a lógica de uso da água é a reutilização ou o reaproveitamento dos recursos hídricos.

Alternativa **a**

5. Em épocas de estiagem, ocorre a perda de águas para irrigação, forçando o agricultor a interferir diretamente nos cursos dos rios. Essa medida provoca a erosão e a sedimentação nos cursos fluviais, gerando menor oferta de peixes para pescadores e água para outros agricultores.

Alternativa **e**

6. A queima de combustíveis fósseis gera gases de efeito estufa, que têm como consequência o aumento da temperatura global. Esse aquecimento pode intensificar o derretimento das calotas polares. Uma forma de diminuir esses efeitos é reduzir o consumo de combustíveis fósseis, o que pode ser feito com políticas de incentivos aos transportes de massa.

Alternativa **c**

7. O reaproveitamento de resíduos com objetivo de requalificá-los e introduzi-los na economia faz com que eles sejam utilizados por mais tempo, diminuindo o volume de itens descartados e, consequentemente, amenizando o acúmulo de lixo nos aterros.

Alternativa **c**

Referências suplementares

A dissertação "O estudo das diversas formas de produção de energia em uma abordagem CTSA: buscando indícios de alfabetização científica de estudantes do ensino médio" é recomendada para professores que desejam aplicar uma sequência didática baseada na abordagem CTSA (Ciência, Tecnologia, Sociedade e Ambiente), com foco em promover a alfabetização científica dos estudantes do Ensino Médio. O estudo descreve, de forma detalhada, a aplicação de uma sequência de dezenove aulas interativas, voltadas para a discussão de fontes energéticas e seus impactos ambientais e sociais, oferecendo *insights* sobre como fomentar o pensamento crítico e argumentativo dos estudantes. Disponível em: https://repositorio.ufes.br/server/api/core/bitstreams/a1e5b72f-4c2f-4aee-9f69-819e86a3489d/content. Acesso em: 23 out. 2024.

Proposta de avaliação

As atividades **1**, **4** e **7** da seção *Atividades finais* possibilitam uma avaliação abrangente da aprendizagem dos estudantes a respeito de conteúdos-chave do capítulo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS COMENTADAS

7 FORMAS de organização do ambiente da sala de aula. **EducaEthos**. nov. 2019. Disponível em: https://educaethos.com.br/organizacao-da-sala-de-aula/. Acesso em: 13 set. 2024.

Artigo que mostra variadas possibilidades de organização da sala de aula e atividades adequadas para usufruí-las.

ARAUJO, N. R. **Ensino de ciências para alunos surdos**: uma proposta de termos específicos em língua brasileira de sinais. Dissertação (Mestrado) – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo, 2019. Disponível em: https://spo.ifsp.edu.br/images/phocadownload/DOCUMENTOS_MENU_LATERAL_FIXO/POS_GRADUA%C3%87%C3%83O/MESTRADO/Ensino_de_Ci%C3%AAncias_e_Matem%C3%A1tica/Dissertacoes/2019/Nathane_Rocha_Araujo_2019_Disserta%C3%A7%C3%A3o.pdf. Acesso em: 13 set. 2024.

Dissertação que aborda vários temas sobre ensino para estudantes surdos.

ARREDONDO, S. C.; DIAGO, J. C. **Avaliação educacional e promoção escolar**. Curitiba: Intersaberes, 2013.

O livro apresenta a avaliação educacional sob diversas perspectivas, discorrendo sobre evolução do conceito, abordagens, estrutura, funções, objetivos, âmbitos e circunstâncias.

AULER, D.; DELIZOICOV, D. **Pedagogy, Symbolic Control and Identity**: Theory, Research, Critique. ed. rev. atual. Londres: Rowman & Littlefield, 2000.

Livro que aborda aspectos do trabalho pedagógico com identidade juvenil.

BRASIL. Ministério da Educação. **Base Nacional Comum Curricular**: educação é a base. Brasília, DF: MEC, 2018. Disponível em: https://www.gov.br/mec/pt-br/escola-em-tempo-integral/BNCC_EI_EF_110518_versaofinal.pdf. Acesso em: 14 out. 2024.

Documento que estrutura as etapas da Educação Básica no Brasil.

BRASIL. Ministério da Educação. **PCN+ Ensino Médio**: orientações educacionais complementares aos Parâmetros Curriculares Nacionais. Ciências da Natureza, Matemática e suas Tecnologias. Brasília, DF: MEC/SEMTEC, 2002. Disponível em: http://portal.mec.gov.br/seb/arquivos/pdf/CienciasNatureza.pdf. Acesso em: 30 out. 2024.

O documento é uma referência sobre aspectos da educação no Ensino Médio.

BRASIL. Ministério da Educação. **Temas contemporâneos transversais na BNCC**. Brasília, DF: MEC, 2019. Disponível em: http://basenacionalcomum.mec.gov.br/images/implementacao/contextualizacao_temas_contemporaneos.pdf. Acesso em: 17 out. 2024.

Documento que mostra a articulação dos temas contemporâneos transversais com a BNCC.

BRASIL. Senado Federal. **Estatuto da Pessoa com Deficiência**. 3. ed. Brasília, DF: Senado Federal; Coordenação de Edições Técnicas, 2019. Disponível em: https://www2.senado.leg.br/bdsf/bitstream/handle/id/554329/estatuto_da_pessoa_com_deficiencia_3ed.pdf. Acesso em: 17 out. 2024.

O documento apresenta o texto da Lei nº 13.146/2015, que constitui a Lei de Inclusão da Pessoa com Deficiência.

DEBOER, G. E. Historical Perspectives on Inquiry Teaching in Schools. *In*: FLICK, L. B.; LEDERMAN, N. G. (ed.). **Scientific Inquiry and Nature of Science**: Implications for Teaching, Learning, and Teacher Education. [*S. l.*]: Springer, 2006.

Material que aborda como procedimentos científicos impactam aulas e seu planejamento.

DELIZOICOV, D.; ANGOTTI, J. A.; PERNAMBUCO, M. M. **Ensino de Ciências: fundamentos e métodos**. 4. ed. São Paulo: Cortez, 2011. 364 p.

No âmbito da formação de professores, os autores discutem e propõem recursos para um ensino de Ciências que enriqueça a formação cultural dos estudantes.

EDUCAMÍDIA. [Página inicial]. **Instituto Palavra Aberta**, [2024]. Disponível em: https://educamidia.org.br/. Acesso em: 12 set. 2024.

O *site* Educamídia produz diversos materiais voltados à educação midiática, inclusive vídeos que podem ser projetados ou indicados para os estudantes como subsídio para suas produções.

FERNANDES, D. Para uma teoria da avaliação no domínio das aprendizagens. **Estudos em avaliação educacional**, v. 19, n. 41, p. 347-372, set./dez. 2008. Disponível em: https://www.fcc.org.br/pesquisa/publicacoes/eae/arquivos/1454/1454.pdf. Acesso em: 23 ago. 2024.

O artigo discute o processo de construção teórica da avaliação escolar, conceituando a avaliação formativa alternativa e estabelecendo conexões entre ela e o modelo somativo.

FERRARI, A. C. *et al*. **Guia da Educação Midiática**. São Paulo: Instituto Palavra Aberta, 2020. Disponível em: https://educamidia.org.br/guia. Acesso em: 17 out. 2024.

O guia aborda a importância de desenvolver habilidades de educação midiática, fornecendo orientações para educadores e estudantes serem capazes de compreender criticamente o conteúdo midiático e navegar de forma consciente e ética no ambiente digital.

FIGUEIRA, R. **Abordagem temática e a introdução de conteúdos de física moderna e contemporânea no ensino médio**: uma primeira aproximação. 2014. Dissertação (Mestrado em Educação) – Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2014.

O autor explora a abordagem temática como uma ferramenta para desenvolver um ensino de Física Contemporânea mais contextualizado.

HUGHES, G. Introducing ipsative assessment and personal learning gain: voices from practitioners and the themes of the collection. *In*: HUGHES, G. (ed.). **Ipsative assessment and personal learning gain**: exploring international case studies. London: Palgrave Macmillan, 2017.

O capítulo apresenta a avaliação ipsativa como uma abordagem diametralmente oposta a visões meritocráticas e propostas homogeneizadoras de avaliação escolar.

KELLY, G. J. Inquiry, activity and epistemic practice. *In:* DUSCHL, R. A.; GRANDY, R. E. (ed.). **Teaching Scientific Inquiry**: Recommendations for Research and Implementation. Rotterdam: Taipei Sense Publishers, 2008.

Nesse livro são mostradas algumas formas de trabalhar letramento científico com os estudantes.

LUCKESI, C. C. **Avaliação da aprendizagem escolar**. 15. ed. São Paulo: Cortez, 2003.

A obra aborda o processo avaliativo ao longo da história, detalhando características e cuidados desse processo.

LUCKESI, C. C. Considerações gerais sobre avaliação no cotidiano escolar. **Impressão Pedagógica**, Curitiba, n. 36, p. 4-6, 2004.

O artigo retrata as diferentes maneiras de avaliação dentro do cotidiano escolar.

MAIORIA das escolas do país possui regras para uso de celular pelos alunos, revela TIC Educação 2023. **Cetic.br**, São Paulo, 6 ago. 2024. Disponível em: https://cetic.br/pt/noticia/maioria-das-escolas-do-pais-possui-regras-para-uso-de-celular-pelos-alunos-revela-tic-educacao-2023/. Acesso em: 14 out. 2024.

Dados da pesquisa realizada, entre agosto de 2023 e abril de 2024, sobre o uso de plataformas digitais nas redes pública e privada no Brasil.

MANDELLI, M. T.; SOARES, D. H. P.; LISBOA, M. D. Juventude e projeto de vida: novas perspectivas em orientação profissional. **Arquivos Brasileiros de Psicologia**, Rio de Janeiro, v. 63, n. especial, p. 49-57, 2011. Disponível em: https://pepsic.bvsalud.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1809-52672011000300006. Acesso em: 14 out. 2024.

Artigo com considerações e aspectos para trabalhar partes do projeto de vida com os estudantes.

MASSENA, E. B. **O Ensino de Física e as Tecnologias Digitais**: Inovações e Desafios. São Paulo: Moderna, 2021.

Obra que apresenta aplicações acerca do uso de tecnologias digitais como práticas educativas no ensino de Física.

MORTIMER, E. F. A BNCC do Ensino Médio: entre o sonho e a ficção. **Portal SBPC net**, São Paulo, 10 abr. 2018. Disponível em: http://portal.sbpcnet.org.br/noticias/a-bncc-do-ensino-medio-entre-o-sonho-e-a-ficcao/. Acesso em: 14 out. 2024.

Artigo que mostra aspectos práticos da aplicação da BNCC no Ensino Médio.

NARDI, R.; BASTOS, F.; DINIZ, R. E. S. (org.). **Pesquisas em ensino de Ciências**: contribuições para a formação de professores. 5. ed. São Paulo: Escrituras, 2004.

Livro que traz alguns resultados de pesquisas sobre ensino de Ciências e discorre sobre possíveis impactos delas na formação de professores.

NÚCLEO DE INFORMAÇÃO E COORDENAÇÃO DO PONTO BR (NIC.BR); CENTRO REGIONAL DE ESTUDOS PARA O DESENVOLVIMENTO DA SOCIEDADE DA INFORMAÇÃO (CETIC.BR). **TIC Kids Online Brasil:** Pesquisa sobre o uso da internet por crianças e adolescentes no Brasil - 2023. São Paulo: CGI, 2024. Disponível em: https://cetic.br/pt/publicacao/pesquisa-sobre-o-uso-da-internet-por-criancas-e-adolescentes-no-brasil-tic-kids-online-brasil-2023/. Acesso em: 13 set. 2024.

Pesquisa sobre hábitos de crianças e jovens no acesso à internet, detalhando costumes e características do acesso.

NUERNBERG, A. H. Contribuições de Vigotski para a educação de pessoas com deficiência visual. **Psicologia em Estudo**, Maringá, v. 13, n. 2, p. 307-316, jun., 2008.

Artigo que aborda metodologias para ensino de pessoas com deficiências visuais.

OECD. Are Students Ready to Take on Environmental Challenges? **OECD Publishing**, Paris, 8 dez. 2022. Disponível em: https://www.oecd-ilibrary.org/education/are-students-ready-to-take-on-environmental-challenges_8abe655c-en. Acesso em: 14 out. 2024.

Análise de políticas e práticas educativas para a construção de um futuro ambientalmente sustentável.

OECD. Education at a Glance 2017: OECD Indicators. **OECD Publishing**, Paris, 12 set. 2017. Disponível em: https://www.oecd-ilibrary.org/education/education-at-a-glance-2017_eag-2017-en. Acesso em: 5 nov. 2024.

Relatório com dados e indicadores sobre o estado da educação no mundo.

OECD. PISA 2015 Assessment and Analytical Framework: Science, Reading, Mathematic and Financial Literacy. **OECD Publishing**, Paris, 19 abr. 2017. Disponível em: https://www.oecd.org/en/publications/pisa-2015-assessment-and-analytical-framework_9789264281820-en.html. Acesso em: 14 out. 2024.

Artigo que mostra algumas formas de trabalho com estudantes de acordo com os preceitos do PISA.

REIS, J. B. dos; JESUS, R. E. de. Culturas juvenis e tecnologias. *In*: CORREA, L. M.; ALVES, M. Z.; MAIA, C. L. (org.). **Juventude brasileira e Ensino Médio** (cadernos temáticos). Belo Horizonte: Editora UFMG, 2014. Caderno 4. Disponível em: https://observatoriodajuventude.ufmg.br/wp-content/uploads/2021/07/Caderno-04-Culturas-Juvenis-e-Tecnologias-2.pdf. Acesso em: 13 set. 2024.

Caderno temático que trata de ensino e como ele pode se relacionar com diferentes culturas juvenis.

SANTOS, W. L.; MORTIMER, E. F. Uma análise de pressupostos teóricos da abordagem C-T-S (Ciência – Tecnologia – Sociedade) no contexto da educação brasileira. **Ensaio** – Pesquisa em Educação em Ciências, Belo Horizonte, v. 2, n. 2, p. 1-23, dez. 2002.

Artigo em que os autores criticam os pressupostos de currículos focados em CTS e, baseados nisso, propõem novos modelos curriculares de Ciências da Natureza para a Educação Básica.

STRIEDER, R. B. **Abordagens CTS na educação científica no Brasil**: sentidos e perspectivas. 2012. Tese (Doutorado) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2012.

A autora faz um levantamento de identificação e propõe uma caracterização da abordagem de ensino CTS na educação brasileira, apontando limites e potencialidades.

SCHWARTZMAN, S.; CHRISTOPHE, M. A. **Educação em Ciências no Brasil**. Rio de Janeiro: Instituto de Estudos do Trabalho e Sociedade, 2009.

Livro que aborda aspectos da educação em Ciências no Brasil e sugere algumas ações para realizar em sala de aula.

SILVA, J. T. Educar com que objetivo? Para o sucesso ou para a busca da justiça? **Jornal da USP**, São Paulo, 29 ago. 2018. Disponível em: https://jornal.usp.br/artigos/base-nacional-comum-curricular-as-decisoes-pertencem-aos-estados/. Acesso em: 14 out. 2024.

Artigo que discute diferentes perspectivas visando refletir sobre a melhoria do ensino no país.

STEVENS, D. D.; LEVI, A. J. **Introduction to Rubrics**: An Assessment Tool to Save Grading Time, Convey Effective Feedback, and Promote Student Learning. Sterling: Stylus, 2005.

Livro que apresenta rubricas, como organizá-las e utilizá-las com os estudantes.

TARDIF, M. **Saberes docentes e formação profissional**. 2. ed. Petrópolis, RJ: Vozes, 2002.

Obra que aborda a relevância de refletir sobre aspectos indispensáveis na formação dos professores pensando no êxito da prática docente.

TENREIRO-VIEIRA, C. Produção e avaliação de actividades de aprendizagem de Ciências para promover o pensamento crítico dos alunos. **Revista Iberoamericana de Educación**, Madrid, n. 33/6, 2004.

Artigo que mostra possibilidades de estimular o pensamento crítico nos estudantes.

UNESCO. **The ABCs of Global Citizenship Education**. Paris: Unesco, 2017. Disponível em: https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000248232. Acesso em: 14 out. 2024.

Documento que mostra relações entre educação e cidadania, considerando uma perspectiva global.

WEINSTEIN, Y.; SMITH, M. Seis estratégias para uma aprendizagem eficiente. Tradução de Leonardo Barrichello. **LearningScientists.org,** 2024. Disponível em: https://deape.unicamp.br/wp-content/uploads/sites/50/2024/06/Seis-estrategias-para-uma-aprendizagem-eficiente.pdf. Acesso em: 13 set. 2024.

Material que mostra diferentes estratégias de estudo e como utilizá-las.

WING, J. M. Viewpoint: Computational Thinking. **Communications of the ACM**, v. 49, n. 3, mar. 2006. Disponível em: https://www.cs.cmu.edu/~15110-s13/Wing06-ct.pdf. Acesso em: 13 set. 2024.

Artigo que apresenta os pilares do pensamento computacional.

YOUNG, M. Para que servem as escolas? **Educação & Sociedade**, Campinas, v. 28, n. 101, p. 1.287-1.302, 2007. Disponível em: https://www.scielo.br/j/es/a/GshnGtmcY9NPBfsPR5HbfjG/?lang=pt. Acesso em: 14 out. 2024.

Artigo que discute diferentes papéis que a escola pode ter e como podem influenciar as decisões dos estudantes.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS COMPLEMENTARES COMENTADAS

UNIDADE 1

ASSIS, A. K. T. **Newton e suas grandes obras**: o Principia e o Optica. *In*: ALMEIDA, M. J. P. M. de; SILVA, H. C. (org.). Linguagens, Leituras e Ensino da Ciência. Campinas, SP: Mercado de Letras; Associação de Leitura do Brasil, 1998. p. 37-52.

O autor oferece uma análise crítica de duas obras de Newton, *Principia Mathematica* e *Opticks*, explorando seus desdobramentos na Física.

CATELLI, F.; MARTINS, J. A.; SILVA, F. S. Um estudo de cinemática com câmara digital. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 32, p. 1.503-1.507, 2010. Disponível em: https://www.scielo.br/j/rbef/a/ngyX3tzB6cRN8N6dtNdfX6c/. Acesso em: 24 out. 2024.

O foco do artigo é a transposição didática advinda de uma aprendizagem significativa, obtida por meio do envolvimento dos estudantes em uma atividade experimental do movimento de um automóvel.

DIAS, P. M. C.; SANTOS, W. M. S.; SOUZA, M. T. M. A Gravitação Universal: um texto para o Ensino Médio. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 26, p. 257-271, 2004. Disponível em: https://www.scielo.br/j/rbef/a/FZS39VjZZRrY44gywMqqcqR/abstract/?lang=pt. Acesso em: 25 out. 2024.

O artigo propõe uma forma alternativa para o ensino de gravitação universal no Ensino Médio, baseado em elementos da História da Física que funcionam como organizadores prévios da teoria da aprendizagem significativa.

IGNOTOFSKY, R. **As cientistas**: 50 mulheres que mudaram o mundo. São Paulo: Blutcher, 2017.

O livro traz as realizações científicas de mulheres nas áreas da Biologia, Física, Matemática, Engenharia, Astronáutica, entre outras.

NEWTON: pai da Física Moderna. [*S. l.*]: Scientific American Brasil, 2007. (Coleção Gênios da Ciência, n. 1).

Esse volume da Coleção Gênios da Ciência oferece uma análise detalhada sobre Isaac Newton, destacando suas contribuições à Física Moderna, ideal para leitores interessados em entender a importância histórica e científica do físico.

O ENSINO por investigação. São Paulo: Universidade de São Paulo, 2014. 1 vídeo (6 min). Publicado pelo Portal e-Aulas USP. Coord.: Lúcia Helena Sasseron Roberto. Disponível em: https://eaulas.usp.br/portal/video.action?idItem=4586. Acesso em: 24 out. 2024.

Nesse vídeo, a abordagem didática do ensino por investigação é contextualizada por meio de exemplos.

OLIVEIRA, R. S. **A utilização de jogos no ensino da hidrostática**. 2023. Dissertação (Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2023. Disponível em: https://repositorio.ufc.br/handle/riufc/74662. Acesso em: 25 out. 2024.

Essa dissertação oferece uma sequência didática fundamentada na aprendizagem significativa de Ausubel para o ensino de Hidrostática, utilizando plataformas de jogos *on-line*.

SOUZA, J. A. Um foguete de garrafas PET. **Física na Escola**, v. 8, n. 2, p. 4, out. 2007. Disponível em: http://www.sbfisica.org.br/fne/Vol8/Num2/v08n02a02.pdf. Acesso em: 24 out. 2024.

O autor descreve a construção de um foguete com garrafas PET de 2 L e um sistema de propulsão com água e ar comprimido e propõe conteúdos de Física que podem ser trabalhados a partir dessa montagem experimental, como leis de Newton, momento linear, equação de Bernoulli e expansão adiabática.

HAWKING, S. (ed.). **Os gênios da ciência**: sobre os ombros de gigantes. Rio de Janeiro: Campus, 2005.

A obra é uma excelente fonte de conhecimento histórico sobre a evolução da Astronomia contada por um dos maiores teóricos do século XX.

UNIDADE 2

HENRIQUE, F. R. *et al*. Luz à primeira vista: um programa de atividades para o ensino de óptica a partir de cores. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, São Paulo, v. 41, n. 3, p. 1-15, 2019. Disponível em: https://www.scielo.br/j/rbef/a/85wbtXMysKfhbMvgJZ8RCgg/?lang=pt. Acesso em: 25 out. 2024.

Artigo que traz a proposta de um programa de atividades práticas com materiais simples para ensino de conceitos de Óptica, como reflexão, transmissão e refração.

HESSEL, R. *et al*. Reprodução do eletroscópio de folha de ouro e do eletróforo de Volta de baixo custo para o ensino da eletrostática. **A Física na Escola**, v. 22, 2024. Disponível em: https://fisicanaescola.org.br/index.php/revista/article/view/131/50. Acesso em: 25 out. 2024.

Proposta de forma de uso de montagens experimentais, com materiais simples, do eletróforo de Volta e do eletroscópio de folha de ouro no ensino de Eletricidade estática.

HÜLSENDEGER, M. J. V. C. A História da Ciência no ensino da Termodinâmica: um outro olhar sobre o ensino de Física. **Ensaio Pesquisa em Educação em Ciências**, Belo Horizonte, v. 9, n. 2, p. 222-237, dez. 2007. Disponível em: https://www.scielo.br/j/epec/a/tXFvMP9zch3M5478fWL4vJM/abstract/?lang=pt. Acesso em: 25 out. 2024.

A autora investigou como o uso da História da Ciência pode favorecer o ensino de Termodinâmica no Ensino Médio.

OLIVEIRA JÚNIOR, A. M. *et al*. Determinação experimental da velocidade do som pelo efeito doppler de uma fonte sonora em rotação. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, São Paulo, v. 41, n. 3, p. 1-15, 2019. Disponível em: https://www.scielo.br/j/rbef/a/czk6SrpyX64RBz775Ptr4Gw/?lang=pt. Acesso em: 25 out. 2024.

Os autores discutem um método experimental para verificação da velocidade do som utilizando o efeito Doppler de uma fonte sonora em rotação, comparando-o com o método do tubo ressonante.

UNIDADE 3

CASTILHO, M. I. **Uma introdução conceitual à relatividade especial no Ensino Médio**. 2005. Dissertação (Mestrado em Ensino de Física) – Instituto de Física, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2005. Disponível em: https://lume.ufrgs.br/handle/10183/4920. Acesso em: 25 out. 2024.

No segundo capítulo desse trabalho, o autor reflete sobre o ensino de Física na Educação Básica e examina as características dos conteúdos de Física Moderna e Contemporânea, destacando aspectos sob uma perspectiva conceitual e epistemológica.

HETEM, J. G.; SILVA, M. P. C. O estudo da luz: uma proposta para o ensino de astronomia. **Latin-American Journal of Physics Education**, v. 16, n. 3, set. 2022. Disponível em: http://lajpe.org/sep22/16_3_10.pdf. Acesso em: 25 out. 2024.

Nessa produção, os autores constroem uma proposta de roteiro didático para o ensino de Astronomia, composta por quatro aulas baseadas em ondas eletromagnéticas: espectro eletromagnético, leis de Kirchhoff, simulador de radiação de corpo negro e astronomia espacial.

LOYOLA, G. V; RABBI, M. A. Relatividade restrita no Ensino Médio como uma proposta de consolidação do processo de ensino-aprendizagem de Cinemática básica. *In*: SIMPÓSIO NACIONAL DE ENSINO DE FÍSICA (SNEF), 18., 2009, Vitória, ES. **Resumos** [...]. Vitória, ES: UFES, 2009. Disponível em: https://sec.sbfisica.org.br/eventos/snef/xviii/sys/resumos/T0813-1.pdf. Acesso em: 25 out. 2024.

Os autores discutem como ensinar de maneira acessível os conceitos da teoria da relatividade especial para estudantes do Ensino Médio, ressaltando a importância da compreensão de tópicos como o espaço, tempo e o movimento na Ciência Moderna.

MONTEIRO, M. A.; NARDI, R.; BASTOS FILHO, J. B. A sistemática incompreensão da teoria quântica e as dificuldades dos professores na introdução da Física Moderna e Contemporânea no Ensino Médio. **Ciência & Educação**, Bauru, v. 15, n. 3, p. 557-580, 2009. Disponível em: https://www.scielo.br/j/ciedu/a/bqMYJGjV6zGgMm7N6FpBWFQ/abstract/?lang=pt. Acesso em: 25 out. 2024.

Artigo em que é discutido o ensino de Física Moderna no Ensino Médio, a partir da análise de discurso de professores de Física.

OSTERMANN, F.; MOREIRA, M. A. Uma revisão bibliográfica sobre a área de pesquisa "Física Moderna e Contemporânea no Ensino Médio". **Investigações em ensino de ciências (IENCI)**, v. 5, n. 1, p. 23-48, 2000. Disponível em: https://ienci.if.ufrgs.br/index.php/ienci/article/view/600/390. Acesso em: 25 out. 2024.

A partir de uma revisão da literatura a partir dos anos 1970, os autores verificam que a maior parte das publicações sobre o tema aparece em forma de textos de divulgação ou como referência para professores do Ensino Médio e que há escassez sobre concepções alternativas de estudantes.

ISBN 978-85-16-14040-3