José Mariano Amabis
Gilberto Rodrigues Martho

Nicolau Gilberto Ferraro
Paulo Cesar Martins Penteado
Carlos Magno A. Torres
Júlio Soares

Eduardo Leite do Canto
Laura Celloto Canto Leite

MATERIAL DE DIVULGAÇÃO.
VERSÃO SUBMETIDA À AVALIAÇÃO.
Código da coleção:
0198P21203
Código da obra:
0198P21203137

MODERNA PLUS

CIÊNCIAS DA NATUREZA E SUAS TECNOLOGIAS

MANUAL DO PROFESSOR

CIÊNCIA E TECNOLOGIA

Área do conhecimento:
Ciências da Natureza
e suas Tecnologias

MODERNA

MODERNA

JOSÉ MARIANO AMABIS
Licenciado em Ciências Biológicas pelo Instituto de Biociências – Faculdade de Educação da Universidade de São Paulo. Doutor e Mestre em Ciências, na área de Biologia (Genética), pelo Instituto de Biociências da Universidade de São Paulo. Professor aposentado do Departamento de Genética e Biologia Evolutiva do IBUSP.

GILBERTO RODRIGUES MARTHO
Licenciado em Ciências Biológicas pelo Instituto de Biociências – Faculdade de Educação da Universidade de São Paulo. Professor.

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.

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.

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.

JÚLIO SOARES
Doutor em Ciências, na área de Física do Estado Sólido, pelo Instituto de Física da Universidade de São Paulo. Cientista.

EDUARDO LEITE DO CANTO
Licenciado em Química pela Universidade Estadual de Campinas (SP). Doutor em Ciências pelo Instituto de Química da Universidade Estadual de Campinas (SP). Professor.

LAURA CELLOTO CANTO LEITE
Bacharela em Ciências Biológicas pela Universidade Estadual de Campinas (SP). Licenciada em Ciências Biológicas pela Universidade Estadual de Campinas (SP). Professora.

MODERNA PLUS

CIÊNCIAS DA NATUREZA E SUAS TECNOLOGIAS

CIÊNCIA E TECNOLOGIA

Área do conhecimento:
Ciências da Natureza e suas Tecnologias

MANUAL DO PROFESSOR

1ª edição

São Paulo, 2020

MODERNA

MODERNA

Coordenação editorial: Fabio Martins de Leonardo, Rita Helena Bröckelmann

Edição de texto: Dino Santesso Gabrielli, Flávia Valério Esteves dos Reis, Jeferson Felix da Silva, Júlio Francisco Hisada Pedroni, Marilu Maranho Tassetto, Mauro Faro, Natalia Leporo Torcato, Caroline Silva de Matos

Assistência editorial: Beatriz Assunção Baeta, Giovanni Laranjo de Stefani, Heloise do Nascimento Calça, Luana Félix da Silva

Assistência didático-pedagógica: Antônio Carlos Rodrigues de Amorim, Lígia Guimarães Mendes, Luiz Alberto de Paula, Maria Paula Correia de Souza, Rafaela Wiklich Sobrinho, Tatiana Ferraz Laganá, Thais Ribeiro Semprebom, Zanith Cook

Gerência de *design* e produção gráfica: Everson de Paula

Coordenação de produção: Patricia Costa

Gerência de planejamento editorial: Maria de Lourdes Rodrigues

Coordenação de *design* e projetos visuais: Marta Cerqueira Leite

Projeto gráfico: Otávio dos Santos, Ana Carolina Orsolin

Capa: Daniel Messias

Foto: Eric Isselee/Shutterstock. Detalhe do olho do camaleão-de-três-chifres (*Trioceros jacksonii*). Nativo das florestas úmidas do leste da África, mede cerca de 25 cm.

Coordenação de arte: Wilson Gazzoni Agostinho

Edição de arte: Márcia Cunha do Nascimento

Editoração eletrônica: Setup Editoração Eletrônica

Edição de infografia: Giselle Hirata, Priscilla Boffo

Coordenação de revisão: Elaine C. del Nero

Revisão: Márcia Leme, Palavra Certa, ReCriar Editorial, Renato da Rocha

Coordenação de pesquisa iconográfica: Luciano Baneza Gabarron

Pesquisa iconográfica: Flávia Aline de Moraes, Luciana Vieira, Joanna Heliszkowski

Coordenação de *bureau*: Rubens M. Rodrigues

Tratamento de imagens: Ademir Francisco Baptista, Joel Aparecido, Luiz Carlos Costa, Marina M. Buzzinaro

Pré-impressão: Alexandre Petreca, Everton L. de Oliveira, Marcio H. Kamoto, Vitória Sousa

Coordenação de produção industrial: Wendell Monteiro

Impressão e acabamento:

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

Moderna plus : ciências da natureza e suas tecnologias : manual do professor. -- 1. ed. -- São Paulo : Moderna, 2020.

Vários autores.
Obra em 6 v.
Conteúdo: O conhecimento científico -- Água e vida -- Matéria e energia -- Humanidade e ambiente -- Ciência e tecnologia -- Universo e evolução

1. Biologia (Ensino médio) 2. Ciências (Ensino médio) 3. Física (Ensino médio) 4. Química (Ensino médio).

20-39975 CDD-373.19

Índices para catálogo sistemático:

1. Ensino integrado : Livro-texto : Ensino médio 373.19

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
Vendas e Atendimento: Tel. (0_ _11) 2602-5510
Fax (0_ _11) 2790-1501
www.moderna.com.br
2020
Impresso no Brasil

1 3 5 7 9 10 8 6 4 2

MODERNA

SUMÁRIO

Orientações gerais sobre a obra

Introdução IV

As Ciências da Natureza e suas Tecnologias no Ensino Médio IV

Pressupostos teórico-metodológicos da coleção e alinhamentos com a BNCC V

- O trabalho com competências, habilidades e valores V
- O pensamento crítico em Ciências VI
- Questões socioemocionais nas Ciências da Natureza e suas Tecnologias VI
- A diversidade de estratégias didáticas VI
- Disciplinas em comunicação VII

Características gerais da coleção VII

- Organização geral VII
- Organização dos capítulos VIII
- Estudantes de diferentes perfis IX
- Pensamento computacional X
- Leitura inferencial XI
- TDIC e a educação XI

Planejamento de aula: sugestões de uso da coleção XII

- Avaliação XIV

Referências bibliográficas complementares XIV

Referências bibliográficas da coleção XV

Orientações específicas do volume

Capítulo 1 XVII

Capítulo 2 XX

Capítulo 3 XXVI

Capítulo 4 XXIX

Capítulo 5 XXXIV

Capítulo 6 XXXIX

Capítulo 7 L

Capítulo 8 LIX

Capítulo 9 LXIII

Capítulo 10 LXXIII

Capítulo 11 LXXVIII

Capítulo 12 LXXXI

Resoluções das Atividades Finais LXXXVI

Referências bibliográficas complementares do volume XCIII

MODERNA

Introdução

Neste *Suplemento para o professor* apresentamos esta coleção, estruturada em seis volumes e destinada ao Ensino Médio. Idealizados como instrumentos de apoio didático a professores e estudantes, esses livros 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 amplitude dos assuntos que tratamos 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 diversos volumes de acordo com seu projeto pedagógico, carga horária disponível e recursos de sua escola. Os temas tratados procuram envolver os estudantes na aventura do conhecimento a fim de capacitá-los a entender e a discutir os alcances e as limitações do empreendimento científico. Nosso projeto visa a 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 ajudá-lo nesse grande desafio.

As Ciências da Natureza e suas Tecnologias no Ensino Médio

O ano de 2020 ficará marcado na História em razão do enorme desafio científico e social enfrentado pelas populações humanas face à grande pandemia da COVID-19, causada pelo coronavírus SARS-CoV-2. Em momentos como esse, os holofotes se voltam para a Ciência, cujas atividades rotineiras, muitas vezes ignoradas pela maior parte da população, passam a ser amplamente discutidas em diversas mídias. O trabalho realizado em laboratórios de pesquisa transforma os pesquisadores em atores principais, que ajudam o grande público a interpretar as notícias sobre a pandemia e suas consequências. A confiança e a credibilidade na Ciência podem ajudar os professores a motivar os estudantes na valorização do ensino na Educação Básica.

Por sua vez, a revolução na disseminação das informações por meios digitais vem produzindo mudanças sociais profundas, que se refletem no sistema escolar, tanto no ensino formal como nas ações educativas referentes à educação para a vida (SENE, 2011), facilitando a integração de conhecimentos. Os reflexos dessas rápidas mudanças na sociedade podem ser percebidos pela intensificação das reformas educacionais, cujo foco tem sido o desenvolvimento de habilidades e competências para a resolução de problemas e tomada de decisões em um mundo plural. É justamente esse o enfoque do principal documento oficial brasileiro contemporâneo, a Base Nacional Comum Curricular (BNCC).

O principal objetivo da BNCC é constituir um instrumento unificador e norteador das políticas públicas educacionais, servindo de referência para os currículos desenvolvidos em âmbitos estadual e municipal, garantindo as aprendizagens essenciais ao longo da escolaridade, sem deixar de levar em conta a autonomia das escolas e dos professores e a heterogeneidade da sociedade brasileira. A fundamentação pedagógica da BNCC tem como foco o desenvolvimento de competências, definidas como a mobilização de conhecimentos (conceitos e procedimentos), de habilidades (práticas, cognitivas e socioemocionais), de atitudes e de valores, a fim de permitir aos indivíduos a resolução de demandas complexas do cotidiano, o pleno exercício da cidadania e a atuação no mundo do trabalho.

A BNCC valoriza o papel do Ensino Médio na sociedade contemporânea em uma perspectiva que abrange a consolidação e o aprofundamento dos conhecimentos adquiridos, a preparação básica para o trabalho e a cidadania, o aprimoramento do educando como pessoa humana e a compreensão dos fundamentos científico-tecnológicos dos processos produtivos. Enfatiza também a importância da computação e das tecnologias digitais de informação e comunicação (TDIC) na contemporaneidade.

De acordo com a BNCC, o Ensino Médio compõe-se de quatro áreas de conhecimento: Linguagens e suas Tecnologias, Matemática e suas Tecnologias, Ciências da Natureza e suas Tecnologias e Ciências Humanas e Sociais Aplicadas, cada uma delas integrando disciplinas com objetos de conhecimento comuns. Além das quatro áreas, há itinerários formativos organizados em eixos estruturantes, que incluem investigação científica e empreendedorismo. A esses itinerários acrescenta-se um eixo correspondente à formação técnica e profissional.

No caso das Ciências da Natureza, deixa de existir a clássica divisão nos componentes curriculares de Biologia, Química e Física e os grandes temas continuam a ser os tratados no Ensino Fundamental – matéria e energia, vida e evolução e Terra e Universo. As competências e habilidades são abrangentes e visam à interdisciplinaridade, com ênfase na investigação e nas aplicações dos conhecimentos científicos e tecnológicos e em suas implicações éticas, sociais, econômicas e ambientais. Os conhecimentos devem levar o jovem a elaborar argumentos, promover discussões, avaliar situações e fenômenos, apresentar propostas alternativas, tomar iniciativas e decisões e fazer uso criterioso de diversas tecnologias.

São três as competências específicas da área de Ciências da Natureza e suas Tecnologias para o Ensino Médio, como mostrado a seguir.

EDITORIA

Competências Específicas para a área de Ciências da Natureza e suas Tecnologias

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. […]

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. […]

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). […]

Fonte: BRASIL. Ministério da Educação. Secretaria da Educação Básica. *Base Nacional Comum Curricular*: educação é a base. Brasília: MEC; SEB, 2018.

As competências visam integrar os três componentes curriculares (Física, Química e Biologia) e denotam também as visões teórico-metodológicas na abordagem da Ciência, Tecnologia, Sociedade e Ambiente (CTSA). A cada uma das três competências específicas das Ciências da Natureza e suas Tecnologias para o Ensino Médio estão associadas habilidades, que permitem identificar melhor os conhecimentos das várias disciplinas e a integração proposta para a área, possibilitando diferentes arranjos entre duas ou mais disciplinas.

Outros aspectos interessantes já presentes nas competências do Ensino Fundamental e reforçados nesta etapa referem-se às possibilidades de interdisciplinaridade com outras áreas do conhecimento, como a área das Linguagens e suas Tecnologias, em especial nos estudos de gêneros textuais. A identificação, a elaboração e a utilização lógica por meio de argumentos válidos estão bastante reforçados nas competências e habilidades do Ensino Médio. De acordo com Kelly (2008), além de permitir avaliar os processos de construção do conhecimento, a argumentação está vinculada à própria linguagem científica. Para Silva (2008), por sua vez, a argumentação está presente no debate de pontos de vista distintos: compreensão de enunciados, avaliação de problemas e comunicação de ideias, entre outras atividades que integram o processo de ensino e aprendizagem em Ciências.

Pressupostos teórico-metodológicos da coleção e alinhamentos com a BNCC

Em consonância com a proposta da BNCC, a coleção buscou adotar abordagens teórico-metodológicas e estratégias variadas tornando-as mais significativas e aproximando o ensino de Ciências das realidades e experiências dos estudantes. Para tornar esse ensino mais atrativo para as juventudes contemporâneas é preciso superar a ideia de que os conteúdos das disciplinas se resumem a uma grande quantidade de nomes, fórmulas difíceis e processos desvinculados da realidade cotidiana. É importante sempre ressignificar o papel da Ciência na vida das pessoas, destacar as evidências de como ela nos ajuda a explicar situações da vida prática e levar os estudantes a perceber que a utilização do conhecimento científico ajuda a tomar decisões que impactam a sociedade e a desenhar cenários futuros.

A presente coleção visa a contribuir com o letramento científico, compromisso assumido desde os anos iniciais do ensino de Ciências. Para citar um exemplo concreto, relacionado a uma realidade que atualmente vêm afetando o mundo inteiro, na pandemia da COVID-19 o letramento ou a alfabetização científica tem sido fundamental para que os cidadãos compreendam e respeitem atitudes adotadas pelo poder público. A compreensão mais ampla da Ciência e de sua integração com outras áreas pode contribuir para que as pessoas identifiquem notícias falsas (*fake news*) e atuem contra sua disseminação, precavendo-se também contra preconceitos infundados. Além de compreender os conhecimentos científicos e de serem capazes de aplicá-los, é essencial que as pessoas entendam como tais conhecimentos são construídos, o que contribui para a desmistificação da Ciência e sua aproximação com a sociedade. Conhecer procedimentos e técnicas empregadas na pesquisa científica podem ajudar a interpretar questões do complexo mundo em que vivemos.

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 trabalho com competências, habilidades e valores

As competências propostas pelos documentos devem ser implementadas pela articulação de habilidades, atitudes e valores. Em nossa coleção, estas últimas são traduzidas em atividades e propostas pedagógicas que levam em conta as muitas dimensões da aprendizagem.

Alinhada à tendência de que o ensino deve priorizar a investigação e a descoberta, a coleção propõe, em seus textos, imagens e atividades, aos estudantes que vivenciem os fundamentos lógicos da construção do conhecimento

MODERNA

científico, instigando-os a descobri-los em uma perspectiva contextualizada. A ideia é levá-los a perceber que conhecer os fundamentos da Ciência e das tecnologias facilita a compreensão da trajetória da sociedade ao longo da História.

Além de apresentar conceitos de forma contextualizada, a coleção propõe atividades destinadas a desenvolver habilidades como a análise de gráficos e tabelas, elaboração e teste de hipóteses, interpretação e construção de textos, discussão e tomada de decisões etc. A aproximação entre os conteúdos programáticos e a realidade vivenciada pelo aprendiz contempla também as competências gerais e específicas da BNCC.

O desenvolvimento de atitudes e valores dentro de uma perspectiva de aproximação com a realidade está presente, na coleção, nos diversos conteúdos relacionados a temas como educação ambiental e educação para o consumo. É importante relacionar os impactos ambientais ao aumento do consumo e às mudanças nos sistemas econômicos. Isso operacionaliza o emprego de habilidades, atitudes e valores na construção da identidade do estudante e sua atuação na sociedade.

O pensamento crítico em Ciências

A educação formal é essencial para que os estudantes tenham acesso às múltiplas leituras possíveis daquilo que se convenciona denominar "realidade", e para que eles possam explicar os fenômenos naturais com base nos princípios norteadores do saber científico e de maneira crítica. De acordo com o relatório da Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico (OCDE) de 2017, para que o indivíduo consiga discutir criticamente questões científicas e tecnológicas, ele 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. (OCDE, 2017, p. 21, tradução nossa)

A coleção apresenta diversos fatos cujas explicações foram ou estão sendo construídas com base em experimentos e observações, incluindo seus aspectos de controvérsia. Para propiciar o desenvolvimento de habilidades como essa, os livros trazem a seção **Atividade prática**, em que são propostos experimentos, investigativos ou comprobatórios, e situações que envolvem fazeres práticos. Pode-se usar essa seção para levantar temas e orientar a elaboração de novos significados, ampliando assim os repertórios dos estudantes ou ajudando-os a aplicar conhecimentos e habilidades. Há também a seção **Em destaque**, cujo objetivo é desenvolver a leitura compreensiva de textos que veiculam informações relacionadas com as Ciências da Natureza.

A BNCC enfatiza a importância de compreender e identificar atitudes relacionadas a escolhas pessoais, em esferas como o ambiente e a saúde, bem como a valorização do trabalho em equipe e a tomada de decisões pessoais que levem em conta tais atitudes. Para propiciar o desenvolvimento dessas atitudes e valores, os diferentes volumes da coleção tratam de temas e itens ligados à saúde e ao ambiente, além de contar com a seção **Atividades em grupo**, destinada a ampliar e desenvolver habilidades de pesquisa, análise crítica, argumentação e comunicação, estimulando o trabalho em equipe e o compartilhamento dos saberes com a comunidade.

Questões socioemocionais nas Ciências da Natureza e suas Tecnologias

Um dos aspectos essenciais também na área de Ciências da Natureza e suas Tecnologias é o trabalho com habilidades relacionadas ao desenvolvimento socioemocional e à construção de identidade por meio do conhecimento individual e das relações que o estudante estabelece com o outro e com o mundo. O Ensino Médio é uma fase importante para essa construção, que permeia também os projetos de vida.

Além de trabalhar aspectos específicos relativos à saúde, ao bem-estar, ao consumo e ao ambiente, entre outros que integram os Temas Contemporâneos Transversais, a coleção procura também abordá-los de forma contextualizada e relacionada às outras áreas, como é proposto pela BNCC. Entendemos que habilidades, atitudes e valores relativos ao desenvolvimento socioemocional são essenciais à construção de uma sociedade mais justa. A coleção estimula a criatividade para a solução de problemas, o trabalho colaborativo em diferentes etapas do processo investigativo, propondo reflexões individuais e coletivas sobre ideias em Ciência, estimulando também a busca e a proposição de soluções para os desafios atuais.

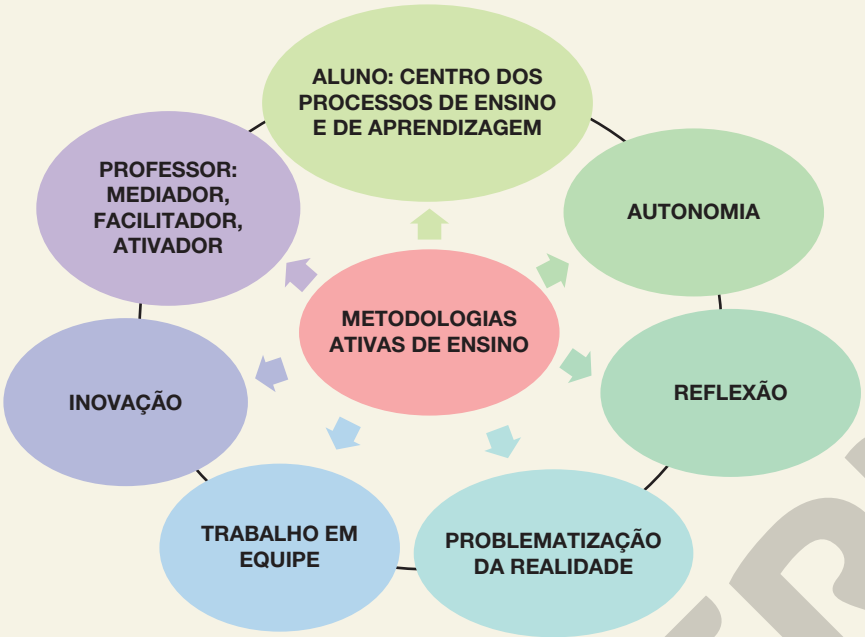
A diversidade de estratégias didáticas

A ideia de que estratégias didáticas diversificadas são importantes às práticas pedagógicas é consensual entre professores, pesquisadores e autores da área de educação. Diretrizes educacionais atuais e documentos curriculares apontam para essa necessidade, e a prática confere aos professores uma visão privilegiada de como a diversidade é capaz de promover processos de ensino e aprendizagem mais significativos. Materiais didáticos precisam estar alinhados e adequados para garantir um conjunto variado de aprendizagens que atinja todos os estudantes.

Esta coleção tem como pressuposto a necessidade do uso de diferentes estratégias didáticas. Assim, os conteúdos são

EDIÇÃO MODERNA

apresentados de maneiras variadas, estimulando o uso de ferramentas diversificadas e incorporando as tecnologias digitais de informação. Outro pressuposto da coleção diz respeito ao papel ativo do estudante no seu processo de aprendizagem, tendo o professor como participante essencial dessa construção. A coleção trabalha elementos de **metodologias ativas**.



ERICSON GUILHERME LUCIANO

Representação de aspectos e papéis trabalhados com metodologias ativas.

Fonte: DIESEL, A.; MARCHESAN, M. R.; MARTINS, S. N. *Metodologias ativas de ensino na sala de aula*: um olhar de docentes da educação profissional técnica de nível médio. Disponível em: <http://www.univates.br/revistas/index.php/signos/article/view/1008>. Acesso em: jun. 2020.

Disciplinas em comunicação

As mudanças influenciadas pelo processo de globalização social e econômica leva a uma comunicação mais rápida, à profusão de informações e à tendência a valorizar e conviver com as diferenças. Tais aspectos suscitam novas discussões acerca da interdisciplinaridade. Diante desse novo cenário, currículos, materiais e práticas devem incentivar a ligação entre os conhecimentos de diferentes áreas, valorizando uma visão mais abrangente sobre fenômenos, cultura, história e sociedade, capaz de levar o estudante a criar sua identidade, ter autonomia crítica e se relacionar com as diferenças.

O trabalho interdisciplinar e de integração não se limita a interligar os conteúdos das disciplinas, mas deve também propor mudanças de hábitos, recursos, métodos e práticas pedagógicas. Em sintonia com a BNCC do Ensino Médio, a coleção integra, em grandes temas, componentes curriculares de Biologia, Física e Química. Além de dispor os capítulos nos volumes visando a integrar essas disciplinas, as conexões interdisciplinares e de prática pedagógica estão presentes ao longo dos capítulos ou em atividades, em que esses aspectos são indicados para o professor. Essa abordagem permite trabalhar Temas Contemporâneos Transversais (TCTs), incorporados ao longo dos volumes.

Características gerais da coleção

Apresentamos a seguir as características gerais da coleção, eventualmente ampliando os **pressupostos teórico-metodológicos**, além de retomar as discussões dos itens anteriores.

Organização geral

Esta coleção é composta de seis volumes, que abordam conteúdos básicos das três disciplinas (Biologia, Física e Química) da área das Ciências da Natureza e suas Tecnologias.

Os volumes podem ser trabalhados em qualquer sequência, uma vez que não há pré-requisitos nem aumento na complexidade pedagógica dos temas abordados em cada livro. A construção da grade proposta procurou englobar também os Temas Contemporâneos Transversais, conforme indica a BNCC.

MODERNA

Os conteúdos tradicionalmente trabalhados no Ensino Médio foram revistos, selecionados e reorganizados de forma a atender às competências gerais e específicas e às habilidades da BNCC para esta etapa do ensino, bem como às necessidades das temáticas escolhidas.

Cada volume tem metas e conteúdos específicos, articulados de modo a dar consistência à temática do volume. Por exemplo, um dos volumes trata da produção do conhecimento na área científica, trazendo em sua abertura alguns dos principais aspectos da metodologia utilizada em Ciências. Entre outros aspectos, esse livro focaliza o desenvolvimento do pensamento crítico e reflexivo em Ciências da Natureza, levando o estudante a interpretar as representações empregadas por elas. Isso possibilita explorar, além dos conteúdos conceituais, aspectos pertinentes ao desenvolvimento dos temas contemporâneos transversais e às habilidades da BNCC.

O tema central de outro volume é a manifestação da vida, considerando seus diferentes níveis de organização, desde a composição molecular até a biosfera. Nele, é estabelecida uma ligação entre conceitos biológicos relacionados à importância da água para a vida e conceitos químicos e físicos, como a formação de soluções aquosas, a noção de solubilidade e a natureza dos fluidos, evidenciando relações interdisciplinares em Ciências da Natureza e como elas ajudam a resolver problemas e a analisar fatos cotidianos.

Outro volume dedica-se a desenvolver ideias científicas relacionadas à energia, entre elas sua quantificação, conservação e utilização pela sociedade. Trata também das transferências energéticas que ocorrem nos ecossistemas do planeta e da matéria e sua relação com a energia, como na reciclagem dos materiais nos ecossistemas e em sua quantificação, em diversos aspectos da física térmica e da termoquímica.

O tema gerador escolhido para outro volume da coleção visa a desenvolver nos estudantes a compreensão da relação íntima entre o ser humano e o meio que o cerca, o que favorece atitudes positivas, individuais e coletivas sobre o ambiente. Esse livro aborda conceitos de dinâmica das populações, de termodinâmica e de equilíbrio químico, discutindo processos que ocorrem em meios aquosos, com ênfase na acidez e na alcalinidade de soluções. Esses conceitos possibilitam múltiplos pontos de vista, – biológicos, físicos e químicos – acerca da poluição e suas implicações. Nesse contexto do ser humano em interação com o planeta, a obra também discute ondas eletromagnéticas e a tecnologia das comunicações.

A temática de outro volume desta coleção é voltada às atividades científicas e tecnológicas contemporâneas, exemplificadas pela engenharia genética e a criação de organismos transgênicos, pela nanotecnologia, pela eletricidade, eletrônica e por pilhas e baterias, bem como a aplicação atual e futura dessas atividades.

Não poderia faltar um volume orientado à discussão de temas como a origem do Universo, o ciclo evolutivo das estrelas, o surgimento dos elementos químicos, a origem da vida na Terra e a evolução das formas de vida, que conduziu à enorme biodiversidade que atualmente habita nosso planeta. Ao tratar desses temas, diversos conceitos científicos são empregados em um contexto multidisciplinar.

Organização dos capítulos

Cada um dos seis volumes está dividido em capítulos, que contemplam os componentes curriculares da área de Ciências da Natureza e suas Tecnologias, de acordo com o tema do volume. Os capítulos são estruturados de maneira similar, sempre contando com uma apresentação que discute o tema do capítulo, além de propostas de pesquisas complementares, atividades que possibilitam a construção do conhecimento e a aplicação dos conceitos desenvolvidos no decorrer do trabalho pedagógico. A linguagem empregada procura aliar a precisão conceitual da comunicação científica à clareza didática. Em diversas situações foi possível exemplificar com assuntos do cotidiano, o que torna conceitos e fenômenos científicos mais concretos para os estudantes.

Os capítulos contêm seções que visam a 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 atividades práticas.

As **atividades em grupo** ajudam os estudantes a desenvolver habilidades como pesquisa, seleção de informações, argumentação e comunicação; as questões propostas levam à ampliação, ao aprofundamento e à discussão do assunto dos tópicos do capítulo. Atividades desse tipo estimulam o trabalho em equipe e podem levar os estudantes a melhorar sua comunicação com os colegas. Além disso, também criam oportunidades para trabalhar habilidades e competências como a escrita e a divulgação e/ou a publicação dos resultados.

A seção **Dialogando com o texto** é diversificada e procura expandir o que está sendo trabalhado no capítulo. Além de aumentar a interatividade do estudante com o livro didático, essa seção também trabalha habilidades diversas, como analisar, compreender, definir, modelar, resolver, comparar e comunicar.

A seção **Atividade prática** propõe experimentos investigativos ou comprobatórios que podem ser feitos individualmente ou em grupo. Tais atividades estimulam o levantamento de hipóteses semelhantes às utilizadas pelos cientistas.

Na seção **Exercícios resolvidos** são apresentados exemplos de aplicação dos conteúdos, com o intuito de facilitar sua compreensão pelos estudantes, além de mostrar estratégias para a resolução de atividades.

A seção **Em destaque** apresenta textos de outras fontes, relacionados ao assunto apresentado, que permitem abordar diferentes aspectos inerentes à relevância da Ciência e auxiliam no desenvolvimento da capacidade de intelecção de textos.

A seção **Aplicando conhecimentos** traz questões diretamente relacionadas ao texto do capítulo, trabalhando habilidades diversificadas.

Todos os capítulos se encerram com a seção **Atividades finais**, que apresenta tanto questões do Enem e de vestibulares como exercícios mais elaborados e, em alguns casos, interdisciplinares, que abordam mais de um conteúdo.

MODERNA

Estudantes de diferentes perfis

Cada pessoa tem um estilo próprio de aprender fatos novos. O estilo de aprendizagem configura-se como um conjunto de condições por meio das quais os sujeitos começam a concentrar, a absorver, a processar e a reter informações e habilidades novas ou difíceis (DUNN; DUNN, 1978). A diversidade de estilos de aprendizagem reflete como as pessoas aprendem e se adaptam no ambiente em que estão inseridas.

O professor deve procurar compreender as diferentes formas de aprender e aplicá-las em sala de aula (CLAXTON; MURRELL, 1987). Conhecer os diferentes estilos de aprendizagem é importante para professores e instituições de ensino, uma vez que caracterizam as maneiras como as pessoas recebem e processam informações.

Há diversas maneiras de identificar o estilo de aprendizagem dos educandos, o que permite planejar estratégias pedagógicas eficazes e melhores oportunidades de aprendizado (LOPES, 2002). É importante destacar que os estilos de aprendizagem podem mudar ao longo do tempo, em função da maturidade do indivíduo. A intensidade com que cada pessoa aprende torna certos métodos eficazes para determinados públicos, e ineficazes para outros. Identificar essa variedade e atender a ela torna mais eficaz o processo de ensino e aprendizagem (JACOBSOHN, 2003).

O Inventário de Estilos de Aprendizagem (*Learning Style Inventory* – LSI), desenvolvido pelo teórico da educação David Kolb, em 1984, é um dos instrumentos de medida mais aplicados e divulgados sobre o tema. O Inventário de Kolb oferece um referencial para o ciclo educacional, ajudando a identificar o ritmo de estudo e a maneira como o estudante administra seu tempo, auxiliando a aprendizagem a ocorrer de forma organizada e disciplinada. Esse inventário é composto de algumas sentenças associadas a alternativas. O estudante atribui um peso a cada alternativa, de acordo com o que melhor descreve para ele atitudes e sentimentos quando está aprendendo. Assim, com base nos pesos dados pelo estudante, são calculados quatro índices.

1. Experiência Concreta (EC): um alto índice em experiência concreta aponta uma receptividade à abordagem fundamentada na experiência. Em geral, o estudante com esse estilo de aprendizagem considera desnecessárias as abordagens teóricas. Ele aprende melhor com exemplos específicos.
2. Conceitualização Abstrata (CA): esse índice corresponde a um aprendizado analítico e conceitual baseado principalmente no raciocínio lógico. Estudantes com esse estilo aprendem melhor com ênfase teórica e análise sistemática.
3. Observação Reflexiva (OR): um alto índice em abordagem reflexiva denota que o indivíduo aprende baseando-se em observações e julgando-as. Estudantes com esse estilo preferem aprender assistindo a aulas, o que lhes permite exercer o papel de observador.
4. Experimentação Ativa (EA): indica uma forte disposição em realizar atividades práticas. Estudantes com esse estilo aprendem com facilidade quando participam de projetos práticos, discussões em grupo e fazem tarefas de casa. Eles não gostam do aprendizado passivo, como assistir às aulas.

ERICSON GUILHERME LUCIANO

Representação dos índices do inventário de Kolb.

Fonte: PIMENTEL, A. A teoria da aprendizagem experiencial como alicerce de estudos sobre desenvolvimento profissional. *Estudos de Psicologia*, Natal, RN, v. 12, n. 2, pp. 159-186. 2007.

MODERNA

É importante compreender os modos de aprendizagem do estudante, em outras palavras, seu estilo e preferências, pois eles ajudam o professor a escolher abordagens explicativas ou demonstrativas e materiais adaptados aos diferentes estilos dos estudantes de um grupo. No quadro abaixo, estão relacionadas as atividades integradas ao Inventário de Estilos de Aprendizagem de Kolb.

<table>
<tr><th>Experiência concreta</th><th>Observação reflexiva</th><th>Conceituação abstrata</th><th>Experimentação ativa</th></tr>
<tr><td>Exemplos de aula</td><td rowspan="2">Perguntas para reflexão</td><td>Palestras</td><td>Exemplos de aula</td></tr>
<tr><td>Conjuntos de problemas</td><td>Papers</td><td>Laboratórios</td></tr>
<tr><td>Leituras</td><td rowspan="3">Tempestade de ideias (brainstorming)</td><td>Analogias</td><td>Estudos de caso</td></tr>
<tr><td>Filmes</td><td>Leituras de textos</td><td>Tarefas de casa</td></tr>
<tr><td>Simulações</td><td>Projetos</td><td rowspan="2">Projetos</td></tr>
<tr><td>Laboratórios</td><td>Discussões</td><td rowspan="2">Modelos de construção</td></tr>
<tr><td>Observações</td><td>Júris</td><td rowspan="2">Trabalho de campo</td></tr>
<tr><td>Trabalho de campo</td><td>Jornais</td><td>Modelos críticos</td></tr>
</table>

Fontes: KOLB, D. A. *Experimental learning*: experience as the source of learning and development. New Jersey: Prentice-Hall, Englewood Cliffs, 1984. SVINICKI, M. D.; DIXON, N. M. *The Kolb model modified for classroom activities*. College Teaching, v. 35, n. 4, p. 141-146, 1987.

Nossa coleção inclui atividades para os estilos de aprendizagem de Kolb. De maneira geral, os exemplos de aula e o conjunto de problemas são abordados nas seções **Atividades práticas** e **Exercícios resolvidos**, ao passo que laboratórios, projetos e estudo de caso são contemplados apenas nas **Atividades práticas**. As discussões, tempestade de ideias, *papers* e leituras de textos são abordados nas seções **Dialogando com o texto**, **Em destaque** e **Aplicando conhecimentos**. Quando se utilizam diferentes abordagens em um curso, levando em conta os diferentes estilos de aprendizagem, os estudantes podem perceber que suas necessidades individuais estão sendo atendidas.

Pensamento computacional

O pensamento computacional pode ser entendido como um conjunto de técnicas que utiliza conceitos oriundos de ciência da computação para solucionar problemas, mas que não requer o uso de computadores para que seja utilizado ou ensinado. É um processo cognitivo, uma forma de pensar para analisar e resolver problemas – com capacidade crítica, criativa e estratégica – 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 foi objeto de ampla atenção em várias partes do mundo e, em diversos países, habilidades a ele relacionadas passaram a ser consideradas essenciais.

Há uma necessidade crescente de implementar sua abordagem no currículo escolar, a fim de desenvolver nos estudantes a criatividade e a capacidade de definir e resolver problemas que envolvam o reconhecimento 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 promoveu, nos últimos anos, o 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 e, em vez de se criar uma disciplina dedicada a ele, a expectativa é que as habilidades inerentes a ele sejam desenvolvidas em diferentes áreas do conhecimento e trabalhadas transversalmente em contextos variados.

No pensamento computacional, a maneira de abordar uma situação-problema envolve algumas ideias básicas. Uma delas, a *decomposição*, caracteriza-se pela quebra 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 os 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 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 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, portanto, uma estratégia para avaliar problemas e modelar suas soluções de forma eficiente e, assim, encontrar soluções genéricas para classes inteiras de problemas. Ele pode e deve ser vivenciado de forma integrada às Ciências da Natureza.

MODERNA

Ao longo dos volumes desta coleção, os desenvolvimentos de diversas situações-problema envolvendo Biologia, Física e Química – sejam eles realizados no Livro do Estudante ou indicados no Suplemento do Professor – englobam aspectos de pensamento computacional. De modo geral, optou-se por não rotular explicitamente tais aspectos com as terminologias mencionadas anteriormente, a fim de que o foco realmente esteja no desenvolvimento. Contudo, em alguns momentos, conforme conveniência pedagógica, é feita a apresentação explícita de algoritmos com o intuito de destacar sua relevância em algumas situações de Ciências da Natureza e/ou sua importância na automatização de procedimentos.

Leitura inferencial

Como vimos nos pressupostos teórico-metodológicos desta coleção, estratégias diversificadas são essenciais no ensino de Ciências. Uma dessas estratégias é o ensino por investigação, com o uso dos 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 a resolução de problemas práticos. 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 dos estudantes, o estímulo à leitura, análise e 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. Nossa coleção inclui diversas atividades que incorporam esse pressuposto, em consonância com a proposta da BNCC de desenvolver a capacidade argumentativa e inferencial, seja por meio de argumentos que embasam pontos de vista diferentes para temas científicos não consensuais, seja por meio de contraexemplos. Dentre as atividades que atendem a tal perspectiva, citamos a análise de textos, o debate de pontos de vista distintos, a compreensão de enunciados, a avaliação de problemas e a comunicação de ideias.

A abordagem de ensino por investigação em Ciências e a argumentação são pressupostos teórico-metodológicos desta coleção, que permitem desenvolver competências leitoras associadas à compreensão inferencial e lexical. As propostas baseadas nessas abordagens favorecem o desenvolvimento da habilidade de estabelecer associações apropriadas, identificando, no texto: incoerências entre ideias previamente construídas, generalizações indevidas, desvios do assunto principal ou uso de argumentos evasivos, que permitem inferir a falta de consenso entre as ideias ou a fragilidade argumentativa. Temos aqui importantes pontos de integração entre a área de Ciências e a de Linguagem.

TDIC e a educação

A sociedade atual é fortemente influenciada pela inserção das tecnologias digitais, que se intensificou nas últimas décadas do século XX e no decorrer do século XXI, levando-nos a repensar sentidos do ensino-aprendizagem no mundo contemporâneo. Desde a homologação da BNCC, a discussão e a implementação do uso da tecnologia educacional vêm ocupando espaço importante nesse debate. Os recursos tecnológicos sempre encontraram um lugar para o desenvolvimento de novas propostas na educação, quer para facilitar a aprendizagem, quer para melhorar seu desempenho, com a criação e a organização de processos bem estruturados. O tema integra o item n. 5 das competências gerais do documento, que sugere às unidades

> […] 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. […]
>
> Fonte: BRASIL. Ministério da Educação. Secretaria da Educação Básica. *Base Nacional Comum Curricular*: educação é a base. Brasília: MEC; SEB, 2018, p. 9-10.

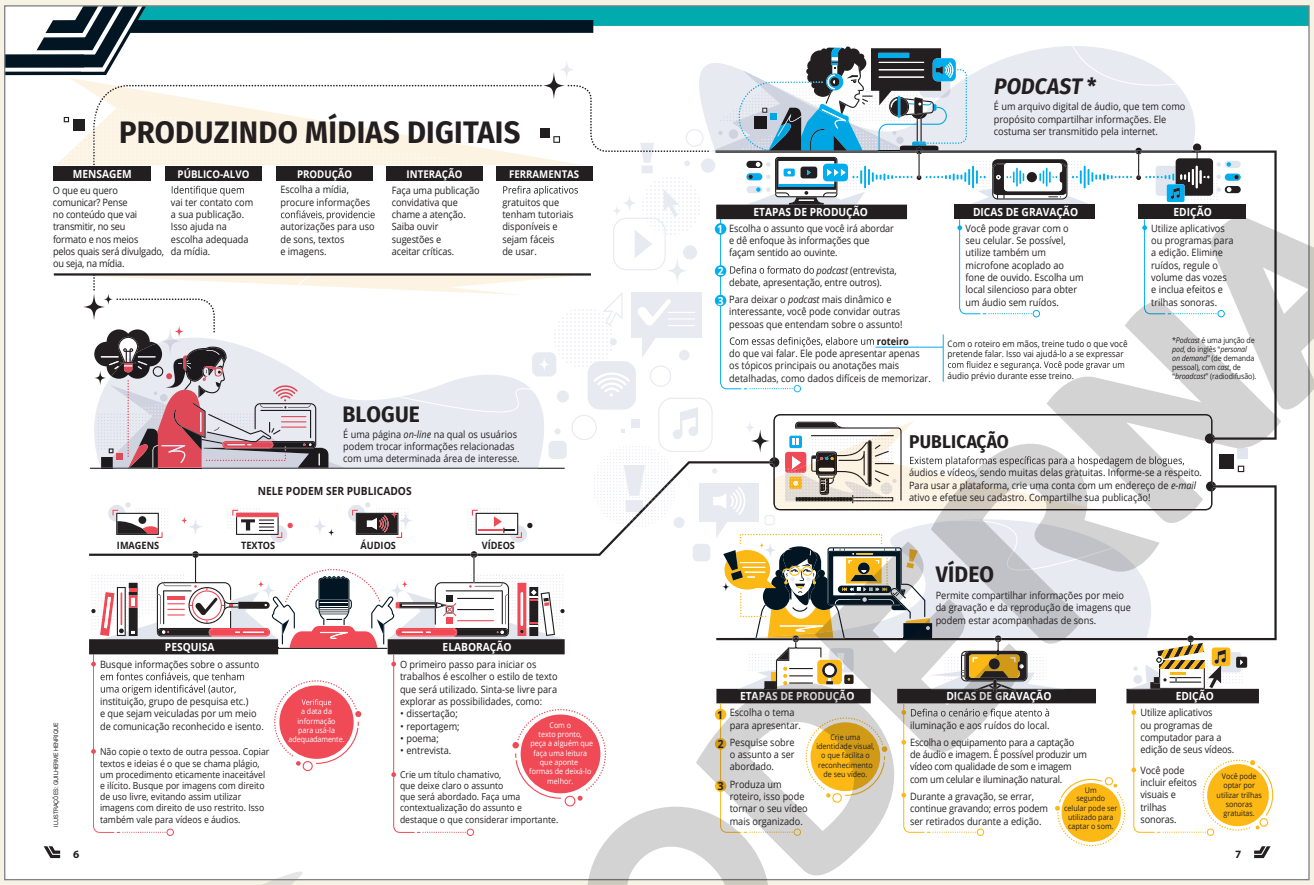
As práticas e todo o processo educativo devem ser objetos de reflexão, de modo que tecnologias digitais de informação e de comunicação (TDIC) passem a integrar as estratégias metodológicas de maneira transversal, sem entrar em atrito com as metodologias que vinham sendo aplicadas. Assim, é preciso incorporar as tecnologias digitais a outros meios e processos de ensino e aprendizagem. Não se trata apenas de mudar a forma de dar aula com recursos digitais, mas de se questionar e refletir sobre as práticas educativas que incluem pessoas interligadas em uma sociedade em rede.

Contudo, é preciso também levar em conta o fato de estarmos vivendo uma época de excesso de mídias sociais, em que os estudantes estão constantemente envolvidos com essa tecnologia fora da sala de aula, ao se dedicar a jogos eletrônicos, navegar na internet ou a compartilhar informações em redes sociais. Procure utilizar as TDIC de forma consciente e planejada, de modo que tal recurso favoreça e enriqueça a aprendizagem. Procure aplicar adequadamente essas novas tecnologias, compreendendo e manuseando com mais proximidade o conhecimento científico, a fim de criar um ambiente de aprendizagem em que estudantes e professores interajam de forma crítica e cooperativa.

Explore esse recurso na criação de projetos metodológicos que levem à produção e não à mera reprodução de conhecimento. Procure utilizar as TDIC como um recurso auxiliar e inovador no processo de ensino e aprendizagem. Antes de escolher entre os recursos digitais a serem utilizados em sala de aula, é importante se perguntar: Que mensagem queremos transmitir? Qual é o público-alvo dessa mensagem? Seja qual for a mídia escolhida (blogue, *podcast*, vídeo), a produção do conteúdo deve embasar-se em informações confiáveis, sem deixar de providenciar a autorização de textos de terceiros, imagens e vídeos, que não sejam de autoria própria. Procure utilizar aplicativos gratuitos que contenham tutoriais disponíveis e sejam de fácil utilização.

MODERNA

No início de cada volume desta coleção, há um infográfico, **Produzindo mídias digitais**, com o objetivo de informar aos estudantes como transmitir informações confiáveis por meio de algumas mídias digitais. Em algumas atividades, eles são convidados a comunicar o resultado de suas pesquisas, descobertas e notícias e informações relevantes. Sempre que possível, estimule-os a consultar e a decidir qual é a melhor mídia para compartilhar as informações, voltando sempre à consulta desse infográfico.



Abordagens de ensino da tecnologia informacional são necessárias no ambiente de aprendizagem, visto que fazem parte da vida dos estudantes. Além disso, o acesso a outras informações, além do Livro do Estudante, oferece maneiras diferentes e criativas de apreender conceitos, mantendo os estudantes mais engajados no processo de ensino e aprendizagem. Além disso, recursos da tecnologia informacional permitem ao professor desenvolver planos de estudo mais individualizados.

Planejamento de aula: sugestões de uso da coleção

São dois os aspectos mais importantes a serem considerados no processo de ensino e aprendizagem: as **competências**, que se referem às capacidades intelectuais, éticas e sociais a serem adquiridas ou implementadas pelos estudantes ao estudar o tema; e as **habilidades**, que são metas ou objetivos específicos a serem desenvolvidos, guiando o caminho para atingir as competências desejadas.

Cada escola e cada professor têm suas próprias preferências e diferentes realidades. Essa coleção divide-se em volumes e capítulos, abordando competências de Física, Química e Biologia sob o mesmo tema interdisciplinar. Cabe aos professores selecionar os conteúdos e as abordagens mais relevantes para o projeto pedagógico de sua escola.

A carga horária destinada a cada área varia de uma escola para outra. Há também diferenças no rendimento de uma turma para outra, e os professores podem dedicar um número maior de aulas a determinado assunto para uma turma e um número menor para outra. Saber identificar essas particularidades é fundamental para o sucesso pedagógico.

Para auxiliar no trabalho do professor em sala de aula, apresentamos algumas sugestões para o uso da coleção. A numeração dos volumes é tão somente para organização, pois os volumes da coleção são independentes e podem ser utilizados conforme a realidade da sua escola.

Ensino Médio – curso regular diurno em 3 anos – BIMESTRAL – número igual de aulas dos componentes curriculares/ano						
		1º ano		2º ano		3º ano
1º bimestre	V1	C1, C3, C4	V3	C3, C6	V5	C6, C7
		C1, C5, C7		C2, C7		C1, C2
		C1, C2, C6		C1, C4		C4, C5
2º bimestre		C9, C10		C9, C10		C9, C12
		C8, C13		C8, C12		C3, C10
		C11, C12		C5, C11		C8, C11
3º bimestre	V2	C3, C6	V4	C2, C6	V6	C4, C5
		C1, C2		C1, C5		C1, C3
		C8, C9		C3, C4		C2, C6
4º bimestre		C7, C10		C7, C10		C11, C12
		C4, C5		C11, C12		C9, C10
		C11, C12		C8, C9		C7, C8

Perfil de professor recomendado | Química | Biologia | Física

Ensino Médio – curso regular diurno em 3 anos – TRIMESTRAL – número igual de aulas dos componentes curriculares/ano						
		1º ano		2º ano		3º ano
1º trimestre	V1	C1, C3, C4	V3	C3, C6	V5	C6, C7
		C1, C5, C7		C2, C7		C1, C2
		C1, C2, C6		C1, C4		C4, C5
2º trimestre	V1	C9, C10	V3	C9, C10	V5	C9, C12
	V2	C3	V4	C2	V6	C4
	V1	C8, C13	V3	C8, C12	V5	C3, C10
	V2	C1	V4	C1	V6	C1
	V1	C11, C12	V3	C5, C11	V5	C8, C11
	V2	C8	V4	C3	V6	C2
3º trimestre	V2	C6, C7, C10	V4	C6, C7, C10	V6	C5, C11, C12
		C2, C4, C5		C5, C11, C12		C3, C9, C10
		C9, C11, C12		C4, C8, C9		C6, C7, C8

Perfil de professor recomendado | Química | Biologia | Física

Ensino Médio – curso regular diurno em 3 anos – SEMESTRAL – número igual de aulas dos componentes curriculares/ano						
		1º ano		2º ano		3º ano
1º semestre	V1	C1, C3, C4, C9, C10	V3	C3, C6, C9, C10	V5	C6, C7, C9, C12
		C1, C5, C7, C8, C13		C2, C7, C8, C12		C1, C2, C3, C10
		C1, C2, C6, C11, C12		C1, C4, C5, C11		C4, C5, C8, C11
2º semestre	V2	C3, C6, C7, C10	V4	C2, C6, C7, C10	V6	C4, C5, C11, C12
		C1, C2, C4, C5		C1, C5, C11, C12		C1, C3, C9, C10
		C8, C9, C11, C12		C3, C4, C8, C9		C2, C6, C7, C8

Perfil de professor recomendado | Química | Biologia | Física

MODERNA

Avaliação

Quando a ação pedagógica é centrada no estudante e se estabelece a ideia de que o conhecimento é construído aos poucos, há mudanças na relação entre ensino e aprendizagem, o que, consequentemente, modifica as possibilidades e as exigências da avaliação.

A avaliação não deve ter como eixo norteador o conteúdo como um fim em si mesmo, mas como um componente importante no desenvolvimento das habilidades e competências. Assim, tendo como conteúdo a tradição histórica da construção da Ciência, dirigimos nosso olhar para os objetivos do ensino. São esses objetivos que vão determinar o que deve ser avaliado.

Segundo os Parâmetros Curriculares Nacionais para o Ensino Médio (PCNEM):

> […] é imprópria a avaliação que só se realiza numa prova isolada, pois deve ser um processo contínuo que sirva à permanente orientação da prática docente. Como parte do processo de aprendizado, precisa incluir registros e comentários da produção coletiva e individual do conhecimento e, por isso mesmo, não deve ser um procedimento aplicado nos estudantes, mas um processo que conte com a participação deles. É pobre a avaliação que se constitua em cobrança da repetição do que foi ensinado, pois deveria apresentar situações em que os estudantes utilizem e vejam que realmente podem utilizar os conhecimentos, valores e habilidades que desenvolveram. […] (BRASIL, 2002, p. 51)

A avaliação tem, portanto, dupla função: redirecionar o trabalho do professor e tornar o estudante consciente de seu desenvolvimento. Ainda de acordo com os PCNEM:

> Uma questão que deve ser discutida, quando se concebem transformações nas metas e nos métodos educativos, é a avaliação, em todos os seus sentidos — tanto a avaliação de desempenho dos estudantes quanto a avaliação do processo de ensino. Frequentemente, a avaliação tem sido uma verificação de retenção de conhecimentos formais, entendidos ou não, que não especifica a habilidade para seu uso. Uma avaliação estruturada no contexto educacional da escola, que se proponha a aferir e desenvolver competências relacionadas a conhecimentos significativos, é uma das mais complexas tarefas do professor. Essa avaliação deve ter um sentido formativo e ser parte permanente da interação entre professor e estudante. (BRASIL, 2002, p. 136)

A avaliação no ensino de Ciências deve evitar a mera exposição de conceitos, a aplicação descontextualizada de fórmulas, a reprodução de modelos na solução de problemas. Deve assumir um caráter formativo, por meio do qual seja possível perceber o desenvolvimento do estudante. É necessário ficar claro, tanto para o professor como para o estudante, o que este sabia e o que sabe agora, como foi seu processo de apropriação de conhecimentos, o que ele ainda precisa desenvolver e quais habilidades domina.

Com base na definição dos objetivos a serem alcançados, o professor deve promover situações que permitam avaliar o processo de aprendizagem do estudante, sua produção contínua e sua participação nas atividades propostas, e situações que deem ao estudante oportunidades de autoavaliação. É importante que o professor observe o comportamento do estudante nas aulas e como ele se desenvolve no decorrer do curso: se apresenta dificuldades e tenta superá-las; se passa do senso comum ao pensamento crítico; se se apropria do vocabulário técnico-científico; se procura solucionar suas dúvidas etc.

Na avaliação também devem ser levadas em conta a produção escrita do estudante, a resolução de exercícios, a solução de problemas, a investigação de fenômenos, a pesquisa, a elaboração de sínteses, a construção de argumentos que envolvam a relação entre teoria e prática, entre outros aspectos. Avaliar não é abandonar a prova escrita, mas não se deve centrar o processo de avaliação apenas nesse tipo de instrumento.

Veja listadas a seguir algumas sugestões de avaliações a serem realizadas pelos estudantes e professores ou pela comunidade escolar.

- Mostras e apresentações: exposição para a comunidade escolar e extraescolar do que está sendo aprendido, com o uso de diferentes suportes e linguagens.
- Registros coletivos em forma de livros, murais, caixas de sugestões: anotações de reflexões, dúvidas, hipóteses, descobertas e pesquisas feitas pelo grupo.
- Entrevista entre professor e estudante: troca de impressões sobre o aprendizado e verificação da necessidade de ajuda e adequação do conteúdo.
- Reuniões entre professor, estudante e pais ou responsáveis: troca de impressões, verificação da necessidade de ajuda e adequação e partilha da vida escolar com a família.
- Reuniões entre professor e coordenação: promoção do diálogo destinado a auxiliar na reflexão com base em visões e escutas distanciadas, a fim de enriquecer o trabalho pedagógico e as relações pessoais e de grupo.

Referências bibliográficas complementares

Apresentamos a seguir algumas sugestões de textos, vídeos e *sites* contextualizadas com o objetivo de facilitar o aprofundamento dos conteúdos tratados anteriormente.

Ensino de Ciências no século XXI

Os textos e o vídeo indicados a seguir trazem perspectivas gerais sobre o processo de ensino-aprendizagem em Ciências retomando algumas das tendências do século XX.

Textos

- MARANDINO, M. *Tendências teóricas e metodológicas no ensino de Ciências*. São Paulo, USP, 2013. Disponível em: <https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/349832/mod_resource/content/1/Texto%201%20-%20Marandino%20Tend%C3%AAncias%20no%20Ensino%20de%20ci%C3%AAncias%20final.pdf>. Acesso em: maio 2020.

EDITORIA

- SILVA, J. L. P. B.; MORADILLO, E. F. Avaliação, ensino e aprendizagem de Ciências. *Ensaio Pesquisa em Educação em Ciências*, v. 4, n. 1, jul. 2002.

Vídeo

- ENSINO de Ciências. Entrevista com Luis Carlos de Menezes. São Paulo: *Nova Escola*, 2 dez. 2013. 1 vídeo (3 min). Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=zLUAAu3oYzo>. Acesso em: maio 2020. Nessa entrevista, o professor Luis Carlos de Menezes, docente do Instituto de Física da Universidade de São Paulo e consultor da Unesco, fala sobre os desafios contemporâneos do ensino de Ciências.

Abordagem CTS/CTSA no ensino de Ciências

Texto

- SANTOS, W. L. P.; 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*, v. 2, n. 2, p. 133-162, 2000. Nesse texto, os autores tratam da abordagem CTS no ensino de Ciências, especificamente aquele realizado no contexto brasileiro.

O ensino por investigação e argumentação

Texto

- BERNARDO, J. R. R. Argumentação no ensino de Ciências: tendências, práticas e metodologia de análise. *Ensaio Pesquisa em Educação em Ciências*. Belo Horizonte, v. 17, n. 1, p. 277-280, jan./abr. 2015. Disponível em: <https://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1983-21172015000100277&lng=pt&tlng=pt>. Acesso em: maio 2020. O texto apresenta a resenha de um livro que trata da argumentação científica.

Vídeo

- O ENSINO por investigação. São Paulo: Universidade de São Paulo (USP). Portal de videoaulas, [*s. d.*]. 1 vídeo (6 min). Disponível em: <http://eaulas.usp.br/portal/video.action?idItem=4586>. Acesso em: maio 2020. Nesse vídeo, a abordagem didática do ensino por investigação é contextualizada por meio de exemplos.

Leitura em ciências

Texto

- NIGRO, R. G.; TRIVELATO, S. Leitura de textos de Ciências de diferentes gêneros: um olhar cognitivo-processual. *Investigações em Ensino de Ciências* (*on-line*) , v. 15, p. 553-573, 2010. Disponível em: <https://www.if.ufrgs.br/cref/ojs/index.php/ienci/article/view/262/184>. Acesso em: maio 2020. O texto trata da importância da leitura de textos para o letramento científico, incluindo aspectos da leitura inferencial.

Avaliação e diferentes perfis

Texto

- INVENTÁRIO de Estilo de Aprendizagem de Kolb. Disponível em: <http://www.cchla.ufpb.br/ccmd/aprendizagem/>. Acesso em: maio 2020. Exemplos de perguntas para identificar o estilo de aprendizagem.

Referências bibliográficas da coleção

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.

BOLÍVAR, A. Equidad educativa y teorías de la justicia. *Revista Electrónica Iberoamericana sobre Calidad, Eficacia y Cambio en Educación*, Madrid, v. 3, n. 2, p. 42-69, 2005. Disponível em: <http://www.rinace.net/arts/vol3num2/art4.pdf>. Acesso em: maio 2020.

Artigo usado como fonte para tratar da importância de uma educação que ajude a igualar as oportunidades de diferentes estudantes.

BRASIL. Ministério da Educação. *PCN+ Ensino Médio*: orientações educacionais complementares aos Parâmetros Curriculares Nacionais. Ciências da Natureza, Matemática e suas Tecnologias. Brasília: MEC/SEMTEC, 2002. Disponível em: <http://portal.mec.gov.br/seb/arquivos/pdf/CienciasNatureza.pdf>. Acesso em: maio 2020.

O documento é uma referência sobre aspectos da educação no Ensino Médio.

BRASIL. Instituto Nacional de Estudos e Pesquisas Educacionais Anísio Teixeira (Inep). *Plano Nacional de Educação 2014-2024*: Linha de Base. Brasília: Inep, 2015.

O documento mostra objetivos e metas da educação brasileira entre 2014-2024.

BRASIL. Ministério da Educação. *Base Nacional Comum Curricular*. Brasília: MEC, 2018. Disponível em: <http://basenacionalcomum.mec.gov.br/images/BNCC_EI_EF_110518_versaofinal_site.pdf>. Acesso em: maio 2020.

Documento que estrutura as etapas da educação fundamental no Brasil.

BRASIL. Ministério da Educação. *Temas contemporâneos transversais na BNCC*. Brasília: MEC, 2019. Disponível em: <http://basenacionalcomum.mec.gov.br/images/implementacao/contextualizacao_temas_contemporaneos.pdf >. Acesso em: jul. 2020.

Documento que mostra a articulação dos temas contemporâneos transversais com a BNCC.

BRASIL. Ministério da Educação. *Novo Ensino Médio – perguntas e respostas*. Disponível em: <http://portal.mec.gov.br/publicacoes-para-professores/30000-uncategorised/40361-novo-ensino-medio-duvidas>. Acesso em: maio 2020.

Guia com perguntas e respostas sobre o novo Ensino Médio.

CLAXTON, C. S.; MURRELL, P. H. *Learning styles*. Washington, DC: George Washington University (ERIC), 1987.

Material que trata de como trabalhar com estudantes de diferentes perfis.

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.

DUNN, R.; DUNN, K. *Teaching Students Through their Individual Learning Styles*: A Practical Approach. Reston, VA: Reston Publishing Co., 1978.

Material que trata de como trabalhar com estudantes de diferentes perfis.

MOEPNA

GONÇALVES, S. R. V. Interesses mercadológicos e o "novo" ensino médio. *Revista Retratos da Escola, Brasília*, v. 11, n. 20, p. 131-145, jan./jun. 2017. Disponível em: <http://retratosdaescola.emnuvens.com.br/rde/article/view/753>. Acesso em: maio 2020.

Artigo que mostra desdobramentos da estruturação do novo Ensino Médio.

JACOBSOHN, L. V. *O potencial de utilização do e-learning no desenvolvimento de competências do administrador*: considerando o estilo de aprendizagem do aluno de graduação. 2003. 232f. Tese (Doutorado em Administração de Empresas) – Faculdade de Economia, Administração e Contabilidade, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2003.

Tese que mostra algumas possibilidades de aplicação de TDICs.

JAPIASSU, H.; MARCONDES, D. *Dicionário básico de filosofia*. 2. ed. Rio de Janeiro: Zahar, 1991.

Obra que trata aspectos de filosofia e como eles se relacionam com educação.

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.

Neste livro são mostradas algumas formas de trabalhar letramento científico com os estudantes.

KRASILCHIK, M. *Prática de ensino de Biologia*. São Paulo: Harbra, 1998.

Livro em que são mostradas atividades práticas e alguns de seus efeitos no ensino de ciências.

KRASILCHIK, M.; MARANDINO, M. *Ensino de Ciências e cidadania*. 2. ed. São Paulo: Moderna. 2007.

Livro que ajuda a mostrar relações entre o ensino científico e o desenvolvimento da cidadania.

LEFF, E. Complexidade, interdisciplinaridade e saber ambiental. *In*: LEFF, E. *Interdisciplinaridade em Ciências Ambientais*. São Paulo: Signus, 2000.

Obra que mostra aspectos interdisciplinares no ensino de ciências.

LOPES, W. M. G. ILS – *Inventário de estilos de aprendizagem de Felder-Soloman*: investigação de sua validade em estudantes universitários de Belo Horizonte. 2002. 85f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2002.

Dissertação que aborda maneiras de trabalhar com estudantes de diferentes perfis.

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: <http://pepsic.bvsalud.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1809-52672011000300006&lng=pt&nrm=iso>. Acesso em: maio 2020.

Artigo com considerações e aspectos para trabalhar partes do projeto de vida com os estudantes.

MORTIMER, E. F. A BNCC do Ensino Médio: entre o sonho e a ficção. *Portal SBPC net*, 10 abr. 2018. Disponível em: <http://portal.sbpcnet.org.br/noticias/a-bncc-do-ensino-medio-entre-o-sonho-e-a-ficcao/>. Acesso em: maio 2020.

Artigo que mostra aspectos práticos da aplicação da BNCC do 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.

OECD. *Assessing Scientific, Reading and Mathematical Literacy*: A Framework for PISA 2006. Paris: OECD, 2006.

Texto que traz análises sobre resultados obtidos no PISA.

OECD. *PISA 2015 Assessment and Analytical Framework*: Science, Reading, Mathematic, Financial Literacy and Collaborative Problem Solving. ed. rev. Paris: OECD, 2017. Disponível em: <https://www.oecd.org/publications/pisa-2015-assessment-and-analytical-framework-9789264281820-en.htm>. Acesso em: maio 2020.

Artigo que mostra algumas formas de trabalho com estudantes de acordo com os preceitos do PISA.

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.

SENE, J. E. *A educação e o ensino de Geografia*: na era da informação ou do conhecimento? Olhar de Professor, v. 13, n. 1, p. 13-36, 2011.

Artigo que trata sobre aspectos do uso das TDICs.

SILVA, A. C. T. *Estratégias enunciativas em salas de aula de Química*: contrastando professores de estilos diferentes. 2008. Tese (Doutorado) – Faculdade de Educação, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2008.

Tese que, entre outros temas, mostra alguns efeitos dos diferentes perfis de professores na sala de aula.

SILVA, J. T. Educar com que objetivo? Para o sucesso ou para a busca da justiça? *Jornal da USP*, 29 ago. 2018. Disponível em: <https://jornal.usp.br/artigos/base-nacional-comum-curricular-as-decisoes-pertencem-aos-estados/>. Acesso em: maio 2020.

Artigo que aborda divergências de como melhorar o 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 mostra maneiras de trabalhar com rubricas.

TENREIRO-VIEIRA, C. Produção e avaliação de atividades de aprendizagem de Ciências para promover o pensamento crítico dos alunos. *Revista Iberoamericana de Educación*, n. 33/6, 2004.

Artigo que mostra possibilidades de estimular o pensamento crítico nos estudantes.

UNESCO. *The ABCs of Global Citizenship Education*, Paris, 2015. Disponível em: <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000248232>. Acesso em: maio 2020.

Documento que mostra relações entre educação e cidadania.

YOUNG, M. Para que servem as escolas? *Educação & Sociedade*, Campinas, v. 28, n. 101, p. 1.287-1.302, set./dez. 2007.

Artigo que discute sobre diferentes papéis que a escola pode ter.

ZANATTA, S. C. A implantação de uma Base Nacional Comum Curricular – BNCC no contexto do progresso ensino e aprendizagem de Física. *In*: NEVES, M. C. D.; ZANATTA, S. C.; TROGELLO, A. G. (org.). *Conhecimento público, educação tutorial e outras reflexões sobre o ensino de Ciências*. Maringá: LCV-UEM, 2017.

Artigo que aborda efeitos da BNCC para o ensino de Ciências da Natureza.

MODERNA

CAPÍTULO 1 As leis da herança

Metas do capítulo

- Estar informado sobre as características da ervilha que levaram Mendel a escolhê-la para seus estudos sobre hereditariedade.
- Conceituar os termos dominante e recessivo utilizados por Mendel e explicar, de acordo com a lei da segregação dos fatores, o aparecimento da proporção fenotípica – 3 dominantes : 1 recessivo – na descendência de cruzamentos entre híbridos para determinada característica hereditária.
- Conceituar herança monogênica, ou monoibridismo.
- Conceituar genótipo e explicar sua relação com o fenótipo.
- Conhecer os princípios de construção de heredogramas e compreender a importância desse tipo de representação gráfica.
- Conceituar: alelo dominante; alelo recessivo; indivíduo homozigótico; indivíduo heterozigótico; dominância incompleta; codominância.
- Compreender a importância dos cruzamentos-teste para distinguir os homozigóticos dos heterozigóticos entre os indivíduos que apresentam a característica fenotípica dominante.
- Conceituar alelos múltiplos.
- Conhecer a determinação genética do sistema de grupos sanguíneos ABO e compreender os princípios envolvidos na incompatibilidade entre certos tipos de sangue.
- Conhecer a determinação genética do sistema de grupos sanguíneos Rh e compreender os princípios envolvidos na incompatibilidade sanguínea entre mãe e filho relacionados a esse sistema.
- Aplicar conhecimentos sobre herança na resolução de problemas envolvendo um par de alelos.

Sugestões didáticas e comentários

A **abertura do capítulo** chama a atenção dos estudantes para a importância do estudo da Genética, citando por exemplo os testes de DNA para solucionar casos de paternidade duvidosa e na investigação de crimes.

Valorize a importância histórica dos trabalhos de Mendel para o avanço das descobertas científicas da Genética, trabalhando dessa maneira a **competência geral 1**, que trata da utilização e valorização dos conhecimentos historicamente construídos. Pelos conteúdos abordados neste capítulo, sugerimos que seja trabalhado pelo professor com formação em Biologia.

1. Gregor Mendel e as origens da Genética

O destaque do primeiro item do capítulo é o pensamento científico apurado de Mendel, que deduziu, com base em uma série de cruzamentos experimentais, as leis básicas da herança biológica. Vale a pena repassar com os estudantes o ciclo reprodutivo da ervilha e como Mendel atuou para realizar seus cruzamentos selecionados. Se for o caso, apresente aos estudantes as sete características estudadas por Mendel, listadas na tabela a seguir.

Características	Variações
1. Formas das sementes	Lisa / rugosa
2. Cor dos cotilédones das sementes	Amarelo / verde
3. Cor do envoltório das sementes	Opaco / transparente
4. Forma das vagens	Inflada / sulcada
5. Cor das vagens	Verde / amarela
6. Posição das flores	Axilar / terminal
7. Altura da planta	Alta / anã

MODERNA

Outro ponto importante é quanto aos aspectos probabilísticos envolvidos nas questões genéticas. Se possível, execute uma atividade integrada com Matemática, como sugerimos adiante.

Sugestão de atividade

Na tabela a seguir apresentamos alguns dados numéricos obtidos por Mendel em seus cruzamentos. É interessante informar esses números aos estudantes, pedindo a eles que calculem a proporção (número maior dividido pelo menor) obtida em cada uma das características. Chame a atenção para o fato de que há um número elevado de amostras analisadas (condição estatisticamente necessária) e também para a grande aproximação dos dados experimentais à proporção teórica de 3 : 1 em F_2.

Tipos de cruzamento entre plantas "puras"	Características das plantas F_1	Características das plantas F_2	Razão em F_2
1. Formas das sementes (lisa / rugosa)	Sementes lisas	Lisas – 5.474 Rugosas – 1.850	2,96 : 1
2. Cor das sementes (amarela / verde)	Sementes amarelas	Amarelas – 6.022 Verdes – 2.001	3,01 : 1
3. Cor do envoltório das sementes (opaca / transparente)	Semente com envoltório opaco	Opacas – 705 Transparentes – 224	3,15 : 1
4. Forma das vagens (inflada / sulcada)	Vagens infladas	Infladas – 882 Sulcadas – 299	2,95 : 1
5. Cor das vagens (verde / amarela)	Vagens verdes	Verdes – 428 Amarelas – 152	2,82 : 1
6. Posição das flores (axilar / terminal)	Flores na posição axilar	Axilar – 651 Terminal – 207	3,14 : 1
7. Altura da planta (alta / anã)	Planta alta	Altas – 787 Anãs – 277	2,84 : 1

De olho na BNCC

- **EM13CNT205**
- **Competência geral 1**

O item possibilita explorar a habilidade **EM13CNT205**, ao interpretar os resultados dos experimentos realizados por Mendel, que requerem noções de probabilidades. O estudo dos experimentos de Mendel também permite trabalhar a **competência geral 1**, levando os estudantes a reconhecer a importância histórica de seus trabalhos para a Genética.

2. Conceitos básicos em Genética

Além de definir os principais conceitos genéticos, o destaque do item é a aplicação das noções de probabilidades à Genética. Sugerimos conversar com os professores de Matemática com a finalidade de integrar essas áreas do conhecimento e uniformizar a conceituação e a linguagem nas diferentes áreas.

A integração entre Biologia e Matemática pode ser muito proveitosa nas questões básicas relativas à teoria das probabilidades. Combine com os professores de Matemática a melhor maneira de apoiar os estudantes na compreensão de eventos aleatórios e eventos independentes, que ocorrem na transmissão dos genes.

Se for o caso, peça aos estudantes que façam na lousa os cálculos de probabilidade citados nos exemplos, de modo que toda a classe possa se beneficiar do reforço no conhecimento adquirido. É importante dirimir todas as possíveis dúvidas que possam surgir, tentando descobrir a verdadeira origem de cada problema.

Dialogando com o texto

A atividade propõe a resolução de um problema envolvendo probabilidades: qual a chance de três filhos de um casal, serem dois do sexo masculino e um do sexo feminino. Como há três possibilidades de satisfazer a condição estipulada (H, H e M, **ou** H, M e H, **ou** M, H e H), sendo cada uma equivalente a $\frac{1}{8}\left(\frac{1}{2}\times\frac{1}{2}\times\frac{1}{2}\right)$, a resposta é $\frac{3}{8}\left(\frac{1}{8}+\frac{1}{8}+\frac{1}{8}\right)$. Reserve uma parte de sua aula para comentar os resultados obtidos pelos estudantes.

De olho na BNCC

- **EM13CNT205**
- **EM13MAT312**

O estudo do item possibilita desenvolver a habilidade **EM13CNT205**, ao estudar a aplicação de noções de probabilidade em exercícios de Genética e da habilidade da área de Matemática e suas Tecnologias **EM13MAT312**, relativa à resolução de problemas envolvendo cálculos de probabilidades.

O tópico *Resolvendo um problema de Genética* traz o passo a passo da resolução de um exercício de Genética Humana, incluindo os critérios utilizados para a elaboração de heredogramas.

Dialogando com o texto

A atividade sugere a elaboração de um heredograma familiar pelo estudante. Comente que, embora esse levantamento familiar seja pedagogicamente interessante, pode eventualmente haver desconforto ou constrangimento quanto a laços familiares. Por esse motivo, deixe a critério de cada estudante fazer ou não o heredograma de sua família.

É interessante reproduzir o exercício resolvido em conjunto com a turma. Peça aos estudantes que resolvam o exercício na lousa e comparem suas respostas com as apresentadas no livro.

Alerte os estudantes de que é preciso cuidado com exemplos em Genética Humana; é melhor nunca fazer afirmações ou negações definitivas, mantendo sempre a cautela de relativizá-las, tentando aventar outras explicações . Por exemplo, um casal de olhos azuis pode ter um filho de olhos castanhos? A resposta correta é: sim, pode, pois a genética da cor dos

olhos em humanos é muito complexa e, como em outros casos, as explicações gerais são simplificações válidas para a maioria das situações. Outro exemplo refere-se à herança do sistema ABO de grupos sanguíneos, em que pode ocorrer o chamado fenótipo Bombaim. Nesse caso, a pessoa não possui o alelo dominante (*H*) do gene responsável pela síntese da substância precursora dos aglutinogênios A e B. O sangue de uma pessoa com genótipo *hh* não aglutina nem com o soro anti-A, nem com o anti-B, sendo classificado como do grupo O, apesar de, geneticamente, a pessoa poder pertencer a qualquer um dos grupos sanguíneos, A, B, O ou AB.

De olho na BNCC

- **EM13CNT205**
- **EM13CNT301**
- **EM13MAT312**

O estudo do item possibilita o desenvolvimento das seguintes habilidades: **EM13CNT301**, por requerer que os estudantes, ao estudar o exercício resolvido, elaborem hipóteses, interpretem dados e resultados e justifiquem conclusões sob uma perspectiva científica; **EM13CNT205**, ao estudar a aplicação de noções de probabilidade em exercícios de Genética; e da habilidade da área de Matemática e suas Tecnologias **EM13MAT312**, na resolução de problemas.

3. Alelos múltiplos, dominância incompleta e codominância

O capítulo trata de alguns casos conhecidos da herança monogênica, que seguem a primeira lei de Mendel mas que diferem de outras situações já estudadas, pelo fato de os genes envolvidos apresentarem mais de dois alelos (alelos múltiplos), terem dominância incompleta ou, ainda, apresentarem codominância. No caso dos alelos múltiplos, são discutidos os exemplos da herança de um tipo de coloração de pelagem de coelhos e dos tipos sanguíneos do sistema ABO humano.

Dialogando com o texto

A atividade apresenta um problema de genética referente aos assuntos abordados. Trata-se de um caso da dominância incompleta entre um par de alelos que segue a herança preconizada pela primeira lei de Mendel. A evidência é a proporção de 1 : 2 : 1 em F_2. Cruzando rabanetes de raízes ovaladas (*Rr*) com rabanetes de raízes arredondadas (*rr*) esperaríamos 50% de raízes ovaladas : 50% de raízes arredondadas. Acompanhe os estudantes e ajude-os a utilizar o quadrado de Punnet para prever resultados de cruzamentos. Se possível, disponibilize parte da aula para comentar os resultados apresentados por eles.

A atividade possibilita explorar a habilidade **EM13CNT301**, por requerer que os estudantes elaborem hipóteses, interpretem dados e resultados e justifiquem conclusões sob uma perspectiva científica.

Aplicando conhecimentos

1 Alternativa C. Aproveite a oportunidade para relembrar com os estudantes a formação dos gametas por meiose, resultando em células com metade do material genético das células somáticas.

2 Alternativa A.

3 Alternativa C.

As atividades têm o objetivo de verificar o conteúdo assimilado pelos estudantes. Nesse momento, tire dúvidas, se necessário.

De olho na BNCC

- **EM13CNT205**
- **EM13CNT301**

O estudo do item 3 do capítulo possibilita o desenvolvimento das habilidades: **EM13CNT301**, por requerer que os estudantes, ao estudar os exemplos propostos no item, elaborem hipóteses, interpretem dados e resultados e justifiquem conclusões sob uma perspectiva científica; e **EM13CNT205**, ao estudar a aplicação de noções de probabilidade em exercícios de genética.

4. Herança de grupos sanguíneos na espécie humana

O item trata dos dois mais importantes sistemas de grupos sanguíneos humanos: o ABO e o Rh. Ressalte a importância de conhecer o tipo de sangue quanto a esses dois sistemas e sugira aos estudantes manter essa informação com os documentos pessoais, desenvolvendo assim a **competência geral 8,** ao estimulá-los a conhecerem-se, apreciarem-se e cuidarem de sua saúde física e emocional, compreendendo-se na diversidade humana.

No item destaca-se a incompatibilidade materno-fetal quanto ao sistema Rh, que pode levar à eritroblastose fetal, ou doença hemolítica do recém-nascido (DHRN). Ajude os estudantes a compreender como a eritroblastose pode ser evitada por meio de um procedimento médico apropriado no momento do parto, trabalhando dessa maneira a habilidade **EM13CNT207**, que aborda as ações de prevenção e de promoção da saúde e bem-estar.

Atividade em grupo

A atividade permite explorar a compreensão do motivo pelo qual determinadas transfusões no sistema ABO são possíveis e outras não, desde que o volume da transfusão seja relativamente pequeno. Ajude seus estudantes a estabelecer quais seriam as transfusões possíveis e a elaborar uma tabela ou um esquema semelhantes aos que apresentamos a seguir.

Grupo sanguíneo da pessoa	Recebe de	Doa para
A	A e O	A e AB
B	B e O	B e AB
AB	A, B, AB e O	AB
O	O	A, B, AB e O

MODERNA

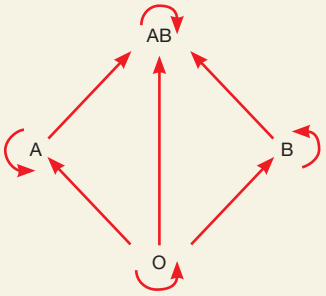


ILUSTRAÇÃO: NELSON MATSUDA

Na atividade é possível explorar a habilidade **EM13CNT207**, ao serem trabalhadas as incompatibilidades entre determinados grupos sanguíneos e as ações de prevenção, promovendo a saúde e o bem-estar.

Atividade em grupo

Peça aos estudantes que utilizem conhecimentos adquiridos no item anterior para justificar por que o reconhecimento de paternidade apenas pelo tipo sanguíneo não é preciso.

Esse tipo de investigação não determina quem é o verdadeiro pai, mas apenas possibilita, eventualmente, excluir os que não podem ser; por isso, esse tipo de análise é chamado de teste de exclusão de paternidade.

A atividade possibilita desenvolver a habilidade **EM13CNT301**, por requerer que os estudantes interpretem dados e resultados e justifiquem conclusões sob uma perspectiva científica. Ao estimular a produção de um texto utilizando diversas linguagens, inclusive a científica, para compartilhar as informações de suas pesquisas, a atividade também contribui para desenvolver a **competência geral 4** e a habilidade de linguagem **EM13LGG104**.

Aplicando conhecimentos

4 Alternativa D. Como ambos os genitores possuem o genótipo I^AI^B, seus descendentes poderão ter os seguintes genótipos: I^AI^A, I^AI^B e I^BI^B.

5 Alternativa D. Como eles possuem pais com sangue do tipo O, ambos são heterozigotos (I^Ai e I^Bi), podendo ter filhos com todos os tipos sanguíneos do sistema ABO.

De olho na BNCC

- **EM13CNT207**
- **EM13CNT301**
- **EM13LGG104**
- **Competência geral 4**
- **Competência geral 8**

O estudo do item possibilita o desenvolvimento das seguintes habilidades e competências da BNCC: **EM13CNT207**, que pode ser explorada ao serem trabalhadas as incompatibilidades entre determinados grupos sanguíneos e as possibilidades de ocorrer eritroblastose fetal e ações que favorem a prevenção de doenças e promovem a saúde e o bem-estar; **competência geral 8**, desenvolvida ao discutir a importância de conhecer o próprio tipo de sangue de modo a conhecer-se e cuidar da saúde física. A *Atividade em grupo* de pesquisa das aplicações das técnicas de identificação do DNA em investigações policiais e em casos de paternidade duvidosa favorece: a habilidade **EM13CNT301**, ao requerer que os estudantes interpretem dados e resultados e justifiquem conclusões sob uma perspectiva científica; a **competência geral 4** e a habilidade da área de Linguagens e suas Tecnologias **EM13LGG104**, ao estimular a produção de um texto utilizando diversas linguagens, inclusive a científica, para compartilhar as informações de suas pesquisas.

CAPÍTULO 2 Bases cromossômicas da herança

Metas do capítulo

- Conhecer os experimentos de Mendel que envolvem simultaneamente duas características hereditárias e compreender o significado da segregação independente dos fatores.
- Aplicar conhecimentos da segregação independente de dois pares de alelos e a teoria das probabilidades na resolução de problemas que envolvem cruzamentos genéticos.
- Estar ciente de que o comportamento dos cromossomos na meiose explica a segregação dos fatores mendelianos.
- Representar a segregação independente de genes localizados em diferentes cromossomos por meio de esquemas ou modelos do processo meiótico.
- Conceituar interação gênica, exemplificando com a cor da pelagem em cães labradores.
- Caracterizar herança quantitativa e estar ciente da existência desse tipo de herança na espécie humana.
- Compreender e explicar o padrão de herança ligada ao cromossomo X e exemplificar com a hemofilia e o daltonismo.
- Compreender por que genes localizados em um mesmo cromossomo não apresentam segregação independente.
- Explicar, por meio de esquemas e modelos, a transmissão de genes localizados em um mesmo cromossomo na ausência e na presença de permutação cromossômica.
- Aplicar conhecimentos relativos ao conceito de ligação gênica e à teoria das probabilidades na resolução de problemas que envolvem cruzamentos genéticos.

Sugestões didáticas e comentários

A **abertura do capítulo** tem por objetivo chamar a atenção dos estudantes para o método científico no contexto da Genética e enfatizar a importância do conhecimento histórico para o avanço das descobertas científicas, mobilizando assim, a **competência geral 1**. Pelos conteúdos abordados neste capítulo, sugerimos que seja trabalhado pelo professor com formação em Biologia.

Na época de seus trabalhos com ervilhas, Gregor Mendel (1822-1884) não tinha quaisquer conhecimentos sobre

MODELO

cromossomos e genes, descobertos anos após a sua morte. Mesmo assim, seus estudos permitiram deduzir que havia "fatores" hereditários transmitidos da geração parental para os descendentes. Os estudos e as previsões de Mendel foram fundamentais para os avanços científicos e tecnológicos posteriores.

É importante levar os estudantes a perceber o mérito de Mendel em aplicar pioneiramente um raciocínio matemático-probabilístico no estudo da hereditariedade, o que permitiu antever a segregação meiótica, descoberta mais de trinta anos depois.

1. A segregação independente dos genes

O primeiro item do capítulo mostra como Mendel ampliou sua compreensão dos princípios básicos da herança ao propor a lei da segregação independente dos fatores hereditários. Hoje sabemos que a segregação independente é um aspecto particular da hereditariedade, ocorrendo apenas entre genes localizados em diferentes pares de cromossomos homólogos.

Se quiser realizar uma atividade complementar, combine antecipadamente com os grupos que providenciem os seguintes materiais: massa de modelar e cartolina.

Nesta atividade sugerimos simular a segregação, durante a meiose, dos alelos de dois genes localizados em pares diferentes de cromossomos homólogos. Pode-se utilizar massa de modelar (ou lã grossa) de duas cores diferentes para simular os cromossomos. Sugira aos estudantes que utilizem as imagens representadas na figura 3 como referência. Um dos cromossomos homólogos, já duplicado e com duas cromátides-irmãs, deve ter cor diferente do outro homólogo (por exemplo, vermelho e laranja). O mesmo deve ser feito para o outro par de homólogos duplicados (por exemplo, um azul e outro verde). Em um dos homólogos duplicados de um par, devem ser aplicados dois pequenos círculos de papel com a letra ***A***, um em cada cromátide; no homólogo, devem ser aplicados dois círculos com a letra ***a***, um em cada cromátide. No outro par de cromossomos o procedimento é semelhante, utilizando as letras ***B*** e ***b*** para representar os alelos do outro gene. O primeiro passo da atividade é simular a metáfase I da meiose. Para isso os estudantes devem dispor os cromossomos homólogos emparelhados no centro de uma célula, a ser desenhada na folha de cartolina. Chame a atenção dos estudantes para as duas possibilidades de disposição dos cromossomos e peça-lhes que desenhem ou fotografem essas duas possibilidades. Oriente-os a simular a separação dos cromossomos homólogos na divisão I da meiose; na divisão II eles devem separar as cromátides de cada cromossomo. Qual será a constituição cromossômica de cada uma das quatro células formadas? Leve os estudantes a perceber por que se formam as células *AB* e *ab* ou *Ab* e *aB*. Oriente-os a desenhar ou a fotografar cada fase e a simular, em seguida, uma orientação diferente dos cromossomos na metáfase I e anáfase I, verificando a formação dos outros dois tipos de célula. A conclusão geral é de que um indivíduo duplo heterozigótico forma quatro tipos de gameta porque em cerca de 50% de suas células em meiose os cromossomos têm uma das orientações, formando dois tipos de gameta, e nos outros 50%, eles têm a outra orientação e formam os outros dois tipos de gameta.

Nessa atividade é possível trabalhar a habilidade **EM13CNT202**, ao analisar como fenômenos que ocorrem no nível do processo meiótico afetam as características dos gametas e dos indivíduos que deles resultam.

Os resultados da atividade podem ser compilados, apresentados no formato de *slides* e disponibilizados no *site* ou *blog* da escola, trabalhando dessa maneira também a habilidade **EM13CNT302**. Outra maneira de disponibilizar os trabalhos para o público é por meio de uma exposição dos cartazes no mural da escola.

No tópico *Resolvendo um problema de Genética* traçamos o passo a passo da resolução de um problema que trata de duas características humanas cujos genes apresentam segregação independente, o sistema ABO e o sistema Rh de grupos sanguíneos. Se achar pertinente, proponha a atividade sugerida abaixo.

Sugestão de atividade – Um problema de segregação independente

Analise a árvore genealógica a seguir e resolva os itens (a) e (b) do problema.

Em galináceos, a presença de crista é condicionada pelo alelo dominante *C*, e sua ausência, pelo genótipo recessivo *cc*. A cor das penas pode ser preta, condicionada pelo alelo dominante *V*, ou vermelha, condicionada pelo genótipo recessivo *vv*. Na árvore genealógica, a metade esquerda dos quadrados e círculos se refere à presença ou ausência de crista, enquanto o lado direito se refere à coloração das penas. Esses dois genes localizam-se em diferentes pares de cromossomos homólogos.

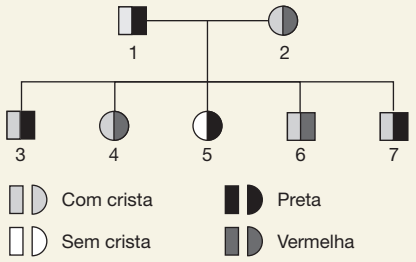


ILUSTRAÇÃO: ADILSON SECCO

a) Determine os genótipos de todos os indivíduos do heredograma.

b) Se cruzássemos o indivíduo 1 com o indivíduo 5, que proporção fenotípica poderíamos esperar na descendência? Explique seu raciocínio.

Resolução:

a) Primeiramente, analisaremos a geração parental. O indivíduo 2 possui penas vermelhas; portanto, seu genótipo é homozigótico recessivo (*vv*). Como em F_1 também há descendentes com penas vermelhas, podemos inferir que o indivíduo 1 é heterozigoto (*Vv*).

Quanto à presença ou ausência de crista, ambos os genitores possuem ao menos um alelo dominante *C*, pois ambos apresentam crista. Como em F_1 há descendentes sem

EM MODERNA

crista, portanto homozigóticos recessivos (*cc*), ambos os genitores devem ser heterozigóticos *Cc*. Portanto, os genótipos dos indivíduos parentais são: 1 = *CcVv* e 2 = *Ccvv*.

Conhecendo o genótipo da geração parental, pode-se elaborar um quadrado de Punnet (a seguir) para determinar os possíveis genótipos dos descendentes:

		Gametas formados pelo pai (1)			
		CV	***Cv***	***cV***	***cv***
Gametas formados pela mãe (2)	***Cv***	*CCVv*	*CCvv*	*CcVv*	*Ccvv*
	cv	*Ccvv*	*Ccvv*	*ccVv*	*ccvv*

É possível afirmar com certeza apenas o genótipo do indivíduo 5 (*ccVv*), por ele ser homozigótico recessivo (*cc*) quanto à presença ou ausência de crista e heterozigótico (*Vv*) quanto à cor da plumagem, pois todos com penas pretas são heterozigóticos, como mostrado no quadrado de Punnet.

Quanto aos demais descendentes, com os dados fornecidos é possível determinar apenas os genótipos referentes à cor das penas; não é possível determinar se os animais são homozigóticos dominantes ou heterozigóticos quanto aos alelos que determinam presença ou ausência de crista (*C* e *c*). Sendo assim, o genótipo deles seria: 3 = *C_Vv*; 4 = *C_vv*; 6 = *C_vv*; 7 = *C_Vv*.

b) Partindo da conclusão de que o genótipo do indivíduo 1 é *CcVv* e do indivíduo 5 é *ccVv*, a proporção fenotípica dos descendentes será:

3 com crista e penas pretas (*CcV_*) : 1 com crista e penas vermelhas (*Ccvv*) : 3 sem crista e penas pretas (*ccV_*) : 1 sem crista e penas vermelhas (*ccvv*), conforme mostrado no quadrado de Punnet a seguir:

		Gametas formados pelo pai (1)			
		CV	***Cv***	***cV***	***cv***
Gametas formados pela mãe (5)	***cV***	*CcVV* Com crista, penas pretas	*CcVv* Com crista, penas pretas	*ccVV* Sem crista, penas pretas	*ccVv* Sem crista, penas pretas
	cv	*CcVv* Com crista, penas pretas	*Ccvv* Com crista, penas vermelhas	*ccVv* Sem crista, penas pretas	*ccvv* Sem crista, penas vermelhas

De olho na BNCC

- **EM13CNT202**
- **EM13CNT205**
- **EM13CNT301**
- **EM13CNT302**

Esse item e as atividades sobre segregação independente possibilitam trabalhar com as seguintes habilidades: **EM13CNT205**, na medida em que os estudantes interpretam resultados e realizam previsões; **EM13CNT301**, ao propor que os estudantes elaborem hipóteses, interpretem dados e resultados e justifiquem conclusões sob uma perspectiva científica; **EM13CNT202**, ao propor que os estudantes analisem como a segregação independente dos genes pode afetar as características do organismo como um todo; e **EM13CNT302**, na medida em que os estudantes apresentam os resultados da atividade para toda a escola.

2. Interação entre genes com segregação independente

Este item trata de genes com segregação independente que interagem na produção de uma mesma característica, fenômeno denominado interação gênica. Entre essas interações destacamos a cor da pelagem em cães labradores. O item apresenta também, em linhas gerais, o que é herança quantitativa.

Lembre sempre aos estudantes que a segregação independente ocorre quando os genes estão situados em cromossomos diferentes.

Atividade em grupo

A atividade sugere entrevistar pessoas que têm cães labradores como animais de estimação e descobrir o que elas sabem sobre a genética de sua pelagem. Trata-se de uma atividade lúdica que ajuda a contextualizar o estudo da Genética.

Essa atividade possibilita o desenvolvimento da habilidade da área de Linguagens e suas Tecnologias **EM13LGG701**, que trata do incentivo ao uso das tecnologias digitais da informação e comunicação (TDIC) em diferentes contextos. Converse com seus colegas das disciplinas de Língua Portuguesa e Informática a respeito da possibilidade de auxiliarem os estudantes na elaboração dos textos e na sua publicação na internet.

Sugestão de atividade – Um problema de interação gênica

As flores do goiveiro podem ser brancas, vermelhas ou cor de creme. A cor branca é condicionada por um alelo recessivo ***a***, que em homozigose evita a produção de qualquer pigmento na planta; o alelo dominante ***A*** condiciona a produção de pigmento, que pode ser vermelho ou creme, dependendo de outro par de alelos (***C*** e ***c***). O alelo dominante ***C*** condiciona pigmento vermelho, enquanto o alelo recessivo ***c*** determina pigmento cor de creme. Os dois genes estão localizados em diferentes pares de cromossomos homólogos. Com base nessas informações, responda:

a) Que proporções fenotípicas e genotípicas são esperadas do cruzamento de planta de flores vermelhas duplo-heterozigótica com planta de flores cor de creme de genótipo ***Aacc***?

b) No cruzamento de planta de flores cor de creme com planta de flores vermelhas foram produzidas apenas plantas de flores vermelhas e plantas de flores brancas. Determine os prováveis genótipos dos genitores.

Resolução:

a) Nesse caso, o cruzamento foi entre plantas com genótipos ***AaCc*** e ***Aacc***, o que resultará na proporção fenotípica de 3 vermelhas (*A_C_*) : 3 cremes (*A_cc*) : 2 brancas (*aa_ _*) e na proporção genotípica de 1 *AACc* : 2 *AaCc* : 1 *AAcc* : 2 *Aacc* : 1 *aaCc* : 1 *aacc*, como mostrado no quadrado de Punnet a seguir:

MODERNA

		Gametas formados pelo genitor com flores vermelhas			
		AC	***Ac***	***aC***	***ac***
Gametas formados pelo genitor com flores cor de creme	***Ac***	*AACc* (flores vermelhas)	*AAcc* (flores cor de creme)	*AaCc* (flores vermelhas)	*Aacc* (flores cor de creme)
	ac	*AaCc* (flores vermelhas)	*Aacc* (flores cor de creme)	*aaCc* (flores brancas)	*aacc* (flores brancas)

b) O cruzamento foi entre planta de flores cor de creme, portanto de genótipo *A_cc*, com planta de flores vermelhas, portanto de genótipo *A_C_*. O fato de não ter sido produzido nenhum descendente com flores de cor creme, ou seja, plantas homozigóticas *cc*, sugere que a planta genitora de flor vermelha era homozigótica *CC*. Como foram geradas plantas de flores brancas, as genitoras eram obrigatoriamente heterozigóticas *Aa*. Assim, os prováveis genótipos das plantas parentais eram *Aacc* e *AaCC*.

Dialogando com o texto

A atividade sugere pesquisar a distribuição da estatura das pessoas em diversos países, o que ajuda a concretizar estudos genéticos. Se possível, reserve um tempo da aula para que os grupos apresentem os resultados que obtiveram.

Essa atividade possibilita desenvolver a **competência geral 2**, ao estimular os estudantes a exercitar a curiosidade intelectual, a investigação, a análise crítica de dados científicos e a elaboração de hipóteses e resolução de problemas com base nos conhecimentos das diferentes áreas.

Aplicando conhecimentos

1 Alternativa D.

2 Alternativa B.

Ao trabalhar com essas atividades, retome o esquema representado na figura 3.

Sugestão de atividade – Um problema de herança quantitativa

Nilsson-Ehle cruzou linhagens puras de trigo de sementes vermelho-escuras com linhagens puras de sementes brancas. A geração F_1 foi inteiramente constituída por plantas de sementes de um vermelho mais claro que o do tipo parental. A autofecundação das plantas de F_1 produziu uma geração F_2 constituída por sementes que podiam ser classificadas em cinco categorias: vermelho-escura, vermelho-média, vermelha, vermelho-clara e branca. Esses diversos fenótipos ocorreram, respectivamente, nas proporções de $1 : 4 : 6 : 4 : 1 \left(\frac{1}{16} : \frac{4}{16} : \frac{6}{16} : \frac{4}{16} : \frac{1}{16}\right)$.

Nilsson-Ehle explicou esses resultados admitindo que a característica cor da semente em trigo é condicionada por dois genes, cada um com dois alelos (***Aa*** e ***Bb***), que se segregam independentemente, ou seja, localizam-se em diferentes pares de cromossomos homólogos. Cada alelo representado pela letra maiúscula contribuiria para a produção de pigmento vermelho; os efeitos desses alelos se somam; por exemplo, uma semente portadora de quatro alelos para vermelho – genótipo ***AABB*** – tem coloração vermelho-escura. Para Nilson-Ehle, alelos representados por letras minúsculas não contribuiriam para a coloração. Uma semente com genótipo ***aabb*** não tem pigmento algum, portanto é branca. Sementes portadoras de um, dois e três alelos para pigmentação têm cores vermelho-clara, vermelha e vermelho-média, respectivamente.

a) Faça um gráfico de barras que represente a proporção das cores de sementes obtidas por Nilsson-Ehle na geração F_2 de seu experimento. Baseie-se no gráfico da figura 5.

b) Que resultado se espera do cruzamento de planta de semente branca com planta de semente vermelha, filha de planta de semente branca com planta de semente vermelha? Represente o quadrado de Punnet para mostrar seus resultados.

Resolução:

a) Resposta pessoal. Auxilie os estudantes na elaboração dos gráficos.

b) Como a planta com sementes vermelhas em questão é filha de uma planta com sementes vermelhas com uma planta com semente brancas, seu genótipo será **AaBb**. Assim sendo, seu cruzamento com uma planta de sementes brancas poderá originar descendentes com os seguintes genótipos:

MODERNA

		Gametas do genitor com sementes vermelhas			
		AB	***Ab***	***aB***	***ab***
Gametas do genitor com sementes brancas	***ab***	*AaBb* (sementes vermelhas)	*Aabb* (sementes vermelho-claras)	*aaBb* (sementes vermelho-claras)	*aabb* (sementes brancas)

A proporção fenotípica dos descendentes desse cruzamento será, portanto:

1 (sementes vermelhas) : 2 (sementes vermelho-claras) : 1 (sementes brancas).

De olho na BNCC

- **EM13CNT205**
- **EM13CNT301**
- **EM13LGG701**
- **Competência geral 2**

Nesse item é possível trabalhar com as seguintes habilidades: **EM13CNT205**, nas atividades de interação entre genes com segregação independente, que requerem dos estudantes a interpretação de resultados e realizar previsões; **EM13CNT301**, nas atividades sobre interação entre genes com segregação independente, que requerem que os estudantes elaborem hipóteses, interpretem dados e resultados e justifiquem conclusões sob uma perspectiva científica; a habilidade de Linguagens e suas Tecnologias **EM13LGG701**, na *Atividade em grupo* que requer que os estudantes elaborem textos e os publiquem na internet.

3. Genes localizados no mesmo cromossomo

Neste item do capítulo é estudado o comportamento na meiose de genes localizados no mesmo cromossomo, os quais, portanto, não se segregam independentemente. Estudos desse tipo realizados pelo geneticista Thomas Hunt Morgan e sua equipe com a mosca drosófila consolidou a teoria cromossômica da herança.

Sugestão de atividade – Um problema de ligação gênica

Considere as características cor do corpo e forma da asa em drosófila estudada no texto. Em machos de *Drosophila melanogaster* não ocorre permutação cromossômica na meiose. Se um macho selvagem quanto à cor do corpo e à forma da asa, filho de fêmea selvagem pura e macho preto vestigial, for cruzado com uma fêmea preta vestigial, que proporção de descendentes é esperada? Explique por meio de um diagrama representando os cromossomos.

Resolução:

Auxilie os estudantes na elaboração dos diagramas. Como o macho selvagem é descendente de uma fêmea selvagem pura (*PPVV*), com um macho preto vestigial (*ppvv*), ele possuirá o genótipo *PpVv* e formará gametas *PV* e *pv*, pois nos machos não ocorre permutação, como mencionado acima. Já a fêmea preta vestigial (*ppvv*) produzirá apenas gametas *pv*. Sendo assim, os descendentes desse cruzamento serão *PpVv* (selvagens) e *ppvv* (pretos-vestigiais), na proporção de 1 : 1.

Sugestão de atividade - Um problema de ligação gênica e permutação

Esta atividade é semelhante à sugerida para a simulação da segregação dos alelos de dois genes localizados em pares diferentes de cromossomos homólogos durante a meiose. Execute-a se quiser aprofundar a relação entre genes ligados e permutação gênica. A concretização do processo de segregação de cromossomos e genes por meio de modelos permite localizar pontos de dúvida e concepções equivocadas. Combine antecipadamente com os grupos que providenciem os seguintes materiais: massa de modelar e folhas de cartolina.

A melhor escolha é utilizar massa de modelar de duas cores diferentes para simular os cromossomos, uma cor para cada homólogo. Peça aos estudantes que formem grupos de trabalho e que utilizem os dados representados na figura 7 como referência. Para metade dos grupos, sugira que sejam aplicados pequenos círculos de papel com a letra ***P***, na mesma posição relativa, um em cada cromátide, em um dos homólogos duplicados de um par. Em outra região desse mesmo cromossomo devem ser aplicados círculos com a letra ***V***, um em cada cromátide. No outro homólogo, de cor diferente, nas mesmas posições relativas, o procedimento é semelhante, utilizando as letras ***p*** e ***v*** para representar os alelos dos dois genes. Assim, essa primeira metade dos grupos terá o arranjo gênico denominado "cis", em que os alelos dominantes dos dois genes (***PV***) estão em um cromossomo e os alelos recessivos (***pv***) estão no seu homólogo (***PV/pv***). A outra metade dos grupos fará o arranjo "trans" dos genes (***Pv/pV***), colocando em um dos cromossomos o alelo dominante P e o alelo recessivo v e no cromossomo homólogo o alelo

recessivo p e o alelo dominante V. Os estudantes devem dispor os cromossomos homólogos emparelhados, formando a figura meiótica denominada tétrade, ou bivalente.

Converse com os estudantes sobre as denominações "tétrade" (refere-se às quatro cromátides) e "bivalente" (refere-se aos dois cromossomos homólogos emparelhados). Sugira que desenhem ou fotografem esse primeiro estágio. Em seguida, parte dos grupos com a configuração "cis" e parte dos grupos com a configuração "trans" simularão a permutação cromossômica, que consiste em cortar no mesmo local relativo as cromátides mais internas da tétrade e grudá-las em posição trocada (ver figura 7). Após fotografar ou desenhar esse estágio, deve-se separar os homólogos, representando a anáfase I da meiose e, em seguida, separar as cromátides-irmãs de cada cromossomo, simulando a anáfase II da meiose. Peça aos estudantes que fotografem ou desenhem cada estágio. Pergunte ao grupo com o arranjo "cis" e ao grupo com "trans" quais foram os gametas com as combinações parentais de alelos e quais os com as combinações recombinantes.

Comente com os estudantes que a frequência das células em que a permutação entre genes ligados ocorre é tanto maior quanto maior for a distância entre eles no cromossomo. Esse é o princípio de construção dos **mapas genéticos**.

Aplicando conhecimentos

3 Alternativa C. Os genes encontram-se no mesmo cromossomo, o que é evidenciado pela formação de gametas em proporções variadas. A formação dos gametas *Ab* e *aB* se deve à permutação cromossômica.

De olho na BNCC

- **EM13CNT205**
- **EM13CNT301**

Nas atividades de ligação gênica e permutação é possível trabalhar com as seguintes habilidades: **EM13CNT205**, ao requerer que os estudantes interpretem resultados e realizem previsões sobre atividades experimentais e **EM13CNT301**, ao propor que os estudantes elaborem hipóteses, interpretem dados e resultados e justifiquem conclusões sob uma perspectiva científica.

4. Genes localizados em cromossomos sexuais

Neste último item são estudados genes localizados no cromossomo X humano, com destaque para dois traços que seguem a herança ligada ao cromossomo X: o daltonismo e a hemofilia. É apresentada, também, a hipótese da compensação de dose em mamíferos, em que um dos cromossomos X da fêmea é inativado nas células do corpo, tornando a dose genética equivalente à dos machos, em que há apenas um cromossomo X em cada célula.

Sugestão de atividade – Um problema de herança ligada ao X

Genes com herança autossômica segregam-se independentemente de genes com herança ligada ao cromossomo X, uma vez que se localizam em cromossomos diferentes. Para exercitar essa compreensão, o problema a seguir considera, simultaneamente, um traço com herança autossômica e outro com herança ligada ao cromossomo X. O albinismo tipo I na espécie humana tem herança autossômica, sendo condicionado por um alelo recessivo ***a***. O daltonismo é condicionado pelo alelo recessivo $\mathbf{X^d}$, que tem herança ligada ao cromossomo X. No heredograma a seguir, os símbolos que representam as pessoas de uma família foram divididos ao meio; a metade da esquerda indica o fenótipo para a pigmentação da pele (pigmentação não albina ou pigmentação albina), e a da direita, o fenótipo para a visão em cores (visão não daltônica ou visão daltônica).

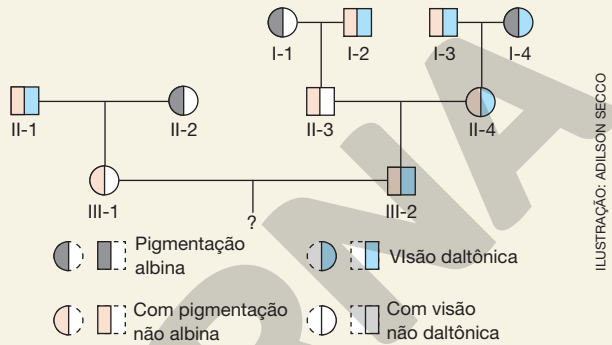


ILUSTRAÇÃO: ADILSON SECCO

a) Qual é a probabilidade de uma criança filha do casal III-1 × III-2 ter albinismo e não ser daltônica?

b) Sabendo que o casal III-1 × III-2 já tem um filho do sexo masculino albino que não é daltônico, qual é a probabilidade de um próximo filho do sexo masculino do casal ser albino e daltônico?

Resolução:

Primeiramente determinamos todos os os genótipos possíveis dos indivíduos da genealogia. Indivíduos com pigmentação não albina têm pelo menos um alelo dominante (*AA* ou *Aa*). Se um indivíduo com pigmentação não albina teve algum descendente com pigmentação albina, ou se um de seus genitores apresenta pigmentação albina, ele é certamente heterozigótico. Indivíduos com pigmentação albina são homozigóticos recessivos *aa*.

Homens com visão não daltônica têm genótipo X^DY, enquanto homens com visão daltônica são X^dY. Mulheres com visão não daltônica têm pelo menos um alelo dominante X^D (X^DX^D ou X^DX^d). Se uma mulher com visão não daltônica já teve um filho com visão daltônica ou se for filha de pai com visão daltônica, ela será certamente heterozigótica. As mulheres daltônicas são homozigóticas recessivas X^dX^d. Com base nessas premissas, os genótipos dos diversos indivíduos da genealogia são

I-1 = *aa* X^DX^- I-4 = *aa* X^dX^d II-3 = *Aa* X^DY III-2 = *A*_ X^dY

I-2 = *A*_ X^dY II-1 = *A*_ X^dY II-4 = *Aa* X^dX^d

I-3 = *A*_ X^dY II-2 = *aa* X^DX^- III-1 = *Aa* X^DX^d

a) O genótipo de III-1 é *Aa* X^DX^d. O homem III-2 é X^dY, mas pode ser tanto homozigótico *AA* quanto heterozigótico *Aa*. Uma criança filha desse casal só terá pigmentação albina se III-2 for heterozigótico *Aa*; essa probabilidade é estimada em $\frac{2}{3}$ uma vez que seus pais (II-3 e II-4) são ambos heterozigóticos.

MODERNA

No caso de III-2 ser heterozigótico, a chance de uma criança sua filha com III-1 possuir pigmentação albina é de $\frac{1}{4}$, como pode ser visto no esquema a seguir.

Pais	Aa × Aa
Gametas	$\frac{1}{2}A : \frac{1}{2}a$ $\quad$ $\frac{1}{2}A : \frac{1}{2}a$
Filhos	$\frac{1}{4}AA$: $\frac{1}{4}Aa$: $\frac{1}{4}aA$: $\frac{1}{4}aa$ pigmentação não albina $\quad$ pigmentação albina

A probabilidade de uma criança filha do casal III-1 × III-2 ter visão não daltônica é de $\frac{1}{2}$, como pode ser visto no esquema a seguir.

Pais	$X^DX^d \times X^dY$
Gametas	$\frac{1}{2}X^D$: $\frac{1}{2}X^d$ $\quad$ $\frac{1}{2}X^d$: $\frac{1}{2}Y$
Filhos	$\frac{1}{4}X^DX^d$: $\frac{1}{4}X^dX^d$: $\frac{1}{4}X^DY$: $\frac{1}{4}X^dY$ Mulher com visão não daltônica $\quad$ Mulher com visão daltônica $\quad$ Homem com visão não daltônica $\quad$ Homem com visão daltônica

A probabilidade conjunta de uma criança possuir pigmentação albina e visão não daltônica é de $\frac{1}{4} \times \frac{1}{2} = \frac{1}{8}$, assumindo que o indivíduo III-2 seja heterozigótico; como não temos certeza disso, estimamos essa probabilidade em $\frac{2}{3}$ e multiplicamos $\frac{1}{8} \times \frac{2}{3} = \frac{2}{24}$. A probabilidade é, portanto, de $\frac{1}{12}$.

b) Partindo do pressuposto de que o casal já teve um primeiro filho com pigmentação albina e que não apresentava visão daltônica, temos certeza de que o genótipo de III-2 é *Aa* X^dY.
Calculamos, então, a probabilidade de um filho do sexo masculino do casal *Aa* $X^DX^d \times$ *Aa* X^dY apresentar pigmentação albina e visão daltônica. A probabilidade de uma criança filha do referido casal possuir pigmentação albina é de $\frac{1}{4}$, e a probabilidade de possuir visão daltônica é de $\frac{1}{2}$. A probabilidade conjunta desses dois eventos é de $\frac{1}{2} \times \frac{1}{4} = \frac{1}{8}$. Discuta com os estudantes que essa é a probabilidade de uma criança filha do casal vir a ser albina e daltônica; mas como a pergunta é sobre um filho do sexo masculino, temos de acrescentar essa probabilidade ao cálculo $\left(\text{ser do sexo masculino} = \frac{1}{2}\right)$. A resposta é, portanto, $\frac{1}{2} \times \frac{1}{8} = \frac{1}{16}$.

De olho na BNCC

- **EM13CNT205**
- **EM13CNT301**

Nas atividades de resolução de problemas relacionados a genes localizados em cromossomos sexuais é possível trabalhar com as seguintes habilidades: **EM13CNT205**, por requerer que os estudantes interpretem resultados e realizem previsões sobre as atividades experimentais e **EM13CNT301**, ao propor que os estudantes elaborem hipóteses, interpretem dados e resultados e justifiquem conclusões sob uma perspectiva científica.

CAPÍTULO 3 O código genético e a síntese de proteínas

Metas do capítulo

- Reconhecer a existência de uma linguagem codificada da vida que se perpetua pela duplicação das moléculas de DNA e que determina as características hereditárias por meio do controle das atividades celulares.
- Conhecer a estrutura da molécula de DNA e compreender a maneira como ela armazena informação genética.
- Compreender como a duplicação semiconservativa do DNA permite a transmissão rigorosa das informações genéticas ao longo das gerações.
- Compreender como os genes podem conter informações capazes de controlar atividades celulares.
- Conhecer os principais tipos de RNA (RNA mensageiro, RNA transportador e RNA ribossômico) e seu papel no processo de síntese de proteínas.

- Utilizar a tabela de código genético para prever, a partir da sequência de bases de um DNA ou de um RNA, a composição em aminoácidos do polipeptídio produzido.
- Explicar, em termos gerais, como os genes determinam as características estruturais e funcionais dos seres vivos por meio do controle da síntese de proteínas.

Sugestões didáticas e comentários

Na abertura reproduzimos um trecho escrito pelo cientista e educador Jacob Bronowski acerca da cultura científica dos cidadãos, que envolve a consciência dos poderes, das limitações e dos riscos que o conhecimento científico e suas aplicações representam. Converse sempre que possível com os estudantes sobre esses temas e estimule-os a participar conscientemente dessas discussões e a acompanhar as novas descobertas científicas e os impactos da Genética na sociedade contemporânea.

Ao longo do capítulo, os estudantes conhecerão os mecanismos pelos quais os genes, constituídos por segmentos de moléculas de DNA, são traduzidos em proteínas, moléculas primordiais que determinam as características do organismo. Pelos conteúdos abordados neste capítulo, sugerimos que seja trabalhado pelo professor com formação em Biologia.

Dialogando com o texto

Incentive as pesquisas dos estudantes sobre o uso do genoma humano para estudos da evolução humana. Esclareça que esse material genético pode ser proveniente do núcleo ou do citoplasma das células (DNA mitocondrial). Um exemplo que pode ser debatido em classe é a notícia de que cientistas realizaram análises de DNA em esqueletos e objetos encontrados na Caverna Peki'in, em Israel, que sugerem a existência, há cerca de 6 mil anos, de uma população até então desconhecida habitando a área (matéria completa: Análise de DNA revelam detalhes de civilização perdida de 6,5 mil anos. *Galileu*. Disponível em: <https://revistagalileu.globo.com/Ciencia/noticia/2018/08/analise-de-dna-revelam-detalhes-de-civilizacao-perdida-de-65-mil-anos.html>. Acesso em: 11 ago. 2020).

De olho na BNCC

- **EM13CNT202**
- **Competência geral 1**

Esse capítulo possibilita o desenvolvimento da habilidade **EM13CNT202**, na medida em que os estudantes serão estimulados a compreender como o DNA é capaz de armazenar informações e como os processos de codificação molecular se refletem em níveis de organização superior, determinando as características do organismo. O capítulo é ainda uma oportunidade para trabalhar a **competência geral 1**, na medida em que os estudantes serão estimulados a valorizar e utilizar o conhecimento historicamente construído a respeito do mecanismo de expressão gênica, identificando como as informações contidas nos genes regulam as atividades celulares e as possíveis aplicações desses conhecimentos científicos.

1. Cromossomos em ação: duplicação e transcrição gênicas

O item 1 trata da estrutura e da reprodução das moléculas de DNA e da transcrição do RNA, com ênfase na informação genética codificada nas sequências de bases dos nucleotídios.

Ao abordar a duplicação semiconservativa do DNA, pode-se relembrar a importância dos trabalhos do biólogo americano James Watson (1928-) e do biólogo britânico Francis Crick (1916-2004), que propuseram o modelo da dupla-hélice do ácido desoxirribonucleico, e também a participação de numerosos outros cientistas, entre eles o fisiologista neozelandês Maurice Wilkins (1916-2004) e a química britânica Rosalind Franklin (1920-1958), cujos estudos de difração de raios X, na área da Física, foram fundamentais para a formulação desse modelo.

No tópico sobre a síntese de RNA e a transcrição gênica, se julgar interessante, fale com os estudantes sobre o transcriptoma. Assim como o genoma representa o conjunto de todos os genes de uma espécie, o chamado transcriptoma corresponde a todos os RNAs expressos em dado organismo ou tecido em determinadas condições. Conduza uma discussão de modo que os estudantes compreendam que todas as células de um organismo contêm o mesmo conteúdo genético; porém, em células distintas, ou em condições fisiológicas distintas, os genes podem se expressar de maneiras diferentes. A análise do transcriptoma permite uma comparação do perfil de expressão gênica em diferentes condições ambientais, estados patológicos, fisiológicos ou de desenvolvimento. Mais informações podem ser encontradas no texto disponível em: <https://pt.khanacademy.org/science/biology/gene-regulation/gene-regulation-in-eukaryotes/a/overview-of-eukaryotic-gene-regulation> (acesso em: 11 jun. 2020).

2. Síntese de proteínas e tradução gênica

Neste item é abordada a maneira como o DNA se manifesta, controlando, via RNA, a síntese de proteínas. Estas últimas substâncias são fundamentais à vida. Basta pensar que todas as enzimas são proteínas, sendo elas as responsáveis pelo controle de todas as reações do metabolismo. Se julgar interessante e dispuser de recursos de mídia, apresente aos estudantes a animação disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=U1hnrmyxk1M> (*Khan Academy Brasil*. Replicação do DNA e transcrição e tradução do RNA. Acesso em: 15 set. 2020), que ilustra de forma simplificada os processos de transcrição e tradução gênicas.

A linguagem genética ser praticamente a mesma em todos os seres vivos é uma forte evidência de que o código genético se desenvolveu nos primórdios da vida na Terra e desde então é transmitido de geração a geração. Conduza discussões em sala de aula sobre esse fato ser uma importante evidência em favor da teoria da evolução biológica.

A integração entre Biologia e Matemática pode ser feita neste item do capítulo, em que a combinação das bases A, T, C e G, três a três, origina 64 códons diferentes. A análise combinatória é um dos temas curriculares importantes de Matemática no Ensino Médio. Uma atividade conjunta seria uma excelente oportunidade para esclarecer as diferenças entre arranjo, combinação e permutação em Matemática.

Atividade em grupo

Para entender o princípio básico da linguagem genética podemos fazer uma analogia com nossa própria linguagem. Quando nos comunicamos por meio da palavra escrita,

MANUAL DO PROFESSOR

utilizamos um alfabeto de 26 símbolos: as letras de **a** a **z**. Combinações variadas desses símbolos formam conjuntos com significados: as palavras. Por exemplo, a combinação das letras **v**, **i**, **d** e **a**, nessa ordem específica, forma a palavra "vida", que em nosso idioma tem um significado específico. O alfabeto da vida tem somente quatro símbolos, que podemos representar pelas letras A, C, G e T, iniciais dos nomes das bases nitrogenadas que formam o DNA (adenina, citosina, guanina e timina). Com apenas esses quatro símbolos, a natureza escreve todas as informações necessárias à existência e à continuidade da vida em nosso planeta.

Nossa sugestão é que os estudantes sejam estimulados a encarar o desafio de se comunicar com os colegas utilizando um alfabeto de apenas quatro símbolos. Embora essa tarefa possa parecer difícil, ela é factível desde que se estabeleça um sistema de código reconhecido e compreendido pelos colegas. Uma maneira de fazê-lo é usar os quatro símbolos A, C, G e T para representar as letras do alfabeto. Se combinarmos os quatro símbolos dois a dois (por exemplo, AA = letra **a**, AC = letra **b**, e assim por diante), teremos apenas 16 combinações possíveis, insuficientes, portanto, para representar as 26 letras do alfabeto. No entanto, se combinarmos os quatro símbolos A, C, G e T, três a três, teremos 64 combinações possíveis, número mais do que suficiente para corresponder às 26 letras do alfabeto; podemos, então, reservar algumas combinações para corresponder a sinais de pontuação. Como exemplo, considere a codificação apresentada a seguir, em que algumas combinações dos símbolos genéticos A, C, G e T, três a três, correspondem a algumas letras e símbolos de nosso alfabeto.

GCA = a	AAT = ê	CAG = u	GGG = g	GAA = s	CCC = t
GCT = a	CCT = i	GAG = b	CTT = v	AGG = l	ACT = .
TCA = é	GTC = o	ATC = c	CGA = n	TGT = q	TTT = ?
TCT = e	GTA = ó	TTG = d	GCC = r	ACA = m	AAA = espaço

Obs.: Note que as trincas GCA e GCT são sinônimos, ambas correspondem à letra **a**.

Com esse código, veja como seria traduzida a mensagem codificada a seguir.

GTC	AAA	ATC	GTA	TTG	CCT	GGG	GTC	AAA	TTG	GCA	AAA	CTT	CCT	TTG	GCT	AAA	TCA	AAA	CAG	CGA	CCT	CTT	TCT	GCC	GAA	GCA	AGG	ACT
⇓	⇓	⇓	⇓	⇓	⇓	⇓	⇓	⇓	⇓	⇓	⇓	⇓	⇓	⇓	⇓	⇓	⇓	⇓	⇓	⇓	⇓	⇓	⇓	⇓	⇓	⇓	⇓	⇓
o		c	ó	d	i	g	o		d	a		v	i	d	a		é		u	n	i	v	e	r	s	a	l	.

Utilizando o mesmo código, como seria decifrada a mensagem a seguir?

GTC	AAA	TGT	CAG	TCT	AAA	TCA	AAA	GCA	AAA	CTT	CCT	TTG	GCT	TTT
⇓	⇓	⇓	⇓	⇓	⇓	⇓	⇓	⇓	⇓	⇓	⇓	⇓	⇓	⇓
?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?

Como ficaria a frase a seguir em linguagem codificada?

Como surgiu a vida?

Acompanhe o trabalho dos estudantes, que possivelmente inventarão com facilidade seus próprios sistemas de codificação. É possível que diferentes grupos desenvolvam diferentes sistemas de código e, por isso, sugerimos que os grupos não se comuniquem entre si durante a elaboração. Isso será interessante para ressaltar a importância de o significado do código genético ser universal. Esta atividade contribui com o desenvolvimento do pensamento computacional dos estudantes por meio da proposta de exercitar modelos ou automatizar processos. Exercícios como esses facilitam aproximar os estudantes da criação de algoritmos. Em Ciências da Computação, algoritmo é uma sequência de ações que visa obter a solução para um determinado tipo de problema.

De olho na BNCC

- **EM13CNT302**
- **Competência geral 4**

Esta atividade possibilita o desenvolvimento da habilidade **EM13CNT302**, na medida em que os estudantes são estimulados a comunicar resultados da análise da linguagem genética, desenvolvendo e interpretando seus próprios códigos. Além disso, desenvolve a **competência geral 4**, ao incentivar os estudantes a utilizarem linguagens diferentes para se comunicar.

Aplicando conhecimentos

1 Alternativa B. São os códons de parada que sinalizam o final da tradução.

2 Alternativa A. O códon AUG corresponde à metionina e sinaliza o início de toda cadeia polipeptídica.

MODERNA

Em destaque

1. Espera-se que os estudantes identifiquem que as informações deste capítulo corroboram as ideias dos dois primeiros parágrafos do texto. Como exemplo da importância das proteínas, pode-se destacar, com base no conteúdo deste capítulo, o envolvimento de uma proteína, a enzima polimerase do RNA, na síntese de RNA. Pode-se complementar ainda com o seguinte trecho: "Uma vez que são as proteínas que definem a estrutura e o funcionamento das células e, portanto, do organismo como um todo, o DNA controla indiretamente, por meio do RNA, praticamente todas as características de um ser vivo."

   O capítulo também descreve a relação entre a sequência de bases nitrogenadas do gene, que servem de referência para a síntese de proteínas, em que os aminoácidos são unidos formando a cadeia polipeptídica.
2. Espera-se que os estudantes compreendam que o príon anormal, ao se ligar ao PrPc, induz a uma mudança na sua conformação espacial.
3. A doença da vaca louca, ou encefalopatia espongiforme bovina, é causada pelo acúmulo de placas da proteína príon anormal, também conhecida como "scrapie", nas células cerebrais. Esse acúmulo causa a morte neuronal e, com o avanço da doença, o cérebro assume uma aparência esponjosa. Mais informações sobre o assunto podem ser encontradas em: <https://profissaobiotec.com.br/prions-alem-da-vaca-louca/> e <https://exame.com/ciencia/pesquisas-sobre-prion-estao-definidas-diz-especialista/> (acessos em: 10 jun. 2020).

De olho na BNCC

- **EM13CNT303**
- **EM13CNT304**
- **Competência geral 2**

Essa atividade possibilita o desenvolvimento das habilidades: **EM13CNT303**, que trata da interpretação de textos de divulgação científica, como o apresentado na atividade, e **EM13CNT304**, na medida em que os estudantes serão estimulados a analisar as informações contidas no texto, confrontá-las com o conteúdo do capítulo e complementar a argumentação com pesquisa, distinguindo diferentes pontos de vista. Além disso, os estudantes são estimulados a se informar sobre doenças relacionadas a príons e utilizam procedimentos típicos das ciências da natureza, como análise e levantamento de hipóteses, para realizar a atividade, o que mobiliza a **competência geral 2**, que trata do exercício da curiosidade intelectual por meio da abordagem própria das ciências.

CAPÍTULO 4 Eletrostática: Eletricidade estática

Metas 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

O capítulo apresenta os fundamentos da Eletrostática, que estuda os fenômenos que ocorrem com cargas elétricas em repouso.

Na abertura desse capítulo há um pequeno texto sobre eletricidade estática relacionada aos aviões. Embora seja uma leitura introdutória, pode levar a um debate com os estudantes sobre o que eles sabem a respeito do assunto. Para dar início ao tema e retomar os conceitos aprendidos no Ensino Fundamental, sugerimos a realização de um pequeno experimento apresentado no final do item 1 deste Suplemento. Pelos conteúdos abordados neste capítulo, sugerimos que seja trabalhado pelo professor com formação em Física.

De olho na BNCC

- **EM13CHS103**
- **EM13MAT313**
- **Competência geral 1**

No decorrer do capítulo, a habilidade **EM13CHS103**, da área de Ciências Humanas e Sociais Aplicadas, é evidenciada, na medida em que, em diversos momentos, convida o estudante a elaborar hipóteses, selecionar evidências e compor argumentos com base na sistematização de dados e informações de diversas naturezas.

A habilidade **EM13MAT313**, da área de Matemática e suas Tecnologias, também é evidenciada neste capítulo, que utiliza a notação científica para expressar uma medida, em diversas das atividades propostas.

O capítulo valoriza e utiliza os conhecimentos historicamente construídos sobre o mundo físico, permitindo, assim, o trabalho com a **competência geral 1**.

1. Eletricidade estática

Esse item apresenta o desenvolvimento histórico da Eletricidade, dos conhecimentos dos antigos filósofos gregos sobre os fenômenos elétricos até as descobertas mais recentes. Em seguida, discute-se o processo de eletrização por atrito, passando pelo que ocorre quando ligamos um condutor eletrizado à Terra, e completa-se com a atividade dialogando com o texto sobre a chamada série triboelétrica.

MODELO

Após analisar o processo de eletrização por contato, é importante realçar o princípio da conservação das cargas elétricas e destacar o fato de que, no contato entre condutores de mesma forma e mesmas dimensões — por exemplo, esferas de mesmo raio —, os condutores apresentam no final cargas elétricas iguais. Outro processo importante a ser analisado é o da eletrização por indução. Pode-se descrever o caso em que o indutor está eletrizado positivamente e propor à classe que analise a situação em que o indutor está negativamente eletrizado. Um fato importante que deve ser ressaltado é o de que a ligação do indutor à Terra pode ser feita por qualquer um de seus pontos. Deve-se levar os estudantes a perceber que um corpo eletrizado atrai, por indução, outro corpo neutro, quer este seja um condutor ou um isolante.

Atividade em grupo

Para a realização da *Atividade em grupo*, pode-se dividir a turma em pequenos grupos, de três ou quatro estudantes, e dar a cada um uma tarefa específica. 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 nos penteamos; a eletrização de um agasalho quando o retiramos do corpo; a eletrização de uma pessoa ao caminhar num tapete de lã.
- A eletrização dos veículos em movimento por atrito com o ar atmosférico. Entre outros assuntos relacionados a esse tema, pode-se pesquisar a razão pela qual uma pessoa, ao descer de um carro, tocando a parte metálica, leva um pequeno choque ou analisar os casos em que uma pessoa se eletriza por causa do atrito de sua roupa com o estofamento do carro. Por que, ao descer do carro, tocando a parte metálica, tem-se a sensação de 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 classe, 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 classe ou, se possível, fazer uma visita com os estudantes a um aeroclube local. Qual é o procedimento a ser seguido quando um avião é reabastecido no aeroporto?

Cada grupo deverá levar à sala de aula sua pesquisa para a criação de um painel. Incentive o uso de imagens, diagramas e entrevistas. Os estudantes podem fazer apresentações orais de suas experiências.

De olho na BNCC

- **EM13CNT301**
- **EM13CNT302**
- **EM13CNT306**
- **EM13LGG104**
- **Competência geral 4**

A *Atividade em grupo* possibilita o desenvolvimento das habilidades: **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; **EM13CNT302**, na medida em que incentiva a comunicação de resultados de análises, pesquisas e/ou experimentos, por meio de diferentes linguagens; **EM13CNT306**, ao avaliar os riscos envolvidos em atividades cotidianas, aplicando conhecimentos das Ciências da Natureza.

A habilidade **EM13LGG104**, da área de Linguagens e suas Tecnologias, e a **competência geral 4** também são evidenciadas, ao utilizar diferentes linguagens para se expressar, partilhar informações e para a compreensão e produção de textos e discursos.

Dialogando com o texto

Muitas vezes é preciso escolher pares de materiais para um eficiente processo de eletrização por atrito. Com a série triboelétrica apresentada a seguir é possível identificar a distribuição de cargas de acordo com os materiais atritados.

As setas indicam, em ordem, a afinidade eletrônica dos materiais. Assim, se esfregarmos vidro em lã ou isopor, o vidro doará elétrons a esses outros dois materiais. Se atritarmos, entretanto, vidro com pele humana seca, a situação se inverterá e será a pele humana que doará elétrons para o vidro.

Carga	Materiais	Observações
Positiva	Pele humana seca	Apresenta grande tendência de doar elétrons e ficar altamente positiva.
	Couro	
	Pele de coelho	É muito usado na eletrização por atrito.
	Vidro	O vidro de sua tela de TV fica eletrizado e atrai pó.
	Cabelo humano	Pentear o cabelo é uma boa técnica para obtenção moderada de carga.
	Nylon	
	Lã	
	Chumbo	O chumbo retém tanta eletricidade estática quanto a pele de gato.
	Pele de gato	
	Seda	
	Alumínio	Deixa escapar alguns elétrons.
	Papel	
Neutra	Algodão	A melhor das roupas "não estáticas"
	Aço	Não é usado para eletrização por atrito.
Negativa	Madeira	Atrai alguns elétrons, mas é quase neutra.
	Âmbar	
	Borracha dura	Alguns pentes são feitos de borracha dura.
	Níquel e cobre	Escovas de cobre são usadas no gerador eletrostático de Wimshurst.
	Latão e prata	
	Ouro e platina	Esses metais atraem elétrons quase tanto quanto o poliéster.
	Poliéster	Roupas de poliéster têm avidez por elétrons.
	Isopor	Muito usado em empacotamento. É bom para experimentos.
	Filme de PVC	
	Poliuretano	
	Polietileno	
	PVC	O policloreto de vinila tem grande tendência de receber elétrons.
	Teflon	É o material com mais tendência de receber elétrons entre todos desta lista.

Fonte: <http://www.infoescola.com/eletrostatica/serie-triboeletrica/>. (Acesso em: 21 jul. 2020.)

De olho na BNCC

- **EM13LGG704**

O boxe *Dialogando com o texto* possibilita o desenvolvimento da habilidade **EM13LGG704**, da área de Linguagens e suas Tecnologias, ao apropriar-se criticamente de processos de pesquisa e busca de informação.

Sugestão de atividade complementar

Ao apresentar a eletrização por atrito, procure reproduzir com os estudantes a experiência a seguir:

Você vai precisar de canudinhos de refresco limpos e secos, papel toalha, folhas de sulfite e bexiga de festa.

Nesta experiência, sugerimos uma abordagem investigativa com a finalidade de sensibilizar os estudantes para os fenômenos que a eletrização propicia.

Você pode iniciar a atividade exibindo à classe uma bexiga cheia. Convide um dos estudantes à frente da sala. Peça a ele que esfregue a bexiga nos cabelos energicamente, mostrando para toda a classe que, depois do atrito, os cabelos passam a ser atraídos pela bexiga.

Alguns cuidados devem ser tomados para o sucesso do experimento: a bexiga não pode estar suja nem úmida, e o estudante escolhido não deve estar usando qualquer tipo de creme ou produto nos cabelos. O experimento ficará ainda mais interessante se o estudante tiver cabelos longos.

Pergunte aos estudantes o porquê da atração após o procedimento. Deixe-os falar.

Dê continuidade aos experimentos.

Segure o canudinho pela ponta e envolva-o com o papel toalha pressionando-o bem. Atrite o canudinho com o papel toalha várias vezes seguidas.

MODERNA

Aproxime o canudinho de uma região limpa do quadro, ou mesmo de uma folha de sulfite, e deixe-o "grudado". Veja a reação da turma e faça perguntas como: por que o canudinho grudou? O que acontece quando esfregamos o papel no canudinho? Mesmo que os estudantes respondam corretamente, não confirme as ideias deles ainda; deixe as perguntas no ar.

Divida a classe em grupos e distribua canudinhos, papel toalha e folhas de sulfite para a turma. Instrua os estudantes a tocar somente na base do canudinho para evitar que uma película úmida ou gordurosa seja depositada nele; o papel toalha também deve estar seco. Os estudantes devem executar o experimento.

A escrita tem importância significativa, pois sintetiza e organiza as ideias que normalmente surgem nos momentos em que se busca a explicação para um fenômeno. Assim, ao escrever o que observam, os estudantes podem compreender mais facilmente a sequência de fatos que promovem a eletrização do canudinho.

Peça aos grupos que manipulem o experimento e elaborem uma explicação para o que presenciaram em um ou dois parágrafos. Para facilitar, instrua-os a levar em consideração a sequência de eventos do experimento. Provavelmente haverá discussão até que se defina a explicação dos grupos.

Finalmente, peça aos estudantes que leiam suas explicações. Utilize-as como introdução para dialogar sobre a Física envolvida e construa com eles a explicação científica do mecanismo de eletrização.

De olho na BNCC

- **EM13CNT301**
- **EM13CNT302**

Esta atividade possibilita o desenvolvimento das habilidades: **EM13CNT301**, ao incentivar o estudante a elaborar questões, hipóteses, previsões e estimativas para avaliar e justificar conclusões no enfrentamento de situações-problema de uma perspectiva científica; **EM13CNT302**, na medida em que incentiva a comunicação de resultados de análises, pesquisas e/ou experimentos.

Aplicando conhecimentos

1 Alternativa A.

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.

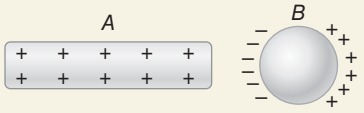
Analogamente, o escorregador e a Dani se eletrizam por atrito com cargas elétricas de sinais opostos. Desse modo, os cabelos eletrizados de Dani se repelem.

2 **a)** A esfera *A* apresenta falta de elétrons, pois sua carga elétrica é positiva. Por outro lado, a esfera *B* apresenta um excesso de elétrons, pois sua carga elétrica é negativa. Assim, pelo contato entre as duas esferas, elétrons passarão da esfera *B* para a esfera *A*.

b) Como as esferas são idênticas, após o contato, cada uma delas terá uma mesma carga elétrica Q'. Assim, pelo princípio da conservação da carga elétrica, temos:

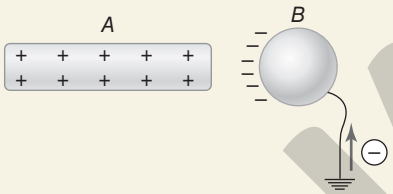
$$Q_{antes} = Q_{depois} \Rightarrow (+6) + (-2) = Q' + Q' \Rightarrow$$
$$\Rightarrow +4 = 2\,Q' \Rightarrow Q' = +2$$
$$\therefore\ Q' = +2\ \mu C$$

3 **a)** Ocorre o fenômeno da indução eletrostática.



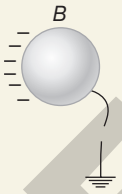
(Representação fora de proporção)

b) (1) Liga-se o condutor *B* à Terra.



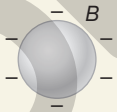
(Representação fora de proporção)

(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*.

ILUSTRAÇÕES: ADILSON SECCO

2. Lei de Coulomb

A lei de Coulomb é um assunto muito importante. Apresente-a, dando ênfase à variação da intensidade da força elétrica com o inverso do quadrado da distância, à semelhança do que acontece com a intensidade da força gravitacional. Aproveite a oportunidade para fazer uma comparação entre as ações elétricas e as ações gravitacionais.

Aplicando conhecimentos

4 Como as cargas têm sinais opostos, elas se atraem. Pela lei de Coulomb, com $|q_1| = 2{,}5\ \mu C \Rightarrow$ $\Rightarrow |q_1| = 2{,}5 \cdot 10^{-6}\ C$, $|q_2| = 5{,}5\ \mu C \Rightarrow |q_2| = 5{,}5 \cdot 10^{-6}\ C$ e $d = 25\ cm \Rightarrow d = 2{,}5 \cdot 10^{-1}\ m$, temos:

$$F = K \cdot \frac{|Q_1| \cdot |Q_2|}{d^2} \Rightarrow F = 9 \cdot 10^9 \cdot \frac{2{,}5 \cdot 10^{-6} \cdot 5{,}5 \cdot 10^{-6}}{(2{,}5 \cdot 10^{-1})^2}$$

$$\therefore\ F = 1{,}98\ N$$

5 **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.

MODERNA

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 $\frac{F}{15}$.

3. Campo elétrico

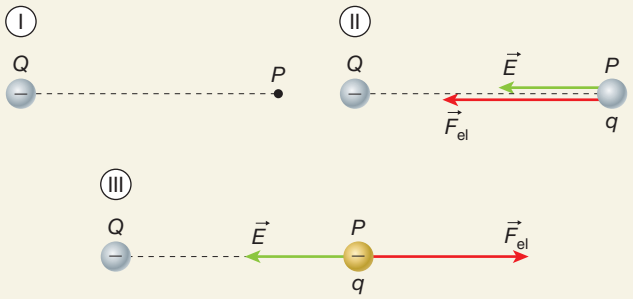
Conceitue campo elétrico e mostre que a cada ponto do campo, para medir a ação da carga ou das cargas geradoras do campo, associa-se a grandeza vetorial denominada **vetor campo elétrico** $\vec{E}$.

Realce aos estudantes o fato de que a relação vetorial entre força elétrica e o vetor campo elétrico $\left(\vec{F} = q \cdot \vec{E}\right)$ é análoga à da força peso $\vec{P} = m \cdot \vec{g}$: a carga elétrica imersa em campo elétrico fica sujeita a uma força elétrica, da mesma forma que a massa imersa em campo gravitacional fica sujeita a uma força gravitacional (a força peso). Mostre-lhes ainda que, como a massa é uma grandeza escalar sempre positiva, a força gravitacional e o vetor campo gravitacional (ou vetor aceleração da gravidade) têm sempre mesma direção e mesmo sentido. No caso da carga elétrica (que é uma grandeza escalar que pode ser positiva ou negativa), a força elétrica poderá ter o mesmo sentido do vetor campo elétrico (se a carga elétrica for positiva) ou sentido oposto ao vetor campo elétrico (se a carga elétrica for negativa).

Em seguida, podem ser trabalhadas as características do campo elétrico gerado por uma carga elétrica pontual fixa, analisando o exemplo pertinente. Na análise do campo elétrico de várias cargas pontuais fixas, podem-se destacar os casos em que o campo é gerado por duas cargas elétricas pontuais fixas: o que tem sinais opostos e o que tem mesmo sinal. Os exemplos e os exercícios propostos são importantes para a consolidação desses itens estudados. As linhas de força constituem uma maneira simplificada de representar um campo elétrico. Por meio delas, é possível saber, por exemplo, o sinal ou os sinais das cargas que geram o campo elétrico e os pontos nos quais o campo é mais intenso. Um conceito importante é o de campo elétrico uniforme. Pode-se descrever o que gera um campo elétrico uniforme, explicar como são suas linhas de força e analisar o movimento de uma carga elétrica sob ação exclusiva de um campo elétrico uniforme.

Dialogando com o texto

Chame a atenção dos estudantes para o fato de que, ao colocar no ponto P do campo elétrico (Fig. I) uma carga de prova positiva ($q > 0$), essa carga de prova ficará sujeita à força de atração $\vec{F}_{el}$ (Fig. II), que, por sua vez, terá o mesmo sentido de $\vec{E}$. Solicite que os estudantes coloquem no ponto P uma carga de prova negativa ($q < 0$); isso resultará em uma força $\vec{F}_{el}$ de repulsão (Fig. III), que, por sua vez, terá sentido oposto ao de $\vec{E}$. Dessa forma, é esperado que obtenham as seguintes figuras e concluam que sendo $Q < 0$, o vetor campo elétrico é de aproximação.



ILUSTRAÇÕES: ADILSON SECCO

Representação esquemática do vetor campo elétrico $\vec{E}$ para $Q < 0$.

De olho na BNCC

- **EM13CNT301**

Este boxe permite o desenvolvimento da habilidade **EM13CNT301** ao possibilitar que o estudante elabore hipóteses e represente e interprete modelos explicativos de uma perspectiva das Ciências da Natureza.

Dialogando com o texto

Pode-se iniciar o *Dialogando com o texto* comentando que, nos pontos internos de um condutor (oco ou maciço) eletrizado ou não, o campo elétrico é nulo, mesmo existindo cargas elétricas externas ao condutor. Essa análise vai permitir a descrição do fenômeno da "blindagem eletrostática" e a apresentação da gaiola de Faraday.

As descargas elétricas decorrem do intenso campo elétrico que se estabelece entre uma nuvem carregada eletricamente e o solo. Caso um automóvel esteja nessa região, as pessoas em seu interior estarão mais protegidas do que se estivessem a pé.

Assim como a esfera metálica que, quando carregada, possibilita a movimentação de suas cargas por toda a superfície anulando o campo em seu interior, a lataria dos automóveis permite a movimentação das cargas e o cancelamento do campo no interior do veículo.

Mesmo que a descarga elétrica ocorra através da lataria, a baixa resistência que os metais apresentam garante liberdade às cargas, que se movem mantendo a nulidade do campo no interior do veículo. Sem campo elétrico no interior, não há força elétrica que direcione a descarga para os passageiros, que desse modo estão seguros. O automóvel se comporta como uma gaiola de Faraday (blindagem eletrostática).

De olho na BNCC

- **EM13LGG704**

O boxe *Dialogando com o texto* possibilita o desenvolvimento da habilidade **EM13LGG704**, da área de Linguagens e suas Tecnologias, ao apropriar-se criticamente de processos de pesquisa e busca de informação.

Aplicando conhecimentos

6 Como a força elétrica é vertical, concluímos que o vetor campo elétrico também é vertical, pois a

EDITORIA

força elétrica e o vetor campo elétrico sempre têm mesma direção. Como a carga q é negativa, concluímos que o vetor campo elétrico tem sentido oposto ao da força elétrica. Portanto, o vetor campo elétrico é vertical e orientado para baixo. Para a determinação do módulo desse campo, temos:

$$E = \frac{F}{|q|} \Rightarrow E = \frac{6 \cdot 10^{-1}}{2 \cdot 10^{-6}} \therefore E = 3 \cdot 10^{5}\ \text{N/C}$$

7 Para a primeira carga, Q, temos: $E = K \cdot \frac{|Q|}{d^2}$

Seja E' o módulo campo gerado pela carga 3 Q.

Então: $E' = K \cdot \frac{|3Q|}{\left(\frac{d}{2}\right)^2} \Rightarrow E' = 3 \cdot K \cdot \frac{|Q|}{\frac{d^2}{4}} \therefore E' = 12\,E$

CAPÍTULO 5 Circuitos elétricos

Metas 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

O capítulo apresenta os fundamentos da Eletrodinâmica. O estudo desse capítulo deve dar ao estudante habilidades para relacionar o potencial elétrico com a energia potencial elétrica. Deve, também, habilitá-lo a reconhecer os principais elementos de um circuito elétrico (resistores e geradores), suas finalidades e equações características, bem como a resolver circuitos elétricos simples montados com esses elementos, incluindo amperímetros e voltímetros ideais e suas respectivas leituras. Pelos conteúdos abordados neste capítulo, sugerimos que seja trabalhado pelo professor com formação em Física.

De olho na BNCC

- **EM13CNT107** • **EM13CNT308** • **EM13CHS106**

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.

A habilidade **EM13CHS106**, da área de Ciências Humanas e sociais Aplicadas, também é evidenciada na medida em que o capítulo utiliza as linguagens gráfica e iconográfica, para difundir informações.

1. Corrente elétrica

Nesta seção conceitua-se corrente elétrica e discute-se a diferença entre corrente real e corrente convencional. A seguir, é apresentada a definição de intensidade de corrente elétrica.

Sugerimos a utilização de um experimento simples para apresentar o conceito de corrente elétrica, que se encontra no endereço <http://objetoseducacionais2.mec.gov.br/bitstream/handle/mec/9556/corrente_eletrica_2.pdf?sequence=1> (acesso em: 22 jul. 2020).

Outra sugestão é o endereço eletrônico <https://www.edumedia-sciences.com/en/media/376-electric-current> (acesso em: 31 ago. 2020), que traz uma interessante animação sobre o movimento dos elétrons livres num condutor ligado a um gerador, estando a chave aberta ou fechada.

Aplicando conhecimentos

1 Alternativa C.

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.

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 $e = 1{,}6 \cdot 10^{-19}$ é a carga elétrica de cada uma delas.

Substituindo, obtemos:

$$\Delta Q = n \cdot e \Rightarrow \Delta Q = 6{,}0 \cdot 10^{10} \cdot 1{,}6 \cdot 10^{-19}$$

$$\therefore \Delta Q = 9{,}6 \cdot 10^{-9}\ \text{C}$$

Como essa passagem de corrente ocorre no intervalo de tempo $\Delta t = 1$ s, a intensidade de corrente vale:

$$i = \frac{\Delta Q}{\Delta t} \Rightarrow i = \frac{9{,}6 \cdot 10^{-9}}{1}$$

$$\therefore i = 9{,}6 \cdot 10^{-9}\ \text{A} \Rightarrow i = 9{,}6\ \text{nA}$$

2. Resistência elétrica

Esta seção tem por finalidade apresentar o conceito de resistência elétrica. Apresente o conceito mais intuitivo de resistência elétrica como a grandeza que mede a dificuldade que

um material oferece à passagem da corrente elétrica. Define-se a resistência elétrica *R* de um aparelho que converte a energia elétrica exclusivamente em energia térmica pela razão entre a ddp ou tensão elétrica *U* à qual está submetido e a intensidade de corrente *i* que o atravessa:

$$R = \frac{U}{i}$$

Explique aos estudantes que, dessa definição, concluímos que a unidade de resistência elétrica no SI é volt por ampère (V/A). Porém, para homenagear o físico alemão George Simon Ohm, que criou o conceito de resistência elétrica, essa unidade recebeu o nome de ohm (símbolo Ω).

3. Tensão elétrica

Explique aos estudantes que, para se movimentar ordenadamente pelos fios as partículas livres, constituintes da corrente elétrica, devem estar sob a ação de um campo elétrico ou, em outros termos, devem estar submetidas a uma diferença de potencial (ddp) ou tensão elétrica *U*. Para obter essa ddp, o condutor pelo qual circula a corrente elétrica deve ser ligado aos polos ou terminais de um dispositivo chamado **gerador**.

Os geradores serão apresentados de maneira mais aprofundada, posteriormente, neste capítulo. Por ora, é importante apenas que os estudantes saibam que o gerador estabelece uma ddp ou tensão *U* nas extremidades do fio, que faz as partículas se movimentarem ordenadamente. Para isso, ele possui dois terminais ou polos: o polo positivo, com potencial V_1, e o polo negativo, com potencial V_2, sendo $V_1 > V_2$. Quando o fio condutor é ligado aos polos de um gerador, este fornece energia às cargas livres do fio, levando-as a se movimentar ordenadamente.

4. Lâmpada elétrica por incandescência

Descreva as partes constituintes de uma lâmpada elétrica incandescente e apresente o circuito simples que permite o acendimento da lâmpada. Se for possível, monte esse circuito na sala de aula. A utilização do soquete e como se faz a ligação devem ser destacados. Para isto, sugerimos que leve para a sala de aula uma lâmpada elétrica por incandescência para que os estudantes possam visualizar com mais clareza os elementos que a compõem.

Caso a escola disponha de espaço e material, você pode sugerir a montagem de um circuito elétrico, conforme o ilustrado no livro do estudante.

5. Lâmpadas LED

Esta seção apresenta a explicação da sigla LED, além das características de uma lâmpada LED. Uma maneira interessante de fixar os conceitos é levar algumas embalagens de lâmpadas LED para a sala de aula e sugerir que os estudantes comparem as informações indicadas em cada uma das embalagens, criando hipóteses a respeito da luminosidade e duração de cada uma delas, por exemplo, com base nas informações apresentadas nas embalagens.

6. Potência elétrica

Nesta seção são apresentados conceitos muito importantes de potência elétrica, energia elétrica e suas respectivas unidades. Enfatize que kW é unidade de potência e kWh, de energia. Pode-se propor a eles que levem para a aula alguns aparelhos elétricos (lâmpada, rádio-relógio, ventilador etc.) e contas de consumo de energia elétrica residencial. A finalidade é analisar os valores nominais dos aparelhos elétricos e explicar como é calculado o consumo de energia elétrica em uma casa.

7. Resistores

Esta seção tem por finalidade apresentar a definição de resistor. Enfatize aos estudantes que, no resistor, ocorre a transformação total da energia elétrica consumida em energia térmica.

Além dos exemplos de resistores apresentados, você pode mencionar o ferro elétrico, que consiste em um condutor metálico colocado num suporte de mica.

Na lâmpada incandescente, o filamento de tungstênio, que tem a forma de uma hélice cilíndrica, torna-se luminoso ao ser aquecido pela passagem da corrente elétrica.

Nesta seção, são mencionados também os resistores especiais, cuja finalidade é controlar a intensidade da corrente elétrica em aparelhos eletrônicos. Explique que esses resistores são constituídos por um filme de grafite depositado de modo contínuo sobre um suporte cerâmico ou enrolado em forma de faixas helicoidais.

8. Lei de Ohm

Deve-se enfatizar o fato de que a lei de Ohm, obtida experimentalmente, é a base para a resolução da maioria dos circuitos elétricos apresentados para os estudantes de Ensino Médio.

Sempre que possível, devem-se representar os circuitos com elementos reais — lâmpadas (representando os resistores), pilhas ou baterias (geradores) — interligados por fios. Isso tornará o assunto mais palpável para a maioria dos estudantes.

Dialogando com o texto

Os resistores para os quais não é válida a lei de Ohm são denominados resistores não ôhmicos. Nestes, a ddp *U* não é proporcional à intensidade de corrente *i*, o que significa dizer que a resistência elétrica *R* não permanece constante. Para cada ddp há um valor diferente de resistência elétrica. 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.

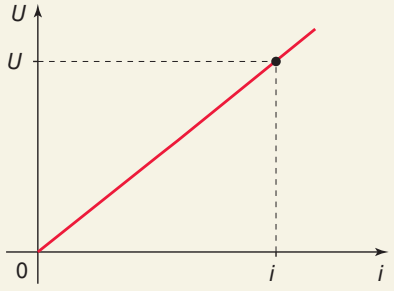
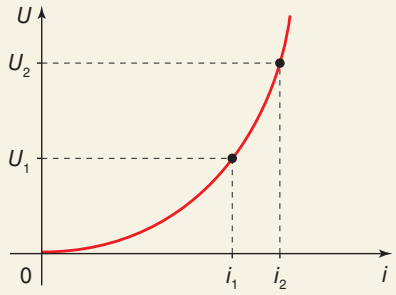


ILUSTRAÇÃO: ADILSON SECCO

MODELO

Para os resistores não ôhmicos, obtemos uma curva que passa pela origem dos eixos, não uma reta.



De olho na BNCC

- **EM13CNT301**

O *Dialogando com o texto* 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 das Ciências da Natureza.

Aplicando conhecimentos

3 **a)** Vamos calcular a energia elétrica consumida pelos aparelhos ao longo de um dia. Ressalte aos estudantes, que o tempo de uso de cada aparelho ao longo do dia já é fornecido na tabela. Assim, temos:

$E_{el} = 6 \cdot E_{el_{lâmpada}} + 2 \cdot E_{el_{chuveiro}} + 1 \cdot E_{el_{torneira\ elétrica}} + 1 \cdot E_{el_{TV}} \Rightarrow$

$\Rightarrow E_{el} = 6 \cdot \frac{60}{1.000}\ kW \cdot 10\ h + 2 \cdot \frac{3.600}{1.000}\ kW \cdot 1\ h +$

$+ 1 \cdot \frac{4.000}{1.000}\ kW \cdot 1\ h + 1 \cdot \frac{100}{1.000}\ kW \cdot 8\ h \Rightarrow$

$\Rightarrow E_{el} = 3{,}6\ kWh + 7{,}2\ kWh + 4\ kWh + 0{,}8\ kWh \Rightarrow$

$\Rightarrow E_{el} = 15{,}6\ kWh$

b) Para o cálculo do custo da energia consumida, podemos utilizar uma simples regra de três.

$1\ kWh \quad ——— \quad R\$\ 0{,}40$

$15{,}6\ kWh \quad ——— \quad x$

$\therefore\ x = \frac{15{,}6\ kWh \cdot R\$\ 0{,}40}{1\ kWh} \Rightarrow x = R\$\ 6{,}24$

Ou seja, por dia, o custo com energia elétrica nesta residência é de R$ 6,24.

4 Vamos calcular, inicialmente, a energia elétrica consumida pelo chuveiro em um mês. Considerando o mês com 30 dias, temos:

$E_{el} = P \cdot \Delta t \Rightarrow E_{el} = 5\ kW \cdot 2\ \frac{h}{dia} \cdot 30\ dias \Rightarrow$

$\Rightarrow E_{el} = 300\ kWh$

O custo mensal da energia elétrica utilizada pelo chuveiro é:

$1\ kWh \quad ——— \quad R\$\ 0{,}40$

$300\ kWh \quad ——— \quad x$

$\therefore\ x = \frac{300\ kWh \cdot R\$\ 0{,}40}{1\ kWh} \Rightarrow x = R\$\ 120{,}00$

Portanto, do dinheiro aplicado no sistema de aquecimento solar recupera-se R$ 120,00 por mês. Assim, a recuperação de todo o investimento feito ocorrerá em 25 meses, ou seja, 2 anos e 1 mês.

9. Associação de lâmpadas

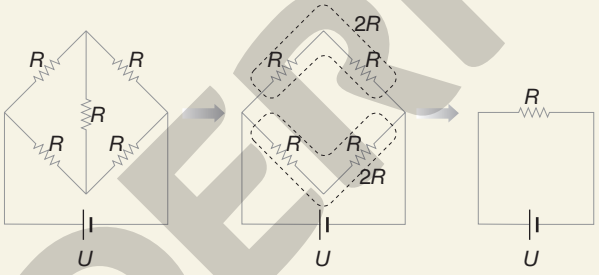
Nesta seção, devem-se apresentar as associações de lâmpadas em série e em paralelo e detalhar todas as suas características. Convém mostrar exemplos práticos dessas associações.

Sugestão de atividade complementar

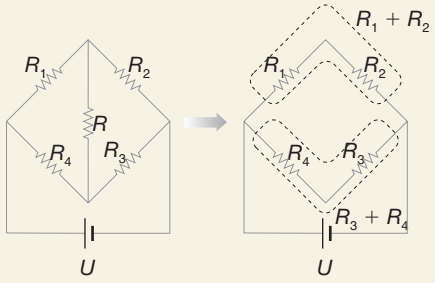
Construindo uma ponte de Wheatstone

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 para 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 (*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.



O mesmo procedimento pode ser feito quando os produtos das resistências, situadas em lados opostos, forem iguais. Assim, no caso abaixo, sendo $R_1 \cdot R_3 = R_2 \cdot R_4$, o resistor de resistência *R* pode ser retirado. Desse modo, os resistores de resistências R_1 e R_2 ficam em série, o mesmo ocorrendo com os resistores de resistências R_3 e R_4.



ILUSTRAÇÕES: ADILSON SECCO

De olho na BNCC

- **EM13CNT308**

Esta *Atividade complementar* permite o desenvolvimento da habilidade **EM13CNT308**, ao investigar e analisar o funcionamento de equipamentos elétricos e/ou eletrônicos.

Dialogando com o texto

Para o cálculo da resistência equivalente de três lâmpadas de mesma resistência *R* associadas em série, temos a equação $R_{eq} = R_1 + R_2 + R_3$.

Considerando $R_1 = R_2 = R_3 = R$, basta substituir na equação:

$R_{eq} = R + R + R \Rightarrow R_{eq} = 3\,R$

MODERNA

Para a associação em paralelo dessas mesmas três lâmpadas, temos a equação $\frac{1}{R_{eq}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}$.

Considerando $R_1 = R_2 = R_3 = R$, basta substituir na equação:

$$\frac{1}{R_{eq}} = \frac{1}{R} + \frac{1}{R} + \frac{1}{R} \Rightarrow \frac{1}{R_{eq}} = \frac{3}{R} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow 3\,R_{eq} = R \therefore R_{eq} = \frac{R}{3}$$

Para o caso de duas lâmpadas de resistências R_1 e R_2 associadas em paralelo, temos a equação $\frac{1}{R_{eq}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}$. É possível calcular o MMC de R_1 e R_2 que, nesse caso, é o produto entre os dois valores. Assim, temos:

$$\frac{1}{R_{eq}} = \frac{R_1 + R_2}{R_1 \cdot R_2} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow R_1 \cdot R_2 \cdot 1 = (R_1 + R_2) \cdot R_{eq} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow R_{eq} = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2}$$

Conclusão: Para dois resistores em paralelo, calcula-se a resistência equivalente fazendo-se o produto das resistências, dividido pela soma.

De olho na BNCC

• **EM13MAT101** • **EM13MAT302** • **EM13MAT401**

O boxe *Dialogando com o texto* evidencia as seguintes habilidades, da área de Matemática e suas Tecnologias: **EM13MAT101**, 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; **EM13MAT302**, na medida em que sugere a construção de modelos empregando as funções polinomiais de 1º grau; e **EM13MAT401**, ao converter representações algébricas de funções polinomiais de 1º grau em representações geométricas no plano cartesiano.

Aplicando conhecimentos

5 Podemos determinar a resistência elétrica de R_1 com a lei de Ohm:

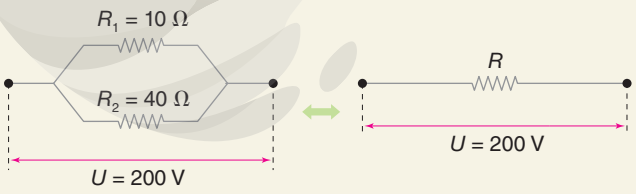
$U = R \cdot i \Rightarrow 12 = R_1 \cdot 3 \therefore R_1 = 4\ \Omega$

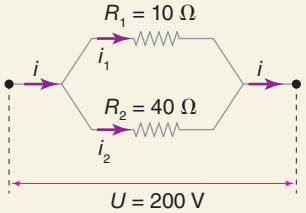
Para a associação em série de R_1 e R_2, novamente usando a lei de Ohm, obtemos:

$U = R \cdot i \Rightarrow 12 = (4 + R_2) \cdot 2 \Rightarrow 6 = 4 + R_2 \therefore 2\ \Omega$

Portanto, o valor da resistência elétrica do resistor R_2 é igual a 2 Ω.

6 A sequência de figuras mostra como proceder para a resolução:





ILUSTRAÇÕES: ADILSON SECCO

a) A resistência R do resistor equivalente pode ser calculada por:

$$R = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2} = \frac{10 \cdot 40}{10 + 40} = \frac{400}{50} \therefore R = 8\ \Omega$$

b) Aplicando a lei de Ohm ao resistor equivalente, obtemos:

$U = R \cdot i \Rightarrow 200 = 8 \cdot i \therefore i = 25$ A

c) Para calcular as intensidades de corrente pelos resistores associados, aplicamos novamente a lei de Ohm:

$U = R_1 \cdot i_1 \Rightarrow 200 = 10 \cdot i_1 \therefore i_1 = 20$ 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 que atravessam os resistores associados é igual à que atravessa a associação ($i = i_1 + i_2$).

d) A potência dissipada pela associação pode ser calculada por qualquer das três expressões:

$P = U \cdot i$; $P = R \cdot i \cdot i \Rightarrow P = R \cdot i^2$; $P = U \cdot \left(\frac{U}{R}\right) \Rightarrow$

$$\Rightarrow P = \frac{U^2}{R}$$

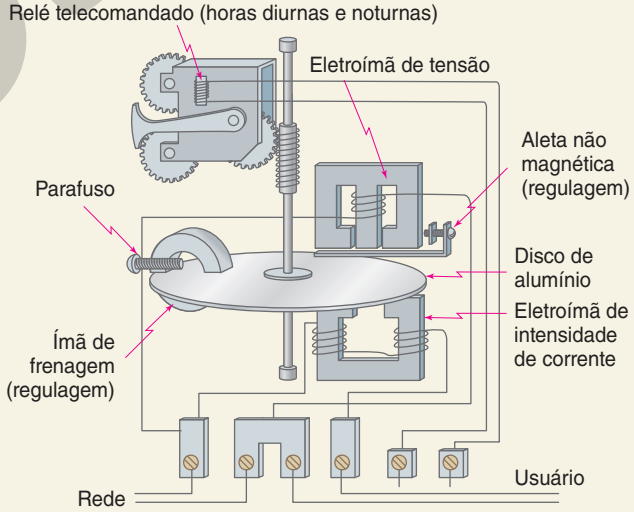
Vamos usar $P = U \cdot i$:

$P = 200 \cdot 25 \therefore P = 5.000$ W $= 5$ kW

Repita o cálculo usando as outras duas expressões de potência e comprove que o resultado obtido é o mesmo.

10. Relógio de luz

Após conhecer os "relógios de luz" e entender como se lê o valor da energia elétrica consumida mensalmente na residência, é interessante mostrar aos estudantes a estrutura e o funcionamento desses aparelhos.



Explique que um medidor de energia elétrica (ou "relógio de luz") consta essencialmente de um disco de alumínio e de dois eletroímãs. O eletroímã de tensão está ligado em paralelo com a rede elétrica que alimenta a residência, estando sob a tensão elétrica da rede. O eletroímã de intensidade de corrente está ligado em série com a rede, sendo percorrido pela mesma corrente elétrica total que alimenta a residência, quando aparelhos elétricos são ligados.

MODERNA

Percorridos por correntes elétricas alternadas, esses eletroímãs criam campos magnéticos variáveis, que geram, na região do disco de alumínio onde eles se estabelecem, correntes elétricas induzidas.

Essas correntes, sob ação do campo magnético dos eletroímãs, ficam sujeitas a forças magnéticas que colocam o disco em rotação. A velocidade de rotação do disco é proporcional à potência do aparelho elétrico que está em funcionamento na residência. De fato, o campo magnético gerado é proporcional à tensão (devido ao eletroímã de tensão) e à intensidade da corrente (devido ao eletroímã de intensidade de corrente). As forças magnéticas que movimentam o disco tendem a acelerá-lo.

Para que a velocidade de rotação seja constante (movimento circular uniforme), existe um ímã de frenagem. O movimento do disco (em que parte dele está na região compreendida entre os polos do ímã) induz nele correntes elétricas. Por estarem imersas no campo produzido pelo ímã, essas correntes ficam sujeitas à ação de forças magnéticas. Essas forças freiam o disco, o qual passa a executar um movimento de rotação uniforme. Tal movimento é transmitido a um conjunto de engrenagens que movimenta os ponteiros de quatro ou cinco marcadores do medidor, que, por sua vez, fornecem a medida da energia elétrica consumida.

Você pode retomar essa explicação após estudar o conceito de campo magnético, que será estudado no Capítulo 8 deste volume.

Atividade em grupo

Nesta *Atividade em grupo* é interessante debater com a turma sobre o que causa choques elétricos, por que eles são muito perigosos durante o banho, quais são os principais problemas que podem ocorrer em caso de acidente envolvendo eletricidade e em que momento a eletricidade é benéfica ao corpo humano.

Pode-se convidar um médico e um bombeiro para abordar, em um debate com os estudantes, assuntos como o uso de desfibrilador e do marca-passo cardíaco, outras aplicações médicas do choque elétrico e a prevenção de acidentes com eletricidade.

Depois desse debate, pode-se dividir a turma em pequenos grupos, de três ou quatro estudantes, propondo a pesquisa de aparelhos nos quais as descargas elétricas, devidamente controladas, têm efeito terapêutico. É o caso do desfibrilador e do marca-passo, que regulam o ciclo de batimentos cardíacos. Um tema polêmico da Psiquiatria, e que pode ser pesquisado e discutido pela classe, é o da eletroconvulsoterapia (eletrochoque).

Além disso, podem ser pesquisados os efeitos fisiológicos da corrente elétrica, que originam os choques elétricos, desde os leves aos mais violentos. Nesse estudo, pode-se verificar como a corrente elétrica provoca contrações musculares e como pode afetar o coração e a respiração. É interessante pesquisar os valores de intensidade de corrente, desde aqueles que produzem pequenos choques até os que podem ocasionar a morte.

De olho na BNCC

- **EM13CNT306**

A *Atividade em grupo* permite o desenvolvimento da habilidade **EM13CNT306**, ao avaliar os riscos envolvidos em atividades cotidianas, aplicando conhecimentos das Ciências da Natureza.

Aplicando conhecimentos

7 Alternativa A.

É preciso observar o sentido de rotação indicado em cada um dos relógios. Assim, seguindo a ordem, basta verificar o último número ultrapassado pelo ponteiro, seguindo a ordem de milhar, centena, dezena e unidade. Assim, temos:

Milhar: 2; Centena: 6; Dezena: 1; Unidade: 4. Portanto, o número obtido pela leitura é 2.614 kWh.

11. Circuito elétrico nas residências

Nesta seção, devem-se apresentar as associações de resistores em série e em paralelo, mostrando suas aplicações em residências.

Pode-se realizar uma atividade complementar, explorando o funcionamento do chuveiro elétrico em classe e o seu consumo. Os estudantes poderão levar para a aula contas de luz de suas casas.

Para essa demonstração, deve-se dispor de um chuveiro elétrico cuja chave seletora apresente três posições: quente (inverno), morna (verão) e desliga (água fria).

Mostre aos estudantes o circuito elétrico interno do chuveiro. Coloque a chave seletora na posição "verão".

Passe a chave para a posição "desligado" e observe que o circuito elétrico se estabelece. Mude, então, a chave para a posição "inverno" e indique aos estudantes o novo circuito elétrico formado.

Pergunte à classe se a resistência elétrica do chuveiro aumentou ou diminuiu quando a chave passou da posição "verão" para a posição "inverno".

Além dos terminais que devem ser ligados à rede elétrica, o chuveiro contém um fio-terra. Pergunte qual é a função desse fio e como ele deve ser ligado.

Chave paralela

Para fazer a iluminação de uma escada, um eletricista usa um interruptor no andar superior e outro no andar inferior. A instalação é feita de modo que seja possível ligar e desligar uma lâmpada utilizando qualquer um dos interruptores. Cada interruptor é do tipo "paralelo". Ele difere do interruptor normal por possuir três terminais no lugar de dois.

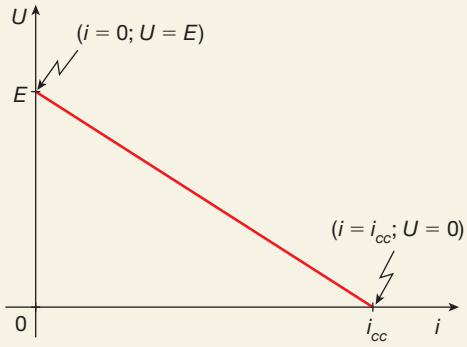
12. Gerador elétrico

Nesta seção é analisado o gerador elétrico, com a conceituação de força eletromotriz e a dedução da equação característica do gerador.

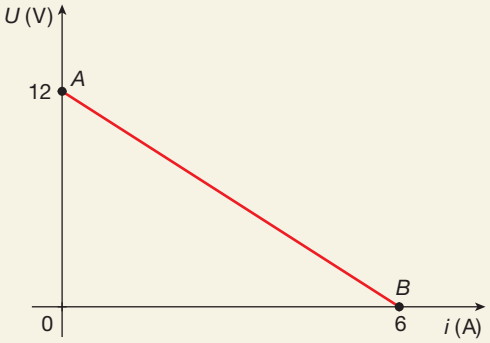
MODERNA

Dialogando com o texto

Ao trabalhar este boxe, sugerimos apresentar a curva característica de um gerador como a da figura a seguir.



Para a curva característica, é esperado que o estudante apresente um gráfico semelhante ao da figura a seguir.



O ponto *A* do gráfico tem coordenadas $i = 0$ e $U = E$, e o ponto *B* tem coordenadas $U = 0$ e $i = i_{cc} = \frac{E}{r}$. São dados: $U = E = 12$ V; $r = 2\ \Omega$. Portanto, a corrente de curto-circuito desse gerador é dada por:

$$i = i_{cc} = \frac{E}{r} \Rightarrow i_{cc} = \frac{12}{2} \therefore\ i_{cc} = 6\ \text{A}$$

Comente com os estudantes que, ao conectar os polos de uma pilha com uma fita de papel-alumínio ou com pedaços de palha de aço, é esperado que o papel-alumínio se aqueça e que, dependendo da quantidade palha de aço, também ocorra o aquecimento ou até mesmo alguma pequena chama, isto ocorre pois quando a corrente elétrica percorre um condutor, tem-se a transformação de energia elétrica em energia térmica (efeito térmico da corrente ou efeito Joule).

De olho na BNCC

- **EM13MAT101**
- **EM13MAT302**

O *Dialogando com o texto* evidencia as seguintes habilidades, da área de Matemática e suas Tecnologias: **EM13MAT101**, 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; **EM13MAT302**, na medida em que sugere a construção de modelos empregando as funções polinomiais de 1º grau.

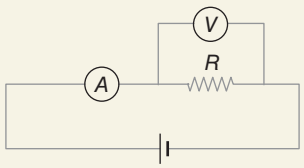
13. Amperímetro e voltímetro

Nesta seção, retome, com os estudantes, os conceitos abordados e enfatize a importância da ligação correta desses aparelhos nas instalações elétricas. Reforce que o uso inadequado de amperímetros e voltímetros podem causar danos às instalações elétricas e aos aparelhos nelas conectados, e o manuseio desses aparelhos deve ser sempre supervisionado por algum responsável.

Aplicando conhecimentos

8 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.



ILUSTRAÇÕES: ADILSON SECCO

b) O amperímetro ideal tem resistência elétrica nula e o voltímetro ideal tem resistência elétrica infinitamente grande.

c) $U = R \cdot i \Rightarrow 12 = R \cdot 4 \therefore\ R = 3\ \Omega$

CAPÍTULO 6 Pilhas e baterias (celas galvânicas)

Metas do capítulo

- Saber conceituar oxidação e redução e identificar qual espécie química se reduz e qual espécie se oxida em uma reação de oxirredução. (Esta meta é trabalhada em nível introdutório neste capítulo e será retrabalhada, com maior amplitude, no Capítulo 7).
- Entender o funcionamento da pilha de Daniell e o significado de cátodo, ânodo, polo positivo e polo negativo em uma cela galvânica.
- Equacionar as semirreações catódica e anódica de celas galvânicas e a sua reação global.
- Identificar a importância de uma ponte salina para o funcionamento de uma cela galvânica.

MODERNA

- Compreender o conceito de potencial-padrão de semicela.
- Saber calcular a força eletromotriz de uma pilha, nas condições-padrão e em uma temperatura de interesse, a partir dos potenciais-padrão de semicela nessa temperatura.

Sugestões didáticas e comentários

Considerando os conteúdos que serão abordados neste capítulo, sugerimos que ele seja trabalhado pelo professor com formação em Química.

A abertura do capítulo introduz a possibilidade de se utilizar a energia química presente em dispositivos como pilhas, baterias e células a combustível para geração de energia elétrica. O funcionamento detalhado das células a combustível não é apresentado na abertura. No entanto, é importante que, nesse momento, os estudantes percebam que elas são dispositivos que geram energia de forma similar às pilhas comuns usadas em brinquedos e controles remotos e às baterias utilizadas em computadores portáteis e telefones celulares.

A abordagem da abertura pode ser feita por meio das fotos que mostram um automóvel movido a célula a combustível e a foto da cientista etíope Sossina Haile. Destaque que as contribuições dessa cientista têm sido fundamentais para o desenvolvimento das células a combustível – dispositivos que serão apresentados no Item 5 deste capítulo. Caso considere válido, estimule uma discussão na qual os estudantes devem propor quais as vantagens e desvantagens de utilizar carros elétricos em detrimento dos automóveis convencionais. Espera-se que eles comentem o fato de os carros elétricos gerarem menos poluentes que os automóveis movidos a combustíveis como gasolina e etanol. Destaque que os carros elétricos são, em geral, mais caros e que, por isso, não são muito utilizados.

Converse com os estudantes sobre as aplicações de dispositivos como pilhas e baterias, ressaltando que são portáteis e, em muitos dos casos, recarregáveis. Questione-os sobre a origem da energia produzida pelas pilhas e baterias, conduzindo à explicação de que os componentes desses dispositivos armazenam energia química e, por meio de reações químicas que envolvem transferência de elétrons, a convertem em energia elétrica.

1. Diferença de potencial nos polos de uma pilha

Para explorar o conteúdo deste item e estimular o interesse dos estudantes sobre o tema, sugerimos que disponibilize voltímetros (ou multímetros configurados para a função voltímetro) e pilhas comuns de lanterna, e peça que eles reproduzam os testes apresentados na Figura 1. Relembre (do Capítulo 5) que o voltímetro mede a diferença de potencial elétrico e que essa medida está associada à possibilidade de estabelecer uma corrente elétrica de um polo a outro do dispositivo eletroquímico desde que ele esteja inserido em um circuito elétrico adequado.

Instigue os estudantes a estabelecer hipóteses sobre o resultado observado para cada configuração da Figura 1. Discuta essas hipóteses e explique o que ocorre em cada montagem experimental, mostrando que os polos da pilha indicam os terminais de maior e menor potencial (polo positivo e polo negativo, respectivamente) e que, para medir a diferença de potencial entre esses terminais, as extremidades dos fios do voltímetro devem estar em contato elétrico com cada um deles. Caso considere válido, amplie a abordagem utilizando outros tipos de pilhas e baterias (**apenas** até 9 V, por questão de **segurança**) e solicite que os estudantes façam um comparativo entre os valores de ddp entre os terminais desses dispositivos.

Solicite que observem a Figura 2, na qual é apresentado o sentido da corrente elétrica real (movimento de elétrons) e como ele é indicado na representação de um circuito que inclua um dispositivo eletroquímico. Explique que, em qualquer pilha ou bateria, o funcionamento está condicionado à ligação correta dos polos positivo e negativo ao circuito (retomando, portanto, o Capítulo 5). Monte na lousa um esquema simples de uma bateria e uma pilha e peça aos estudantes que indiquem como representar o sentido de movimentação dos elétrons, ou seja, o sentido da corrente elétrica real. Deixe claro que os elétrons se movimentam do polo negativo (menor potencial elétrico) para o polo positivo (maior potencial elétrico), uma vez que esses conceitos serão utilizados posteriormente ao se falar sobre as semirreações de oxidação e de redução em cada semicela. Retome (do Capítulo 5) a relação entre o sentido da corrente elétrica real e o sentido da corrente elétrica convencional (*i*) e explique que, nos estudos de eletroquímica, utilizaremos, por conveniência, indicações do sentido da corrente elétrica real.

2. Oxidação e redução

Ao explorar o conteúdo desse item, sugerimos que inicie a aula questionando os estudantes sobre a utilização dos termos *pilha* e *bateria*. Faça perguntas que tenham como objetivo verificar se eles diferenciam esses dois dispositivos ou consideram que correspondem ao mesmo tipo de aparato. É possível que os estudantes considerem que esses termos sejam sinônimos. Por isso, procure destacar que, em Ciências da Natureza, o termo *pilha* designa uma **cela galvânica**, enquanto *bateria* se refere à associação em série de uma ou mais celas galvânicas.

Deixe claro que, nas celas galvânicas, reações químicas que ocorrem espontaneamente – e envolvem a transferência de elétrons – são empregadas na geração de corrente elétrica. Diferentemente desses processos, existem outras reações de transferência de elétrons que não são espontâneas e cuja ocorrência pode ser forçada pelo uso de uma fonte externa de diferença de potencial elétrico (um gerador de corrente contínua), consistindo no processo denominado eletrólise, que ocorre em um dispositivo chamado **cela eletrolítica**. Celas galvânicas e celas eletrolíticas são objetos de estudo da eletroquímica e recebem a designação coletiva de **celas eletroquímicas**. À medida que trabalhar este item, use o mapa

MOBERNA

conceitual da Figura 3 do Livro do Estudante para auxiliar os estudantes na organização de ideias, a fim de que correlacionem adequadamente os conceitos apresentados.

Em seguida, comente que as reações químicas que envolvem transferência de elétrons são chamadas de **reações de oxidorredução**, **oxirredução** ou **redox**. Para ilustrar esse tipo de reação, estimule os estudantes a analisar a Figura 4. Ao observar esse tipo de imagem, eles poderão verificar, por meio de evidências experimentais, que os processos de oxidação e redução são simultâneos em uma reação de oxirredução. Auxilie-os a perceber que a cor azul da solução se deve à presença de íons Cu^{2+}(aq) e que a placa é constituída de zinco metálico. É importante destacar que essa transformação química espontânea envolve a transferência de elétrons do zinco metálico para os íons cobre(II).

Ao apresentar a equação da semirreação de oxidação do Zn^0 e a equação da semirreação de redução do Cu^{2+}, mostre que, na oxidação, os átomos de zinco perdem dois elétrons. É importante ressaltar que a equação indica que o zinco metálico se transforma em íons zinco (Zn^{2+}) e que, nesse processo, cada átomo do metal perde dois elétrons, representados no segundo membro da equação. Ressalte que, na equação da semirreação de redução, os elétrons estão representados nos reagentes, indicando que o íon Cu^{2+} recebe dois elétrons, em um processo no qual se transforma em cobre metálico. Pontue que o número de elétrons perdidos na oxidação é igual ao número de elétrons recebidos na redução e que essa equivalência é fundamental para a obtenção da equação da reação global de oxirredução.

3. Pilha de Daniell

Inicie o item comentando que a pilha de Daniell é uma cela galvânica com princípio de funcionamento similar ao de qualquer pilha moderna, e que a representação da sua estrutura por meio de modelos, como o apresentado na Figura 6 do Livro do Estudante, facilita a percepção da sua montagem, dos seus componentes e do processo de geração de corrente elétrica. Por meio das Figuras 5 e 6, ressalte que a pilha de Daniell funciona com base em duas semicelas interligadas, sendo cada uma delas constituída por uma placa de metal imersa em uma solução aquosa contendo o cátion do respectivo metal.

Diferencie as duas semicelas dessa pilha, deixando claro que a de Zn^0/Zn^{2+} é aquela que envia elétrons à parte do circuito externa à pilha, elétrons que provêm da semirreação de oxidação de Zn (s) a Zn^{2+} (aq) nessa semicela. Elétrons perdidos pelo zinco seguem pelo fio condutor em direção à placa de cobre metálico.

Em seguida, deixe claro que a semicela Cu^0/Cu^{2+} recebe elétrons da parte do circuito externa à pilha, elétrons envolvidos na semirreação de redução que ocorre nessa semicela. Um cátion cobre(II), Cu^{2+} (aq), que está em solução, ao receber 2 elétrons provenientes da oxidação do zinco e que vieram pelo fio condutor até a placa de cobre, transforma-se em cobre metálico, Cu (s).

Ao abordar a Figura 7 do Livro do Estudante, questione os estudantes sobre o que acontece quando a lâmpada do circuito da pilha de Daniell é substituída por um voltímetro. A meta aqui é ajudá-los a entender que, com essa mudança, é possível obter a medida do valor da diferença de potencial nos terminais da cela galvânica. E, **considerando-se o voltímetro ideal**, essa medida corresponde à **força eletromotriz da pilha** (Capítulo 5).

Em seguida, comente que, caso não houvesse a ponte salina, os fenômenos que tendem a ocorrer na pilha de Daniell fariam com que as soluções das duas semicelas rapidamente deixassem de ser eletricamente neutras, impedindo precocemente o funcionamento do dispositivo. Explique que a ponte salina pode ter a forma de um tubo de vidro em U (como ilustrado ao longo do capítulo) e que ela contém uma solução aquosa concentrada de sal bastante solúvel, cuja função é possibilitar a migração de íons de uma solução para a outra, evitando acúmulo de cátions em uma semicela e de ânions na outra, possibilitando que a carga elétrica total das soluções permaneça nula (utilize, para essa explicação, a Figura 9 do Livro do Estudante).

Em geral, o primeiro contato dos estudantes com o funcionamento de uma pilha gera diversos questionamentos. Reserve um tempo para ouvi-los e para apresentar novamente as ideias envolvidas, e leve em consideração que sua intervenção pedagógica é essencial na transposição das dificuldades iniciais. Julgando conveniente, divida a turma em grupos e peça que cada um deles pesquise um tipo de pilha ou bateria comercial, a fim de verificar quais são as semirreações de oxidação e de redução. Ajude-os a perceber que a equação da semirreação de oxidação indicará elétron(s) no lado dos produtos (isto é, o segundo membro da equação química) e a equação da semirreação de redução indicará elétron(s) no lado dos reagentes.

Na realização dessa atividade, os estudantes descobrirão a existência das terminologias **cátodo** e **ânodo**, instigando sua curiosidade e preparando-os para o Item 4. Esteja atento que esses termos também podem aparecer grafados na literatura como **catodo** e **anodo** (sem acento). Nesses casos, as sílabas tônicas são, respectivamente, "to" e "no" (geralmente pronunciadas com som fechado, "tô" e "nô").

Essa sugestão de trabalho em equipe já inicia parte do que será proposto na *Atividade em grupo* do Item 5. Assim, ao adotar critérios para dividir a classe, leve em conta que o ideal é manter essa divisão para realizar a atividade subsequente.

Relatos sobre algumas das dificuldades de aprendizagem no ensino de eletroquímica estão descritas no artigo: FREIRE, M. S.; SILVA JR., C. N.; SILVA, M. G. L. *Dificuldades de aprendizagem no ensino de eletroquímica segundo licenciandos de Química*. *In*: VII Encontro Nacional de Pesquisas em Educação em Ciências. Campinas: Associação Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências, 2011. 12 p. Disponível em: <http://www.nutes.ufrj.br/abrapec/viiienpec/resumos/R1150-1.pdf>. Acesso em: 25 ago. 2020.

EM MODERNA

De olho na BNCC

- **EM13CNT101**
- **EM13CNT107**
- **EM13CNT308**

Este item possibilita o desenvolvimento das seguintes habilidades da BNCC: **EM13CNT101**, uma vez que permite analisar e representar as transformações em sistemas que envolvam quantidade de matéria e energia para realizar previsões sobre seus comportamentos; **EM13CNT107**, porque estimula o estudante a realizar previsões qualitativas e quantitativas sobre o funcionamento de pilhas e baterias, com base na análise dos processos de transformação e condução de energia envolvidos; e **EM13CNT308**, pois promove a análise do funcionamento de equipamentos elétricos (pilhas e baterias) e/ou eletrônicos para compreender as tecnologias contemporâneas.

4. Nomenclatura das semicelas galvânicas

Ao explorar esse conteúdo, apresente as definições de ânodo e cátodo e mostre como atribuir essa nomenclatura às semicelas da pilha de Daniell. Equacione a reação global da pilha, ressaltando como a sua representação pode ser feita de maneira esquemática. Para isso, faça um diagrama semelhante ao da Figura 10 do Livro do Estudante.

Caso considere válido, amplie a abordagem solicitando aos estudantes que tentem fazer o diagrama para uma cela galvânica de ferro e níquel. Para isso, informe que, nessa pilha, íons níquel(II), $Ni^{2+}(aq)$, se reduzem a níquel metálico, Ni (s), e ferro metálico, Fe (s), se oxida a íons ferro(II), $Fe^{2+}(aq)$:

$$Ni^{2+}(aq) + 2e^- \rightarrow Ni(s)$$
$$Fe(s) \rightarrow Fe^{2+}(aq) + 2e^-$$

A expectativa é de que elaborem a representação:

$$Fe(s) \mid Fe^{2+}(aq) \parallel Ni^{2+}(aq) \mid Ni(s)$$

Peça que compartilhem como produziram seus diagramas, corrigindo-os, se necessário. A interpretação da representação em questão é:

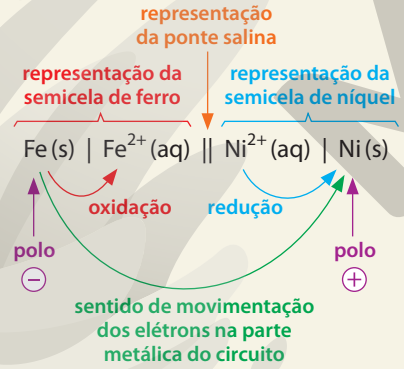


ILUSTRAÇÃO DOS AUTORES

Aplicando conhecimentos

1 **a)** A semicela de zinco é o ânodo e a semicela de níquel é o cátodo.

b) A placa de zinco é o polo negativo e a placa de níquel é o polo positivo.

c) O zinco metálico, Zn^0, se oxida e os íons níquel(II), Ni^{2+}, se reduzem.

d) A placa de zinco.

e) A placa de níquel.

f) $Zn(s) \rightarrow Zn^{2+}(aq) + 2e^-$

g) $Ni^{2+}(aq) + 2e^- \rightarrow Ni(s)$

h) Somando as equações das semirreações:

$$Zn(s) \rightarrow Zn^{2+}(aq) + 2e^-$$
$$Ni^{2+}(aq) + 2e^- \rightarrow Ni(s)$$
$$Zn(s) + Ni^{2+}(aq) \rightarrow Zn^{2+}(aq) + Ni(s) \quad (+)$$

i) Ânions migram da semicela de níquel para a de zinco, e cátions, da semicela de zinco para a de níquel.

2 **a)** A semicela de cobre é o ânodo e a semicela de prata é o cátodo.

b) A placa de cobre é o polo negativo e a placa de prata é o polo positivo.

c) O cobre metálico, Cu^0, se oxida e os íons prata, Ag^+, se reduzem.

d) $Cu(s) \rightarrow Cu^{2+}(aq) + 2e^-$

e) $Ag^+(aq) + e^- \rightarrow Ag(s)$

f) Somando a semirreação de oxidação com a de redução multiplicada por 2, chegamos a:

$$Cu(s) \rightarrow Cu^{2+}(aq) + 2e^-$$
$$2Ag^+(aq) + 2e^- \rightarrow 2Ag(s)$$
$$Cu(s) + 2Ag^+(aq) \rightarrow Cu^{2+}(aq) + 2Ag(s) \quad (+)$$

g) O sentido de movimentação dos elétrons no fio condutor é da placa de cobre metálico para a placa de prata metálica.

h) Ânions migram da semicela de prata para a de cobre e cátions, da semicela de cobre para a de prata.

5. Potencial-padrão de semicela

Inicialmente, comente com os estudantes que a força eletromotriz de uma cela galvânica depende de fatores como as espécies químicas que reagem na oxirredução, a temperatura, a concentração das espécies em solução aquosa e a pressão das espécies gasosas. Para efeito de comparação, medida e tabelamento, é comum medir a **força eletromotriz de uma cela galvânica** nas **condições-padrão** da termodinâmica química, que incluem concentração de 1,0 mol/L para espécies em solução aquosa e pressão de 100 kPa (isto é, 1 bar) para espécies em fase gasosa. Essa força eletromotriz, representada por $\Delta E^{\ominus}$, pode ser medida em qualquer temperatura de interesse, sendo frequente a adoção de 25 °C.

Com base na Figura 11, explique que a semicela de referência (isto é, aquela em relação à qual as demais têm seu potencial elétrico medido) é o eletrodo-padrão de gás hidrogênio. Nele, o gás está adsorvido em platina metálica imersa em solução aquosa ácida: $H_2(g)$ é continuamente borbulhado (para manutenção da adsorção na placa) a 100 kPa (1 bar) e a concentração de íons $H_3O^+(aq)$ na solução (proveniente de um ácido forte em solução) é de 1 mol/L.* Por convenção, o potencial-padrão de semicela atribuído ao eletrodo-padrão de hidrogênio, nas condições-padrão e a 25 °C, é zero.

Explore a Figura 12 do Livro do Estudante, a fim de discutir como foram obtidos, por exemplo, os potenciais-padrão para as semicelas Ag^0/Ag^+ e Zn^0/Zn^{2+}. Chame a atenção dos estudantes para a conexão do voltímetro mostrada em cada situação, destacando que o potencial-padrão da prata é positivo

* Em um tratamento físico-químico rigoroso, para soluções não ideais, o potencial-padrão corresponde a uma solução com **atividade unitária** do íon.

MODERNA

(isto é, maior que o do eletrodo-padrão de hidrogênio) e o do zinco é negativo (ou seja, menor que o do eletrodo-padrão de hidrogênio). Apresente as semirreações de redução para esses dois metais com o seu potencial-padrão e explique como esses valores são obtidos usando a expressão matemática para o cálculo da força eletromotriz apresentada no item.

A Tabela 1 do Livro do Estudante apresenta o potencial-padrão para algumas semicelas, a 25 °C. **Por convenção da IUPAC, essa grandeza é sempre tabelada considerando a semirreação de redução que ocorre na semicela** e, por isso, ela também é denominada potencial-padrão de redução. (A obra não apresenta valores de potencial-padrão de oxidação em função da determinação da IUPAC.)

Incentive os estudantes a utilizar os valores apresentados na tabela para o cálculo da força eletromotriz, nas condições padrão e a 25 °C, para diferentes tipos de pilhas. É fundamental que eles percebam o seguinte: uma vez que na pilha só ocorrem reações espontâneas de oxirredução, sua força eletromotriz ($\Delta E^{\ominus}$) será sempre um número positivo. Isso equivale a dizer que, na parte metálica do circuito externa à pilha, os elétrons se movimentam da semicela de menor potencial para a de maior potencial. Se, por outro lado, o valor calculado para a força eletromotriz for um número negativo, o resultado refere-se a uma reação de oxirredução não espontânea e que, portanto, não se presta à utilização em uma pilha.

Aproveite as abordagens deste item para comentar com os estudantes que, apesar de em alguns casos ser necessário multiplicar as semirreações para igualar o número de elétrons, o potencial-padrão não deve ser multiplicado, pois ele é característico da reação e independe da quantidade de matéria (em mols) de reagentes e produtos. Retomando a atividade proposta no Item 1 deste capítulo, sugerimos que você disponibilize voltímetros (ou multímetros configurados para a função voltímetro) e pilhas novas de 1,5 V, de mesma marca e modelo, mas de diferentes tamanhos (por exemplo, AAA, AA, C e D), e solicite aos estudantes que realizem a medida da tensão elétrica nos terminais de cada uma. Eles normalmente se surpreendem ao verificar que o resultado independe do tamanho. A constatação ajuda os estudantes a perceber que a quantidade de reagentes empregados na construção de uma cela galvânica não interfere em sua força eletromotriz.

Para conhecimento do docente, é conveniente discutirmos aqui como os valores de potencial de semicela variam quando as concentrações das espécies químicas em solução são diferentes de 1 mol/L, ou seja, quando a semicela **não** está nas condições-padrão de concentração.

A título de exemplo, consideremos a semicela Cu^{2+}/Cu^0, cujo potencial, a 25 °C, em diferentes concentrações (em mol/L) de $Cu^{2+}(aq)$, medido em relação ao eletrodo-padrão de hidrogênio, aparece na tabela a seguir. Nela, o valor da primeira linha é o potencial-padrão dessa semicela ($E^{\ominus}$), a 25 °C, pois $[Cu^{2+}] = 1$ mol/L. À medida que $[Cu^{2+}]$ diminui, o potencial também diminui, ou seja, diminui a tendência de o íon Cu^{2+} se reduzir.

Potencial (E) da semicela Cu^{2+}/Cu^0, a 25 °C, em diferentes concentrações de íon cobre(II)

$[Cu^{2+}]$ (mol/L)	$E(Cu^{2+}/Cu^0)$ (V)
1	0,340 ($= E^{\ominus}$)
0,1	0,311
0,01	0,281
0,001	0,252
0,0001	0,222
0,00001	0,193
0,000001	0,163

Fonte: MATTHEWS, P. *Advanced Chemistry*. v. 1. Cambridge: Cambridge University Press, 1992.

O valor de $E(Cu^{2+}/Cu^0)$ varia linearmente com o logaritmo decimal de $[Cu^{2+}]$, como mostra o gráfico a seguir.

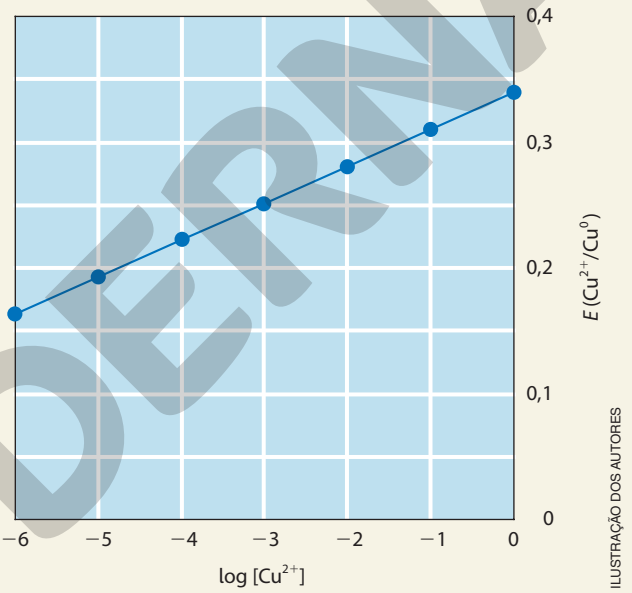


ILUSTRAÇÃO DOS AUTORES

Gráfico da variação do potencial da semicela Cu^{2+}/Cu^0 em função do logaritmo decimal do valor numérico da concentração (em mol/L) de íons cobre(II) aquosos.

Fonte: MATTHEWS, P. *Advanced Chemistry*. v. 1. Cambridge: Cambridge University Press, 1992.

Tal dependência foi genericamente enunciada pelo físico-químico alemão Walther Nernst (1864-1941), Prêmio Nobel de Química em 1920. A chamada **equação de Nernst** é:

$$E = E^{\ominus} - \frac{RT}{nF} \ln Q$$

Nessa expressão, tem-se:

E = potencial da semicela em condições não padrão;
$E^{\ominus}$ = potencial-padrão de semicela;
R = constante universal dos gases
= $8{,}314\ J \cdot mol^{-1} \cdot K^{-1}$;
T = temperatura expressa em kelvin (K);
n = número de elétrons na equação da reação;
F = constante de Faraday = $9{,}65 \cdot 10^4\ C \cdot mol^{-1}$;
Q = fração denominada quociente de reação.

MODERNA

Considerando 25 °C ($T = 298$ K), a substituição dos valores e da equivalência entre logaritmo natural (ln) e logaritmo decimal (log) (isto é, $\ln Q = 2{,}303 \log Q$) conduz a:

$$E = E^{\ominus} - \frac{0{,}059}{n} \log Q$$

Para a semirreação da semicela Cu^{2+}/Cu^0,

$$Cu^{2+}(aq) + 2e^- \rightarrow Cu(s),$$

a aplicação da equação de Nernst (25 °C) conduz a:

$$E = +0{,}340 - \frac{0{,}059}{2} \log \frac{1}{[Cu^{2+}]}$$

Essa expressão indica que, a cada mudança de 10 vezes em $[Cu^{2+}]$, o potencial será subtraído em $(0{,}059 \div 2)$ V, o que está de acordo com a tabela e o gráfico mostrados.

Podemos usar a equação de Nernst para calcular o ΔE de uma cela galvânica em condições não padrão. Para isso, empregamos a equação para cada semicela e, a seguir, determinamos a diferença entre os dois potenciais calculados. Considere, como exemplo, uma pilha de Daniell:

Para a semicela Cu^{2+}/Cu^0, a 25 °C, temos:

$$Cu^{2+}(aq) + 2e^- \rightarrow Cu(s),$$

$$E(Cu^{2+}/Cu^0) = +0{,}340 - \frac{0{,}059}{2} \log \frac{1}{[Cu^{2+}]},$$

e, para a semicela Zn^{2+}/Zn^0, a 25 °C, temos:

$$Zn^{2+}(aq) + 2e^- \rightarrow Zn(s),$$

$$E(Zn^{2+}/Zn^0) = -0{,}760 - \frac{0{,}059}{2} \log \frac{1}{[Zn^{2+}]},$$

Note que os dois valores de potencial correspondem a processos de redução e não necessariamente se referem às condições-padrão, já que estão expressos em função das concentrações dos íons.

Subtraindo a segunda equação da primeira:

$$E(Cu^{2+}/Cu^0) - E(Zn^{2+}/Zn^0) =$$

$$= +0{,}340 + 0{,}760 - \frac{0{,}059}{2} \log \frac{1}{[Cu^{2+}]} + \frac{0{,}059}{2} \log \frac{1}{[Zn^{2+}]}$$

Nessa expressão, o primeiro membro corresponde ao valor de ΔE nas condições de concentração em que a cela galvânica opera e as duas primeiras parcelas do segundo membro resultam em $+1{,}100$, que corresponde ao valor numérico de $\Delta E^{\ominus}$, uma vez que este é assim calculado:

$$\Delta E^{\ominus} = +0{,}340\,V - (-0{,}760\,V) = +0{,}340\,V + 0{,}760\,V$$

$$\Delta E^{\ominus} = +1{,}100\,V$$

Assim, a expressão anterior fornece:

$$\Delta E = \Delta E^{\ominus} - \frac{0{,}059}{2} \log \frac{[Zn^{2+}]}{[Cu^{2+}]}$$

ou:

$$\Delta E = +1{,}100 - \frac{0{,}059}{2} \log \frac{[Zn^{2+}]}{[Cu^{2+}]}$$

Concluímos, portanto, que o valor de ΔE é igual ao de $\Delta E^{\ominus}$ modificado pela segunda parcela do segundo membro.

Considerando, para exemplificação, que a pilha de Daniell opere com $[Cu^{2+}] = 0{,}02$ mol/L e $[Zn^{2+}] = 2{,}0$ mol/L, temos:

$$\Delta E = +1{,}100 - \frac{0{,}059}{2} \log (10^2) = +1{,}100 - 0{,}059$$

$$\Delta E = +1{,}041\,V$$

Esse resultado revela que a menor $[Cu^{2+}]$ e a maior $[Zn^{2+}]$ em relação às condições-padrão acarretam um ΔE menor do que o $\Delta E^{\ominus}$, que vale $+1{,}100$ V.

Outro cálculo possibilitado pela expressão:

$$\Delta E = \Delta E^{\ominus} - \frac{0{,}059}{2} \log \frac{[Zn^{2+}]}{[Cu^{2+}]}$$

é a determinação da relação entre as concentrações dos íons $Cu^{2+}(aq)$ e $Zn^{2+}(aq)$ no momento em que a cela galvânica não pode mais estabelecer corrente elétrica entre suas duas semicelas, ainda que estas sejam conectadas por um fio ideal de resistência elétrica nula. Isso ocorrerá quando a diferença de potencial elétrico entre as placas de cobre metálico e zinco metálico for nula. Assim, fazendo $\Delta E = 0$, chega-se a:

$$\frac{[Zn^{2+}]}{[Cu^{2+}]} = 10^{37{,}3} = 2 \cdot 10^{37}$$

A elevada ordem de grandeza desse resultado revela a grande espontaneidade da reação de oxirredução entre íons cobre(II) e zinco metálico, uma vez que a concentração dos íons zinco quando $\Delta E = 0$ é muito superior à concentração de íons cobre(II) remanescentes.

De fato, quando ΔE se torna nulo para uma pilha curto-circuitada por um fio condutor ideal, a reação atingiu a situação de equilíbrio químico. Assim, a relação numérica calculada anteriormente corresponde à constante de equilíbrio em função das concentrações (K_C):

$$Cu^{2+}(aq) + Zn(s) \rightleftharpoons Cu(s) + Zn^{2+}(aq)$$

$$K_C = \frac{[Zn^{2+}]_{eq.}}{[Cu^{2+}]_{eq.}} = 2 \cdot 10^{37}$$

Essa discussão possibilita ao docente perceber que o conhecimento da diferença de potencial-padrão permite determinar a constante de equilíbrio da reação de oxirredução e avaliar a tendência de reagentes se transformarem em produtos. Ademais, um $\Delta E^{\ominus}$ da ordem de $+1{,}100$ V é suficiente para conferir à reação um alto grau de espontaneidade, com grande favorecimento dos produtos em relação aos reagentes.

Mesmo um valor de $\Delta E^{\ominus}$ aparentemente pequeno de $+0{,}10$ V está associado a uma reação de oxirredução bastante espontânea, pois corresponde a $K_C = 2{,}5 \cdot 10^3$, a 25 °C. Esse valor de K_C pode ser determinado por repetição do tipo de cálculo que fizemos anteriormente, fazendo $\Delta E = 0$ e considerando que o argumento do logaritmo é K_C:

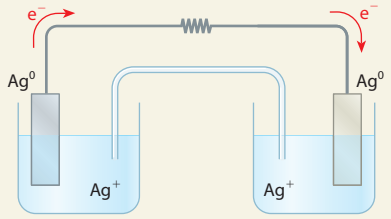
$$0 = \Delta E^{\ominus} - \frac{0{,}059}{2} \log K_C$$

Muitas reações bioquímicas de oxirredução espontâneas fundamentais para o metabolismo têm valores de ΔE positivos da ordem de décimos de volt (considerando $pH = 7$, a 25 °C), e esses valores são suficientes para garantir a espontaneidade necessária à sua ocorrência, como é o caso das sucessivas reações envolvidas na cadeia transportadora de elétrons (cadeia respiratória) mitocondrial.

MODELNA

Essa discussão mostra, em linhas gerais, a justificativa físico-química subjacente ao fato de $\Delta E^{\ominus} > 0$ estar associado a uma reação espontânea e $\Delta E^{\ominus} < 0$ estar associado a uma reação não espontânea. No Capítulo 7, o Livro do Estudante oferecerá uma noção qualitativa dessa conclusão, fundamentada na análise da força de oxidantes e redutores.

Voltando à dependência do potencial de semicela com a concentração, ainda como informação ao docente, a equação de Nernst permite compreender como funciona uma **pilha de concentração**, na qual as duas semicelas são do mesmo tipo, mas têm diferentes concentrações de íons. Um exemplo está esquematizado a seguir.



ADILSON SECCO

$[Ag^+] = 0{,}0010$ mol/L $\quad$ $[Ag^+] = 1{,}0$ mol/L

$Ag(s) \rightarrow Ag^+(aq) + e^-$ $\quad$ $Ag^+(aq) + e^- \rightarrow Ag(s)$

Esquematização de uma pilha de concentração com semicelas de Ag^+/Ag^0, que diferem na concentração de íons $Ag^+(aq)$. (Representação fora de proporção; cores meramente ilustrativas.)

Fonte: MAHAN, B. H.; MYERS, R. J. *University Chemistry*. 4. ed. Menlo Park: Benjamin Cummings, 1987.

A cela galvânica esquematizada é constituída de duas semicelas Ag^+/Ag^0, sendo uma delas com $[Ag^+] = 1{,}0$ mol/L e outra com $[Ag^+] = 0{,}0010$ mol/L. A primeira tem potencial igual ao potencial-padrão, $E^{\ominus}$. Já a segunda, apresenta potencial diferente de $E^{\ominus}$, como demonstramos pela equação de Nernst:

$$E(Ag^+/Ag^0) = E^{\ominus} - \frac{0{,}059}{1} \log \frac{1}{[Ag^+]}$$

$$E(Ag^+/Ag^0) = E^{\ominus} - \frac{0{,}059}{1} \log \frac{1}{10^{-3}}$$

$$E(Ag^+/Ag^0) = E^{\ominus} - 0{,}177$$

Isso indica que essa semicela em que a $[Ag^+]$ é menor apresenta valor de E **inferior** a $E^{\ominus}$, revelando que a tendência a ocorrer redução nessa semicela é menor do que na outra. Assim, haverá movimentação espontânea de elétrons pela parte metálica do circuito externa à pilha, da semicela com $[Ag^+] = 0{,}0010$ mol/L (**menor** potencial de redução), na qual acontecerá oxidação de Ag^0 a Ag^+, para a semicela com $[Ag^+] = 1{,}0$ mol/L (**maior** potencial de redução), em que ocorrerá redução de Ag^+ a Ag^0.

A diferença de potencial, nesse caso, deve-se à diferença de concentração dos íons $Ag^+(aq)$.

Até que momento esse tipo de pilha pode funcionar? A equação de Nernst fornece a resposta: até que a $[Ag^+]$ nas duas semicelas se iguale, o que fará com que o potencial de semicela tenha o mesmo valor em ambos os lados e, portanto, ΔE seja nulo. Em outras palavras, o funcionamento dessa cela galvânica cessa quando a relação entre as concentrações de Ag^+ nas duas semicelas for igual a 1.

De olho na BNCC

- **EM13CNT101**
- **EM13CNT107**
- **EM13CNT308**

Este item possibilita o desenvolvimento das seguintes habilidades da BNCC: **EM13CNT101**, pois permite analisar e representar as transformações em sistemas que envolvam quantidade de matéria e energia para realizar previsões sobre seus comportamentos; **EM13CNT107**, uma vez que estimula os estudantes a realizar previsões qualitativas e quantitativas sobre o funcionamento de pilhas e baterias, com base na análise dos processos de transformação e condução de energia envolvidos; e **EM13CNT308**, porque promove a análise do funcionamento de equipamentos elétricos (pilhas e baterias) e/ou eletrônicos e sistemas de automação para compreender as tecnologias contemporâneas.

Em destaque

As atividades sugeridas no *Em destaque*, recomendadas para desenvolvimento em grupos, requerem inicialmente a leitura e a interpretação do texto. Espera-se que os estudantes percebam duas vantagens das células a combustível que utilizam gás hidrogênio em relação às pilhas e baterias convencionais. Uma delas é que o produto formado, água, não é poluente. Outra diz respeito ao fato de os reagentes serem continuamente fornecidos a partir do meio externo à cela galvânica, o que possibilita seu funcionamento por longo período de tempo, desde que o suprimento seja mantido e o dispositivo esteja em condições adequadas de manutenção.

Ressalte que as células a combustível são dispositivos que, como qualquer cela galvânica, convertem energia química em energia elétrica, mas o fato de os reagentes não estarem contidos no interior do sistema oferece uma vantagem referente ao reabastecimento, tornando esse tipo de sistema promissor por exemplo para veículos automotores.

Durante a realização das atividades, espera-se que os estudantes cheguem a respostas como as descritas a seguir. Verifique como eles se saíram e, se necessário, auxilie-os na interpretação do texto (que pode ser lido em voz alta, cada trecho por um estudante, com pausas regulares para intervenção explicativa do docente, a fim de garantir o entendimento por todos) e também dos enunciados das atividades.

1. No caso da célula a combustível alcalina:

$$2H_2(g) + 4OH^-(aq) \rightarrow 4H_2O(l) + 4e^-$$
$$O_2(g) + 4e^- + 2H_2O(l) \rightarrow 4OH^-(aq) \quad (+)$$
$$2H_2(g) + O_2(g) \rightarrow 2H_2O(l)$$

No caso da célula a combustível ácida:

$$2H_2(g) \rightarrow 4H^+(aq) + 4e^-$$
$$O_2(g) + 4H^+(aq) + 4e^- \rightarrow 2H_2O(l) \quad (+)$$
$$2H_2(g) + O_2(g) \rightarrow 2H_2O(l)$$

Portanto, nos dois casos, a equação da reação global é a mesma. Aproveite para ressaltar a origem do nome **célula a combustível**: o processo global é estequiometricamente similar à reação de combustão do gás hidrogênio.

EM OBRA

2. A pilha **A** usa eletrólito ácido, pois ocorre a migração de íons oxônio (H_3O^+) através dele e a produção de água acontece no cátodo; enquanto a pilha **B** usa eletrólito alcalino, pois ocorre a migração de íons hidróxido (OH^-) através dele e a produção de água acontece no ânodo. Para ajudar os estudantes a perceber em qual eletrodo a água é produzida, aproveite as semirreações do item 1.

De olho na BNCC

- **EM13CNT106**
- **EM13CNT309**

As atividades sugeridas no *Em destaque* possibilitam o desenvolvimento das seguintes habilidades da BNCC: **EM13CNT106**, pois levam o estudante a avaliar, com ou sem o uso de dispositivos e aplicativos digitais, tecnologias e possíveis soluções para as demandas que envolvem a geração e o consumo de energia elétrica, considerando a disponibilidade de recursos, a eficiência energética, a relação custo/benefício, a produção de resíduos e os impactos socioambientais e culturais; e **EM13CNT309**, já que ajuda a analisar questões relativas à dependência do mundo atual em relação aos recursos não renováveis e discutir a necessidade de introdução de alternativas e novas tecnologias energéticas (por exemplo, o gás hidrogênio).

Atividade em grupo

Para o desenvolvimento dessa atividade, auxilie os estudantes a definir quais são os tipos de pilhas e baterias que serão pesquisados, por exemplo, pilha seca alcalina, acumulador ácido-chumbo e bateria de íons lítio. Oriente-os sobre a pesquisa em fontes confiáveis e ressalte que os vídeos serão usados para compartilhar informações com o público leigo, ou seja, que, em geral, não possui conhecimentos específicos a respeito das pilhas, baterias e suas tecnologias. Portanto, é importante que a linguagem utilizada seja simples e clara, com o objetivo de atingir o maior público possível.

Incentive os estudantes a incluir recursos visuais que tornem mais simples e didática a transmissão das informações, como ilustrações, animações, infografias, simuladores e trechos de vídeos, desde que tenham licença aberta de uso.

Instrua os estudantes na produção de um roteiro, com o objetivo de estruturar o conteúdo que será apresentado. Destaque que é importante que sejam incluídas no vídeo informações sobre locais onde é possível fazer o descarte correto de pilhas e baterias, incluindo a localidade da escola. Os vídeos produzidos pelos estudantes podem ser divulgados nas mídias sociais da instituição, para estimular a discussão em toda a comunidade escolar.

Na sequência, apresentamos ao docente algumas informações sobre tipos relevantes de dispositivos que podem ser incluídos na atividade.

A **pilha seca comum**, ou **pilha de Leclanché**, foi inventada pelo francês George Leclanché (1839-1882) por volta de 1865. Esse é um tipo de pilha não recarregável que foi largamente empregada em lanternas, brinquedos e rádios portáteis. Ficou conhecida como pilha "seca" porque o meio eletrolítico nela presente não é simplesmente uma solução, mas uma pasta úmida contendo íons dissolvidos.

Essa pasta úmida, que contém cloreto de amônio (NH_4Cl), cloreto de zinco ($ZnCl_2$) e água, encontra-se em um envoltório de zinco, que constitui o ânodo da pilha. No centro da pasta existe um bastão de grafite, ao redor do qual fica uma mistura de carvão em pó e dióxido de manganês, que atua como reagente no cátodo. Durante o funcionamento da pilha, a semirreação que ocorre no ânodo é assim equacionada:

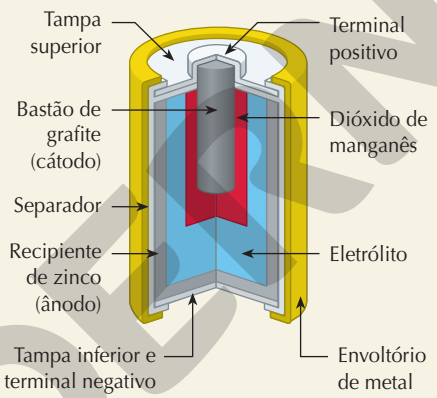
$$Zn(s) \rightarrow Zn^{2+}(aq) + 2e^-$$

E a equação da semirreação do cátodo é:

$$2\,MnO_2(s) + H_2O(l) + 2e^- \rightarrow Mn_2O_3(s) + 2\,OH^-(aq)$$

Essa semirreação catódica é imediatamente seguida de:

$$NH_4^+(aq) + OH^-(aq) \rightleftharpoons NH_3(aq) + H_2O(l)$$



ADILSON SECCO

Esquematização de uma pilha seca, em corte. (Representação fora de proporção; cores meramente ilustrativas.)

Fonte: CHANG, R.; GOLDSBY, K. A. *Chemistry*. 12. ed. Nova York: McGraw-Hill, 2016.

Os íons Zn^{2+} (provenientes da oxidação) passam para a pasta eletrolítica e elétrons movem-se, na parte metálica do circuito elétrico externa à pilha, do ânodo de zinco para o bastão de grafite (condutor elétrico) do cátodo, em cuja superfície o dióxido de manganês (MnO_2) é reduzido a Mn_2O_3.

Após tempo prolongado de uso de uma pilha, a alta concentração de amônia aquosa produzida ao redor do cátodo acarreta formação de bolhas de amônia gasosa que aderem ao bastão de grafite e atuam como uma camada isolante elétrica, acarretando drástica redução da tensão elétrica entre os terminais da pilha.

Em tese, a pilha cessará seu funcionamento quando o MnO_2 for totalmente consumido. Contudo, muito antes disso a queda da tensão elétrica inviabiliza sua utilização. Além disso, mesmo não estando totalmente descarregadas, as pilhas devem ser removidas dos aparelhos quando estes não forem usados durante períodos prolongados, pois seu eletrólito continua a corroer lentamente o recipiente e pode chegar a perfurá-lo. Se isso acontecer, haverá vazamento da pasta com eletrólito, que, além de tóxica, pode danificar o aparelho, corroendo suas partes metálicas.

MODERNA

A **pilha seca alcalina** é um aprimoramento da pilha de Leclanché. O ânodo consiste de zinco metálico em pó imobilizado em um gel, este em contato com uma solução concentrada de hidróxido de potássio, KOH. Durante o funcionamento da pilha, ocorre a oxidação do zinco. O cátodo consiste de uma mistura de $MnO_2(s)$ e grafite, separados do ânodo por um tecido poroso. Nele ocorre a redução do MnO_2. A equação da semirreação anódica é:

$$Zn(s) + 2\,OH^-(aq) \rightarrow Zn(OH)_2(aq) + 2\,e^-$$

A equação da semirreação catódica é:

$$2\,MnO_2(s) + 2\,H_2O(l) + 2\,e^- \rightarrow 2\,MnO(OH)(s) + 2\,OH^-(aq)$$

As reações anódica (oxidação do zinco metálico) e catódica (redução do MnO_2) são equiparáveis às da pilha de Leclanché. Uma diferença importante entre a pilha comum de Leclanché e a alcalina está na pasta entre os eletrodos. Há uma substituição de NH_4Cl e $ZnCl_2$ por KOH, daí o nome pilha alcalina. Essa cela galvânica é selada em uma lata de aço com vedação isolante adequada entre os terminais, com a intenção de evitar vazamento de KOH. Uma das vantagens dessa substituição é que não se forma a camada isolante de amônia gasosa ao redor do cátodo de grafite e, com isso, a tensão elétrica entre os terminais não diminui tão drasticamente.

A pilha alcalina fornece um desempenho superior ao das antigas pilhas secas. Sua vida média é de cinco a oito vezes maior porque o zinco não fica exposto ao meio ácido causado pela hidrólise dos íons $NH_4^+(aq)$ presentes na pilha comum. Isso atenua o problema de o eletrólito corroer lentamente o recipiente e perfurá-lo, causando vazamento da pasta eletrolítica. Esse tipo de pilha pode ser armazenado por mais tempo sem que aconteça autodescarga tão intensa como a que ocorre com as pilhas de Leclanché. A autodescarga é a reação entre oxidante e redutor diretamente dentro da pilha, que pode ocorrer quando ela não está em uso para gerar corrente elétrica.

O **acumulador de ácido-chumbo**, ou **acumulador de Planté**, é o princípio de funcionamento das baterias de 12 V usadas em automóveis. Estas consistem, de fato, na associação de seis pilhas ligadas em série, cada uma fornecendo aproximadamente 2 V. Sua invenção é atribuída ao francês Raymond Gaston Planté (1834-1889), em 1859.

O ânodo dessa bateria (polo negativo) é constituído de um grupo de placas de chumbo metálico, Pb, e o cátodo, de uma série de placas de óxido de chumbo(IV), PbO_2, imersas em solução aquosa de ácido sulfúrico, $H_2SO_4(aq)$. A equação da semirreação anódica é:

$$Pb(s) + SO_4^{2-}(aq) \rightarrow PbSO_4(s) + 2\,e^-$$

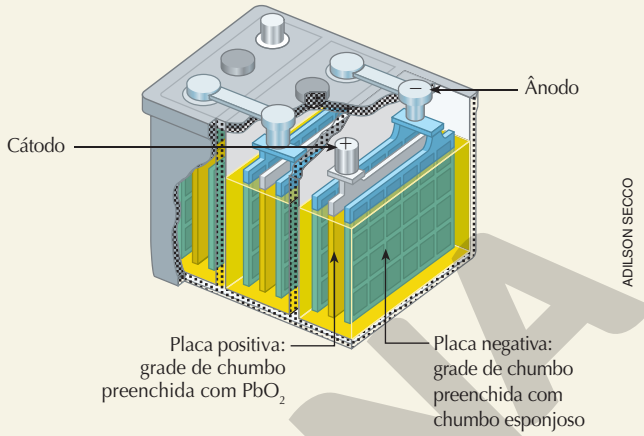
A equação da semirreação catódica é:

$$PbO_2(s) + 4\,H^+(aq) + SO_4^{2-}(aq) + 2e^- \rightarrow PbSO_4(s) + 2\,H_2O(l)$$

A equação da reação global é:

$$Pb(s) + PbO_2(s) + 4\,H^+(aq) + 2\,SO_4^{2-}(aq) \rightarrow$$
$$\rightarrow 2\,PbSO_4(s) + 2\,H_2O(l)$$

Como os reagentes Pb e PbO_2 são sólidos e como o meio eletrolítico é comum a ambos, não é necessário separar a bateria em compartimentos de ânodo e cátodo. Para que as placas de polaridade diferente não se toquem, espaçadores de plástico são colocados entre elas.



ADILSON SECCO

Esquematização de bateria automotiva de ácido-chumbo de 12 V, em corte. Cada par ânodo/cátodo de eletrodos tem força eletromotriz de aproximadamente 2 V. Seis pares de eletrodos estão conectados em série, produzindo a força eletromotriz total da bateria. (Representação fora de proporção; cores meramente ilustrativas.)

Fonte: MOORE, J. W.; STANITSKI; C. L. *Chemistry: the molecular science*. 5. ed. Stamford: Cengage, 2015.

Durante o funcionamento do dispositivo para estabelecer corrente elétrica em um circuito, sulfato de chumbo(II) sólido, $PbSO_4(s)$, acumula-se nas placas e, simultaneamente, a solução de ácido sulfúrico (o eletrólito) fica menos concentrada, já que ele é reagente na reação global.

Uma vantagem da bateria de ácido-chumbo em relação à pilha seca é ser recarregável. Durante a recarga, um gerador externo de corrente contínua de força eletromotriz superior a 12 V é conectado aos terminais da bateria de modo a inverter o sentido da corrente elétrica dentro do dispositivo em relação àquele que existe durante a descarga.

Em um automóvel, o gerador utilizado para provocar a recarga é denominado alternador, dispositivo que converte energia cinética do motor em energia elétrica. A recarga é possível, entre outros fatores, porque o $PbSO_4(s)$ produzido durante a descarga permanece aderido às placas. Assim, durante a recarga, $PbSO_4$ é convertido em Pb em um eletrodo e em PbO_2 no outro. Então, uma bateria de ácido-chumbo pode ser recarregada passando-se por ela uma corrente contínua em direção adequada, o que força a reação a acontecer no sentido inverso ao da descarga. A equação química da recarga é:

$$2\,PbSO_4(s) + 2\,H_2O(l) \rightarrow$$
$$\rightarrow Pb(s) + PbO_2(s) + 4\,H^+(aq) + 2\,SO_4^{2-}(aq)$$

Após a recarga, uma bateria está em condições de produzir corrente elétrica novamente.

As baterias automotivas mais antigas apresentavam internamente ligas que incluíam metais como chumbo e antimônio. Tais ligas apresentavam o inconveniente de

MODERNA

provocar uma perda de água significativa (por evaporação), em decorrência do aquecimento exagerado da bateria durante seu funcionamento (alta resistência interna). Nas baterias automotivas mais recentes, denominadas *seladas*, novas ligas internas constituídas pelos metais chumbo, prata e cálcio apresentam menor resistência elétrica e a vantagem de reduzir a perda de água. Isso faz com que não seja necessária a reposição de água nesse tipo de bateria como acontecia antigamente.

Qualquer bateria de automóvel pode produzir gases quando está sendo utilizada ou recarregada (neste último caso, por exemplo, devido à eletrólise da água). As baterias seladas têm um orifício por onde esses gases podem escapar. Se os gases fossem retidos na bateria, o aumento de pressão interna poderia fazê-la explodir. O termo *selada* é, portanto, utilizado de forma exagerada, uma vez que nenhuma bateria de automóvel é completamente vedada, já que apresenta orifício para equalização da pressão interna com a externa.

Outro tipo de bateria recarregável, a de **níquel-cádmio**, ou **nicad**, foi largamente empregada, mas se encontra em processo de banimento por ser o **cádmio** um metal **extremamente tóxico** ao ser humano e a outros seres vivos e que pode contaminar o ambiente caso o produto não seja reciclado. Nessas baterias de concepção superada, o ânodo é constituído de cádmio metálico e o cátodo, do composto NiO(OH) (s). A equação da semirreação anódica é:

$$Cd\,(s) + 2\,OH^-(aq) \rightarrow Cd(OH)_2\,(s) + 2\,e^-$$

A equação da semirreação catódica é:

$$2\,NiO(OH)\,(s) + 2\,H_2O\,(l) + 2\,e^- \rightarrow 2\,Ni(OH)_2\,(s) + 2\,OH^-(aq)$$

Similarmente à bateria de ácido-chumbo, os produtos sólidos da reação aderem aos eletrodos, o que favorece a reversão das semirreações na recarga.

As baterias de níquel-cádmio foram muito empregadas em aparelhos eletrônicos como telefones sem fio, câmeras de vídeo, barbeadores sem fio, ferramentas portáteis e antigos telefones celulares. Atualmente, são substituídas, com vantagem, por outros modelos mais avançados e com menor risco ambiental. Baterias desse tipo eventualmente ainda em poder das pessoas devem ser encaminhadas para postos adequados de coleta.

As **baterias de hidreto metálico** sucederam as de níquel-cádmio em algumas aplicações. Nelas, o ânodo é constituído de uma placa metálica contendo hidreto de um elemento metálico apropriado (representado por M na equação a seguir). A semirreação anódica envolve a oxidação do hidrogênio, que passa de número de oxidação -1, no hidreto, a número de oxidação $+1$, na água. Simplificadamente, pode ser assim equacionada:

$$MH\,(s) + OH^-(aq) \rightarrow M\,(s) + H_2O\,(l) + e^-$$

A semirreação catódica é a mesma das baterias de níquel-cádmio, que envolve a redução do elemento níquel. O desempenho das baterias de hidreto metálico é superior ao das baterias de níquel-cádmio, com a vantagem de não envolverem risco ambiental tão acentuado.

Muitos dos dispositivos eletrônicos portáteis (como celulares, filmadoras, *notebooks* e *tablets*) fabricados atualmente empregam **baterias de íons lítio**, que são recarregáveis e apresentam alta capacidade de armazenamento de energia. Seu funcionamento está relacionado ao conceito de **composto de intercalação**, aquele no qual interstícios da estrutura cristalina de um sólido são ocupados por íons ou por moléculas, sem que haja alteração da estrutura cristalina do sólido. Metais alcalinos, por exemplo, reagem com grafite para formar compostos de intercalação. Cada átomo do metal transfere um elétron para a grafite e, como cátion monovalente, insere-se entre as camadas do cristal de grafite. O elétron recebido pela grafite fica deslocalizado em sua nuvem eletrônica.

Nas baterias de íon lítio, um dos eletrodos é de grafite e o outro é geralmente de óxido de lítio e cobalto(III), $LiCoO_2$. O meio eletrolítico é uma mistura de substâncias orgânicas, de consistência pastosa, que contém íons Li^+.

Durante a **carga** da bateria, o eletrodo de $LiCoO_2$ é conectado ao polo positivo de um gerador externo de corrente contínua e emite elétrons para ele. Simultaneamente, íons lítio deixam esse eletrodo e passam para o meio eletrolítico. A equação da semirreação de carga é seguinte, na qual $0 < x < 1$:

$$LiCoO_2\,(s) \rightarrow Li_{1-x}CoO_2\,(s) + x\,Li^+(solução) + x\,e^-$$

Nessa semirreação, de cada 1 mol de $LiCoO_2$ presente no eletrodo, $(1-x)$ mol ficou sem reagir e x mol reagiu para formar x mol de CoO_2.

O cobalto se oxida de $+3$ a $+4$ e o número de oxidação do lítio não se altera nesse eletrodo. Como a representação $Li_{1-x}CoO_2$ equivale a $(1-x)\,LiCoO_2 \cdot x\,CoO_2$, podemos, com finalidade didática, reescrever a equação assim:

$$LiCoO_2\,(s) \rightarrow (1-x)\,LiCoO_2 \cdot x\,CoO_2 + x\,Li^+(solução) + x\,e^-$$

Os íons lítio dissolvidos na pasta eletrolítica migram para o outro eletrodo e, nele, inserem-se entre as camadas da grafite. Para cada íon Li^+ inserido, um elétron é recebido do polo negativo do gerador externo. Assim, produz-se, nesse eletrodo, um composto de intercalação de lítio em grafite:

$$C\,(graf.) + x\,Li^+\,(solução) + x\,e^- \rightarrow Li_xC\,(s)$$

Essa equação indica que x mol de lítio foi intercalado em 1 mol de carbono grafite, com o simultâneo recebimento de x mol de elétrons da fonte carregadora. Assim, do ponto de vista formal, é como se o Li^+ se reduzisse a Li^0. Contudo, esse lítio participa do composto de intercalação, no qual o elétron recebido está deslocalizado na grafite e o lítio permanece como cátion.

Na **descarga**, quando a bateria é utilizada, as semirreações se invertem e a equação global é:

$$Li_{1-x}CoO_2\,(s) + Li_xC\,(s) \rightarrow LiCoO_2\,(s) + C\,(graf.)$$

MODERNA

O uso do lítio em baterias propiciou um considerável avanço na tecnologia eletroquímica. Sua baixa massa molar permite armazenar grande quantidade de energia por unidade de massa. As baterias de íons lítio suportam grande número de ciclos de carga e recarga e não apresentam efeito memória (ou seja, não é preciso descarregá-las totalmente antes da recarga, como acontecia, por exemplo, com as antigas baterias de níquel-cádmio). Elas têm como inconveniente o fato de o material orgânico presente no interior ser combustível, o que aumenta o risco de incêndio e explosão em caso de superaquecimento.

CORTESIA KONGSBERG MARITIME

Veículo submarino autônomo movido a baterias recarregáveis de íons lítio. Um submarino-robô do mesmo modelo do mostrado nessa foto possibilitou, em abril de 2011, a localização dos destroços do voo da rota Rio de Janeiro-Paris no fundo do Oceano Atlântico. (Comprimento: 3,96 m. Diâmetro: 71 cm.)

Para finalizar este apanhado, vamos falar sobre a pilha usada em marca-passos cardíacos. No coração, existe o chamado nó sinusal, ou nodo sinoatrial, responsável pelo ritmo cardíaco natural por meio de impulsos elétricos periódicos que produz. Quando ocorre falha desse mecanismo, torna-se necessária cirurgia para implante de um marca-passo no tórax do paciente. O aparelho contém um sistema eletrônico que gera impulsos elétricos ritmados e funciona alimentado por pilha elétrica. Através de um fio, que passa por dentro de uma veia e chega até o coração, o marca-passo transmite impulsos elétricos periódicos que regularizam os batimentos cardíacos.

As pilhas utilizadas em marca-passos cardíacos precisam ter durabilidade relativamente longa, alta confiabilidade e não podem produzir gases durante seu funcionamento (para que possam ser hermeticamente fechadas). Nesse tipo de equipamento são empregadas **pilhas de lítio-iodo**, que apresentam as características mencionadas, com tempo de vida da ordem de 7 a 8 anos e que têm massa inferior a 30 g.

A equação da semirreação anódica é:

$$2\,Li \rightarrow 2\,Li^{+} + 2\,e^{-}$$

A equação da semirreação anódica é:

$$2\,Li^{+} + I_2 + 2\,e^{-} \rightarrow 2\,LiI$$

De olho na BNCC

- **EM13CNT104**
- **EM13CNT203**
- **EM13CNT206**
- **EM13CNT302**
- **EM13CNT303**
- **EM13CNT306**
- **EM13CNT307**
- **Competência geral 4**
- **Competência geral 5**

A *Atividade em grupo* possibilita o desenvolvimento das seguintes habilidades da BNCC: **EM13CNT104**, pois leva os estudantes a 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; **EM13CNT203**, porque requer 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); **EM13CNT206**, pois engloba avaliar os efeitos da ação humana e das políticas ambientais para a garantia da sustentabilidade do planeta; **EM13CNT302**, uma vez que envolve 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**, já que se refere a 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; **EM13CNT306**, ao solicitar a avaliação de riscos envolvidos em atividades cotidianas (uso de pilhas e baterias e seu descarte), aplicando conhecimentos das Ciências da Natureza, para justificar 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; e **EM13CNT307**, por estimular a análise das propriedades dos materiais para avaliar a adequação de seu uso em diferentes aplicações (cotidianas ou tecnológicas) e/ou propor soluções seguras e sustentáveis considerando seu contexto local e cotidiano. Também possibilita o desenvolvimento da **Competência geral 4**, pois envolve utilizar diferentes linguagens – verbal, visual, sonora e digital –, bem como conhecimentos das linguagens artística, matemática e científica, para se expressar e partilhar informações, e da **Competência geral 5**, uma vez que requer compreender e utilizar tecnologias digitais de informação e comunicação de forma crítica, significativa, reflexiva e ética para disseminar informações.

Aplicando conhecimentos

3 A força eletromotriz da pilha é dada por:

$$\Delta E^{\circ} = E^{\circ}_{\text{cátodo}} - E^{\circ}_{\text{ânodo}}$$

$$\Delta E^{\circ} = +0{,}80\ V - (-0{,}76\ V) = +1{,}56\ V$$

4 **a)** A semicela de zinco (Zn^{2+}/Zn^{0}).

b) A placa de prata metálica.

c) O zinco metálico, Zn(s), será oxidado e os íons prata, $Ag^{+}(aq)$, serão reduzidos.

d) Semirreação anódica: $Zn(s) \rightarrow Zn^{2+}(aq) + 2\,e^{-}$

Semirreação catódica: $Ag^{+}(aq) + e^{-} \rightarrow Ag(s)$

MANUAL DO PROFESSOR

e) Somando a semirreação de oxidação com a de redução multiplicada por 2, chegamos a:

$$Zn(s) \rightarrow Zn^{2+}(aq) + 2e^-$$
$$2\,Ag^+(aq) + 2e^- \rightarrow 2\,Ag(s)$$
$$Zn(s) + 2\,Ag^+(aq) \rightarrow Zn^{2+}(aq) + 2\,Ag(s) \quad (+)$$

f) O sentido de movimentação dos elétrons é da placa de zinco metálico para a de prata metálica.

g) Ânions migrarão da semicela de prata para a de zinco e cátions, da semicela de zinco para a de prata.

5 A representação correta é a do estudante 1, pois indica corretamente a oxidação do alumínio metálico (menor $E^\ominus$) e a redução dos íons cobre(II) (maior $E^\ominus$):

$$2\,Al(s) \rightarrow 2\,Al^{3+}(aq) + 6\,e^-$$
$$3\,Cu^{2+}(aq) + 6e^- \rightarrow 3\,Cu(s)$$
$$2\,Al(s) + 3\,Cu^{2+}(aq) \rightarrow 2\,Al^{3+}(aq) + 3\,Cu(s) \quad (+)$$

Note que é necessário multiplicar a semirreação de oxidação por 2 e a semirreação de redução por 3 para igualar o número de elétrons.

6 $\Delta E^\ominus = E^\ominus_{cátodo} - E^\ominus_{ânodo}$

$\Delta E^\ominus = -0{,}13\,V - (-1{,}66\,V) = +1{,}53\,V$

7 **a)** Os estudantes podem citar: zinco metálico, Zn(s), dióxido de manganês, $MnO_2(s)$, ou água, $H_2O(l)$.

b) A semirreação II, pois é de redução.

c) A semirreação I, pois se trata de uma oxidação.

8 **a)** A segunda semirreação (maior $E^\ominus$) ocorre no sentido mostrado (redução) e a primeira (menor $E^\ominus$), no sentido inverso ao mostrado (oxidação):

$$Pb(s) + SO_4^{2-}(aq) \rightarrow PbSO_4(s) + 2e^-$$
$$PbO_2(s) + 4H^+(aq) + SO_4^{2-}(aq) + 2\,e^- \rightarrow PbSO_4(s) + 2H_2O(l)$$
$$Pb(s) + PbO_2(s) + 4\,H^+(aq) + 2\,SO_4^{2-}(aq) \rightarrow 2\,PbSO_4(s) + 2H_2O(l) \quad (+)$$

b) Os estudantes podem citar: chumbo metálico, Pb(s), óxido de chumbo(IV), $PbO_2(s)$, ou ácido sulfúrico, $H_2SO_4(aq)$, pois íons $H^+(aq)$ e $SO_4^{2-}(aq)$ (na proporção 2 : 1) são reagentes.

c) $\Delta E^\ominus_{total} = 6 \cdot [E^\ominus_{cátodo} - E^\ominus_{ânodo}]$

$\Delta E^\ominus_{total} = 6 \cdot [+1{,}69\,V - (-0{,}36\,V)] = +12{,}3\,V$

CAPÍTULO 7 Oxidantes e redutores

Metas do capítulo

- Identificar se uma equação química representativa de semirreação corresponde a oxidação ou redução.
- Equacionar semirreações de oxidação ou redução, sendo conhecidas a espécie química reduzida e a oxidada.
- Elaborar a equação que representa uma reação global de oxirredução a partir das equações das semirreações.
- Identificar agente redutor e agente oxidante em uma reação de oxirredução.
- Compreender o conceito de número de oxidação e determinar seus valores para átomos de um elemento químico em uma dada espécie química.
- Saber conceituar oxidação e redução e identificar qual espécie química se reduz e qual espécie se oxida em uma reação de oxirredução. (Esta meta é trabalhada com maior amplitude que no capítulo anterior, empregando agora o conceito de número de oxidação).
- Avaliar a força de agentes oxidantes e de agentes redutores por meio de valores de potencial-padrão.
- Compreender o processo de corrosão de um metal e seus impactos.
- Reconhecer a utilidade de técnicas como a galvanização e a proteção catódica na prevenção da corrosão metálica.

Sugestões didáticas e comentários

Considerando os conteúdos que serão abordados neste capítulo, sugerimos que ele seja trabalhado pelo professor com formação em Química.

Na abertura do capítulo, é comentada a ocorrência de reações de transferência de elétrons em alguns processos metabólicos de seres vivos. Nesse contexto, são mencionadas as bactérias nitrificantes, cujo metabolismo permite obter energia por meio de reações envolvendo compostos nitrogenados. O produto final dessas reações, o íon nitrato, fica disponível para a absorção pelas plantas, atuando como nutriente.

Explique o papel das bactérias nitrificantes, mencionando que algumas delas transformam cátion amônio (NH_4^+) em ânion nitrito (NO_2^-) — e, ao mesmo tempo, gás oxigênio em água — e que outras convertem ânion nitrito em ânion nitrato (NO_3^-) — e, simultaneamente, gás oxigênio em água. Comente que a produção de nitrito e nitrato por esses microrganismos acontece por meio de reações envolvendo transferência de elétrons entre espécies químicas (se necessário, retome que a expressão *espécie química* é usada para designar genericamente átomo, molécula ou íon).

Leia com os estudantes as perguntas apresentadas no final do texto de abertura, estimule-os a criar hipóteses para responder esses questionamentos e registre as respostas. Após a abordagem do Item 1, retome essas perguntas para que eles possam verificar suas respostas iniciais, fazendo os ajustes eventualmente necessários.

1. Equacionamento de semirreações

Caso considere necessário, inicie a abordagem pedindo aos estudantes que definam os fenômenos de oxidação e redução. A partir das respostas fornecidas, verifique se será preciso retomar essas definições, que são fundamentais para

MODERNA

o desenvolvimento deste item. Espera-se que os estudantes, em função do que estudaram no Capítulo 6, conceituem oxidação como perda de elétron(s) e redução como recebimento de elétron(s) por uma espécie química. Até este momento, é natural que eles não associem esses processos à variação de número de oxidação, uma vez que esse conceito somente será introduzido ao longo deste Capítulo 7.

Detalhe a elaboração da equação que representa a semirreação de transformação do íon amônio (NH_4^+) em íon nitrito (NO_2^-). Sugerimos que escreva as fórmulas químicas na lousa e faça uma explicação passo a passo como a descrita no Livro do Estudante. Ao abordar este conteúdo, é importante demonstrar como é feito o balanceamento a partir dos coeficientes estequiométricos e que os reagentes e os produtos devem apresentar a mesma carga elétrica total. Aplique igual procedimento para a transformação de íon nitrito (NO_2^-) em íon nitrato (NO_3^-), obtendo a equação dessa semirreação, conforme também detalhado no Livro do Estudante. Saliente que as duas equações obtidas representam semirreações de oxidação, já que os elétrons figuram no segundo membro.

Em seguida, elabore juntamente com os estudantes a semirreação de redução de gás oxigênio (O_2) a água (H_2O). No passo inicial, ao escrever $O_2 \rightarrow H_2O$, pergunte se essa representação está adequadamente balanceada. A ideia é que os estudantes percebam que o elemento químico hidrogênio está presente apenas no produto e que o número de átomos de oxigênio é diferente nos dois membros. Realize as etapas descritas no Livro do Estudante, primeiramente balanceando o elemento químico oxigênio por colocação do coeficiente estequiométrico 2 na frente da fórmula da água, a seguir balanceando o elemento químico hidrogênio por adição de $4\,H^+$ no primeiro membro e, finalmente, acrescentando $4\,e^-$ também no lado dos reagentes para igualar a carga elétrica total dos dois lados. Saliente se tratar de uma redução, haja vista que os elétrons estão no primeiro membro da equação.

Usando a equação obtida e também a primeira elaborada anteriormente (transformação de NH_4^+ em NO_2^-), mostre na lousa como obter a equação global do primeiro dos dois processos comentados na abertura do capítulo. Esse procedimento está detalhado no final do Item 1, no Livro do Estudante. Durante essa elaboração, mantenha diálogo com os estudantes para que eles possam propor os passos para a obtenção da equação global:

$$2\,NH_4^+ + 3\,O_2 \rightarrow 2\,NO_2^- + 4\,H^+ + 2\,H_2O$$

É importante que o educador perceba que, neste estágio, espera-se que os estudantes reconheçam que NH_4^+ é oxidado a NO_2^- e que O_2 é reduzido a H_2O, mas que eles ainda não são capazes de reconhecer que o elemento químico nitrogênio se oxidou e que o elemento químico oxigênio se reduziu. Essa habilidade será desenvolvida no Item 4 deste capítulo.

Dialogando com o texto

Este Item 1 inclui três atividades em boxes laterais do tipo *Dialogando com o texto*, comentadas individualmente. A primeira delas trata do uso da representação H^+, destacando que esse íon não existe isoladamente em meio aquoso, mas sim ligado a uma molécula de água (H_2O), originando íon oxônio (H_3O^+). No entanto, por ser a representação H^+ largamente utilizada no equacionamento de semirreações, é necessário que os estudantes tomem contato com ela, possibilitando o entendimento de textos, tabelas e outras formas de apresentação de dados em eletroquímica. Assim, ao mesmo tempo em que você deve explicar que a representação H^+ é facilitadora da apresentação de dados, deve ressaltar também que se trata de uma simplificação para a representação do H_3O^+.

Dialogando com o texto

O segundo *Dialogando com o texto* resume as maneiras usadas para indicar a fase de uma espécie química (sólida, líquida, gasosa, aquosa) em uma equação e ressalta que, como o foco dos equacionamentos realizados neste capítulo está na representação dos processos de oxidação e redução, não há indicação das fases na maioria das equações apresentadas, a fim de não complicar desnecessariamente as equações. Contudo, convide os estudantes a analisar as quatro equações mostradas no boxe, a título de exemplo, nas quais a fase de cada espécie química está indicada.

Dialogando com o texto

No terceiro *Dialogando com o texto*, os estudantes utilizarão as ideias aprendidas para elaborar a equação global da outra reação mencionada na abertura do capítulo, que ocorre no metabolismo de algumas bactérias nitrificantes e transforma nitrito (NO_2^-) em nitrato (NO_3^-) e, simultaneamente, gás oxigênio (O_2) em água (H_2O).

Multiplicando as equações das semirreações apresentadas no Item 1 do Livro do Estudante por números convenientes, a fim de igualar o número de elétrons perdidos ao número de elétrons recebidos, temos:

$$2 \times [NO_2^- + H_2O \rightarrow NO_3^- + 2H^+ + 2e^-]$$
$$1 \times [O_2 + 4H^+ + 4e^- \rightarrow 2H_2O]$$

Somando essas equações, temos:

$$2\,NO_2^- + 2\,H_2O \rightarrow 2\,NO_3^- + 4\,H^+ + 4e^-$$
$$O_2 + 4\,H^+ + 4e^- \rightarrow 2\,H_2O$$
$$\overline{\qquad\qquad\qquad\qquad\qquad\qquad\qquad\qquad\qquad\qquad\qquad\qquad (+)}$$
$$2\,NO_2^- + O_2 \rightarrow 2\,NO_3^-$$

Aqui existe um ponto muito interessante que é oportuno comentar com os estudantes: embora o gás oxigênio (O_2) seja reduzido a água, a fórmula H_2O não aparece no segundo membro da equação da reação global. Por quê?

A resposta pode ser percebida pelas equações das semirreações. A quantidade de água produzida na semirreação de redução é igual à que reage na semirreação de oxidação e, assim, estritamente sob o ponto de vista estequiométrico global, não há formação ou consumo efetivo de água.

Tudo se passa como se a água produzida na redução fosse consumida na oxidação, o que não significa que, nas complexas etapas do processo metabólico, seja realmente isso que ocorre. Ressalte que **a equação da reação global revela apenas o balanço estequiométrico de matéria** no cômputo geral. O fato de não haver água nos produtos significa que não existe produção **efetiva** de água, mas nada afirma sobre as etapas por meio das quais a reação global se processa.

EM MODERNA

De olho na BNCC

- **EM13CNT101**
- **EM13CNT205**

Este item e as atividades do *Dialogando com o texto* possibilitam o desenvolvimento das seguintes habilidades da BNCC: **EM13CNT101**, pois levam os estudantes a 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 para realizar previsões sobre seus comportamentos em situações cotidianas e em processos produtivos; e **EM13CNT205**, porque estimulam a interpretação de resultados e a realização de previsões sobre fenômenos naturais e processos tecnológicos.

2. Agente oxidante e agente redutor

Com base neste item, auxilie os alunos a identificar um agente oxidante (ou, concisamente, oxidante) e um agente redutor (ou, simplesmente, redutor). Explique que oxidante é a espécie química que recebe elétrons e que, por isso, acarreta a oxidação de outra espécie (aquela que perde elétrons) e que redutor é a espécie química que perde elétrons e, assim, provoca a redução da outra espécie (para a qual elétrons são transferidos).

Chame a atenção dos estudantes para o fato de que, segundo essas conceituações, oxidante é a espécie química que é reduzida em uma oxirredução e redutor é a espécie química que é oxidada. Destaque, nesse contexto, a importância de se aplicar aquilo que foi discutido no Item 1, pois a elaboração das semirreações possibilita perceber qual espécie química se oxida (a que perde elétrons e atua como redutor) e qual se reduz (aquela que recebe elétrons e age como oxidante).

Ao docente, destacamos que a utilização do conceito de número de oxidação para identificar oxidantes e redutores será explicada no Item 4. Por ora, os estudantes precisam ser capazes de associar as designações oxidante e redutor, respectivamente, ao fato de a espécie química se reduzir ou se oxidar.

É importante trabalhar essas definições com exemplos de equações químicas de semirreações e da respectiva equação da reação global, conforme é feito no Livro do Estudante, a fim de que adquiram significado. Ao analisar equações, os estudantes serão capazes de perceber que elétrons são transferidos entre diferentes espécies químicas e identificar o agente redutor e o agente oxidante do processo.

Caso tenha tempo disponível e julgue oportuno, sugerimos propor uma atividade de pesquisa na qual os estudantes deverão investigar o que são **antioxidantes**, sua importância para o corpo humano e em quais alimentos eles podem ser encontrados. Entre as possíveis fontes de pesquisa, sugerimos o artigo: OLIVEIRA A. C. *et al*. Fontes vegetais naturais de antioxidantes. *Química nova*, v. 32, n. 3, p. 689-702, 2009. Ele está disponível em: <https://www.scielo.br/pdf/qn/v32n3/a13v32n3.pdf>. Acesso em: 28 ago. 2020. Como provavelmente os estudantes já ouviram o termo *antioxidante* em algum contexto do seu dia a dia ou em meios de comunicação, essa atividade pode despertar seu interesse e curiosidade. Procure auxiliá-los durante a pesquisa, ressaltando a importância de se utilizar fontes confiáveis.

Atividade em grupo

Nesta atividade, os estudantes devem obter a equação química da respiração celular aeróbica, considerando a semirreação de oxidação de glicose a dióxido de carbono e a de redução de gás oxigênio a água. As semirreações são:

$$C_6H_{12}O_6 + 6H_2O \rightarrow 6CO_2 + 24H^+ + 24e^-$$
$$O_2 + 4H^+ + 4e^- \rightarrow 2H_2O$$

Multiplicando a segunda por 6 e somando-as, temos:

$$C_6H_{12}O_6 + 6H_2O \rightarrow 6CO_2 + 24H^+ + 24e^-$$
$$6O_2 + 24H^+ + 24e^- \rightarrow 12H_2O \quad (+)$$
$$C_6H_{12}O_6 + 6O_2 \rightarrow 6CO_2 + 6H_2O$$

Para a elaboração dos cartazes solicitados, instrua os estudantes a inserir informações que remetam ao raciocínio que eles seguiram para chegar ao resultado. Para representar esse raciocínio de forma esquemática no cartaz, eles precisarão sintetizar e organizar o trabalho feito, o que pode favorecer a compreensão dos conceitos. Os cartazes podem ser apresentados para os demais estudantes, a fim de estimular uma discussão sobre o raciocínio lógico que cada um deles utilizou para chegar às conclusões apresentadas.

No caso da opção por cartazes digitais, as produções podem ser compartilhadas nas mídias sociais da escola a fim de que todos possam ver o resultado das outras equipes. Nesse caso, pode haver uma roda de discussão posterior, em sala de aula, para que cada equipe esclareça que aplicativos utilizou, comentando sobre suas vantagens e limitações. Isso aumentará o repertório dos estudantes sobre o uso de programas para composição de textos, equações e imagens.

De olho na BNCC

- **EM13CNT101**
- **EM13CNT205**

Este item e a *Atividade em grupo* possibilitam o desenvolvimento das seguintes habilidades da BNCC: **EM13CNT101**, pois levam os estudantes a 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 para realizar previsões sobre seus comportamentos em situações cotidianas e em processos produtivos; e **EM13CNT205**, pois permitem que os estudantes interpretem resultados e realizem previsões sobre fenômenos naturais e processos tecnológicos, reconhecendo os limites explicativos das ciências.

Aplicando conhecimentos

1 a) Espera-se que os estudantes cheguem à semirreação de oxidação por meio de uma abordagem estruturada apresentada em etapas. Eles devem apenas apresentar a equação final obtida. As etapas são apresentadas a seguir apenas para conhecimento do docente.

$$Fe^{2+} \rightarrow Fe(OH)_3$$
$$Fe^{2+} + 3H_2O \rightarrow Fe(OH)_3$$
$$Fe^{2+} + 3H_2O \rightarrow Fe(OH)_3 + 3H^+$$
$$Fe^{2+} + 3H_2O \rightarrow Fe(OH)_3 + 3H^+ + e^-$$

EM MODERNA

Analogamente, no caso da semirreação de redução:

$$O_2 \rightarrow H_2O$$
$$O_2 \rightarrow 2H_2O$$
$$O_2 + 4H^+ \rightarrow 2H_2O$$
$$O_2 + 4H^+ + 4e^- \rightarrow 2H_2O$$

b) Para igualar o número de elétrons, é necessário multiplicar a semirreação de oxidação por 4. Fazendo isso e somando as duas, chega-se a:

$$4Fe^{2+} + 12H_2O \rightarrow 4Fe(OH)_3 + 12H^+ + 4e^-$$
$$O_2 + 4H^+ + 4e^- \rightarrow 2H_2O$$
$$\overline{4Fe^{2+} + O_2 + 10H_2O \rightarrow 4Fe(OH)_3 + 8H^+} \quad (+)$$

c) O oxidante é o gás oxigênio, O_2, pois, ao ser reduzido a H_2O, provoca a oxidação de Fe^{2+} a $Fe(OH)_3$.

2 **a)** A primeira semirreação apresentada é de oxidação, pois corresponde à perda de elétrons, representados no segundo membro da equação. A segunda semirreação é de redução, pois mostra recebimento de elétrons, já que estes estão representados no primeiro membro da equação.

b) Para igualar o número de elétrons perdidos e recebidos, multiplicamos a segunda equação por 3:

$$1 \times [C_6H_{12}O_6 + 6H_2O \rightarrow 6CO_2 + 24H^+ + 24e^-]$$
$$3 \times [SO_4^{2-} + 10H^+ + 8e^- \rightarrow H_2S + 4H_2O]$$

Efetuando a multiplicação e somando as duas, chegamos a:

$$C_6H_{12}O_6 + 6H_2O \rightarrow 6CO_2 + 24H^+ + 24e^-$$
$$3SO_4^{2-} + 30H^+ + 24e^- \rightarrow 3H_2S + 12H_2O$$
$$\overline{C_6H_{12}O_6 + 3SO_4^{2-} + 6H^+ \rightarrow 6CO_2 + 3H_2S + 6H_2O} \quad (+)$$

c) A espécie química que se reduz, o sulfato (SO_4^{2-}), atua como oxidante, e a substância que se oxida, a glicose ($C_6H_{12}O_6$), atua como redutor.

3 A equação da semirreação de oxidação de sulfito a sulfato é:

$$SO_3^{2-} + H_2O \rightarrow SO_4^{2-} + 2H^+ + 2e^-$$

A equação da semirreação de redução do bromo molecular a íons brometo é:

$$Br_2 + 2e^- \rightarrow 2Br^-$$

Como os números de elétrons são iguais nas duas, basta somá-las para chegar à equação da reação global:

$$SO_3^{2-} + H_2O \rightarrow SO_4^{2-} + 2H^+ + 2e^-$$
$$Br_2 + 2e^- \rightarrow 2Br^-$$
$$\overline{SO_3^{2-} + Br_2 + H_2O \rightarrow SO_4^{2-} + 2Br^- + 2H^+} \quad (+)$$

A espécie química que se reduz, o bromo molecular (Br_2), atua como oxidante, e a espécie química que se oxida, o sulfito (SO_3^{2-}), atua como redutor.

4 A equação da semirreação da transformação de íon permanganato em íon manganês(II) é:

$$MnO_4^- + 8H^+ + 5e^- \rightarrow Mn^{2+} + 4H_2O$$

A equação da semirreação da transformação de íon dicromato em íons crômio(III) é:

$$Cr_2O_7^{2-} + 14H^+ + 6e^- \rightarrow 2Cr^{3+} + 7H_2O$$

Tanto o íon permanganato quanto o íon dicromato podem atuar como oxidantes, pois essas espécies químicas se reduzem (recebem elétrons) quando essas semirreações ocorrem.

5 **a)** A equação da semirreação de oxidação de íons cloreto a gás cloro é:

$$2Cl^- \rightarrow Cl_2 + 2e^-$$

b) Multiplicando essa equação por 5 e a equação da semirreação de redução do permanganato (deduzida na atividade anterior) por 2, a fim de igualar o número de elétrons, e somando-as, temos:

$$10Cl^- \rightarrow 5Cl_2 + 10e^-$$
$$2MnO_4^- + 16H^+ + 10e^- \rightarrow 2Mn^{2+} + 8H_2O$$
$$\overline{10Cl^- + 2MnO_4^- + 16H^+ \rightarrow 5Cl_2 + 2Mn^{2+} + 8H_2O} \quad (+)$$

3. Número de oxidação

Para que os estudantes compreendam o conceito de número de oxidação, antes de apresentar as regras práticas para a sua obtenção, explique os fundamentos que embasam essas regras. Dessa forma, converse com os estudantes sobre o conceito de eletronegatividade. Peça que observem a Figura 3 do Livro do Estudante, que expõe valores de eletronegatividade de alguns elementos químicos, e esclareça que a eletronegatividade é a grandeza que indica a tendência de um átomo atrair os elétrons envolvidos em uma ligação química.

Em seguida, diferencie ligações iônicas de ligações covalentes para que os estudantes tenham subsídios para compreender que o número de oxidação corresponde à carga elétrica real que o átomo adquire quando estabelece uma ligação iônica ou à carga (fictícia) que a ele é atribuída quando faz ligações covalentes nas quais o compartilhamento de elétrons não é igualitário devido a diferença de eletronegatividade. Utilize a Figura 4 e a Figura 5 para que os alunos visualizem, por meio de modelos, como o compartilhamento de elétrons ocorre em compostos covalentes. A compreensão de fórmulas eletrônicas e estruturais é fundamental para o cálculo do número de oxidação que será abordado a seguir.

Utilize as fórmulas representadas na Figura 6 para explicar como é atribuído o número de oxidação para cada átomo em uma espécie química em que há ligação covalente. Em seguida, discuta com os estudantes os resultados obtidos para verificar se eles têm alguma dúvida. Se julgar conveniente, comente que em textos técnicos o número de oxidação (também conhecido como estado de oxidação) pode ser indicado por algarismos romanos precedidos dos sinais de positivo ou negativo, mas que no Ensino Médio é comum sua representação por algarismos indo-arábicos.

Ao abordar a determinação do número de oxidação, apresente as regras práticas e explique para os estudantes que, para muitas fórmulas, o uso dessas regras é imediato e permite que sejam obtidos os números de oxidação de todos os elementos químicos presentes em uma fórmula. No entanto, em alguns casos, como no de moléculas orgânicas, átomos do mesmo elemento podem apresentar estados de oxidação distintos em uma mesma molécula.

Continuando a abordagem do item, solicite que os estudantes calculem alguns números de oxidação, como do nitrogênio no $NaNO_3$, do enxofre no $CaSO_4$, do fósforo no $H_4P_2O_7$ e do cloro no ClO_4^-. Para chegar aos resultados (que são, respectivamente, +5, +6, +5 e +7), eles deverão colocar em prática as

EM OFERTA

ideias apresentadas, sendo uma oportunidade para verificar se conseguem aplicá-las. Reserve um tempo para que obtenham os valores e, posteriormente, realize os cálculos abaixo na lousa:

- $NaNO_3$ $\quad +1 + x + 3\cdot(-2) = 0 \quad \Rightarrow \quad x = +5$
- $CaSO_4$ $\quad +2 + y + 4\cdot(-2) = 0 \quad \Rightarrow \quad y = +6$
- $H_4P_2O_7$ $\quad 4\cdot(+1) + 2\cdot z + 7\cdot(-2) = 0 \quad \Rightarrow \quad z = +5$
- ClO_4^- $\quad w + 4\cdot(-2) = -1 \quad \Rightarrow \quad w = +7$

Para finalizar a abordagem do item, avalie se é conveniente apresentar um algoritmo para determinação do número de oxidação. Tenha em mente que um algoritmo é um protocolo facilitador de cálculo, mas sua utilização precisa ser **precedida da compreensão dos conceitos subjacentes à sua utilização**. (Sugerimos a leitura do texto sobre pensamento computacional, na parte inicial deste Suplemento do Professor.)

A título de exemplo do algoritmo em questão, consideremos a determinação do número de oxidação do elemento nitrogênio no nitrato de sódio, $NaNO_3$. O número de oxidação do sódio (metal alcalino) nesse composto é $+1$ e o do oxigênio é -2. Para determinar o número de oxidação do elemento químico nitrogênio, usamos o fato de a soma de todos os números de oxidação ser nula. O algoritmo é:

	Na	N	O_3	
Número de oxidação dos elementos químicos →				
Soma dos números de oxidação dos átomos de cada elemento →				$= 0$

Inserimos os números de oxidação que conhecemos ($+1$ e -2) e, a seguir, multiplicamos cada um pelo número de átomos do elemento químico presentes na fórmula:

Na	N	O_3	
$+1$		-2	
$+1$		-6	$= 0$

Como a soma total deve resultar em zero, deduzimos que o número de oxidação do nitrogênio é $+5$:

Na	N	O_3	
$+1$	$\mathbf{+5}$	-2	
$+1$	$+5$	-6	$= 0$

Os algoritmos preenchidos para as outras espécies sugeridas como atividade são mostrados a seguir.

Ca	S	O_4	
$+2$	$\mathbf{+6}$	-2	
$+2$	$+6$	-8	$= 0$

H_4	P_2	O_7	
$+1$	$\mathbf{+5}$	-2	
$+4$	$+10$	-14	$= 0$

Cl	O_4^-	
$\mathbf{+7}$	-2	
$+7$	-8	$= \mathbf{-1}$

Note que, no caso do ânion ClO_4^-, a soma total não é nula, mas igual ao valor algébrico da carga da espécie: -1.

4. Número de oxidação e oxirredução

Para introduzir a abordagem deste item e trazer exemplos de aplicação prática do conteúdo abordado, peça aos estudantes que observem a Figura 12 e destaque que os conteúdos abordados neste capítulo são parte dos estudos de eletroquímica que, por sua vez, foram muito importantes para o desenvolvimento de diversos avanços científicos, como as baterias de níquel-hidrogênio (Ni-H_2) de longa duração, empregadas na Estação Espacial Internacional e em satélites geossíncronos. Elas são distintas das baterias de hidreto metálico (comentadas no Capítulo 6 deste Suplemento do Professor) por utilizarem hidrogênio molecular. Para conhecimento do docente, durante a carga dessas baterias (por exemplo, usando energia elétrica proveniente de painéis fotovoltaicos), ocorre redução de níquel(III) a níquel(II) e oxidação de H_2 a H_2O. Na descarga, quando as baterias são usadas para gerar corrente elétrica em um circuito, esses processos se revertem.

Os conteúdos de eletroquímica podem ser considerados difíceis por alguns estudantes que apresentam dificuldades com relação a tópicos como representação das reações de oxirredução, potencial-padrão de redução e número de oxidação. Apesar disso, são conteúdos muito relevantes para a compreensão de fenômenos comuns no dia a dia e diversas tecnologias amplamente utilizadas pela sociedade. Nesse sentindo, a contextualização desses conteúdos torna-se muito importante, pois ressalta a importância do estudo da eletroquímica e chama a atenção dos estudantes ao relacionar a teoria com o mundo físico no qual eles estão inseridos. Para obter maiores detalhamentos sobre a importância da contextualização no ensino de eletroquímica, sugerimos o artigo: SANJUAN, M. E. C. *et al*. Maresia: uma proposta para o ensino de eletroquímica. *Química Nova na Escola*, v. 31, n. 3, p. 190-197, 2009. Disponível em: <http://qnesc.sbq.org.br/online/qnesc31_3/07-RSA-2008.pdf>. Acesso em: 29 ago. 2020.

Ao desenvolver esse item com os estudantes, é importante ajudá-los a compreender que é possível determinar o número de elétrons transferidos em uma reação de oxirredução com o uso do número de oxidação dos elementos participantes da transformação. Utilize os exemplos apresentados no livro e mostre como é calculada a variação do número de elétrons de um elemento (Δ) em diferentes transformações químicas.

Explique que uma reação é considerada oxirredução quando envolve oxidação e redução, processos que, por sua vez, podem ser caracterizados pela **variação dos números de oxidação dos elementos químicos**. Mostre, nos exemplos que discutir, que nem todos os elementos presentes nas espécies participantes de uma reação precisam apresentar variação de número de oxidação. Aproveite os exemplos para retomar e reforçar a definição de agente redutor e de agente oxidante.

Este item tem um papel importantíssimo no desenvolvimento do capítulo, pois permite revisitar o que foi compreendido anteriormente (por meio da elaboração de equações de semirreações) e mostrar que o conceito de número de oxidação facilita a percepção de que uma dada equação global representa uma reação de oxirredução. Assim, dentro da opção pedagógica na obra, a introdução do conceito de número de oxidação passa a ter significado para os estudantes na medida em que (1) consiste de um valor determinado pela aplicação de regras com fundamentação lógica e (2) destina-se a facilitar a análise de processos eletroquímicos já conhecidos.

MOBERNA

Dialogando com o texto

Espera-se que, estimulados pela solicitação feita na atividade, os estudantes obtenham as equações das semirreações envolvidas na decomposição do peróxido de hidrogênio.

Oxidação: $H_2O_2 \rightarrow O_2 + 2H^+ + 2e^-$

Redução: $H_2O_2 + 2H^+ + 2e^- \rightarrow 2H_2O$

Somando essas duas equações de semirreações para obter a equação da reação global, temos:

$$H_2O_2 \rightarrow O_2 + 2H^+ + 2e^-$$
$$H_2O_2 + 2H^+ + 2e^- \rightarrow 2H_2O \quad (+)$$
$$2H_2O_2 \rightarrow O_2 + 2H_2O$$

Aproveite essa atividade e peça que os estudantes determinem o número de oxidação dos elementos químicos hidrogênio (H) e oxigênio (O) nos reagentes e nos produtos das semirreações ou da equação global. A partir dessa determinação, verifique se eles percebem que não ocorre mudança do número de oxidação do elemento hidrogênio (+1 em todas as ocorrências), mas que o elemento oxigênio se oxida de −1 (no H_2O_2) a zero (no O_2) e se reduz de −1 (no H_2O_2) a −2 (na H_2O), o que deixa claro que **um mesmo elemento se oxidou e se reduziu**, caracterizando uma **auto-oxirredução**.

Aplicando conhecimentos

6 Considerando que, nas espécies mencionadas, o número de oxidação do elemento químico hidrogênio (H) é +1, o do elemento químico oxigênio (O) é −2, e o do elemento químico carbono (C) é representado por *a*, *b*, *c*, *d* e *e* nas respectivas fórmulas CH_4, CO_2, CH_2O, CH_3OH ou HCO_2H, temos:

- CH_4: $4 \cdot (+1) + a = 0 \Rightarrow a = -4$
- CO_2: $2 \cdot (-2) + b = 0 \Rightarrow b = +4$
- CH_2O: $2 \cdot (+1) + (-2) + c = 0 \Rightarrow c = 0$
- CH_3OH: $4 \cdot (+1) + (-2) + d = 0 \Rightarrow d = -2$
- HCO_2H: $2 \cdot (+1) + 2 \cdot (-2) + e = 0 \Rightarrow e = +2$

O elemento químico carbono apresenta maior número de oxidação no dióxido de carbono (CO_2).

7 O carbono é reduzido de +4 (no CO_2) a zero (no $C_6H_{12}O_6$). O enxofre é oxidado de −2 (no H_2S) a zero (no S). Os demais elementos químicos mantêm seu número de oxidação: hidrogênio (+1) e oxigênio (−2).

8 Alternativa E.

Analisando as fórmulas das espécies químicas que aparecem no esquema, concluímos que o número de oxidação do elemento nitrogênio é: zero em N_2; −3 em NH_3; −3 em NH_4^+; +3 em NO_2^- e +5 em NO_3^-. Assim, a espécie de nitrogênio mais oxidada é o íon nitrato, NO_3^-. Portanto a reação de redução mencionada é V, em que NO_3^- é reduzido a N_2.

9 O número de oxidação do elemento químico potássio não se altera: é +1 no KNO_3 e no K_2SO_4. O número de oxidação do elemento químico oxigênio também não se altera: é −2 no reagente KNO_3 e nos produtos K_2SO_4 e CO_2. O número de oxidação dos outros três elementos químicos se altera da seguinte maneira:

- nitrogênio: de +5 (no KNO_3) para zero (no N_2);
- enxofre: de zero (no S) para +6 (no K_2SO_4);
- carbono: de zero (no C) para +4 (no CO_2).

Assim, conclui-se que ocorre redução do elemento químico nitrogênio e oxidação dos elementos químicos enxofre e carbono.

10 Não é uma reação de oxirredução, pois nenhum dos elementos químicos apresenta alteração de número de oxidação: o do cálcio (Ca) é +2, o do carbono (C) é +4, o do oxigênio (O) é −2, o do hidrogênio (H) é +1 e o do cloro é −1 nos reagentes e nos produtos.

11 **a)** Equação da semirreação de oxidação:

$$C_6H_{12}O_6 + 6H_2O \rightarrow 6CO_2 + 24H^+ + 24e^-$$

Equação da semirreação de redução:

$$N_2 + 8H^+ + 6e^- \rightarrow 2NH_4^+$$

Efetuando a multiplicação da segunda equação por 4 e somando as duas, chegamos a:

$$C_6H_{12}O_6 + 6H_2O \rightarrow 6CO_2 + 24H^+ + 24e^-$$
$$4N_2 + 32H^+ + 24e^- \rightarrow 8NH_4^+ \quad (+)$$
$$C_6H_{12}O_6 + 4N_2 + 6H_2O + 8H^+ \rightarrow 6CO_2 + 8NH_4^+$$

b) O elemento químico carbono (C) é oxidado, passando de número de oxidação zero, na glicose, para +4, no dióxido de carbono. O elemento químico nitrogênio (N) é reduzido, passando de número de oxidação zero, no gás nitrogênio, para −3, no amônio.

c) A glicose ($C_6H_{12}O_6$) é o redutor, pois contém em sua composição o elemento químico que se oxida (C). O gás nitrogênio (N_2) é o oxidante, pois é constituído pelo elemento químico que se reduz (N).

12 **a)** O número de oxidação do elemento químico carbono (C) será mínimo (−4) quando seu átomo estabelecer todas as ligações possíveis com átomos de elementos químicos menos eletronegativos que o carbono, como em CH_4, e será máximo (+4) quando seu átomo estabelecer todas as ligações covalentes possíveis com átomos de elementos químicos mais eletronegativos que o carbono, como em CO_2 ou CF_4.

b) Seguindo o mesmo raciocínio, o número de oxidação do nitrogênio será mínimo (−3), por exemplo, em NH_3, e máximo (+5), por exemplo, em N_2O_5. Já o número de oxidação do enxofre será mínimo (−2), por exemplo, em H_2S, e máximo (+6), por exemplo, em SO_3.

Em destaque

Os textos apresentados no *Em destaque* trazem informações relativas à demanda bioquímica de oxigênio (DBO), que é um parâmetro importante para avaliar a quantidade de material orgânico presente em um meio aquoso. A DBO é mensurada e utilizada, por exemplo, para verificar se o material líquido resultante do tratamento de esgotos pode ser descartado em um curso d'água sem provocar danos a esse ambiente aquático.

Oriente os estudantes a se dividirem em grupos (ou divida-os a seu critério) para ler e interpretar os textos apresentados e,

EM MODERNA

em seguida, realizar as atividades propostas. Na sequência, comentamos cada uma delas.

1. Quanto maior o valor da DBO, maior é a concentração de material orgânico a ser oxidado e, no quesito oxigenação (concentração de gás oxigênio, O_2, dissolvido), pior é a qualidade da água. Portanto, comparativamente, o rio *C* tem água mais poluída com material orgânico.

   Quanto à possibilidade de os peixes viverem nesses rios, como a DBO dos rios *A* e *B* é menor do que a solubilidade do gás oxigênio na água (que, segundo o último texto, é de 9 mg/L, a 20 °C), existe O_2 dissolvido para a manutenção da vida dos peixes. Entre esses dois rios, o rio *A* (DBO igual a 1 mg/L) é o que se espera ter melhores condições de oxigenação da água. No caso do rio *C*, a DBO é maior que a solubilidade do gás oxigênio na água, o que inviabiliza completamente a sobrevivência de peixes (e de outras formas de vida aquática que dependam de O_2 dissolvido).
2. Resposta pessoal. Espera-se que os estudantes incluam no vídeo a explicação sobre o aumento da DBO da água poluída por material orgânico e suas consequências ao ambiente aquático. Estimule os estudantes a buscarem recursos digitais (por exemplo, animações, simuladores e vídeos de licença aberta) que possam ser usados para enriquecer a produção. Após a realização das atividades, peça aos grupos para que compartilhem os vídeos produzidos, a fim de ampliar a discussão sobre o tema.
3. Oxidação: $SO_3^{2-} + H_2O \rightarrow SO_4^{2-} + 2H^+ + 2e^-$

   Redução: $O_2 + 4H^+ + 4e^- \rightarrow 2H_2O$

   Multiplicando a equação da semirreação de oxidação por 2 e somando-a com outra, temos:

   $$\begin{array}{r} 2SO_3^{2-} + 2H_2O \rightarrow 2SO_4^{2-} + 4H^+ + 4e^- \\ O_2 + 4H^+ + 4e^- \rightarrow 2H_2O \\ \hline 2SO_3^{2-} + O_2 \rightarrow 2SO_4^{2-} \end{array} \quad (+)$$

   A quantidade de água produzida na semirreação de redução é igual à que reage na semirreação de oxidação e, assim, estritamente sob o ponto de vista estequiométrico global, não há formação **efetiva** de água.
4. $C_6H_6 + 12H_2O \rightarrow 6CO_2 + 30H^+ + 30e^-$

   O número de oxidação do elemento químico carbono é -1 no benzeno e $+4$ no dióxido de carbono. A variação dessa grandeza (5 unidades) multiplicada pelo número de átomos do elemento químico carbono na molécula de benzeno (6) resulta $\Delta = 5 \cdot 6 = 30$, sendo, portanto, compatível com o número de elétrons que consta da equação da semirreação (30).
5. Em princípio, essas bactérias poderiam ser espalhadas pelo solo para atuar na oxidação do benzeno e remediar o problema causado pela presença desse poluente. No entanto, antes de essa utilização das bactérias ser aprovada para uso, é necessário que haja estudos para verificar se a introdução desses microrganismos não acarretará outros tipos de problema ambiental.

De olho na BNCC

- **EM13CNT105**
- **EM13CNT203**
- **EM13CNT206**
- **EM13CNT302**
- **EM13CNT306**
- **EM13CNT310**
- **Competência geral 2**
- **Competência geral 4**
- **Competência geral 5**
- **Competência geral 7**

As atividades do *Em destaque* permitem o desenvolvimento das seguintes habilidades da BNCC: **EM13CNT105**, pois estimulam os estudantes a interpretar os efeitos da interferência humana sobre o ambiente, para promover ações individuais e/ou coletivas que minimizem consequências nocivas à vida; **EM13CNT203**, já que permitem 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; **EM13CNT206**, porque levam os estudantes a avaliar os efeitos da ação humana e das políticas ambientais para a garantia da sustentabilidade do planeta; **EM13CNT302**, uma vez que solicitam 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; **EM13CNT306**, haja vista que envolvem avaliar os riscos envolvidos em atividades cotidianas (por exemplo, descartar restos de alimentos na pia ou papel higiênico no vaso sanitário), aplicando conhecimentos das Ciências da Natureza para justificar comportamentos visando à integridade socioambiental, podendo fazer uso de dispositivos e aplicativos digitais que viabilizem a estruturação de simulações de tais riscos; e **EM13CNT310**, posto que possibilitam investigar e analisar efeitos de programas de infraestrutura (tratamento de esgotos e outras medidas para impedir despejos, em ambientes aquáticos, de esgoto in natura ou de efluentes industriais que aumentem a DBO) 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. Também permitem o desenvolvimento da **Competência geral 2**, pois estimulam exercitar a curiosidade intelectual e recorrer à abordagem própria das ciências para elaborar hipóteses, resolver problemas e criar soluções com base nos conhecimentos das diferentes áreas; da **Competência geral 4**, porque requerem utilizar diferentes linguagens – verbal, corporal, visual, sonora e digital –, bem como conhecimentos das linguagens artística, matemática e científica, para se expressar e partilhar informações; da **Competência geral 5**, já que envolvem compreender e utilizar tecnologias digitais de informação e comunicação de forma crítica, significativa, reflexiva e ética para disseminar informações, produzir conhecimentos, resolver problemas e exercer protagonismo e autoria na vida pessoal e coletiva; e da **Competência geral 7**, uma vez que exigem argumentar com base em fatos, dados e informações confiáveis, para defender ideias e pontos de vista que respeitem e promovam a consciência socioambiental em âmbito local, regional e global, com posicionamento ético em relação ao cuidado de si mesmo, dos outros e do planeta.

5. Força de oxidantes e redutores

Retome o conceito de potencial-padrão de semicela ($E^{\ominus}$), estudado no capítulo anterior, e relembre que, na pilha de Daniell, dos dois elementos metálicos envolvidos (zinco e

MODELO

cobre), aquele que apresenta maior potencial-padrão (o cobre) se reduz da forma catiônica (Cu^{2+}) para a forma metálica (Cu^0). Amplie essa discussão para mostrar que valores mais elevados de $E^\ominus$ estão associados à maior tendência de redução. Ao explorar esse item, é importante mostrar aos estudantes que a reação entre um oxidante e um redutor pode ocorrer por contato direto entre ambos, em um mesmo recipiente, sem acontecer necessariamente em uma pilha.

Analise o exemplo apresentado no Livro do Estudante, que mostra a reação espontânea entre o metal cobre, Cu (s), e íons prata aquosos, Ag^+ (aq). Explique que, pelos valores de potencial-padrão, a oxidação do cobre é espontânea nesse caso, porém a sua redução não. Peça aos estudantes que acompanhem a sequência de fotos apresentadas na Figura 13, ressaltando que ela mostra a redução da prata sobre um fio de cobre e o simultâneo aparecimento da cor azul na solução pela formação de íons Cu^{2+} e sua dissolução no meio aquoso.

Utilizando as equações das semirreações de redução para os cátion dos elementos químicos prata, cobre, zinco e magnésio e seus respectivos valores de $E^\ominus$, apresentados ao final do item, no Livro do Estudante, explique como é possível avaliar, comparativamente, qual espécie química tem maior força oxidante ou redutora. Mostre a relação entre o valor do potencial-padrão de redução e a força oxidante de uma espécie química (tendência a se reduzir). Estenda a análise para a tendência de a semirreação de redução acontecer no sentido inverso (oxidação), que é tanto maior quanto menor for o potencial-padrão de redução, estando associada à força redutora da espécie que se oxida. O entendimento dessas relações será relevante também para o estudo do próximo item, que aborda a corrosão de metais.

A discussão sobre a força de oxidantes e redutores possibilita que o docente, caso considere oportuno, explique, em linhas gerais, como são possíveis as sucessivas reações de oxirredução envolvidas na **cadeia transportadora de elétrons** (cadeia respiratória) mitocondrial e a razão da **extrema toxicidade dos íons cianeto** (CN^-), um dos venenos de ação mais rápida e letal, que pode matar em poucos minutos.

A metabolização de nutrientes energéticos produz determinados substratos que, quando oxidados, fornecem elétrons que são transferidos em reações sucessivas que envolvem diversos pares de oxirredução chamados de **transportadores de elétrons** ou **carreadores de elétrons**, sob catálise de quatro complexos multienzimáticos, designados por I, II, III e IV.

Inicialmente, um substrato proveniente da metabolização de um nutriente energético reage com o agente oxidante denominado nicotinamida adenina dinucleotídeo, representado por NAD^+. Nessa reação, o NAD^+ é convertido em sua forma reduzida, NADH. Na mitocôndria, essa forma reduzida reage com um transportador de elétrons, reduzindo-o e transformando-se novamente na forma oxidada, NAD^+ (veja o esquema a seguir).

Diversas reações ocorrem em sequência, envolvendo diferentes oxidantes (genericamente indicados pelos retângulos verdes do esquema) com diferentes valores de potencial de redução. Cada uma das reações envolvidas nessa sequência apresenta valor de ΔE positivo da ordem de décimos de volt (considerando $pH = 7$, a 25 °C), que garante a espontaneidade necessária à sua ocorrência. A sucessiva transferência de elétrons está acoplada a mecanismos de síntese de ATP na mitocôndria a partir de ADP e íons fosfato, o que armazena energia liberada nas reações de oxirredução como energia química para uso posterior em atividades metabólicas.

O último dos transportadores de elétrons reage com o oxigênio molecular, O_2, transferindo elétrons para ele e reduzindo-o a água. Por isso, dizemos que o **O_2 é o aceptor final de elétrons** na cadeia respiratória.

Os íons cianeto têm grande afinidade química pelo Fe^{3+} que existe no complexo IV (também chamado de citocromo *c* oxidase), ligando-se rápida e eficientemente a esse íon e impedindo a ação enzimática do complexo IV na redução de O_2 a H_2O. Como os elétrons não são transferidos ao aceptor final, os transportadores de elétrons permanecem na forma reduzida, interrompendo o transporte de elétrons e bloqueando a síntese acoplada de ATP.

A ação tóxica do CN^-, e também do gás cianídrico, HCN (g), não se deve, portanto, à interação com a hemoglobina (porque nela há Fe^{2+} e não Fe^{3+}), mas à inibição da etapa final da cadeia respiratória.

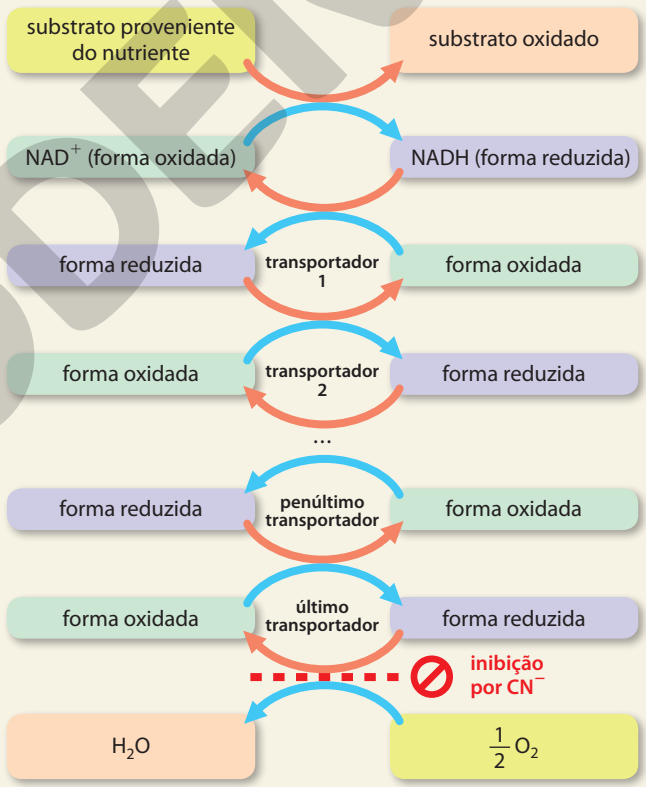


ILUSTRAÇÃO DOS AUTORES

Esquematização generalizada da cadeia transportadora de elétrons existente nas mitocôndrias. Os diversos transportadores (ou carreadores) de elétrons alternam entre uma forma oxidada e outra, reduzida. Eles são reduzidos em uma etapa de oxirredução e oxidados em outra etapa subsequente. Alguns transportadores têm íon ferro, que alterna entre ferro(III) e ferro(II). No fim da sequência, a última espécie reduzida é o O_2, o aceptor final dos elétrons, em cuja semirreação de redução forma-se H_2O. Os íons cianeto impedem essa etapa porque inibem a enzima que a catalisa.

Fonte consultada: CAMPBELL, M. K.; FARRELL, S. O. *Biochemistry*. 8. ed. Stamford: Cengage, 2015.

EM MODERNIA

De olho na BNCC

- **EM13CNT101**

Este item possibilita desenvolver a habilidade **EM13CNT101** da BNCC, pois permite aos estudantes analisar e representar as transformações em sistemas que envolvam quantidade de matéria e energia para realizar previsões sobre seus comportamentos.

6. Corrosão de metais

Para estimular o interesse dos estudantes pelos conceitos abordados neste item, peça que observem a Figura 14. Questione-os sobre as causas que levaram o navio à aparência retratada na imagem e estimule-os a indicar objetos cotidianos com tendência a adquirir aspecto semelhante. Peça que levantem hipóteses sobre o que leva um objeto a enferrujar. Discuta as propostas em conjunto com a sala, conduzindo uma discussão para que relacionem a formação da ferrugem à exposição do ferro metálico ao gás oxigênio e à água.

Explique que, no processo de enferrujamento, ocorre a oxidação do ferro, e apresente as equações de oxidação que levam à formação do $Fe(OH)_3$. Se considerar conveniente, aprofunde essa abordagem por meio do artigo: MERÇON F. *et al*. Corrosão: um exemplo usual de fenômeno químico. *Química Nova na Escola*. n. 19, p. 11-14, 2004. Disponível em: <http://qnesc.sbq.org.br/online/qnesc19/a04.pdf>. Acesso em: 30 ago. 2020. Ao apresentar esse conteúdo, é importante que os estudantes compreendam que, nas condições ambientes de pressão e temperatura, a ausência de gás oxigênio ou de água é suficiente para impedir a formação da ferrugem.

Ao falar sobre galvanização, explique como ela pode impedir que o ferro se oxide, mostrando que o zinco se oxida com mais facilidade que o ferro. Procure destacar que os termos **metal de sacrifício** e **ânodo de sacrifício** são usados para qualquer metal que, sendo bom redutor, seja colocado em contato com um metal a fim de preservá-lo da oxidação. Saliente que, nesse caso, o metal é preservado por **proteção catódica**. Converse sobre as aplicações de ânodos de sacrifício em cascos de navios feitos de ferro (Figura 15 do Livro do Estudante) e explique que eles precisam ser repostos periodicamente a fim de que o metal do casco continue protegido.

De olho na BNCC

- **EM13CNT101** • **EM13CNT205** • **EM13CNT307**

Esse item possibilita o desenvolvimento das seguintes habilidades da BNCC: **EM13CNT101**, pois permite que os estudantes analisem e representem, com ou sem o uso de dispositivos e de aplicativos digitais específicos, as transformações e conservações em sistemas que envolvam quantidade de matéria para realizar previsões sobre seus comportamentos em situações cotidianas e em processos produtivos; **EM13CNT205**, já que leva os estudantes a interpretar resultados e a realizar previsões sobre fenômenos naturais e processos tecnológicos, reconhecendo os limites explicativos das ciências; e **EM13CNT307**, pois permite que analisem as propriedades dos materiais para avaliar a adequação de seu uso em diferentes aplicações (industriais, cotidianas ou tecnológicas) e/ou propor soluções seguras e sustentáveis considerando seu contexto local e cotidiano.

Aplicando conhecimentos

13 Como o potencial-padrão do par Cu^{2+}/Cu^0 é maior que o do par Fe^{2+}/Fe^0, concluímos que os íons cobre(II) reagem espontaneamente com o ferro metálico, de acordo com a equação:

$$Cu^{2+}(aq) + Fe(s) \rightarrow Fe^{2+}(aq) + Cu(s)$$

Nessa reação, o elemento químico cobre se reduz e o elemento químico ferro se oxida. A maior tendência do cobre para se reduzir, nas condições padrão e a 25 °C, decorre do maior valor de $E^{\ominus}$, nessas condições. Assim, uma solução aquosa de nitrato de cobre(II) não pode ser guardada em um recipiente constituído de ferro metálico porque reage com ele. Aproveite para comentar com os estudantes que o contrário até poderia ser feito (guardar uma solução de íons ferro(II) em um recipiente de cobre), embora isso não seja usual. Nesse caso, não haveria reação nas condições-padrão e a 25 °C.

14 **a)** A força oxidante (ou caráter oxidante) de uma espécie química (isto é, a tendência de essa espécie atuar como agente oxidante) é tanto maior quanto maior for a tendência de ela se reduzir. Essa tendência, nas condições-padrão e a 25 °C, aumenta na mesma ordem em que aumenta $E^{\ominus}$. Portanto, a ordem crescente de força oxidante é:

$$I_2 < Br_2 < Cl_2 < F_2$$

b) A força redutora (ou caráter redutor) de uma espécie química (isto é, a tendência de essa substância atuar como agente redutor) é tanto maior quanto maior for a tendência de ela se oxidar. Essa tendência, nas condições-padrão e a 25 °C, aumenta na mesma ordem em que diminuem os valores de $E^{\ominus}$ apresentados. Assim, a ordem crescente de força redutora é:

$$F^- < Cl^- < Br^- < I^-$$

15 **a)** A força oxidante cresce com a tendência de a espécie química se reduzir. Portanto, a ordem crescente dos valores de $E^{\ominus}$ apresentados fornece a sequência crescente de força oxidante. Decorre que, dos íons metálicos listados, o $Au^{3+}(aq)$ é o melhor oxidante, ou seja, é o íon com maior tendência a se reduzir.

b) A tendência de um metal se oxidar cresce de modo inverso à tendência de seu cátion se reduzir. Assim, a ordem crescente de tendência dos metais a se oxidar é: $Au(s) < Ag(s) < Cu(s) <$ $< Pb(s) < Fe(s) < Zn(s) < Mg(s)$.

c) O melhor redutor é o magnésio metálico, $Mg(s)$, pois é, dos metais citados, aquele com maior tendência a se oxidar.

d) Se o metal reage com os íons $H^+(aq)$ da solução aquosa de HCl, isso significa que o elemento hidrogênio se reduz de $H^+(aq)$ a $H_2(g)$ e que o metal se oxida de substância simples para cátion (íon positivo). Os potenciais apresentados revelam que, dos metais apresentados, aqueles com tendência maior que o hidrogênio para se oxidar são chumbo, ferro, zinco e magnésio.

e) O cobre, a prata e o ouro, pois não reagem com os íons $H^+(aq)$.

PROIBIDA

16 **a)** Reunindo os dados necessários de potenciais-padrão a 25 °C, apresentados nos enunciados dessa atividade e da anterior, temos:

$Cu^{2+}(aq) + 2e^- \rightleftarrows Cu(s)$ $\quad E^\ominus = +0{,}34\ V$

$NO_3^-(aq) + 4H^+(aq) + 3e^- \rightleftarrows NO(g) + 2H_2O(l)$ $\quad E^\ominus = +0{,}96\ V$

$Au^{3+}(aq) + 3e^- \rightleftarrows Au(s)$ $\quad E^\ominus = +1{,}50\ V$

Esses dados indicam que, nas condições-padrão e a 25 °C, os íons NO_3^-, em meio ácido (presença de H^+), têm maior tendência a se reduzir (maior $E^\ominus$) que os íons Cu^{2+} (menor $E^\ominus$). Assim, quando ácido nítrico e cobre são misturados, nas condições mencionadas, a segunda semirreação ocorre no sentido equacionado (redução) e a primeira ocorre no sentido inverso ao equacionado (oxidação).

Equação da semirreação de oxidação:

$$Cu(s) \rightarrow Cu^{2+}(aq) + 2e^-$$

Equação da semirreação de redução:

$NO_3^-(aq) + 4H^+(aq) + 3e^- \rightarrow NO(g) + 2H_2O(l)$

Portanto, o cobre metálico é oxidado a íons cobre(II) pelo ácido nítrico. Já no caso do ouro, o potencial-padrão (+1,50 V) é maior que o do nitrato em meio ácido (+0,96 V). Assim, nas condições mencionadas, o ouro tem maior tendência a permanecer na forma reduzida (como ouro metálico) e, portanto, não reage com ácido nítrico.

b)

massa		porcentagem
0,600 g	——	100%
0,450 g	——	x

$\Rightarrow \quad x = 75{,}0\%$

17 **a)** A formação da ferrugem requer a presença de água e de oxigênio molecular, O_2, esteja este em fase gasosa ou dissolvido em água (aquoso). Assim, temos:

Tubo A – Pode se formar ferrugem, pois o ferro metálico está imerso em água que contém gás oxigênio dissolvido, proveniente do ar.

Tubo B – Não deve se formar ferrugem, porque a água está isenta de gás oxigênio dissolvido e a camada de óleo impede a dissolução de gás oxigênio proveniente do ar.

Tubo C – Não deve se formar ferrugem, pois, ainda que o ar contenha umidade, a camada de vaselina impede o contato do ferro metálico com o ar e a água.

Tubo D – Não deve se formar ferrugem, já que o agente secante remove (absorve) a umidade inicial eventualmente presente no interior do tubo e, além disso, a rolha impede a entrada de umidade vinda do ar.

Tubo E – A areia úmida manterá o algodão molhado. Pode se formar ferrugem, posto que o ferro metálico está em contato com gás oxigênio e com água.

b) $Fe(s) + 3H_2O(l) \rightarrow Fe(OH)_3(s) + 3H^+(aq) + 3e^-$

c) Sim, é compatível, pois o número de oxidação do elemento químico ferro (Fe) aumenta de zero para +3 (oxidação, $\Delta = 3$) e, na semirreação, constam 3 elétrons perdidos para cada átomo de ferro oxidado.

CAPÍTULO 8 Eletromagnetismo

Metas 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.
- Entender o fenômeno da indução eletromagnética.

Sugestões didáticas e comentários

Neste capítulo faremos o estudo do Eletromagnetismo. A finalidade é fornecer aos estudantes condições de conhecer e analisar os principais fenômenos magnéticos e suas aplicações no cotidiano.

Ao final deste estudo, o estudante deverá ser capaz de caracterizar a força magnética atuante em uma carga elétrica em movimento no interior de um campo magnético ou em um condutor percorrido por corrente elétrica, além de identificar e quantificar o campo magnético criado por corrente elétrica que percorre um dos elementos: fio retilíneo, espira circular e solenoide. Deverá, também, entender as bases do fenômeno da indução eletromagnética. Pelos conteúdos abordados neste capítulo, sugerimos que seja trabalhado pelo professor com formação em Física.

De olho na BNCC

- **EM13CNT107**
- **EM13CHS106**
- **EM13MAT302**
- **EM13MAT314**

Este capítulo aborda, de maneira geral, as habilidades: **EM13CNT107**, ao estudar o funcionamento de bobinas e transformadores, com base na análise dos processos de transformação e condução de energia envolvidos; **EM13CHS106**, da área de Ciências Humanas e Sociais Aplicadas, na medida em que utiliza as linguagens gráfica e iconográfica para difundir informações.

As habilidades **EM13MAT302** e **EM13MAT314**, da área de Matemática e suas Tecnologias, também são evidenciadas neste capítulo, 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.

MODERNA

1. Ímãs

Nesta seção, inicia-se o curso de Eletromagnetismo, apresentando os principais fenômenos magnéticos que caracterizam um ímã. Sugerimos a resolução dos exercícios fundamentais, visando consolidar os conhecimentos adquiridos e preparar o estudante para a próxima seção: "Campo magnético de um ímã".

Aplicando conhecimentos

1 Alternativa D.

É importante lembrar aos estudantes 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.

2 Alternativa D.

Os blocos de ferro se magnetizam, isto é, sofrem imantação, e entre os blocos de ferro e o ímã ocorre atração.

Observe que vale o princípio de ação e reação: se o ímã atrai os blocos de ferro, estes atraem o ímã.

2. Campo magnético de um ímã

É interessante apresentar as características do vetor indução magnética ou vetor campo magnético $\vec{B}$ nas proximidades de um ímã em forma de barra. Convém ressaltar o fato de que as linhas de indução do campo magnético sempre têm sentido do polo norte do ímã para o polo sul. Isso será particularmente útil quando se estabelecer a polaridade de uma espira circular e de um solenoide e se aplicar a lei de Lenz no estudo da indução eletromagnética.

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 homem. 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 de 1190, quando foi apresentada por Alexander Neckam em sua enciclopédia *De Naturis Rerum*. 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.

De olho na BNCC

- **EM13CNT302**
- **EM13LGG301**
- **EM13LGG703**
- **EM13CHS102**
- **EM13CHS202**

Esta *Atividade em grupo* permite o desenvolvimento das habilidades: **EM13CNT302**, ao comunicar resultados de pesquisas por meio de diferentes linguagens e mídias; **EM13LGG301**, da área de Linguagens e suas Tecnologias, na medida em que os estudantes devem participar de processos de produção colaborativa em diferentes linguagens; e **EM13LGG703**, ao utilizar diferentes linguagens, mídias e ferramentas digitais em processos de produção coletiva.

As habilidades **EM13CHS102** e **EM13CHS202**, da área de Ciências Humanas e Sociais Aplicadas, também são evidenciadas, ao analisar as circunstâncias históricas, geográficas, sociais, ambientais e culturais de matrizes conceituais, avaliando criticamente seu significado histórico, e ao analisar e avaliar os impactos das tecnologias na estruturação e nas dinâmicas de grupos, povos e sociedades contemporâneos.

3. Campo magnético das correntes elétricas

Pode-se iniciar esta seção descrevendo a experiência de Oersted e apresentando a regra da mão direita. Em seguida, é interessante realizar em sala de aula a atividade prática proposta no Livro do Estudante.

Sugerimos também recomendar aos estudantes a leitura da biografia do inventor Nikola Tesla (1856-1943), que pode ser facilmente encontrada na internet. Lembre-se de alertar aos estudantes de consultarem sempre fontes confiáveis.

Atividade prática

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,

EM MODERNA

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.

De olho na BNCC

- **EM13CNT301**

A *Atividade prática* evidencia o trabalho com a habilidade **EM13CNT301**, na medida em que os estudantes são convidados a construir questões, elaborar hipóteses, previsões e estimativas.

Aplicando conhecimentos

3 Alternativa C.

O exercício 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:

$$B = \frac{\mu \cdot i}{2 \cdot R} \quad (1) \quad \text{e} \quad B' = \frac{\mu \cdot 3 \cdot i}{2 \cdot (2 \cdot R)} \Rightarrow B' = \frac{3}{2} \cdot \frac{\mu \cdot i}{2 \cdot R} \quad (2)$$

Da comparação entre (1) e (2), obtemos:

$$B' = \frac{3}{2} \cdot B \Rightarrow B' = 1{,}5 \cdot B$$

Atividade em grupo

Os trens Maglev utilizam o magnetismo para flutuar sobre os trilhos. Impulsionados por ímãs ou eletroímãs, eles se deslocam num colchão de ar, de modo que são eliminados os atritos de escorregamento e rolamento com os trilhos. A ausência de atrito e o perfil aerodinâmico dos trens permitem que eles atinjam velocidades elevadas.

Mencione o fato de que o trem Maglev incorpora em sua construção e utilização pesquisas e tecnologias mais modernas sobre eletromagnetismo com a finalidade de aumentar a velocidade no transporte de passageiros e reduzir custos. Ele foi projetado para eliminar o atrito com o trilho recorrendo a campos magnéticos intensos que mantêm os vagões levitando durante o trajeto.

A tecnologia apresenta vários benefícios, como: eliminação da trepidação provocada pelo deslocamento sobre trilhos, diminuição de ruídos, não emissão de poluentes e menor consumo energético. Além disso, a tecnologia atual permite a construção de trens que atingem velocidades máximas próximas a 600 km/h, o que reduz muito o tempo de viagem.

De olho na BNCC

- **EM13CNT302**
- **EM13LGG301**
- **EM13LGG703**
- **Competência geral 4**

Esta *Atividade em grupo* permite o desenvolvimento das habilidades: **EM13CNT302**, ao comunicar resultados de pesquisas por meio de diferentes linguagens e mídias; **EM13LGG301**, da área de Linguagens e suas Tecnologias, na medida em que os estudantes devem participar de processos de produção colaborativa em diferentes linguagens; e **EM13LGG703**, ao utilizar diferentes linguagens, mídias e ferramentas digitais em processos de produção coletiva.

A **competência geral 4** também é desenvolvida nesta atividade, na medida em que o estudante deve utilizar diferentes linguagens para se expressar e partilhar informações.

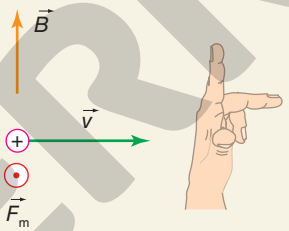
4. Força magnética

Leve os estudantes a perceber a diferença entre a regra da mão direita e a regra da mão esquerda: a regra da mão direita é usada para estabelecer a direção e o sentido do vetor campo magnético criado por uma corrente elétrica, enquanto a regra da mão esquerda é usada para relacionar a velocidade de lançamento de uma carga elétrica (ou a direção e o sentido da corrente elétrica em um condutor), o vetor campo magnético e a força de origem magnética que atua na carga elétrica (ou no condutor).

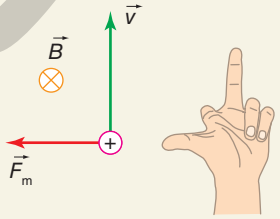
Aplicando conhecimentos

4 Comece sempre dispondo o indicador da mão esquerda no sentido do vetor campo magnético $\vec{B}$. Gire a mão, em torno do indicador, até que o dedo médio fique no sentido de $\vec{v}$. O dedo polegar nos fornece o sentido da força magnética $\vec{F}_m$. Note, no item **c**, que o sentido de $\vec{B}$ é do polo norte para o polo sul. No item **d**, a carga elétrica é negativa e o sentido da força magnética é oposto ao dado pela regra da mão esquerda.

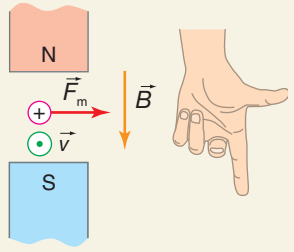
a)



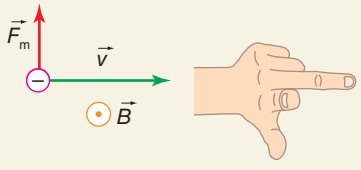
b)



c)



d)



ILUSTRAÇÕES: ADILSON SECCO

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.

MODERNA

6 Vamos representar as forças magnéticas que agem nos lados *AC* e *DE*, sabendo que a espira é percorrida por corrente elétrica no sentido *ACDE*. Para isso, basta aplicar a regra da mão esquerda, conforme figura abaixo.

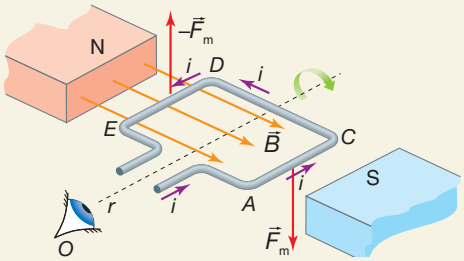


ILUSTRAÇÃO: ADILSON SECCO

Note que a força magnética sobre os condutores *CD* e *EA* é nula, pois o seno do ângulo que $\vec{B}$ forma com os condutores é zero. O sistema constituído pelas forças $\vec{F}_m$ e $-\vec{F}_m$, que agem, respectivamente, nos lados *AC* e *DE*, recebe o nome de binário. Esse binário tende a girar a espira no sentido horário em relação ao observador *O*.

5. Fenômeno da indução eletromagnética

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 bicicleta: quando ligado, torna-se mais difícil pedalar a 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 o leve para a escola para a verificação da indução eletromagnética.

De olho na BNCC

- **EM13MAT101**

Esta seção possibilita o desenvolvimento da habilidade **EM13MAT101**, da área de Matemática e suas Tecnologias, ao interpretar criticamente fatos relativos às Ciências da Natureza que envolvem a variação de grandezas.

6. O transformador

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.

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.

De olho na BNCC

- **EM13CNT308**

Esta seção permite o desenvolvimento da habilidade **EM13CNT308**, ao investigar e analisar o funcionamento de equipamentos elétricos e/ou eletrônicos.

7. A guitarra elétrica

Se possível, é 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.

Uma opção de atividade complementar é construir com os estudantes um protótipo de guitarra elétrica, onde eles deverão indicar a localização de todos os componentes para que, em uma situação hipotética, essa guitarra funcione.

De olho na BNCC

- **EM13CNT308**

Esta seção permite o desenvolvimento da habilidade **EM13CNT308**, ao investigar e analisar o funcionamento de equipamentos elétricos e/ou eletrônicos.

Atividade em grupo

Você pode organizar, junto com os estudantes, uma exposição para apresentar os painéis produzidos pelos grupos, a fim de compartilhar as informações pesquisadas com toda a comunidade escolar.

Para complementar a atividade, sugerimos mostrar aos estudantes várias aplicações da indução eletromagnética que podem ser encontradas neste *site*: <https://phet.colorado.edu/en/simulation/faraday>. (Acesso em: 28 jul. 2020.)

De olho na BNCC

- **EM13CNT302**
- **EM13LGG301**
- **EM13LGG703**
- **Competência geral 4**

Esta *Atividade em grupo* permite o desenvolvimento das habilidades: **EM13CNT302**, ao comunicar resultados de pesquisas por meio de diferentes linguagens e mídias; **EM13LGG301**, da área de Linguagens e suas Tecnologias, na medida em que os estudantes devem participar de processos de produção colaborativa em diferentes linguagens; e **EM13LGG703**, ao utilizar diferentes linguagens, mídias e ferramentas digitais em processos de produção coletiva.

A **competência geral 4** também é desenvolvida nesta atividade, na medida em que o estudante deve utilizar diferentes linguagens para se expressar e partilhar informações.

MODERNA

CAPÍTULO 9 Eletrólise

Metas do capítulo

- Compreender o conceito de eletrólise.
- Diferenciar os processos de eletrólise ígnea e aquosa.
- Equacionar as semirreações de processos eletrolíticos.
- Determinar a equação global da eletrólise a partir das suas semirreações.
- Reconhecer a importância dos processos eletrolíticos e algumas das suas aplicações.
- Entender como algumas substâncias simples metálicas são obtidas industrialmente.

Sugestões didáticas e comentários

Considerando os conteúdos que serão abordados neste capítulo, sugerimos que ele seja trabalhado pelo professor com formação em Química.

A abertura do capítulo é uma oportunidade para verificar os conhecimentos prévios dos estudantes com relação a conceitos como reações de oxirredução e células a combustível. Inicie a abordagem questionando os alunos sobre o que são as células a combustível e como elas funcionam. Relembre as equações das semirreações (escrevendo-as na lousa) envolvidas no processo de geração de energia que ocorre nesses dispositivos ao se utilizar gás hidrogênio como redutor (substância oxidada no ânodo da cela galvânica). Em seguida, peça para que os estudantes forneçam a equação global. Com essa abordagem, será possível avaliar se é necessário retomar conceitos apresentados no Livro do Estudante ao longo dos Capítulos 6 e 7.

Ao falar sobre o uso de gás hidrogênio na geração de energia em automóveis, destaque que a reação química global envolvida produz somente água como produto, e, com isso, esses veículos não emitem gases poluentes como aqueles emitidos no caso de motores de combustão interna. Nesse momento, utilize a equação global deduzida na lousa e, caso considere necessário, também mostre aos estudantes algumas equações de reações que ocorrem em motores de combustão interna, como a combustão do octano (C_8H_{18}, componente da gasolina), a combustão do enxofre (impureza de derivados de petróleo), que produz o poluente SO_2, e a reação entre N_2 e O_2, devido à elevada temperatura e/ou às faíscas da vela, que produz o poluente NO, subsequentemente oxidado pelo gás oxigênio a outro poluente, o NO_2. Assim, os estudantes terão subsídios para inferir as vantagens ambientais das células a combustível.

Mencione que a eletrólise da água é apenas uma das maneiras de produzir gás hidrogênio em grande escala e apresente a equação da reação global de eletrólise da água:

$$2\,H_2O\,(l) \rightarrow 2\,H_2\,(g) + O_2\,(g)$$

Explore o fato de essa equação, no sentido inverso, corresponder à reação global da célula a combustível de gás hidrogênio. Como os estudantes já sabem que a reação de H_2 (g) com O_2 (g) para formar H_2O (l) é uma reação espontânea, faz sentido para eles a informação de que o processo inverso, a eletrólise da água, não seja espontâneo. Assim, nesse momento introdutório, procure destacar que, diferentemente das reações que ocorrem em pilhas e baterias, as reações envolvidas na eletrólise não são espontâneas e precisam da utilização de um gerador externo (de corrente contínua) para acontecer.

1. Conceito de eletrólise

Ao iniciar este item, sugerimos que retome com os estudantes a diferença entre as celas galvânicas e as celas eletrolíticas quanto à espontaneidade de seus processos (reveja com eles a Figura 3 do Capítulo 6 do Livro do Estudante). Ressalte que, enquanto nas celas galvânicas as reações químicas espontâneas são utilizadas para geração de energia elétrica, nas celas eletrolíticas a energia elétrica é utilizada para promover reações químicas não espontâneas. Com o objetivo de contextualizar o conteúdo, é interessante comentar que o processo de eletrólise está bastante presente na indústria para a obtenção de produtos como soda cáustica, alumínio metálico e hipoclorito de sódio.

Deixe claro que a eletrólise é um processo não espontâneo de descarga de íons, no qual cátions recebem elétrons e ânions perdem elétrons. É importante diferenciar a eletrólise da reação que ocorre em pilhas para que os estudantes não considerem que esses processos são equivalentes. Para isso, garanta que os estudantes percebam que a eletrólise é um processo inverso ao da pilha, ou seja, utiliza a energia elétrica para forçar a ocorrência de uma reação química não espontânea. Mencione que o processo de eletrólise requer a existência de íons livres no material através do qual haverá passagem de corrente elétrica. A presença de íons livres pode se dever (1) à fusão de uma substância iônica ou (2) à dissociação ou à ionização de certos compostos químicos quando se dissolvem em água.

Auxilie a classe a interpretar a Figura 1 do Livro do Estudante, que mostra o esquema de um experimento no qual dois eletrodos de platina estão submersos em cloreto de sódio líquido a uma temperatura superior a 801 °C. Em seguida, ajude-os a interpretar a Figura 2, que representa dois eletrodos de platina em uma solução aquosa de cloreto de sódio. Peça que os estudantes comparem as duas esquematizações, destacando as semelhanças e as diferenças entre elas. É importante ressaltar, neste momento, que compostos iônicos conduzem corrente elétrica quando estão em fase líquida (fundidos) ou dissolvidos em água (dissociados em íons). É esperado que os estudantes concluam que as duas imagens se assemelham na disposição dos eletrodos de platina e em sua ligação ao gerador externo, mas diferem quanto à condição na qual o cloreto de sódio se encontra. Utilize essa conclusão para destacar que existem dois tipos de eletrólise, a ígnea e a aquosa, que serão apresentadas adiante.

EXCLUSIVO

É importante deixar claro que, durante a passagem de corrente elétrica pelo cloreto de sódio (líquido ou em solução aquosa), ocorrem reações químicas na superfície das placas de platina representadas nas Figuras 1 e 2. Como os tipos de eletrólise serão abordados de forma mais detalhada nos próximos itens, procure, nesse momento, apenas destacar que na eletrólise ígnea uma reação química é provocada pela passagem de corrente elétrica através de um composto iônico fundido, enquanto na eletrólise aquosa uma reação química ocorre em razão da passagem de corrente elétrica através de uma solução aquosa de eletrólito.

Para finalizar o encaminhamento dos conceitos apresentados, ainda chamando a atenção dos estudantes para as Figuras 1 e 2, explique que eletrodos inertes são aqueles constituídos de substâncias que não reagem quimicamente nas condições específicas em que a eletrólise é realizada. Se julgar conveniente, retome o eletrodo-padrão de hidrogênio para comentar que este apresenta um eletrodo inerte de platina e, portanto, não será o primeiro contato dos estudantes com uma placa de material condutor que não reage no processo eletroquímico, mas que é necessária para a condução de corrente elétrica, possibilitando que elétrons cheguem até a superfície do eletrodo (para provocar uma redução) ou que dela saiam (provenientes de uma oxidação) em direção à parte do circuito externa à cela eletrolítica.

Estimule os estudantes a propor a vantagem de eletrodos inertes. Espera-se que recordem conceitos trabalhados no Capítulo 7 sobre a força de oxidantes e redutores, e sugiram que, se o material do eletrodo fosse reativo, essa característica poderia dificultar a obtenção dos compostos de interesse por meio da eletrólise. Comente que, ainda assim, em alguns processos eletroquímicos é conveniente utilizar eletrodos ativos, ou seja, que atuem como reagentes na eletrólise. Exemplos serão conhecidos por eles ao estudar este capítulo.

De olho na BNCC

- **EM13CNT101**
- **EM13CNT107**
- **EM13CNT308**

Esse item possibilita o desenvolvimento das seguintes habilidades da BNCC: **EM13CNT101**, pois permite que os estudantes analisem e representem, com ou sem o uso de dispositivos e de aplicativos digitais específicos, as transformações e conservações em sistemas que envolvam quantidade de matéria e de energia 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; **EM13CNT107**, uma vez que capacita os estudantes a realizar previsões qualitativas sobre o funcionamento de geradores, pilhas, baterias (no caso, atuação do gerador nas transformações químicas que ocorrem nas eletrólises) com base na análise dos processos de transformação e condução de energia envolvidos; e **EM13CNT308**, já que está associado a analisar o funcionamento de equipamentos elétricos para compreender as tecnologias contemporâneas e avaliar seus impactos sociais, culturais e ambientais.

2. Eletrólise ígnea

Ao trabalhar este item, é importante destacar a relação entre a movimentação de elétrons na parte metálica do circuito e as semirreações que ocorrem em cada eletrodo. Peça aos estudantes que observem a Figura 3 apresentada no Livro do Estudante e estimule-os a identificar, a partir das indicações do sentido de movimentação dos elétrons, em qual eletrodo ocorre a semirreação de oxidação e em qual eletrodo ocorre a semirreação de redução. Caso eles apresentem dúvidas, é importante destacar que, assim como acontece nas pilhas, a oxidação fornece elétrons para a parte metálica do circuito externa à cela e a redução recebe elétrons dela.

Um aspecto que costuma gerar muitas dúvidas é sobre a polaridade dos eletrodos da cela eletrolítica. A esse respeito, você pode explicar aos estudantes que (considerando que a resistência elétrica dos fios empregados na montagem seja nula) o eletrodo de platina conectado ao polo positivo do gerador está no mesmo potencial elétrico que ele (é apenas uma extensão elétrica desse terminal) e, por isso, é o polo positivo da eletrólise. Analogamente, o eletrodo de platina ligado ao polo negativo do gerador está no mesmo potencial elétrico que ele e, portanto, é o polo negativo da cela eletrolítica. Assim, **a polaridade dos eletrodos da eletrólise é determinada pelos terminais do gerador ao qual estão conectados**.

A título de comparação entre os fenômenos de pilha e eletrólise, você pode apresentar a eles o desenho esquemático a seguir, ajudando-os a interpretá-lo. Essa análise será facilitada por três considerações que decorrem do que foi estudado: (1) o sinal de cada eletrodo da eletrólise é determinado pelo terminal do gerador ao qual está conectado; (2) elétrons partem de eletrodos nos quais acontece oxidação (perda de elétrons); (3) elétrons chegam a eletrodos nos quais ocorre redução (recebimento de elétrons).

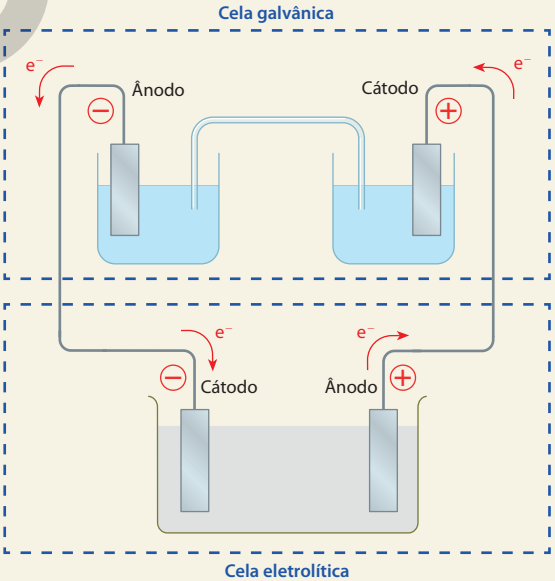


ILUSTRAÇÃO: ADILSON SECCO

Esquema comparativo entre uma cela galvânica e uma cela eletrolítica. (Representação fora de escala; cores meramente ilustrativas.)

Fontes consultadas: LEVINE, I. *Physical Chemistry*. 6. ed. Nova York: McGraw-Hill, 2009; ATKINS, P. W. *et al*. *Physical Chemistry*. 11. ed. Oxford: Oxford University Press, 2018.

REPRODUÇÃO PROIBIDA

Nessa análise comparativa, relembre que na cela galvânica o ânodo é o polo negativo (nele acontece a oxidação, a perda de elétrons) e o cátodo é o polo positivo (nele ocorre a redução, o recebimento de elétrons). A seguir, enfatize que, na cela eletrolítica, o gerador externo fornece elétrons para ocorrência da redução no cátodo, que é considerado o eletrodo negativo, e remove elétrons do ânodo, que é considerado o polo positivo. O mapa conceitual a seguir pode ser construído em sala, com a participação dos estudantes, para auxiliá-los na organização das ideias envolvidas.

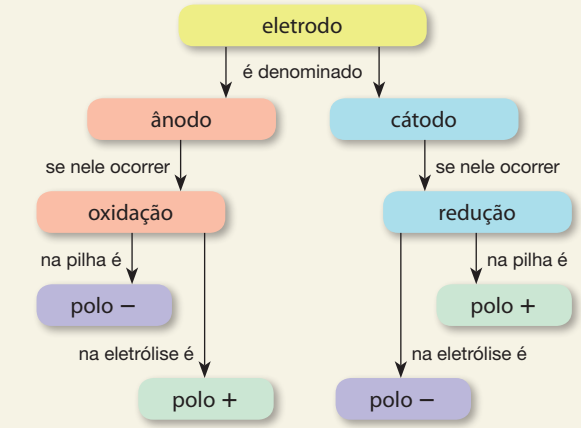


ILUSTRAÇÃO DOS AUTORES

Mapa conceitual organizador da nomenclatura dos eletrodos em processos eletroquímicos.

Ao mostrar as equações das semirreações e a equação da reação global da eletrólise ígnea do cloreto de sódio, estimule os estudantes a interpretar esses processos. Retome a ideia de igualar a quantidade de elétrons por meio da multiplicação das equações das semirreações por números adequados. Procure reservar um tempo para que os estudantes façam as atividades do *Aplicando conhecimentos* em sala, e, em seguida, realize a resolução na lousa estimulando a participação deles.

Deixe claro que a eletrólise não é um processo espontâneo e o fluxo de elétrons é forçado pelo gerador externo. Utilizando o exemplo dado no Livro do Estudante (eletrólise ígnea do cloreto de sódio), mostre que o ΔE correspondente apresenta valor negativo, e, portanto, esse processo não é espontâneo. Conduza à generalização de que, para todos os processos eletrolíticos, o valor de ΔE, nas condições em que são realizados, é menor que zero. Aproveite para comentar que, a fim de assegurar a ocorrência da eletrólise, o gerador empregado deve estabelecer entre os eletrodos da cela eletrolítica uma tensão elétrica maior que o módulo do ΔE da reação que se deseja que aconteça.

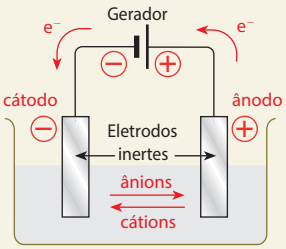
De olho na BNCC

- **EM13CNT101**
- **EM13CNT205**

Este item possibilita o desenvolvimento das seguinte habilidades da BNCC: **EM13CNT101**, pois permite analisar e representar as transformações em sistemas que envolvam quantidade de matéria e energia para realizar previsões sobre seus comportamentos; e **EM13CNT205**, pois ajuda a interpretar resultados e realizar previsões sobre atividades experimentais e processos tecnológicos, reconhecendo os limites explicativos das ciências.

Aplicando conhecimentos

1



(Representação fora de escala; cores meramente ilustrativas.)

ILUSTRAÇÃO: ADILSON SECCO

2 Semirreação de redução: $K^+ + e^- \rightarrow K^0$

Semirreação de oxidação: $2F^- \rightarrow F_2 + 2e^-$

Multiplicando a semirreação de redução por 2, para igualar o número de elétrons, e somando as duas semirreações, temos a equação da reação global:

$$2K^+ + 2e^- \rightarrow 2K^0$$
$$2F^- \rightarrow F_2 + 2e^-$$
$$\overline{2K^+ + 2F^- \rightarrow 2K^0 + F_2} \quad (+)$$

3 a) No cátodo, ocorre a semirreação de redução e, portanto, é produzido alumínio metálico (Al^0). No ânodo, ocorre a semirreação de oxidação e, portanto, é produzido o gás oxigênio (O_2).

b) Semirreação de redução: $Al^{3+} + 3e^- \rightarrow Al^0$

Semirreação de oxidação: $2O^{2-} \rightarrow O_2 + 4e^-$

4 Semirreação catódica (redução):

$$Ra^{2+} + 2e^- \rightarrow Ra^0$$

Semirreação anódica (oxidação):

$$2Cl^- \rightarrow Cl_2 + 2e^-$$

De olho na BNCC

- **EM13CNT301**

As atividades sugeridas no *Aplicando conhecimentos* possibilitam o desenvolvimento da habilidade **EM13CNT301** da BNCC, pois permitem elaborar previsões e estimativas, bem como representar e interpretar modelos explicativos para construir, avaliar e justificar conclusões no enfrentamento de situações-problema sob uma perspectiva científica.

3. Eletrólise aquosa

Para iniciar o desenvolvimento deste item, apresente as substâncias obtidas nas eletrólises aquosas dos sais destacados na Tabela 1 do Livro do Estudante. Peça que os estudantes proponham equações que mostrem a dissociação iônica, em meio aquoso, dos sais indicados. Esse tipo de abordagem estimula o levantamento de hipóteses por parte dos estudantes. Verifique se eles indicaram corretamente os cátions e os ânions liberados em cada dissociação iônica:

$$SnCl_2(s) \rightarrow Sn^{2+}(aq) + 2Cl^-(aq)$$
$$AgNO_3(s) \rightarrow Ag^+(aq) + NO_3^-(aq)$$
$$KI(s) \rightarrow K^+(aq) + I^-(aq)$$
$$Na_2SO_4(s) \rightarrow 2Na^+(aq) + SO_4^{2-}(aq)$$

Peça também que eles comparem esses cátions e ânions com as substâncias obtidas (Tabela 1) em cada um dos exemplos, destacando suas similaridades e suas diferenças.

A seguir, explique que além dos cátions e ânions provenientes da substância dissolvida, existe a possibilidade de a

EM ABERTO

água reagir nos eletrodos, sendo reduzida a $H_2(g)$ no cátodo e oxidada a $O_2(g)$ no ânodo:

$$2\,H_2O(l) + 2\,e^- \rightarrow H_2(g) + 2\,OH^-(aq)$$

$$2\,H_2O(l) \rightarrow O_2(g) + 4\,H^+(aq) + 4\,e^-$$

Retomando o conceito de número de oxidação, mostre que:

- na semirreação catódica, o número de oxidação do elemento químico hidrogênio (H) altera-se de +1, na água, para zero, no gás hidrogênio, configurando uma redução, e que
- na semirreação anódica, o número de oxidação do elemento químico oxigênio (O) altera-se de −2, na água, para zero, no gás oxigênio, consistindo em uma oxidação.

Assim, há duas reações concorrentes que podem ocorrer em cada eletrodo. Contudo, nas situações estudadas no Ensino Médio, uma delas costuma ser muito favorecida em relação à outra. Nesse contexto, mostre a importância de se utilizar a Figura 5 do Livro do Estudante, que mostra um esquema comparativo da tendência de um íon reagir (descarregar) no cátodo ou no ânodo em relação à da água. Nossa sugestão é que o esquema dessa figura seja considerado instrumento de consulta, inclusive nas avaliações.

Apresente a eletrólise aquosa do $SnCl_2$, destacando as equações das semirreações envolvidas e mostrando para os estudantes como interpretar a Figura 5. Em seguida, faça o mesmo para a eletrólise aquosa do nitrato de prata, $AgNO_3$, a do iodeto de potássio, KI, e a do sulfato de sódio, Na_2SO_4. Caso considere oportuno, reserve um tempo para que os estudantes proponham a equação global da eletrólise aquosa de um sal diferente dos apresentados no Livro do Estudante. Essa atividade pode ser realizada em grupos, para que os estudantes compartilhem suas percepções e, juntos, proponham a equação global a partir das semirreações de oxidação e redução.

Caso tenha tempo disponível, proponha que os estudantes assistam ao vídeo "Eletrólise de solução de iodeto de potássio (KI)", do Grupo de Pesquisa em Educação Química (GEPEC) do Instituto de Química da Universidade de São Paulo (IQ-USP), disponível em: <https://gepeqiqusp.wixsite.com/gepeq/eletrlise-de-uma-soluo-de-iodeto-de-potssio>. Acesso em: 01 set. 2020. Após assistirem ao vídeo, solicite que respondam às perguntas: Qual substância é formada no ânodo? Qual substância é formada no cátodo? Por que, ao longo do experimento, são formadas as colorações vistas no vídeo? Essa atividade favorece a compreensão dos fatos mostrados na Figura 7 do Livro do Estudante.

De olho na BNCC

- **EM13CNT205**

Este Item 3 possibilita que os estudantes desenvolvam a habilidade **EM13CNT205** da BNCC, pois os estimula a interpretar resultados e a realizar previsões sobre atividades experimentais e processos tecnológicos, reconhecendo os limites explicativos das ciências.

Aplicando conhecimentos

5 **a)** Eletrólise aquosa do cloreto de estanho:

$$Sn^{2+}(aq) + 2\,e^- \rightarrow Sn(s)$$
$$2\,Cl^-(aq) \rightarrow Cl_2(g) + 2\,e^-$$
$$\overline{Sn^{2+}(aq) + 2\,Cl^-(aq) \rightarrow Sn(s) + Cl_2(g)} \quad (+)$$

Eletrólise aquosa do nitrato de prata:

$$4\,Ag^+(aq) + 4\,e^- \rightarrow 4\,Ag(s)$$
$$2\,H_2O(l) \rightarrow O_2(g) + 4\,H^+(aq) + 4\,e^-$$
$$\overline{4\,Ag^+(aq) + 2\,H_2O(l) \rightarrow 4\,Ag(s) + O_2(g) + 4\,H^+(aq)} \quad (+)$$

Eletrólise aquosa do iodeto de potássio:

$$2\,H_2O(l) + 2\,e^- \rightarrow H_2(g) + 2\,OH^-(aq)$$
$$2\,I^-(aq) \rightarrow I_2(s) + 2\,e^-$$
$$\overline{2\,H_2O(l) + 2\,I^-(aq) \rightarrow H_2(g) + 2\,OH^-(aq) + I_2(s)} \quad (+)$$

Eletrólise aquosa do sulfato de sódio:

$$4\,H_2O(l) + 4\,e^- \rightarrow 2\,H_2(g) + 4\,OH^-(aq)$$
$$2\,H_2O(l) \rightarrow O_2(g) + 4\,H^+(aq) + 4\,e^-$$
$$\overline{2\,H_2O(l) \rightarrow 2\,H_2(g) + O_2(g)} \quad (+)$$

b) $SnCl_2$: redução do elemento químico estanho (Sn) e oxidação do elemento químico cloro (Cl).
$AgNO_3$: redução do elemento químico prata (Ag) e oxidação do elemento químico oxigênio (O).
KI: redução do elemento químico hidrogênio (H) e oxidação do elemento químico iodo (I).
Na_2SO_4: redução do elemento químico hidrogênio (H) e oxidação do elemento químico oxigênio (O).

6 Como os íons Cu^{2+} e os ânions não oxigenados (exceto F^-) têm tendência maior do que a água para reagir na eletrólise aquosa, ocorrerá eletrólise da água apenas nas soluções de hidróxido de sódio (NaOH), ácido sulfúrico (H_2SO_4) e nitrato de potássio (KNO_3).

7 Porque os íons Na^+, K^+, Mg^{2+} e Al^{3+} apresentam tendência menor que a da água para serem reduzidos no cátodo. Assim, não pode haver água presente na eletrólise, que, portanto, precisa ser ígnea.

8 **a)** Gás cloro é produzido no ânodo por oxidação:

$$2\,Cl^- \rightarrow Cl_2 + 2\,e^-$$

b) Gás hidrogênio é produzido no cátodo por redução:

$$2\,H_2O + 2\,e^- \rightarrow H_2 + 2\,OH^-$$

c) O cloreto de hidrogênio (HCl), produzido na reação assim equacionada:

$$H_2(g) + Cl_2(g) \rightarrow 2\,HCl(g)$$

d) O hidróxido de sódio, NaOH.

De olho na BNCC

- **EM13CNT301**

As atividades sugeridas no *Aplicando conhecimentos* possibilitam o desenvolvimento da habilidade **EM13CNT301** da BNCC, pois permitem elaborar previsões e estimativas, bem como representar e interpretar modelos explicativos para construir, avaliar e justificar conclusões no enfrentamento de situações-problema sob uma perspectiva científica.

MODERNA

4. Aplicações da eletrólise

A **galvanoplastia** é um procedimento que tem como objetivo proteger materiais metálicos da corrosão. Além disso, dependendo do contexto em que ela é realizada, também pode tornar o material mais bonito, ao alterar sua aparência. Isso pode ser visualizado pelos estudantes por meio da Figura 9 do Livro do Estudante, que mostra detalhes metálicos cromados em um automóvel. Use a sequência de imagens da Figura 10 para explicar como é feita a eletrodeposição metálica em uma peça e comente outros exemplos, como o recobrimento de joias e a galvanização do ferro.

É importante que os estudantes percebam que a galvanoplastia permite gerar um revestimento metálico em uma peça ao posicioná-la como cátodo (polo negativo) em um circuito de eletrólise aquosa. Para que isso ocorra, a peça precisa ser constituída de um material que conduz corrente elétrica.

A seu critério, comente com os estudantes que, em procedimentos de galvanoplastia industrial, além de a solução conter o cátion do metal que se pretende depositar no cátodo (por redução), o ânodo geralmente é formado por uma placa desse mesmo elemento químico em sua forma metálica. Esse eletrodo anódico não será inerte no processo, mas ativo durante a eletrólise, com o metal que o constitui sendo continuamente oxidado a fim de manter a concentração de seu cátion em solução. Assim, considerando a Figura 10 do Livro do Estudante como exemplo, mostre que, além de a solução conter íons $Cu^{2+}(aq)$, o polo positivo é uma placa metálica de cobre. As semirreações são equacionadas como segue.

no ânodo (polo +): $Cu(s) \rightarrow Cu^{2+}(aq) + 2e^-$

no cátodo (polo −): $Cu^{2+}(aq) + 2e^- \rightarrow Cu(s)$

Ao fazer esse comentário adicional, você já estará preparando os estudantes para compreender o processo de refino eletrolítico do cobre, apresentado neste mesmo item.

Outro exemplo de aplicação da eletrólise é no processo de **anodização**, que proporciona proteção contra a corrosão em metais como o alumínio, cujo óxido apresenta alta aderência ao metal e atua como uma película protetora. Além disso, a anodização do alumínio possibilita, como comentado no item, colorir o alumínio mantendo seu brilho metálico. Para destacar esse aspecto, utilize os objetos apresentados na Figura 11 do Livro do Estudante. Em seguida, apresente as equações do processo de anodização do alumínio, destacando as propriedades protetoras do óxido de alumínio formado na superfície. Explique que o óxido do metal precisa apresentar alta aderência para que confira proteção ao objeto e para que a anodização seja um método eficiente.

Se considerar relevante, comente com os estudantes que se denomina **passivação** o fenômeno no qual uma camada insolúvel de produto de oxidação reduz ou impede a oxidação ulterior de uma peça metálica. Embora a anodização acelere a passivação, a formação de óxido na superfície do alumínio é espontânea mesmo quando não se realiza o processo. A anodização é, contudo, uma maneira de garantir que a camada de óxido se forme com espessura igual em toda a superfície, evitando manchas decorrentes de irregularidades.

Se optar por falar em passivação, aproveite para explicar que o aço inox (aço inoxidável) é muito menos propenso ao enferrujamento do que o aço comum devido a uma película passivadora constituída de óxidos de crômio e/ou níquel. Esses dois metais — crômio e níquel — são incorporados à liga justamente com a finalidade de proporcionar a formação espontânea da camada passivadora (sem qualquer necessidade de anodização).

Ao falar sobre o **refino eletrolítico do cobre**, utilize a Figura 12 do Livro do Estudante para ressaltar que em algumas aplicações o cobre deve apresentar elevado grau de pureza. Dessa forma, a purificação é fundamental, já que um pequeno porcentual de impurezas provoca considerável declínio da condutividade elétrica desse metal. O refino eletrolítico é o principal método de purificação do cobre. Também pode ser empregado para ouro, prata, níquel e, em certos casos, chumbo.

Reserve um tempo para que os estudantes interpretem o esquema da Figura 13. Peça que eles determinem o cátodo, o ânodo, o sentido da corrente elétrica e a função do sal sulfato de cobre. Converse com eles sobre suas conclusões e explique que as impurezas do ânodo, durante o refino, são direcionadas para a solução ou formam a lama anódica. É importante que os estudantes considerem as equações representadas na legenda da Figura 13 para identificar as espécies químicas que são oxidadas e reduzidas no processo. Caso considere oportuno, peça que eles elaborem um esquema semelhante, considerando que o metal a ser purificado seja o níquel.

Ao falar sobre a **obtenção de substâncias de interesse por meio da eletrólise**, destaque que esse processo eletroquímico permite obter várias substâncias que não são encontradas na natureza, como gás cloro, soda cáustica e hipoclorito de sódio, utilizadas em diversos ramos da indústria. Apresente aos estudantes as equações das semirreações da eletrólise aquosa do cloreto de sódio e analise-as com eles. Faça o mesmo com a reação de produção de hipoclorito de sódio a partir de gás cloro e hidróxido de sódio.

Esse momento é oportuno para avaliar a percepção dos estudantes quanto a conteúdos abordados anteriormente neste capítulo. Também é uma oportunidade de explicar como as indústrias eletrolíticas realizam, partindo de matérias-primas adequadas, reações químicas que não ocorreriam espontaneamente. Assim, é possível retomar o início do capítulo, em que se comentou o fato de as reações que ocorrem em celas eletrolíticas serem forçadas por meio da utilização adequada de um gerador externo.

De olho na BNCC

- **EM13CNT307**

Este item possibilita desenvolver a habilidade **EM13CNT307** da BNCC, pois permite aos estudantes analisar as propriedades dos materiais para avaliar a adequação de seu uso em diferentes aplicações (industriais, cotidianas ou tecnológicas) e/ou propor soluções seguras e sustentáveis, considerando seu contexto local e cotidiano.

EDIÇÃO MODERNA

Sugestão de atividade complementar

Caso o seu planejamento didático tenha sido elaborado de modo que os conceitos de quantidade de matéria, massa molar e relações estequiométricas já tenham sido trabalhados com os estudantes, uma sugestão de atividade é propor a eles que pesquisem como é possível prever a massa de determinada substância produzida em um processo eletroquímico (seja pilha ou eletrólise) a partir de informações como o tempo de duração do processo, a equação da semirreação envolvida e a intensidade da corrente elétrica que passou pelo eletrodo.

Assim, a ideia é que os estudantes respondam a perguntas do tipo: Como prever a massa de substância formada em uma eletrólise em função do tempo e da corrente elétrica produzida pelo gerador empregado no processo? E como estimar o desgaste de eletrodo metálico de uma pilha, à medida que ela é usada para gerar corrente em um circuito elétrico? Você pode propor que, usando um exemplo prático (e numérico), cada equipe produza uma videoaula em que explique os raciocínios envolvidos.

Na sequência, expomos ao docente, em linhas gerais, os aspectos envolvidos na **estequiometria das reações eletroquímicas**, mostrando ideias às quais os estudantes devem chegar durante o desenvolvimento do tema. Caso opte pela sugestão de pesquisa com elaboração de videoaula, as informações apresentadas podem ser úteis para pautar suas intervenções pedagógicas no sentido de auxiliar as equipes na consecução de sua meta, pautando discussões sobre o tema durante o processo. Se, ao contrário, você optar por um desenvolvimento desse tema de modo expositivo, as informações a seguir podem servir para embasar a preparação de aulas.

Em Química, é comum empregarmos a carga do próton (a que se atribui o valor relativo $+1$) e a do elétron (a que se atribui o valor relativo -1) como referências para expressar a carga de íons. Assim, por exemplo, o cátion Na^+ apresenta carga igual à de um próton, o cátion Ca^{2+} tem carga igual à de dois prótons, o ânion Cl^- possui carga igual à de um elétron, e assim por diante.

Conforme abordado no Capítulo 4 do Livro do Estudante, para expressar a grandeza **carga elétrica**, simbolizada neste livro por Q, de um corpo qualquer — incluindo a de prótons, elétrons e íons — é usada a unidade **coulomb**, do Sistema Internacional de Unidades, que é simbolizada por **C**.

Expressa em coulombs, a carga de um elétron é $-1{,}6 \cdot 10^{-19}$ C e a de um próton é $+1{,}6 \cdot 10^{-19}$ C. Ambas têm o mesmo valor em módulo, mas apresentam sinais opostos. Conforme explicado no Capítulo 4 do Livro do Estudante, o módulo desses valores é denominado **carga elementar** e representada por e.

$$e = 1{,}6 \cdot 10^{-19}\ \text{C}$$

Na presente discussão, estamos interessados no módulo da carga elétrica que atravessa um circuito, ignorando seu sinal. Essa carga é necessariamente um múltiplo inteiro de e.

No Capítulo 5 do Livro do Estudante, é apresentada a grandeza **intensidade de corrente elétrica**, simbolizada por i, definida como a carga elétrica (ΔQ) que atravessa uma seção transversal de um fio condutor em um circuito elétrico (isto é, a carga que passa por um corte imaginário perpendicular à direção de propagação da corrente elétrica nesse fio) dividida pelo intervalo de tempo (Δt).

$$i = \frac{\Delta Q}{\Delta t}$$

A unidade do Sistema Internacional usada para expressar corrente elétrica é o **ampere**, simbolizado por **A**, que equivale a C/s ou $\text{C} \cdot \text{s}^{-1}$ (coulomb por segundo). Dizer que uma corrente de 1 A (um ampere) passa por um circuito significa dizer que a carga de 1 C (um coulomb) passa por ele em um intervalo de 1 s (um segundo).

O aparelho usado para medir a corrente elétrica em certo trecho de um circuito é o amperímetro (apresentado no Capítulo 5 do Livro do Estudante), que fornece o resultado dessa medida em amperes (ou seus múltiplos e submúltiplos). O amperímetro mede, portanto, quantos coulombs de carga (ou seus múltiplos e submúltiplos) passam nesse trecho a cada segundo.

Para determinar a carga elétrica (em C) que atravessa a seção transversal a um fio de um circuito de uma cela eletroquímica (galvânica ou eletrolítica) em funcionamento durante certo tempo, basta multiplicar a corrente elétrica (em A) pelo intervalo de tempo (em s):

$$\Delta Q = i \cdot \Delta t$$

Assim, usando-se um amperímetro e um cronômetro, pode-se determinar a carga elétrica que sai de um eletrodo (por um fio metálico) ou que chega até ele (também por um fio metálico) durante a operação de uma cela eletroquímica.

Posto que, durante a operação de um dispositivo eletroquímico macroscópico, uma grande quantidade de elétrons chega a um eletrodo ou sai dele, é conveniente conhecer o módulo da carga de 1 mol de elétrons. Faremos a determinação dessa grandeza empregando a constante de Avogadro ($6{,}02214 \cdot 10^{23}\ \text{mol}^{-1}$) e a carga elementar ($1{,}60218 \cdot 10^{-19}$ C):

número de e^-		carga elétrica
1	——	$1{,}60218 \cdot 10^{-19}$ C
$6{,}02214 \cdot 10^{23}\ \text{mol}^{-1}$	——	F

$$F = 9{,}6485 \cdot 10^{4}\ \text{C} \cdot \text{mol}^{-1}$$

Assim, $9{,}6485 \cdot 10^{4}\ \text{C} \cdot \text{mol}^{-1}$ (valor frequentemente expresso com três algarismos significativos, $9{,}65 \cdot 10^{4}\ \text{C} \cdot \text{mol}^{-1}$) é o **módulo da carga total de 1 mol de elétrons** (daí a unidade mol^{-1}, que indica "por mol"). Esse valor é denominado **constante de Faraday** (F) em homenagem ao físico e químico inglês Michael Faraday (1791-1867), que, além de descobrir as ideias básicas que regem a estequiometria dos processos eletroquímicos, inventou o motor elétrico e foi o primeiro a demonstrar o princípio empregado na construção dos geradores elétricos que convertem energia cinética em energia elétrica.

Investigando a relação entre a quantidade de carga que passa por um circuito elétrico em que ocorre uma eletrólise e as quantidades de substâncias produzidas nos eletrodos,

EM MODERNA

Michael Faraday enunciou o que, em linguagem química atual, poderia ser assim posto: a massa de substância produzida num eletrodo é proporcional à carga elétrica que circula na cela eletrolítica e à massa molar dessa substância. Essa ideia pode ser compreendida como uma decorrência da proporcionalidade estequiométrica que existe entre a quantidade (em mol) de elétrons que chega ou sai de um eletrodo e a quantidade (em mol) da substância nele formada.

Consideremos os exemplos equacionados a seguir de semirreações de deposição de metais por redução de seus cátions em processos eletrolíticos e suas respectivas interpretações estequiométricas:

$$1\,Ag^{+}(aq) + 1\,e^{-} \rightarrow 1\,Ag(s)$$

A redução de 1 mol de Ag^{+} requer 1 mol de e^{-}...

... e o produto é 1 mol de Ag (s).

$$1\,Cu^{2+}(aq) + 2\,e^{-} \rightarrow 1\,Cu(s)$$

A redução de 1 mol de Cu^{2+} requer 2 mol de e^{-}...

... e o produto é 1 mol de Cu (s).

$$1\,Al^{3+}(aq) + 3\,e^{-} \rightarrow 1\,Al(s)$$

A redução de 1 mol de Al^{3+} requer 3 mol de e^{-}...

... e o produto é 1 mol de Al (s).

Assim, nesses exemplos, podemos afirmar que:

- Uma carga de 1 mol de e^{-} em módulo (1 *F*), passando pelo circuito, acarreta deposição de 1 mol de Ag (s), isto é, 108 g de Ag;
- Uma carga de 2 mol de e^{-} em módulo (2 *F*), passando pelo circuito, acarreta deposição de 1 mol de Cu (s), isto é, 63,5 g de Cu;
- Uma carga de 3 mol de e^{-} em módulo (3 *F*), passando pelo circuito, acarreta deposição de 1 mol de Al (s), isto é, 27,0 g de Al.

O mesmo tipo de raciocínio pode ser empregado nos processos que ocorrem nos eletrodos de uma cela galvânica (pilha). Considere, por exemplo, as semirreações equacionadas a seguir, que podem ocorrer no ânodo de pilhas:

$$1\,Zn(s) \rightarrow 1\,Zn^{2+}(aq) + 2\,e^{-}$$

Na oxidação de 1 mol de Zn (s) a Zn^{2+} (aq), ...

... ocorre liberação de 2 mol de elétrons.

$$1\,Cr(s) \rightarrow 1\,Cr^{3+}(aq) + 3\,e^{-}$$

Na oxidação de 1 mol de Cr (s) a Cr^{3+} (aq), ...

... ocorre liberação de 3 mol de elétrons.

Assim, nesses exemplos, podemos afirmar que:

- Uma carga de 2 mol de e^{-} em módulo (2 *F*), passando pelo circuito, oxida 1 mol de Zn (s) a Zn^{2+} (aq), isto é, 65,4 g de Zn;
- Uma carga de 3 mol de e^{-} em módulo (3 *F*), passando pelo circuito, oxida 1 mol de Cr (s) a Cr^{3+} (aq), isto é, 52,0 g de Cr.

Assim, embora a lei de Faraday tenha sido proposta para processos de eletrólise, ela pode ser generalizada para também englobar processos que acontecem nos eletrodos de pilhas: a massa de substância produzida ou consumida em um eletrodo de uma cela eletroquímica (pilha ou eletrólise) relaciona-se, por meio de uma proporção estequiométrica, com a quantidade de elétrons envolvidos na semirreação que ocorre nesse eletrodo. Os elétrons, por sua vez, relacionam-se à carga elétrica total que passa pelo circuito elétrico.

O mapa conceitual a seguir ajuda a compreender que, ao estabelecer relações estequiométricas, é possível considerar também a carga elétrica, caso se trate de um processo eletroquímico. Em outras palavras, em reações de oxirredução, a carga elétrica dos elétrons transferidos guarda uma relação estequiométrica com as quantidades de reagentes e de produtos envolvidos na reação.

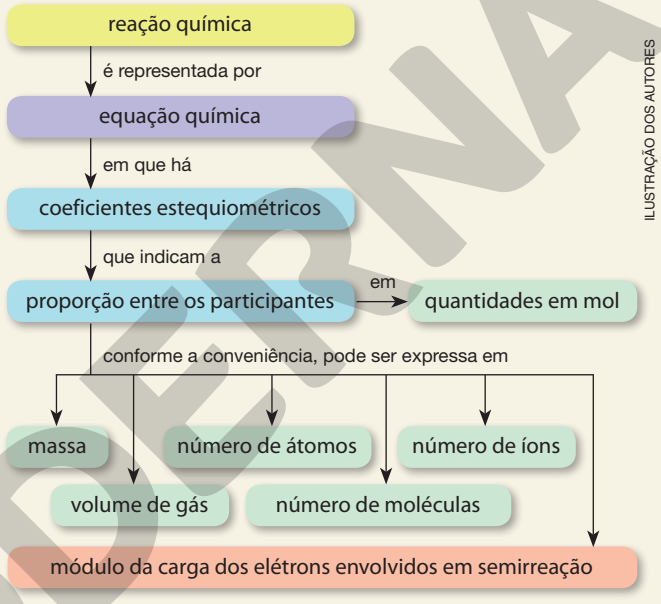


ILUSTRAÇÃO DOS AUTORES

Mapa conceitual organizador de ideias de estequiometria, incluindo a carga de elétrons transferidos em processos eletroquímicos.

Apresentamos agora exemplos da utilização dos princípios discutidos.

Consideremos uma situação-problema em que o técnico encarregado de uma indústria de eletrodeposição (galvanoplastia) deseja depositar, em uma peça metálica, um revestimento de 11,74 g de níquel metálico, em um processo de niquelação realizado com corrente de intensidade constante 96,5 A. Por quanto tempo a cela eletrolítica deve funcionar?

A peça deverá ser o cátodo na eletrólise de solução aquosa contendo cátions Ni^{2+} (aq). A semirreação catódica é assim equacionada:

$$Ni^{2+}(aq) + 2\,e^{-} \rightarrow Ni(s)$$

Essa equação indica que são necessários 2 mol de elétrons para depositar 1 mol de níquel, cuja massa molar (consultando a tabela periódica) é 58,7 g/mol.

Não existe, contudo, um modo de medir **diretamente** quantos elétrons passam por uma seção transversal do circuito elétrico, mas há como medir a intensidade da corrente elétrica e o intervalo de tempo. Além disso, conhecemos a constante de Faraday, $F = 9{,}65 \cdot 10^{4}\ C \cdot mol^{-1}$.

MODERNA

Assim, na estequiometria de uma semirreação, podemos incluir a carga, em coulombs, dos elétrons envolvidos nessa semirreação.

A peça metálica (cátodo) na qual serão depositados 11,74 g de níquel estará imersa na solução em uma cela eletrolítica, sendo que a corrente elétrica que atravessa o circuito, medida com um amperímetro, apresenta o valor de 96,5 A. Só resta saber por quanto tempo (Δt) a eletrólise deve ocorrer para que a massa desejada de níquel se deposite sobre a peça.

Inicialmente, vamos determinar a carga, em coulombs, que deve atravessar o circuito da eletrólise para produzir a massa pretendida de níquel:

$$1\,Ni^{2+}(aq) + 2\,e^- \rightarrow 1\,Ni(s)$$

proporção: 2 mol | 1 mol

O módulo da carga elétrica de 2 mol de elétrons é 2 *F*.

A massa molar do níquel é 58,7 g/mol.

grandezas: carga | massa

$$\left.\begin{array}{rcl} 2 \cdot 9{,}65 \cdot 10^4\ C & \text{——} & 58{,}7\ g \\ Q & \text{——} & 11{,}74\ g \end{array}\right\} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \boxed{Q = 3{,}86 \cdot 10^4\ C}$$

Então, já sabemos que deve passar pelo circuito a carga de $3{,}86 \cdot 10^4$ C. Finalmente, como sabemos também o valor da corrente elétrica ($96{,}5\ A = 96{,}5\ C \cdot s^{-1}$), podemos determinar o tempo necessário:

$$i = \frac{\Delta Q}{\Delta t} \Rightarrow \Delta t = \frac{\Delta Q}{i} = \frac{3{,}86 \cdot 10^4\ C}{96{,}5\ C \cdot s^{-1}} \Rightarrow \boxed{\Delta t = 400\ s}$$

Assim, a corrente elétrica de intensidade 96,5 A deve atravessar o circuito por 400 s a fim de que se deposite a massa desejada de níquel sobre a peça que se deseja niquelar.

Para exemplificar a quantificação de quantidade de reagente em uma cela galvânica, consideremos uma pilha seca alcalina usada para fazer funcionar uma boneca que entoa cantigas de ninar. Quando o brinquedo permanece ligado, a pilha fornece a corrente de intensidade constante 0,100 A. O polo negativo da pilha (ânodo), que emite elétrons para a parte metálica do circuito externa à pilha, é constituído de zinco metálico, que se oxida de acordo com a semirreação assim equacionada:

$$Zn(s) \rightarrow Zn^{2+}(aq) + 2\,e^-$$

Como determinar a massa de zinco oxidada nesse ânodo quando a boneca permanece ligada por uma hora?

A ideia envolvida na resolução é semelhante à empregada no caso da eletrólise: realizar um cálculo estequiométrico relacionando a massa de um participante da reação química de oxirredução (zinco, no caso) com o módulo da carga dos elétrons envolvidos na semirreação.

Inicialmente, determinamos a carga total que atravessa o circuito durante uma hora (3.600 s) de funcionamento do equipamento com intensidade de corrente elétrica 0,100 A, ou seja, $0{,}100\ C \cdot s^{-1}$:

$$\Delta Q = i \cdot \Delta t = 0{,}100\ C \cdot s^{-1} \cdot 3.600\ s \Rightarrow \boxed{\Delta Q = 360\ C}$$

A seguir, realizamos o cálculo estequiométrico relacionando carga e massa:

$$1\,Zn(s) \rightarrow 2\,e^- + 1\,Zn^{2+}(aq)$$

proporção: 1 mol | 2 mol

A massa molar do zinco é 65,4 g/mol.

O módulo da carga elétrica de 2 mol de elétrons é 2 *F*.

grandezas: massa | carga

$$\left.\begin{array}{rcl} 65{,}4\ g & \text{——} & 2 \cdot 9{,}65 \cdot 10^4\ C \\ m & \text{——} & 360\ C \end{array}\right\} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \boxed{m = 0{,}122\ g}$$

Assim, concluímos que a massa do ânodo de zinco que se oxida a íons zinco é 0,122 g, ou 122 mg, durante uma hora de funcionamento do equipamento.

Para exemplificar a utilização de outra grandeza que não a massa, no estabelecimento de relações estequiométricas envolvendo semirreações, consideremos agora a eletrólise de uma solução aquosa de Na_2SO_4 (aq) com eletrodos inertes, na qual as substâncias produzidas são gás hidrogênio e gás oxigênio. Suponha que, durante 193 s, foram coletados 240 mL de gás no ânodo, medidos a 20 °C e 1 atm, e deseja-se determinar a intensidade da corrente elétrica utilizada, suposta constante durante todo o período de tempo em que a cela eletrolítica permaneceu em funcionamento. O volume molar de gás ideal (comportamento que admitiremos ser o do gás produzido), a 20 °C e 1 atm, é 24 L/mol.

Nesse caso, a semirreação anódica consiste na oxidação de H_2O (l) a O_2 (g). Vamos calcular a carga que passou pelo circuito por meio do estabelecimento de uma proporcionalidade entre carga elétrica e volume de gás na semirreação do ânodo:

$$2\,H_2O(l) \rightarrow O_2(g) + 4\,H^+(aq) + 4\,e^-$$

proporção: 1 mol | 4 mol

O volume molar de gás ideal é 24 L/mol, (a 20 °C e 1 atm).

O módulo da carga elétrica de 4 mol de elétrons é 4 *F*.

grandezas: volume | carga

$$\left.\begin{array}{rcl} 24\ L & \text{——} & 4 \cdot 9{,}65 \cdot 10^4\ C \\ 0{,}240\ L & \text{——} & Q \end{array}\right\} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \boxed{Q = 3{,}86 \cdot 10^3\ C}$$

Conhecendo Q e Δt, podemos calcular a intensidade da corrente elétrica (i):

$$i = \frac{\Delta Q}{\Delta t} \Rightarrow i = \frac{3{,}86 \cdot 10^3\ C}{193\ s} \Rightarrow \boxed{i = 20\ A}$$

Outra situação interessante do ponto de vista da estequiometria de processos eletroquímicos é o de cubas eletrolíticas em série. Para exemplificar, consideremos que uma cela eletrolítica contém solução aquosa de $NiCl_2$ e está ligada em série com outra na qual há solução aquosa de $Cr(NO_3)_3$, conforme a esquematização apresentada a seguir. Se, devido à passagem de corrente elétrica por esse circuito, durante certo intervalo

EXPOENTA

de tempo, houver depósito de 3 mol de níquel no cátodo de uma delas, como determinar a quantidade (em mol) de crômio que é depositada no cátodo da outra?

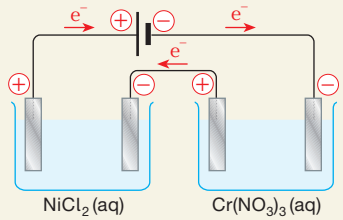


ILUSTRAÇÃO: ADILSON SECCO

Duas celas eletrolíticas em série, com soluções aquosas de diferentes sais. Os eletrodos são considerados inertes. (Representação fora de escala; cores meramente ilustrativas.)

O que existe de relevante nesta montagem é que ela possibilita discutir que a carga elétrica que passa pela seção transversal de um dos fios metálicos, em determinado intervalo de tempo, circula também por cada um dos quatro eletrodos. Especificamente no que se refere à pergunta feita, podemos afirmar que a carga elétrica que provoca a deposição de níquel em um dos cátodos é igual à que provoca a deposição de crômio no outro.

Em outras palavras, as duas celas eletrolíticas em série fazem parte de um mesmo circuito elétrico em série e, por isso, a corrente elétrica que passa por elas é a mesma. Portanto, podemos afirmar que, em certo intervalo de tempo, o número de elétrons que chega a cada cátodo (ou que sai de cada ânodo) é igual.

Vamos, então, calcular quantos mols de elétrons depositaram o níquel e, a seguir, calcular quantos mols de crômio são depositados por essa quantidade de elétrons.

$$1\,Ni^{2+}(aq) + 2\,e^- \rightarrow 1\,Ni(s)$$

proporção: 2 mol — 1 mol

grandezas: quantidade — quantidade

$$\left.\begin{array}{rcl} 2\text{ mol} & \text{——} & 1\text{ mol} \\ n(Ni) & \text{——} & 3\text{ mol} \end{array}\right\} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \quad n(Ni) = 6\text{ mol}$$

A mesma quantidade (em mol) de elétrons reduz o crômio. Assim, temos:

$$1\,Cr^{3+}(aq) + 3\,e^- \rightarrow 1\,Cr(s)$$

proporção: 3 mol — 1 mol

grandezas: quantidade — quantidade

$$\left.\begin{array}{rcl} 3\text{ mol} & \text{——} & 1\text{ mol} \\ 6\text{ mol} & \text{——} & n(Cr) \end{array}\right\} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \quad n(Cr) = 2\text{ mol}$$

Além de determinar o valor da grandeza desejada, concluímos que as quantidades depositadas pela mesma intensidade de corrente elétrica em um mesmo intervalo de tempo guardam uma proporção $n(Ni) : n(Cr)$ que vale 3 mol : 2 mol. Essa relação pode ser expressa assim:

$$\frac{n(Ni)}{n(Cr)} = \frac{3}{2} \quad \Leftrightarrow \quad 2 \cdot n(Ni) = 3 \cdot n(Cr)$$

A conclusão é que, na montagem experimental considerada, as quantidades de metal depositadas estão entre si na **proporção inversa** do número de elétrons recebidos pelo cátion de cada metal. Imagine, por exemplo, que em uma das celas acontecesse redução de $Cu^{2+}(aq)$ a Cu (s) e, na outra, de $Ag^{+}(aq)$ a Ag (s). Por um raciocínio similar ao apresentado, concluímos que, nesse caso:

$$\frac{n(Ag)}{n(Cu)} = \frac{2}{1} \quad \Leftrightarrow \quad n(Ag) = 2 \cdot n(Cu)$$

Muitas outras situações podem ser exploradas. Selecionamos exemplos para apresentar ao docente que ilustrassem algumas das principais relações estequiométricas possíveis em eletroquímica.

5. Metalurgia

Para introduzir os conteúdos abordados neste item, sugerimos que inicie questionando os estudantes sobre quais os metais que eles acreditam que são encontrados na natureza no estado metálico (substância simples constituída de metal). Anote as respostas na lousa e, caso eles tenham citado metais como o ferro e o alumínio, lembre-os de que esses metais possuem alta tendência à oxidação, e, portanto, são encontrados combinados (isto é, na constituição de substâncias compostas) na crosta terrestre. Nesse contexto, ressalte a importância da metalurgia e suas principais etapas (Figura 14 do Livro do Estudante).

Ao abordar a **metalurgia e potenciais-padrão de semicela**, lembre os estudantes que, para um cátion originar uma substância simples metálica, ele deve passar por redução. Auxilie-os a perceber que os metais cujo cátion tem tendência a se reduzir passando a apresentar número de oxidação zero podem existir como substâncias simples na crosta terrestre, mas também como substâncias compostas. Neste último caso, contudo, são facilmente reduzidos em processos industriais. Peça a eles que observem a Tabela 2 do Livro do Estudante, com os potenciais-padrão de redução de alguns cátions, e solicite que expliquem com suas palavras as três divisões feitas na tabela, classificando a tendência de encontrar um metal na natureza como substância simples ou de obtê-lo por meio de um processo de redução. Este tipo de abordagem é relevante, pois estimula os estudantes a interpretar informações científicas a partir da leitura de tabelas.

Para falar sobre os metais **ouro, platina, prata, cobre** e **mercúrio** relacionando com o contexto do capítulo, ressalte que a ustulação é um processo químico utilizado na metalurgia que consiste em aquecer um sulfeto na presença de gás de oxigênio, com o objetivo de obter metais, como prata, cobre e mercúrio. Ao apresentar a equação associada com o uso da ustulação para obtenção do metal mercúrio, discuta as características e as propriedades desse metal, enfatizando os riscos relacionados com seu manuseio inadequado ou contato com seus vapores. Aproveite a discussão sobre os impactos ambientais que podem ser causados por esse metal e destaque que as reações de ustulação também produzem dióxido de enxofre, SO_2, um dos gases que origina a chuva ácida. Portanto, as instalações industriais que realizam esse processo devem ter equipamentos para absorver e neutralizar esse composto.

MODERNA

Ao abordar os metais **ferro, estanho, zinco e chumbo**, apresente a equação de redução do óxido de ferro(III) e destaque a importância da siderurgia para a nossa sociedade. Explique que o estanho, o zinco e o chumbo são encontrados na natureza na forma de óxidos e sulfetos e que, portanto, podem ser obtidos por meio da redução na presença do gás monóxido de carbono ou da ustulação seguida dessa redução. Comente sobre as aplicações desses metais, citando algumas ligas metálicas de amplo uso, como o bronze e o latão, além da importância do zinco para a proteção do ferro por meio da galvanização.

Em seguida, comente que os metais **crômio e manganês** podem ser obtidos pela redução com carbono ou monóxido de carbono, mas normalmente ficam contaminados com altos teores de carbono, prejudicando a sua utilização em aplicações que exigem maior pureza.

Apresente o processo de obtenção desses metais por aluminotermia e cite suas aplicações, como a produção de aços inoxidáveis e matéria-prima para diversos objetos utilizados em nosso cotidiano.

Destaque os baixos valores de potencial de redução dos metais **alcalinos, alcalinoterrosos e alumínio**. Deixe claro que essa característica impede que eles sejam obtidos por meio de processos utilizados para produção de outros metais citados anteriormente. É interessante comentar que o único processo eficiente para sua obtenção em larga escala é a eletrólise ígnea. Por fim, sugerimos que apresente algumas aplicações desses metais, destacando a importância do alumínio.

De olho na BNCC

- **EM13CNT307**

Este item possibilita o desenvolvimento da habilidade **EM13CNT307** da BNCC, pois permite que os estudantes analisem 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.

Atividade em grupo

Essa atividade propõe que os estudantes pesquisem sobre os problemas acarretados pela mineração e as práticas que deveriam ser executadas para evitar ou reduzir impactos no ambiente e na sociedade. Peça a eles que incluam nesse trabalho os desastres que ocorreram em Mariana (MG), em 2015, e em Brumadinho (MG), em 2019, mostrando suas causas e consequências. Adicionalmente, oriente-os a pesquisar sobre o uso de mercúrio na mineração do ouro e sobre a drenagem ácida de minas (frequente em minas de carvão mineral ou onde se exploram minérios do tipo sulfeto), temas que estão associados a sérios impactos ambientais sobre corpos d'água, solo e saúde humana.

Os vídeos elaborados podem ser apresentados em sala de aula para estimular uma discussão sobre as soluções propostas, levando em consideração sua viabilidade financeira e tecnológica. Essa atividade pode ser elaborada em conjunto com os professores da área de Ciências Humanas e Sociais Aplicadas, analisando-se os aspectos ecológicos e os danos ambientais causados, bem como seu reflexo para as formas de vida e a sociedade.

Estimule os estudantes a pesquisar recursos digitais, como simuladores, animações, infografia e trechos de vídeos de licença aberta que possam ser empregados para enriquecer a produção e chamar a atenção da comunidade para o debate sobre o tema.

De olho na BNCC

- **EM13CNT104**
- **EM13CNT105**
- **EM13CNT203**
- **EM13CNT206**
- **EM13CNT303**
- **EM13CHS302**
- **Competência geral 7**
- **Competência geral 9**

A *Atividade em grupo* possibilita o desenvolvimento das seguintes habilidades da BNCC: **EM13CNT104**, pois permite que os estudantes avaliem 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**, no que diz respeito a 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; **EM13CNT203**, porque estimula os estudantes a 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); **EM13CNT206**, já que envolve discutir a importância da preservação e da 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; **EM13CNT303**, haja vista que requer a interpretação de 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; e **EM13CHS302**, no que concerne a analisar e avaliar criticamente os impactos econômicos e socioambientais de cadeias produtivas ligadas à exploração de recursos naturais em diferentes ambientes e escalas de análise, considerando o modo de vida das populações locais e o compromisso com a sustentabilidade. A atividade também auxilia no desenvolvimento da **Competência geral 7**, já que envolve 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, e da **Competência geral 9**, pois requer 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.

EM NOVA

Aplicando conhecimentos

9 a) Prata (Ag), ouro (Au), cobre (Cu), mercúrio (Hg) e platina (Pt).
b) Alumínio (Al), potássio (K), magnésio (Mg) e sódio (Na).
c) Crômio (Cr), ferro (Fe), manganês (Mn), chumbo (Pb), estanho (Sn) e zinco (Zn).

10 I) $Ag_2S(s) + O_2(g) \rightarrow 2\,Ag(s) + SO_2(g)$
A prata se reduz (de +1 para 0) e o oxigênio também (de 0 para −2). O enxofre se oxida (de −2 para +4).
II) $Cu_2S(s) + O_2(g) \rightarrow 2\,Cu(s) + SO_2(g)$
O cobre se reduz (de +1 para 0) e o oxigênio também (0 para −2). O enxofre se oxida (de −2 para +4).
III) $HgS(s) + O_2(g) \rightarrow Hg(l) + SO_2(g)$
O mercúrio se reduz (de +2 para 0) e o oxigênio também (0 para −2). O enxofre se oxida (de −2 para +4).

11 a) O ferro (Fe), pois seu número de oxidação diminui de +3 para 0.
b) O monóxido de carbono (CO), pois o elemento químico carbono é oxidado, com aumento de número de oxidação de +2 para +4.

12 a) Não é oxidado nem reduzido, pois seu número de oxidação (+2) não se altera.
b) O elemento químico zinco é reduzido, pois seu número de oxidação diminui de +2 para 0.
c) Ferro galvanizado.
d) Latão.

13 a) $SnO_2(s) + 2\,CO(g) \rightarrow Sn(s) + 2\,CO_2(g)$
b) Bronze.

14 $Fe_2O_3(s) + 2\,Al(s) \rightarrow Al_2O_3(s) + 2\,Fe(s)$

15 a) $Al^{3+} + 3\,e^- \rightarrow Al^0$
b) Porque o gás oxigênio liberado no ânodo reage com o eletrodo, formando o gás dióxido de carbono. Assim, o eletrodo não é inerte, mas um dos reagentes no processo, e precisa ser reposto periodicamente.
c) Porque a obtenção de alumínio metálico a partir da bauxita consome grande quantidade de energia elétrica para a eletrólise (parte dessa energia é dissipada como calor e mantém o meio eletrolítico fundido). Já a reciclagem consome menos energia porque o alumínio já se encontra como substância simples e precisa apenas ser fundido. Proponha para os estudantes uma pesquisa sobre os principais países produtores de alumínio para verificar que apresentam disponibilidade de energia elétrica a preços razoáveis. Se considerar oportuno, peça que pesquisem o custo médio da energia elétrica nesses países, de modo que os estudantes possam obter informações para avaliar a importância da disponibilidade de energia elétrica barata para a produção de alumínio.

De olho na BNCC

- **EM13CNT106**

A Atividade 15 do *Aplicando conhecimentos* possibilita desenvolver a habilidade **EM13CNT106**, pois permite avaliar tecnologias para as demandas que envolvem o consumo de energia elétrica (no caso, na produção de alumínio), 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.

CAPÍTULO 10 Genética e biotecnologia na atualidade

Metas do capítulo

- Conceituar melhoramento genético, compreendendo e exemplificando o fenômeno da heterose, ou vigor híbrido.
- Conceituar e explicar a origem e a importância da variabilidade genética.
- Conhecer os princípios básicos da Engenharia Genética e algumas de suas aplicações.
- Conhecer e compreender o que são organismos transgênicos e aplicar esses conhecimentos na formação de opinião a respeito de temas que envolvem o uso de conhecimentos genéticos e geram polêmica.
- Estar informado sobre as metas e os resultados do Projeto Genoma Humano, explicando suas possíveis aplicações em benefício da humanidade.

Sugestões didáticas e comentários

Pelos conteúdos abordados neste capítulo, sugerimos que ele seja trabalhado pelo professor com formação em Biologia. A abertura do capítulo traz um panorama histórico dos avanços da Biologia nos estudos genômicos e da manipulação dos genes, o que se convencionou chamar de Engenharia Genética. Verifique os conhecimentos prévios dos estudantes perguntando a eles se já ouviram falar de estudos envolvendo o DNA, além do Projeto Genoma Humano citado no texto. Uma importante aplicação da tecnologia de manipulação genética foi, por exemplo, no sequenciamento do genoma do vírus SARS-CoV-2, causador da COVID-19. Para saber mais sobre a importância do sequenciamento do genoma do SARS-CoV-2, leia a reportagem *Por que sequenciar o genoma do novo coronavírus é importante* (de Bruno Carbinatto, *Superinteressante*, mar. 2020. Disponível em: <https://super.abril.com.br/ciencia/por-que-sequenciar-o-genoma-do-novo-coronavirus-e-importante/>. Acesso em: 13 jun. 2020).

O texto de abertura fala também de organismos transgênicos. Pergunte aos estudantes se já ouviram falar desse assunto e se alguém já notou o símbolo reproduzido a seguir em embalagens de alimentos. Aproveite a oportunidade para discutir a importância de ler os rótulos dos produtos consumidos, avaliando informações de interesse. O símbolo é um

MODELO

alerta (representado pelo triângulo amarelo) para a presença de ingredientes transgênicos em produtos alimentícios. Discuta se algum dos estudantes da turma seria influenciado por esse símbolo na compra de determinado produto, justificando o porquê.

CC BY 4.0/WIKIMEDIA FOUNDATION, INC.

A abertura apresenta algumas polêmicas atuais no campo da Genética e da Biotecnologia. Além de utilizar organismos transgênicos na alimentação humana, outras perguntas podem ser levantadas, por exemplo: Seria socialmente aceitável uma exigência legal de obrigar todos os cidadãos a fornecerem uma amostra do próprio DNA? A codificação nele registrada pertenceria exclusivamente à pessoa ou deveria ser compartilhada com toda a sociedade? Ao longo do capítulo, essas e outras questões orientam grupos de estudo, apresentações orais e debates, exercícios importantes para os jovens cidadãos que vão gerir o futuro.

De olho na BNCC

- **EM13CNT202**
- **EM13CNT301**
- **EM13CNT304**
- **Competência geral 1**

Este capítulo possibilita o desenvolvimento das seguintes habilidades: **EM13CNT202**, ao observar como fenômenos que ocorrem no nível dos genes afetam as características do organismo como um todo, e ainda como intervenções no nível dos genes podem levar à produção de novas variedades de animais, plantas e outros seres vivos; **EM13CNT301**, na medida em que os estudantes serão estimulados a avaliar hipóteses, previsões e experimentos genéticos que têm levado ao desenvolvimento de novas tecnologias baseadas no conhecimento científico; **EM13CNT304**, ao analisar e debater situações controversas sobre a aplicação de tecnologias do DNA com base em argumentos consistentes, éticos e responsáveis, distinguindo diferentes pontos de vista. O capítulo é ainda uma oportunidade para trabalhar a **competência geral 1**, na medida em que os estudantes serão estimulados a valorizar e utilizar o conhecimento historicamente construído a respeito das aplicações da genômica e da Engenharia Genética para entender e intervir na sociedade.

1. Melhoramento genético

Neste item são abordados alguns processos da tecnologia de melhoramento genético em organismos de interesse comercial, ressaltando que o conhecimento científico tem possibilitado otimizar essa tecnologia. É importante que os estudantes compreendam que o melhoramento genético não tem necessariamente relação com manipulação laboratorial de genes. O melhoramento é uma prática antiga na humanidade que, antes do advento da Genética, se baseava em conhecimentos do senso comum, selecionando empiricamente características de interesse por meio de cruzamentos dirigidos.

Um aspecto importante a ser salientado é que os processos de seleção levam à diminuição da variabilidade genética; consequentemente, características de interesse podem ser selecionadas com genes deletérios causadores de doenças. Essa é uma explicação para a prevalência de doenças genéticas nas chamadas "raças puras". Por exemplo, apesar de existirem centenas de raças de cães, que foram criadas a partir da seleção de caracteres físicos e comportamentais de interesse humano, a variabilidade genética dentro de uma raça ainda é muito pequena. A consequência disso é o grande número de doenças genéticas em cães de "raça pura". Se julgar conveniente, estimule o debate com os estudantes sobre vantagens e desvantagens do melhoramento genético e da criação de "raças puras". Para mais informações, consulte o artigo disponível em: <http://www2.portoalegre.rs.gov.br/seda/default.php?reg=812&p_secao=32> (acesso em: 13 jun. 2020).

Atividade em grupo

Os estudantes podem ser estimulados a pesquisar dados sobre o melhoramento genético de animais e plantas úteis à humanidade. Estimule-os e auxilie-os em suas pesquisas e, se possível, combine um dia para os grupos apresentarem em classe os resultados de suas pesquisas.

Mais informações sobre o assunto podem ser encontradas em:

<https://revistacampoenegocios.com.br/quais-os-avancos-em-melhoramento-do-trigo-no-brasil/>

<http://g1.globo.com/sc/santa-catarina/videos/t/campo-e-lavoura/v/melhoramento-genetico-do-trigo-aumenta-produtividade-em-passo-fundo/8363537/>

<https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/14331729/artigo---melhoramento-do-arroz-e-a-seguranca-alimentar>

<https://www.paginarural.com.br/artigo/1318/o-melhoramento-genetico-do-arroz>

Acessos em: 12 jun. 2020.

De olho na BNCC

- **EM13CNT205**
- **EM13CNT302**
- **EM13CNT303**
- **EM13LGG303**
- **EM13CHS302**
- **Competência geral 7**

Esta atividade oportuniza o desenvolvimento de algumas habilidades, como: a **EM13CNT205**, na medida em que os estudantes serão estimulados a interpretar resultados da pesquisa e realizar previsões sobre o uso do melhoramento genético de animais e plantas, embasado no conhecimento científico; além da **EM13CNT302**, ao comunicar o resultado de suas pesquisas para responder à pergunta da atividade, e a **EM13CNT303**, ao exercitarem a análise e interpretação de textos, procurando em fontes confiáveis de informação. A habilidade da área de Linguagens e suas Tecnologias **EM13LGG303** é favorecida ao debater questões polêmicas de relevância social, analisando diferentes argumentos e opiniões. Favorece também o desenvolvimento da habilidade da área de Ciências Humanas e Sociais Aplicadas **EM13CHS302**, que propõe a análise e avaliação dos impactos econômicos e socioambientais do uso de melhoramento genético nas atividades agropecuárias. A atividade é ainda uma oportunidade para trabalhar a **competência geral 7**, na medida em que os conhecimentos em relação ao melhoramento genético ajudarão os estudantes a argumentar e fazer escolhas em relação ao futuro com consciência crítica e responsabilidade.

Dialogando com o texto

A atividade possibilita uma integração com as disciplinas de História e correlatas (Geografia, Sociologia etc.), favorecendo assim a possibilidade de, eventualmente, realizar uma atividade interdisciplinar conjunta. Os estudantes devem chegar à conclusão de que o período de grande fome na Irlanda deveu-se ao cultivo de apenas uma variedade de batata, a qual era suscetível a determinada praga. As culturas de batata foram devastadas e, pela dependência quase exclusiva desse tubérculo como base da alimentação, 1 em cada 8 irlandeses morreu de fome na época.

Mais informações sobre a relação entre a grande fome irlandesa e a falta de variabilidade da batata podem ser encontradas em: <https://evosite.ib.usp.br/relevance/IIAmonoculture.shtml> (acesso em: 12 jun. 2020).

De olho na BNCC

- **EM13CNT302**
- **EM13CNT303**
- **Competência geral 9**

Esta atividade possibilita o desenvolvimento das seguintes habilidades: **EM13CNT302**, ao comunicar o resultado de suas pesquisas elaborando um texto adequado a um documentário; e **EM13CNT303**, ao exercitar a análise e interpretação de textos, procurando em fontes confiáveis de informação. A atividade é ainda uma oportunidade para trabalhar a **competência geral 9**, na medida em que a reflexão em torno do fato histórico da grande fome irlandesa pode colaborar com o exercício da empatia e da resolução de conflitos, reconhecendo-se como parte de uma coletividade e promovendo o respeito ao outro e aos direitos humanos.

2. Engenharia Genética

Os conhecimentos sobre a natureza do DNA e da codificação genética vêm sendo aplicados ao desenvolvimento de tecnologias de manipulação dos genes, no que se convencionou chamar de Engenharia Genética. O enfoque deste item está nas "ferramentas" bioquímicas empregadas para tal fim, as enzimas de restrição, que permitem cortar o DNA em pontos específicos.

Assuntos como clonagem e transgenia são comuns nas diferentes mídias. Porém, a maioria das pessoas ainda tem muitas dúvidas sobre essas técnicas. Proponha que os estudantes formem grupos e que entrevistem pessoas de diferentes idades e graus de escolaridade com o intuito de conhecer suas dúvidas sobre o assunto. Em sala de aula, reúna as questões trazidas pelos estudantes e, juntos, tentem respondê-las. Incentive a participação dos estudantes, ajudando-os nas pesquisas na internet, em livros ou revistas. Perguntas e respostas podem ser disponibilizadas nas redes sociais ou compartilhadas em aplicativos de mensagem. Se achar conveniente e houver disponibilidade, convide um cientista especializado em Genética para conversar com a classe; combine com o apresentador sobre a possibilidade de os estudantes perguntarem e esclarecerem suas dúvidas.

No item sobre enzimas de restrição, comente que a análise dos fragmentos de DNA originados pelo corte com determinada endonuclease de restrição é feita pela técnica de eletroforese (do grego *phóresis*, ação de transportar, migração). É conveniente apresentar o tema para os estudantes, o que ajuda a desmistificar procedimentos em Ciência.

Técnica de separação eletroforética de fragmentos de DNA

Além de separar fragmentos de DNA, a técnica de eletroforese também é capaz de separar outras moléculas orgânicas, como RNA e proteínas, em condições específicas para cada uma delas.

No caso do DNA, a eletroforese consiste em colocar os fragmentos de DNA em uma matriz de gel imersa em uma solução que atua na condução da corrente elétrica e na manutenção do pH do meio; em seguida, submete-se a placa de gel a uma corrente elétrica. A extremidade do gel em que o DNA foi aplicado, em pequenas fendas no gel, é conectada ao polo negativo, e a extremidade oposta, ao polo positivo. A conexão gera uma diferença de potencial elétrico entre as extremidades da placa de gel, de modo que os fragmentos de DNA, que têm carga elétrica negativa devido à ionização de seus grupos fosfatos, migram para o polo positivo. Ao se deslocarem entre as fibras do gel, atraídos para o polo positivo, os fragmentos moleculares são obrigados a "driblar" as fibras do substrato gelatinoso, como se estivessem em uma corrida de obstáculos. Quanto menor for o tamanho de um fragmento de DNA, mais facilmente ele passa entre as fibras, sendo mais veloz. Nessa corrida eletroforética, portanto, sabe-se antecipadamente quem vai chegar na frente: os fragmentos menores de DNA. Atrás vêm os fragmentos um pouco maiores, e assim por diante.

Quando o campo elétrico é desligado, fragmentos de DNA de mesmo tamanho e que corriam lado a lado "estacionam" juntos em determinada posição, formando uma faixa na placa de gel. Por exemplo, se houver 12 tipos de fragmentos de DNA de diferentes tamanhos, após a eletroforese haverá 12 faixas separadas, correspondentes aos 12 tamanhos de fragmentos.

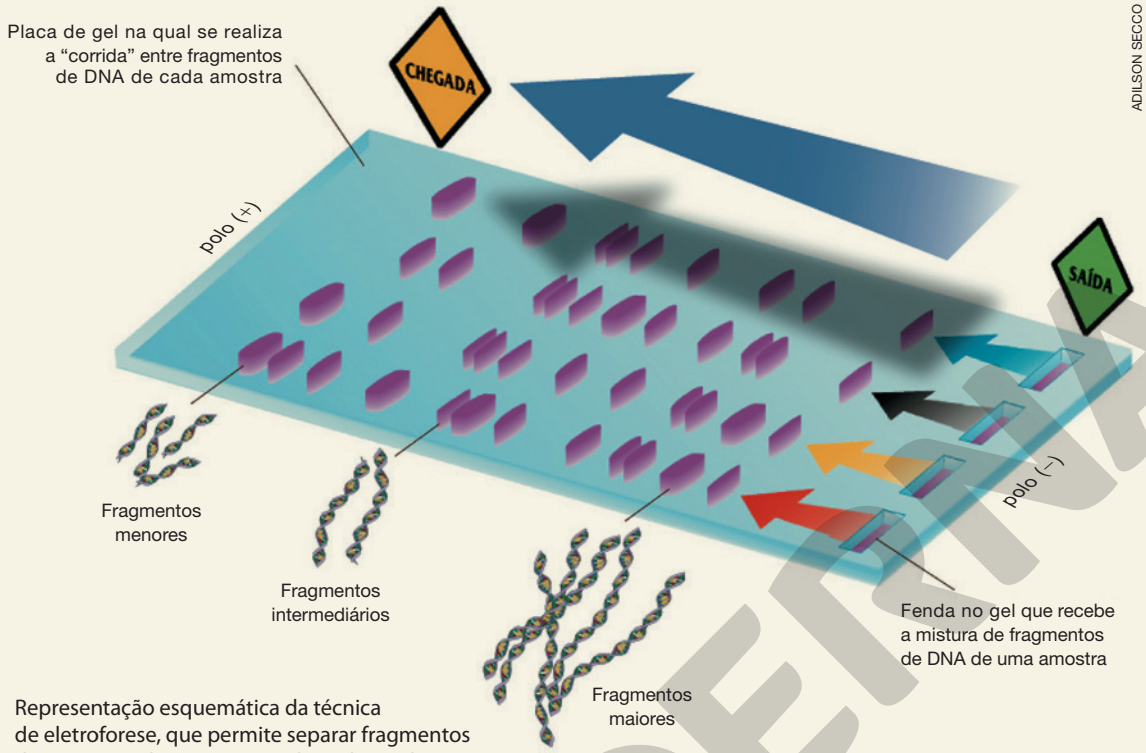
Terminada a eletroforese, a placa de gel é tratada com corantes que evidenciam o DNA. Um dos mais utilizados é o brometo de etídio, substância que se insere entre as bases nitrogenadas dos ácidos nucleicos e fluoresce quando submetida à luz ultravioleta. Sob esse tipo de iluminação, aparecem nitidamente as faixas formadas pelos fragmentos de DNA de diferentes tamanhos, que revelam o resultado da corrida eletroforética.

Fotografias do gel sob luz ultravioleta permitem aos pesquisadores registrar a posição e a espessura de cada faixa. O padrão eletroforético de um DNA lembra um código de barras utilizado no comércio para armazenar informações sobre um produto.

Comparando os fragmentos do DNA provenientes da digestão aos fragmentos de tamanhos conhecidos,

EDIÇÃO MODERNA

que percorreram o mesmo gel (chamados marcadores de peso molecular), pode-se identificar, com alto grau de precisão, o DNA de cada pessoa, procedimento que alterou a criminalística e teve grande impacto no sistema judiciário.



ADILSON SECCO

Representação esquemática da técnica de eletroforese, que permite separar fragmentos de DNA cortados por uma endonuclease de restrição. Cada tipo de DNA analisado produz um padrão de bandas característico. Quanto mais espessa a banda, maior a quantidade de DNA que ela contém. (Representação fora de proporção; cores meramente ilustrativas.)

Fonte: ilustração dos autores.

3. Clonagem de DNA e Engenharia Genética

O item informa que os principais seres experimentais na manipulação genética têm sido bactérias e vírus. Atualmente, os cientistas são capazes de utilizar as técnicas de manipulação de genes, entre outros empregos, por exemplo, na produção de medicamentos.

Se houver tempo e interesse, comente com os estudantes sobre CRISPR, uma técnica de Engenharia Genética que tornou mais preciso, rápido, fácil e barato desativar, corrigir ou substituir genes. O uso dessa técnica gerou muita polêmica quando, em 2012, um cientista chinês admitiu que a usou para modificar geneticamente embriões humanos. Os bebês nasceram resistentes ao vírus HIV, porém ainda não são conhecidas as consequências que essas modificações terão em seu desenvolvimento e também no de seus descendentes. Para saber mais sobre o assunto, consulte a reportagem disponível em: <https://tab.uol.com.br/edicao/genetica#tematico-3> (acesso em: 13 jun. 2020).

Aplicando conhecimentos

1 Alternativa C. O melhoramento genético consiste em selecionar e aprimorar as qualidades das espécies tendo em vista sua utilização por seres humanos.

2 Alternativa A. A Engenharia Genética também é conhecida como tecnologia do DNA recombinante.

4. Misturando genes entre espécies: transgênicos

O item apresenta e comenta as técnicas básicas utilizadas para produzir OGMs, organismos geneticamente modificados, ou organismos transgênicos. Se possível, peça aos estudantes que realizem a atividade sugerida no texto e envolva toda a turma em um debate.

MODERNA

Atividade em grupo

Em grupos, os estudantes deverão pesquisar, na internet, opiniões divergentes sobre a validade ou não da utilização de transgênicos na alimentação humana. É possível que os grupos cheguem a opiniões diferentes sobre o assunto. Peça a cada grupo que eleja um relator, que resuma e apresente à turma a opinião do grupo sobre ser contra ou a favor da utilização de transgênicos na alimentação humana. Se houver opiniões divergentes, considere a possibilidade de realizar uma mesa-redonda para que cada grupo se expresse e se estabeleça um debate com a mediação do professor.

Mais informações sobre o assunto podem ser encontradas em:

<https://idec.org.br/consultas/dicas-e-direitos/saiba-o-que-sao-os-alimentos-transgenicos-e-quais-os-seus-riscos#:~:text=O%20QUE%20S%C3%83O%20OS%20ALIMENTOS,organismos%20genes%20proveniente%20de%20outro.>

<https://saude.abril.com.br/blog/alimente-se-com-ciencia/o-papel-dos-alimentos-transgenicos/>

Acessos em: 12 jun. 2020.

De olho na BNCC

- **EM13CNT302**
- **EM13CNT303**
- **EM13LGG303**
- **EM13CHS302**
- **Competência geral 7**
- **Competência geral 8**
- **Competência geral 10**

Esta atividade possibilita o desenvolvimento das seguintes habilidades: **EM13CNT302,** na medida em que os estudantes são estimulados a comunicar resultados da sua pesquisa em forma de texto; **EM13CNT303**, ao promover a seleção de fontes confiáveis de pesquisa para embasar sua argumentação; **EM13LGG303**, da área de Linguagens e suas Tecnologias, ao propor o debate em relação a um tema polêmico como ainda é o uso de transgênicos na alimentação; e **EM13CHS302**, da área de Ciências Humanas e Sociais Aplicadas, ao estimular a análise dos impactos econômicos e socioambientais do consumo de alimentos transgênicos. Além disso, desenvolve a **competência geral 7**, ao incentivar os estudantes a fazer escolhas para o futuro com consciência crítica e responsabilidade, após refletir sobre os aspectos positivos e negativos do uso de transgênicos na alimentação; a **competência geral 8**, ao avaliar os riscos e benefícios em relação à própria saúde física; e a **competência geral 10**, ao estimular a avaliação dos argumentos contra e a favor na tomada de decisões seguindo princípios éticos e sustentáveis.

Aplicando conhecimentos

3 Alternativa D. A clonagem molecular é o resultado da combinação de diversas técnicas que utilizam o aparato molecular da bactéria para reproduzir sequências de DNA isoladas em laboratório.

4 Alternativa D. Um transgênico é qualquer espécime que teve em seu DNA uma inserção de DNA de outra espécie.

5. Desvendando o genoma humano

No último item do capítulo, é abordado o Projeto Genoma Humano, que mapeou toda a sequência de nucleotídios do DNA dos cromossomos humanos. Alguns consideram que a continuação dos estudos sobre nosso genoma pode levar à "medicina preditiva", em que uma pessoa que tenha seu genoma analisado poderá saber antecipadamente se certas doenças podem se manifestar.

Comente com os estudantes que a geneterapia (ou terapia genética) pode proporcionar benefícios a pacientes com doenças como alguns tipos de câncer e a aids. Sugira novas pesquisas sobre o tema.

Dialogando com o texto

A atividade é, mais que tudo, uma oportunidade de ampliar e combinar diferentes tipos de conhecimento, neste caso, Mitologia e Ciência. Espera-se que os estudantes sejam capazes de caracterizar Quimera, que, na mitologia grega, era um ser híbrido com três cabeças (uma de leão, uma de cabra e uma de dragão). A analogia é que moléculas-quimera são moléculas de DNA compostas de partes de diferentes espécies de organismos.

MODERNA

CAPÍTULO 11 Acústica

Metas 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.

Sugestões didáticas e comentários

O professor pode iniciar esse assunto com algumas perguntas simples sobre o assunto: "Como nós, seres humanos, conseguimos identificar sons emitidos por diferentes instrumentos musicais?", "Por que o som da sirene de uma ambulância que se aproxima é mais agudo do que o som dessa mesma sirene após a ambulância passar por você?", "Ao ouvirmos uma gravação da nossa própria voz, notamos uma boa diferença em relação à voz que ouvimos quando falamos. Por quê?". Desse modo será possível verificar quais conhecimentos prévios os estudantes já detêm a respeito das características das ondas sonoras. Caso identifique conceitos equivocados ou surjam dúvidas sobre o tema, faça uma breve explanação sobre o assunto.

Mostre algumas fontes sonoras, como um sino, um violão, um tambor e um diapasão, comentando como esses sons são gerados e como eles chegam aos nossos ouvidos. Comente também o que ocorreria se essa demonstração fosse feita no vácuo.

O capítulo inicia com um pequeno texto introdutório sobre ecobatimetria. Esse tema será trabalhado mais profundamente na *Atividade em grupo* da seção 1. Pelos conteúdos abordados neste capítulo, sugerimos que seja trabalhado pelo professor com formação em Física.

De olho na BNCC

- **EM13CNT101**
- **EM13CHS106**
- **EM13MAT302**
- **EM13MAT314**

O capítulo, de maneira geral, permite o desenvolvimento das habilidades: **EM13CNT101**, ao analisar e representar as transformações e conservações em sistemas que envolvam quantidade de matéria, de energia e de movimento e **EM13CHS106**, da área de Ciências Humanas e Sociais Aplicadas, na medida em que utiliza as linguagens cartográfica, gráfica e iconográfica para difundir informações.

As habilidades **EM13MAT302** e **EM13MAT314**, da área de Matemática e suas tecnologias, também são evidenciadas neste capítulo, 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.

1. Som, infrassom e ultrassom

Mostre aos estudantes 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); em um alto-falante, a onda sonora é produzida pela vibração do respectivo cone de papelão ou de metal; a nossa percepção auditiva é o resultado da vibração do tímpano e assim por diante.

Certifique-se de que os estudantes entenderam como as ondas sonoras são geradas (a partir de um elemento vibrante).

Em seguida, conceitue as características ondulatórias do som: som é uma onda mecânica, longitudinal nos gases (ou mista nos sólidos e nos líquidos) e tridimensional.

De olho na BNCC

- **EM13CNT306**

Esta seção possibilita o desenvolvimento da habilidade **EM13CNT306**, ao avaliar os riscos envolvidos em atividades cotidianas, aplicando conhecimentos das Ciências da Natureza, visando à integridade física, individual e coletiva.

Atividade em grupo

A sondagem por batimetria é feita com uma embarcação equipada com um alto-falante (projetor), emissor de pulsos sonoros, e um microfone especial (hidrofone), composto de vários microfones equidistantes. A bordo da embarcação, um computador controla o envio dos pulsos sonoros e interpreta os dados dos pulsos que retornam ao hidrofone. Esse sistema é denominado SONAR (*SOund NAvigation and Ranging*).

O projetor emite um pulso de onda com uma frequência conhecida. Um novo pulso só é emitido depois que o anterior retornou ao hidrofone. Com perdas de energia na água bem inferiores às das ondas eletromagnéticas, as ondas sonoras, nesse meio, têm velocidade de aproximadamente 1.500 m/s. Ao encontrar um obstáculo, parte da energia do pulso emitido é absorvida. Assim, o pulso refletido retorna ao meio aquático com menor amplitude, mas com mesma frequência. Cada ponto do leito investigado, abaixo do ecobatímetro, refletirá pulsos sonoros em algum momento. Peixes, barcos, submarinos e até bolhas de ar são obstáculos que podem refletir o pulso sonoro, e é com base na interpretação dos dados de cada um desses pulsos que o computador compõe a carta batimétrica. O hidrofone identifica os pulsos emitidos pelo projetor e refletidos no fundo do mar pela frequência, grandeza que não muda quando o obstáculo é fixo.

A distância do barco ao ponto em que o pulso refletiu (D) pode ser calculada pela equação a seguir.

$$D = \frac{v_{som} \cdot \Delta t}{2}$$

O intervalo de tempo entre a emissão e o retorno do pulso sonoro (Δt) é o tempo de viagem do pulso, do barco até o fundo do mar e de volta ao barco, v_{som} é a velocidade de propagação do som na água.

MODERNA

De olho na BNCC

- **EM13LGG301**
- **EM13LGG703**

A *Atividade em grupo* possibilita o desenvolvimento das habilidades: **EM13LGG301**, da área de Linguagens e suas Tecnologias, na medida em que os estudantes devem participar de processos de produção colaborativa em diferentes linguagens; e **EM13LGG703**, ao utilizar diferentes linguagens, mídias e ferramentas digitais em processos de produção coletiva.

2. Características da propagação sonora

Sobre a velocidade das ondas sonoras, explique que, no caso de uma onda mecânica, ao contrário de uma onda eletromagnética, é regra que, quanto mais rígido o meio, maior a velocidade de propagação da onda sonora nesse meio. Por esse motivo, a velocidade de propagação das ondas é maior nos sólidos que nos líquidos, e nos líquidos é maior que nos gases, ou seja:

$$v_{sólidos} > v_{líquidos} > v_{gases}$$

Podemos dizer ainda que, em dado meio, quanto mais rapidamente suas partículas vibrarem, maior será a velocidade de propagação da onda. No caso de um gás, em temperaturas mais altas, mais rapidamente suas moléculas se movimentarão e maior será a velocidade do som nesse meio:

$$v = \sqrt{K \cdot T}$$

Explique aos estudantes como a onda sonora (uma onda de pressão) estimula nosso sistema auditivo e apresente a qualidade fisiológica altura.

Sugestão de atividade complementar

A velocidade do som

No endereço <http://www.sbfisica.org.br/fne/Vol4/Num1/a10.pdf> (acesso em: 3 ago. 2020), há a descrição de um trabalho que mostra como a velocidade do som depende da temperatura e pode ser medida de forma rápida e prática, enriquecendo e dinamizando o trabalho em sala de aula.

Obs.: Há um erro de digitação no final da 1ª coluna da página 29 desse artigo: onde se lê $v = 4\lambda \cdot f$ (2), leia-se $v = 4L \cdot f$, sendo L a distância entre a boca do tubo e a superfície da água, no 1º reforço.

Atividade prática

O objetivo principal da *Atividade prática* é mostrar aos estudantes que uma onda sonora propagando-se no ar é uma onda de pressão, ou seja, são regiões de compressão e de descompressão deslocando-se pelo ar. Essa onda, ao incidir sobre uma superfície (membrana elástica), produz vibrações nessa superfície, que, na maioria das vezes, têm amplitudes imperceptíveis.

Nessa montagem, o feixe de luz refletido tem a função de tornar visualmente perceptíveis as pequenas vibrações da membrana elástica como resultado das ondas de pressão produzidas pelas palmas.

Após o estudo das qualidades fisiológicas do som, é interessante e instrutivo voltar a essa proposta experimental fazendo uma analogia entre os elementos dessa montagem e o aparelho auditivo humano. Pergunte aos estudantes:

- A lata usada na montagem corresponde, por analogia, a que parte do nosso aparelho auditivo? Resposta: Orelha e canal da orelha.
- A membrana elástica recortada da bexiga usada na montagem corresponde, por analogia, a que estrutura de nossa orelha? Resposta: Tímpano.
- A lanterna, o espelho e o feixe de luz usados na montagem correspondem, por analogia, a que parte de nossa orelha? Resposta: Aos três ossículos (martelo, bigorna e estribo), que, atuando como um sistema de alavancas, amplificam as vibrações do tímpano.

De olho na BNCC

- **EM13CNT205**
- **EM13CNT301**

Esta *Atividade prática* provê o desenvolvimento das habilidades: **EM13CNT205**, ao interpretar resultados e realizar previsões sobre atividades experimentais; e **EM13CNT301**, na medida em que incentiva o estudante a construir questões, elaborar hipóteses, previsões e estimativas.

Aplicando conhecimentos

1 Alternativa B.

A frequência é a mesma, no ar ou na água, portanto:

$v_{ar} = \lambda_{ar} \cdot f_{ar} \Rightarrow 336 = 1{,}2 \cdot f_{ar} \therefore f_{ar} = 280$ Hz

$v_{água} = \lambda_{água} \cdot f_{água} \Rightarrow 1.428 = \lambda_{água} \cdot 280$

$\therefore \lambda_{água} = 5{,}1$ m

2 Alternativa A.

Para o comprimento de onda do som e da luz, temos:

$$\lambda_{som} = \frac{v}{f_{som}} \text{ e } \lambda_{luz} = \frac{c}{f_{luz}}.$$

Como $\lambda_{som} = \lambda_{luz}$, temos: $\frac{c}{f_{luz}} = \frac{v}{f_{som}} \Rightarrow \frac{f_{som}}{f_{luz}} = \frac{v}{c}$

3 $\Delta t_{ar} - \Delta t_{aço} = 0{,}236 \text{ s} \Rightarrow \frac{L}{v_{ar}} - \frac{L}{v_{aço}} = 0{,}236 \text{ s} \Rightarrow$

$$\Rightarrow \frac{84 \text{ m}}{\underbrace{336 \text{ m/s}}_{0{,}250 \text{ s}}} - \frac{84 \text{ m}}{v_{aço}} = 0{,}236 \text{ s} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \frac{84 \text{ m}}{v_{aço}} = 0{,}250 \text{ s} - 0{,}236 \text{ s} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow v_{aço} = \frac{84 \text{ m}}{0{,}014 \text{ s}} \therefore v_{aço} = 6 \cdot 10^3 \text{ m/s}$$

3. Qualidades fisiológicas do som

A intensidade do som é a segunda qualidade fisiológica importante. Ressalte que a intensidade do som, corriqueiramente denominada volume, está relacionada à quantidade de energia que a onda está transmitindo a um ponto do meio atingido pela onda naquele instante.

Enfatize que o nível de intensidade sonora da onda é uma maneira matematicamente mais prática de nos referirmos à intensidade da onda.

De olho na BNCC

- **EM13MAT305**

Esta seção permite o desenvolvimento da habilidade **EM13MAT305**, da área de Matemática e suas Tecnologias, ao resolver e elaborar problemas com funções logarítmicas nos quais seja necessário compreender e interpretar a variação das grandezas envolvidas.

MODERNA

Sugestão de atividade complementar

Orelha humana

Com base na leitura do texto transcrito a seguir, proponha uma pesquisa da função da membrana timpânica, dos ossículos e da janela oval (interface entre o estribo e a cóclea).

Os conteúdos das disciplinas de Biofísica e a Física

[...] O som com o qual nos comunicamos se propaga no ar, mas o corpo humano é constituído principalmente de água que possui uma impedância acústica muito maior do que o ar; devido a isto a maior parte da energia da onda sonora vinda do meio exterior é refletida no ouvido em vez de ser transmitida para dentro do crânio. Dessa forma, o nosso sistema auditivo, ao longo de sua história evolutiva, teve que desenvolver mecanismos de ganhos extraordinários para compensar essa perda. Curiosamente, a audição nos organismos aquáticos não enfrenta esse problema, sendo então muito mais simples do ponto de vista anatômico e fisiológico. [...]

CORSO, G. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, v. 31, n. 2, 2009. Disponível em: <http://www.sbfisica.org.br/rbef/pdf/312703.pdf>. Acesso em: 3 ago. 2020.

Aplicando conhecimentos

4 Alternativa E.

Sabemos que $I = \frac{P}{4\pi d^2}$.

Portanto, $I' = \frac{P}{4\pi\left(\frac{d}{2}\right)^2} = 4 \cdot \underbrace{\frac{P}{4\pi d^2}}_{I} \Rightarrow I' = 4\,I$

5 Alternativa C.

Aplicando a lei de Weber, temos:

$N' - N = 10 \cdot \log\left(\frac{I'}{I}\right) \Rightarrow N' - 80 = 10 \cdot \log\left(\frac{4 \cdot I}{I}\right) \Rightarrow N' = 80 + 10 \log 4 \;\therefore\; N' \simeq 86\ \text{dB}$

6 Alternativa C.

Para $N_1 = 70$ dB e $I_2 = 10 \cdot I_1$, aplicando a lei de Weber, obtemos:

$N_2 - N_1 = 10 \cdot \log\left(\frac{I_2}{I_1}\right) \Rightarrow N_2 - 70 = 10 \cdot \log\left(\frac{10 \cdot I_1}{I_1}\right)$

$\therefore\; N_2 = 80\ \text{dB}$

4. Efeito Doppler-Fizeau

Como introdução ao tópico, faça uso da simulação disponível em: <http://www.walter-fendt.de/html5/phpt/dopplereffect_pt.htm> (acesso em: 3 ago. 2016), para que os estudantes observem a alteração sofrida pelas ondas geradas por uma fonte em movimento. Para isso, clique no botão chamado "Novo Start". Usando a simulação, é fácil ver que o comprimento de onda das ondas à frente da fonte em movimento diminui, enquanto atrás da fonte ele aumenta. Procure descobrir o que os estudantes acham que aconteceria com um receptor dessas ondas colocado à frente dela e o que aconteceria se o receptor estivesse atrás da fonte. Será que ambos os detectores captariam ondas com as mesmas características?

Apresente o fenômeno do efeito Doppler-Fizeau explicando aos estudantes sua origem. Só então apresente a fórmula do efeito Doppler e analise o primeiro exemplo desse conteúdo teórico.

Aplicando conhecimentos

7 Alternativa B.

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.

8 Alternativa D.

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:

$f_0 = 2 \cdot \frac{2}{2-1} \therefore f_0 = 4\ \text{Hz}$

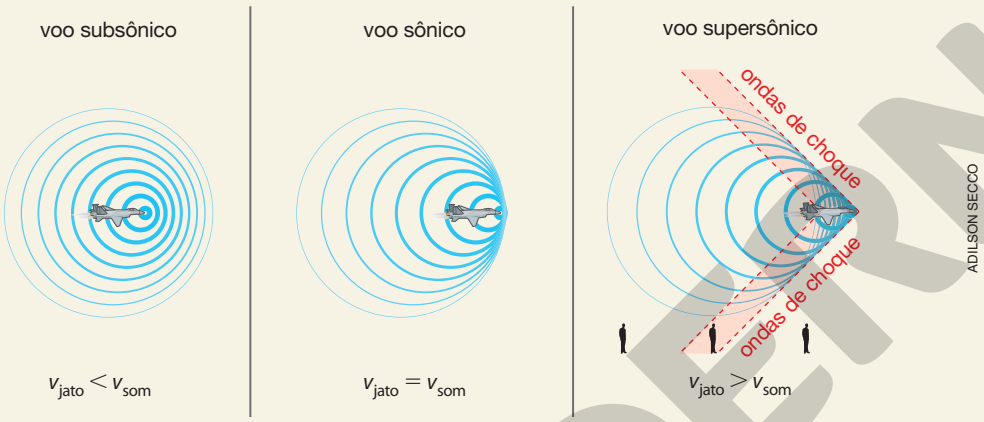
Isso significa que chegam à boia (observador) 4 frentes de onda por segundo.

9 Alternativa B.

Na figura A, durante o intervalo de tempo em que as frentes de onda se propagam, o jato percorre a mesma distância que elas. Portanto: $v_1 = v_{som}$. Na figura B, o jato percorre distância maior que as frentes de onda no mesmo intervalo de tempo. Portanto: $v_2 > v_{som}$.

Então, $v_1 = v_{som} < v_2$.

Professor, a figura a seguir ilustra as três situações que podem ocorrer com as frentes de onda do som e o jato.



(Representação fora de proporção; cores meramente ilustrativas.)

Quando $v_{jato} < v_{som}$, a distância percorrida pelo jato é menor que a distância percorrida pelas frentes de onda do som, como na figura da esquerda. Quando $v_{jato} = v_{som}$, o jato e as frentes de onda do som percorrem distâncias iguais, e o jato sempre estará sobre um ponto da frente de onda circular, como se vê na figura do meio. Quando $v_{jato} > v_{som}$, o jato passa à frente das ondas sonoras, como na figura da direita.

CAPÍTULO 12 Nanotecnologia

Metas do capítulo

- Compreender os objetos de estudo da nanotecnologia e o que são nanomateriais.
- Reconhecer que as aplicações diferenciadas dos nanomateriais têm relação com a escala nanométrica de suas dimensões.
- Relacionar algumas das propriedades dos nanomateriais com sua elevada área superficial.
- Identificar o que são os pontos quânticos e conhecer algumas das suas aplicações.
- Perceber como o desenvolvimento da tecnologia de microscopia está relacionado ao estudo dos nanomateriais.
- Conhecer aplicações relevantes de avanços tecnológicos em nanomateriais, nanobiotecnologia e nanoeletrônica.
- Compreender a necessidade de permanente atenção das autoridades para estudar os efeitos de nanomateriais sobre a saúde humana e a qualidade do meio ambiente, para tomar as providências normativas necessárias e para garantir o descarte apropriado de produtos de nanotecnologia que o requeiram ao final de seu ciclo de utilização.

Sugestões didáticas e comentários

Considerando os conteúdos que serão abordados neste capítulo, sugerimos que ele seja trabalhado pelos professores com formação em Física, Química e Biologia, já que a área da Nanotecnologia é interdisciplinar.

Ao apresentar a imagem de abertura, explique que o formato afunilado dessas embarcações tem como objetivo facilitar a navegação, diminuindo a resistência ao movimento oferecida pela água. A presença de organismos aderidos ao casco, como as cracas, faz com que sua superfície fique muito irregular, o que aumenta a resistência do fluido à movimentação da embarcação. Para que o navio mantenha sua

MODERNA

velocidade, é necessário aumentar a potência destinada à propulsão desenvolvida pelos motores, o que acarreta maior consumo de combustível.

Destaque que a remoção das cracas do casco de um navio é um processo muito trabalhoso, principalmente em embarcações de grande porte, pois requer a sua retirada da água ou que mergulhadores executem esse processo. Portanto, é mais vantajoso buscar uma alternativa tecnológica que impeça a aderência das cracas. Nesse contexto, a nanotecnologia atua desenvolvendo materiais que, ao serem aplicados na superfície das embarcações, reduzem esse problema.

A apropriação de conceitos relacionados à nanotecnologia é fundamental para a alfabetização científica dos estudantes da educação básica e para que eles reconheçam a importância para a sociedade dessa área das ciências aplicadas. No entanto, como esses conceitos em geral estão relacionados com pré-requisitos que são trabalhados somente no Ensino Superior, este capítulo procura abordar a nanotecnologia com base em princípios introdutórios e algumas das suas aplicações na resolução de problemas e na melhoria da qualidade de vida.

Como esse será provavelmente o primeiro contato dos estudantes com assuntos relacionados à nanotecnologia, destaque que se trata de uma área relativamente recente, que tem recebido muita atenção em universidades e importantes investimentos em indústrias, pois pode resolver problemas práticos de forma muito eficiente. Nesse capítulo, serão abordadas algumas aplicações de materiais ou sistemas desenvolvidos pela nanotecnologia.

1. O que é nanotecnologia

Para introduzir este item, questione os estudantes sobre qual a diferença entre a escala macroscópica e a microscópica e peça para que citem exemplos de materiais ou seres vivos que se enquadram em cada uma delas. É provável que eles tenham facilidade em identificar que a escala macroscópica é relativa aos materiais e seres vivos que podem ser observados a olho nu, enquanto a escala microscópica está relacionada aos materiais e seres vivos que só podem ser observados por meio de instrumentos que possibilitem ampliação de imagens, como os microscópios de luz.

Ao trabalhar este item, o conceito de fase condensada deve ser explorado de forma que os estudantes compreendam que as propriedades dos materiais sólidos e líquidos se modificam quando os objetos de estudo deixam de ser porções macroscópicas de materiais nessas fases e passam a ser amostras subdivididas em partes que apresentem dimensões nanométricas (ainda que o material seja visualizável macroscopicamente em seu todo).

Para exemplificar, cite as mudanças de propriedades do ouro e do benzeno mencionadas no Livro do Estudante. A Figura 1, nele apresentada, ajuda a mostrar como a cor do ouro metálico se modifica do amarelo usual, quando em amostras macroscópicas, para o vermelho, coloração apresentada por ele quando fragmentado em partículas nanométricas.

Explique aos estudantes que **nano** é um prefixo multiplicativo usado em Ciências para indicar 1 bilionésimo, ou seja, a bilionésima parte, a divisão por 1 bilhão (10^9). Assim, por exemplo, 1 nanograma (1 ng) é 10^{-9} g, 1 nanossegundo (1 ns) é 10^{-9} s e 1 nanômetro é 10^{-9} m.

Comente que, quando nos referimos a dimensões nanométricas, estamos fazendo uma alusão ao nanômetro, referindo-nos a comprimentos que, de modo geral, estão na faixa de 1 nm a 100 nm. Esses limites não devem ser considerados absolutamente rígidos, mas uma referência didática para que possamos trabalhar o tema em uma perspectiva compreensível a estudantes de Ensino Médio. Um material nanométrico é aquele que tem pelo menos uma das três dimensões nessa faixa. Assim, uma partícula sólida cúbica de aresta 15 nm apresenta as três dimensões (altura, largura e profundidade) nessa faixa. Um fio de diâmetro 3 nm (mas que tenha comprimento de, digamos, 1 mm) tem duas dimensões nanométricas (não o comprimento). Uma película de espessura 20 nm aderida à superfície de uma lente de vidro, constituída de moléculas de um polímero, apresenta uma dimensão nanométrica (a espessura). Materiais nanométricos distinguem-se de materiais comuns porque apresentam propriedades condicionadas por dimensões estruturais nanométricas.

Os fios de cabelo humano têm uma espessura que, em geral, está na faixa de 0,06 mm a 0,12 mm. Assim, um desses fios que apresente espessura 0,10 mm mede 100 mil nanômetros. Apresentar esse dado pode ajudar os estudantes na percepção de que as dimensões nanométricas são milhares de vezes inferiores ao mais fino fio de cabelo que podemos perceber por meio de sentidos como visão e tato.

Ao conversar com os estudantes sobre a importância da nanociência, procure diferenciá-la da nanotecnologia, pois muitas vezes essas palavras são tratadas como sinônimos. Explique que a nanociência é uma expressão que faz alusão ao estudo dos fenômenos e da manipulação de materiais na escala atômico-molecular, na qual propriedades da matéria são diferentes daquelas encontradas em materiais de mesma constituição química em fases condensadas na escala macroscópica. Em seguida, ressalte que o termo nanotecnologia engloba as técnicas relacionadas à produção de nanomateriais, à caracterização desses produtos e ao desenvolvimento de aplicações práticas às quais os nanomateriais se prestam em virtude de suas propriedades peculiares.

De olho na BNCC

- **EM13CNT307**

Este item possibilita desenvolver a habilidade **EM13CNT307** da BNCC, pois permite aos estudantes analisar as propriedades dos materiais para avaliar a adequação de seu uso em diferentes aplicações (industriais, cotidianas, arquitetônicas ou tecnológicas).

2. Área superficial de nanomateriais

As mudanças nas propriedades de um material estruturado em escala nanométrica se devem, em parte, aos efeitos quânticos que se manifestam nessa dimensão e aos efeitos de interface gerados pelo aumento expressivo da área superficial. Este último fator é apresentado neste Item 2.

EXCLUSIVA

Para iniciar a abordagem, use os exemplos apresentados no Livro do Estudante sobre o enfileiramento de átomos e a comparação com o tamanho de vírus e bactérias. Para estimular o interesse dos estudantes, peça que eles pesquisem o diâmetro do átomo de algum elemento químico, com exceção do hidrogênio e do césio (que foram mencionados no item) e calculem quantos átomos desse elemento enfileirados são necessários para atingir o comprimento de 100 nm, por exemplo.

Ao apresentar a Figura 3 e mencionar a importância do físico Richard Feynman para a nanociência, realize uma atividade na qual os estudantes deverão identificar cientistas brasileiros cujos trabalhos têm contribuído para o desenvolvimento dessa área. Divida a turma em grupos e estimule os estudantes a agendarem videoconferências a fim de entrevistar profissionais de universidades brasileiras e/ou indústrias. Auxilie os estudantes a elaborar uma lista de perguntas para essas entrevistas, motivando-os a estabelecer um bate-papo com os cientistas, e não uma entrevista rígida e restrita às perguntas pré-selecionadas. É importante que o vídeo dessas entrevistas seja compartilhado e que uma das conclusões da atividade seja a percepção de que o desenvolvimento da nanociência, assim como o das Ciências Naturais, de modo geral, ocorre em razão da pesquisa e da colaboração de diversos cientistas ao redor do mundo. Enfatize aos estudantes a necessidade de solicitar aos entrevistados a concordância sobre o uso de sua imagem no vídeo.

O esquema apresentado na Figura 5 do Livro do Estudante mostra como a divisão de um material em partículas menores aumenta sua área superficial. Explique que, por terem dimensões muito pequenas, os nanomateriais apresentam área superficial (em relação ao volume ou à massa) muito maior do que as porções macroscópicas de matéria em fases condensadas, e que isso afeta de forma significativa as interações entre os materiais, já que, quando eles estão em diferentes fases, tais interações ocorrem na superfície de contato entre essas fases.

Além disso, explique que os átomos e as moléculas presentes na superfície podem atuar de forma diferenciada em relação àqueles presentes no interior da partícula. Esses átomos e moléculas não estão igualmente rodeados de outros iguais em todas as direções. Assim, por não estabelecerem todas as ligações (interatômicas e/ou intermoleculares) que estariam aptos a estabelecer, podem interagir com átomos e moléculas externos à partícula.

Você pode mencionar como exemplo um fato interessante relacionado a alguns metais usados como catalisadores em processos industriais (isto é, que atuam no estabelecimento de um mecanismo alternativo para a ocorrência de uma reação química, mais veloz que na ausência do catalisador). A atividade catalítica de um metal sólido está relacionada à interação dos átomos de sua superfície com moléculas reagentes, que momentaneamente se ligam a eles e ficam adsorvidas (isto é, retidas na superfície), favorecendo a ocorrência da reação. Quando o metal é fragmentado em dimensões nanométricas, a atividade catalítica aumenta muito, não apenas devido ao aumento da área superficial, mas também pelo fato de a fração de átomos superficiais aumentar e estes átomos estarem agora em uma situação de maior disponibilidade para estabelecer interações com as moléculas dos reagentes.

De olho na BNCC

- **EM13CNT301**
- **EM13CNT307**

Este item possibilita o desenvolvimento das seguintes habilidades da BNCC: **EM13CNT301**, pois leva os estudantes a interpretar modelos explicativos, para construir, avaliar e justificar conclusões no enfrentamento de situações-problema sob uma perspectiva científica; e **EM13CNT307**, pois permite que analisem as propriedades dos materiais para avaliar a adequação de seu uso em diferentes aplicações (industriais ou tecnológicas).

3. Pontos quânticos

A Física Quântica é um ramo das Ciências da Natureza que estuda, entre diversos outros temas, o comportamento dos elétrons em átomos, moléculas e estruturas cristalinas. Por meio de experimentos, os cientistas verificaram que os elétrons, embora apresentem algumas características de partícula, podem se comportar também como ondas em determinadas situações. Esse comportamento se manifesta de forma evidente em alguns materiais na escala nanométrica.

Existem materiais em fase sólida nos quais alguns elétrons apresentam relativa liberdade de movimentação pela estrutura. Partículas desses materiais com um número pequeno total de átomos oferecem uma limitação ao movimento dos seus elétrons, que é conhecida como confinamento quântico. Essa limitação influencia algumas propriedades dos materiais, como os níveis energéticos eletrônicos e a interação dos elétrons com a luz e outras radiações eletromagnéticas. Utilize a Figura 6 do Livro do Estudante para destacar esse aspecto a partir de dispersões aquosas de seleneto de cádmio (CdSe) com diferentes tamanhos de partículas, que resultam em diferentes cores.

Explique aos estudantes que, nos domínios nanométricos, os níveis de energia dos elétrons podem ser influenciados pelo tamanho da partícula de material e que os pontos quânticos (como aqueles da Figura 6 do Livro do Estudante) de uma mesma composição química podem ter cores diferentes em decorrência da variação do tamanho da nanopartícula.

Comente que os pontos quânticos têm aplicações em televisores, monitores de computador (Figura 8 do Livro do Estudante) e em sensores de luz ambiente. Também podem ser aplicados em dispositivos para medição da temperatura, aplicação com finalidade prática em termômetros de infravermelho, que têm se tornado mais comuns nos últimos anos. Os pontos quânticos vêm sendo pesquisados por diversos cientistas, incluindo a engenheira elétrica Adrienne Stiff-Roberts, mencionada na Figura 7 do Livro do Estudante.

De olho na BNCC

- **EM13CNT307**

Este item possibilita o desenvolvimento da seguinte habilidade da BNCC: **EM13CNT307**, pois permite analisar as propriedades dos materiais para avaliar a adequação de seu uso em diferentes aplicações (industriais, cotidianas ou tecnológicas).

4. Microscopia e nanocaracterização

Inicie o item questionando aos estudantes o que eles acham que é a nanocaracterização. Reserve um tempo para

EM ABERTA

que eles exponham suas opiniões e, em seguida, ressalte que, durante o desenvolvimento ou estudo de um nanomaterial, ele passa pelo processo de investigação de suas propriedades.

A nanocaracterização envolve a medição de diversas características e propriedades de um nanomaterial, como dimensões, formato, área superficial, reatividade e toxicidade. Estimule os estudantes a concluir que a nanocaracterização é importante, pois, entre outros motivos, indica se o material produzido pode ser empregado em determinada aplicação e também fornece informações aos cientistas para conduzir experimentos de modo a obter nanomateriais com propriedades de interesse.

Após mencionar o microscópio eletrônico de varredura, peça que os estudantes observem a microscopia disponibilizada na Figura 10 do Livro do Estudante e solicite que eles elaborem um pequeno texto que justifique a importância desse tipo de microscópio para a nanociência. É provável que os estudantes percebam que esse equipamento permite a obtenção de imagens com aparência tridimensional e dados como tamanho e formato dos nanomateriais. Caso considere necessário, disponibilize outras imagens de nanomateriais obtidas a partir de microscópios eletrônicos de varredura.

Ao desenvolver esse tema, é importante que os estudantes percebam que o desenvolvimento do microscópio de varredura por tunelamento foi fundamental para a nanotecnologia, pois possibilitou a geração de imagens de átomos e abriu caminho para dispositivos que permitem sua manipulação individual. Esse tipo de microscópio funciona por meio do mapeamento elétrico da superfície de estruturas em escalas de dimensões atômicas. As informações geradas a partir desse mapeamento são direcionadas a um computador que as transforma em imagem tridimensional, como a apresentada na Figura 10 do Livro do Estudante. Destaque que imagens como essa são normalmente coloridas de modo artificial a fim de favorecer a análise de fatores como aspecto e formato da amostra, bem como potencial elétrico da superfície em investigação.

Caso tenha tempo disponível, proponha aos estudantes a realização de uma pesquisa com vistas à criação de uma linha do tempo dos dispositivos de ampliação de imagens, desde a criação do primeiro microscópio eletrônico até o momento presente, com ênfase nos equipamentos que permitem a nanocaracterização. Para a realização da pesquisa é importante orientar os estudantes na escolha de *sites* confiáveis. As pesquisas podem ser realizadas em grupos e apresentadas por meio de cartazes, vídeos ou *podcast*, que podem ser disponibilizados para toda a comunidade escolar.

5. Aplicações da nanotecnologia

Ao falar sobre os **nanomateriais**, comente que eles vêm sendo sintetizados há muito tempo de forma empírica, sem que os seus desenvolvedores conhecessem seus fundamentos científicos. Explique que os nanomateriais só foram identificados quando a tecnologia permitiu o desenvolvimento de equipamentos que pudessem analisar os materiais microscopicamente em nível nanométrico. Entre esses equipamentos estão os microscópios eletrônicos mencionados no item anterior.

Caso considere oportuno, ressalte que os nanomateriais também podem ser encontrados na natureza. Por exemplo, algumas espécies de borboletas têm a sua cor originada pela reflexão da luz em nanoestruturas presentes na asa da borboleta.

Quando for abordar a **nanobiotecnologia**, é interessante explicar aos estudantes o que é o princípio ativo de um fármaco e que propriedades são necessárias para que ele chegue às células do organismo nas quais deve atuar. Destaque que a tecnologia que emprega nanopartículas para a entrega de fármacos pode representar, para determinadas aplicações específicas como a quimioterapia do câncer, uma maneira mais segura e eficiente que os métodos convencionais para fazer com que um princípio ativo chegue ao alvo bioquímico no organismo. Outra importante aplicação da nanobiotecnologia é na técnica de RNA interferente pequeno, comentada no Livro do Estudante. O texto do item também menciona aplicações da nanotecnologia na produção de nanobiossensores e sua utilidade na medicina e na agricultura.

Em seguida, destaque que a **nanoeletrônica** está relacionada ao desenvolvimento tecnológico de equipamentos eletrônicos cada vez mais leves, finos e versáteis. É importante que os estudantes compreendam a complexidade do desenvolvimento desses materiais, que, por serem cada vez menores, demandam um processo de produção progressivamente mais preciso.

Para finalizar a abordagem desse item, proponha a produção de um *podcast* sobre a aplicação da nanotecnologia e um panorama geral sobre as perspectivas futuras para o uso dessa tecnologia. (Sugestões de uso de mídias digitais estão disponíveis no início do livro.) Para o desenvolvimento do *podcast*, é importante que os estudantes realizem pesquisas, montem um roteiro e estipulem o formato em que o tema será abordado, como entrevista, bate-papo, narração ou interpretação de alguma história, entre outros. É importante instruir os estudantes a realizar essa atividade em grupo, de forma que cada equipe explore diferentes aspectos da nanotecnologia. Entre as possíveis fontes de pesquisa sobre aplicações da nanotecnologia, há sugestões na seção *Ampliando os conhecimentos*, no final do Livro do Estudante.

De olho na BNCC

- **EM13CNT107**
- **EM13CNT308**

Este item possibilita o desenvolvimento das seguintes habilidades da BNCC: **EM13CNT107**, pois permite realizar previsões qualitativas sobre o funcionamento de dispositivos eletrônicos (no caso, a aquisição de noções sobre o que é um *chip* eletrônico, como é produzido e qual sua utilidade) com base na análise dos processos de transformação e condução de energia envolvidos; e **EM13CNT308**, pois permite analisar o funcionamento de equipamentos eletrônicos para compreender as tecnologias contemporâneas e avaliar seus impactos sociais, culturais e ambientais.

EM OBRA

6. Segurança e nanotecnologia

Ao desenvolver esse item, comente que alguns produtos que consumimos em nosso cotidiano apresentam nanomateriais em sua composição. Como consequência, a quantidade de nanomateriais lançada no ambiente nos últimos anos aumentou significativamente. Ressalte que o tamanho das partículas de nanomateriais, além de facilitar sua dispersão no ambiente, dificulta sua remoção por meio de técnicas comumente aplicadas. Em seguida, peça que os estudantes levantem hipóteses para justificar por que a elevada área superficial desses materiais pode estar relacionada com impactos ambientais expressivos. Espera-se que eles concluam que a elevada área superficial influencia fatores como a reatividade dos nanomateriais frente a substâncias do meio ambiente e do organismo humano.

Em seguida, comente que o principal objetivo da nanotoxicologia é estudar os efeitos toxicológicos de nanomateriais em diferentes sistemas biológicos, como células, tecidos e organismos vivos. Por ser uma área relativamente nova, os estudiosos ainda estão buscando entender como as propriedades de nanopartículas podem impactar a saúde dos seres humanos e a qualidade do meio ambiente.

Para ampliar a abordagem e estimular o contato dos estudantes com textos de caráter científico, proponha a leitura e a interpretação do artigo: MARTIOLI, A. C. S.; PINHEIRO, F. Nanotecnologia: uma breve discussão sobre os impactos da nanotecnologia à saúde humana e ao meio ambiente. *Revista Acadêmica Oswaldo Cruz*, ano 2, n. 8, 2015. Disponível em: <https://oswaldocruz.br/revista_academica/content/pdf/Edicao_08_Andrezza_Martioli.pdf>, acesso em: 02 set. 2020. Solicite que a leitura seja realizada de forma individual e peça aos estudantes que selecionem alguns termos ou conceitos que não conheçam e são apresentados no artigo e realizem uma pesquisa sobre eles. Posteriormente, estimule uma discussão com os estudantes sobre o artigo e peça para que compartilhem com os colegas os termos e os conceitos pesquisados.

De olho na BNCC

- **EM13CNT307**
- **EM13CNT309**

Este item possibilita desenvolver as seguintes habilidades da BNCC: **EM13CNT307**, pois permite 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; e **EM13CNT309**, ao estimular os estudantes a analisar questões socioambientais e discutir a necessidade de introdução de alternativas e novas tecnologias de materiais, comparando processos de produção de novos materiais.

Atividade em grupo

Esta atividade propõe que os estudantes pesquisem sobre a regulamentação da venda de novos produtos de diversas áreas, como saúde, alimentação e tecnologia. Auxilie-os a identificar que existem instituições que analisam os produtos a fim de verificar se eles são seguros. A Agência Nacional de Vigilância Sanitária (Anvisa), por exemplo, tem entre suas atribuições normatizar e fiscalizar para que produtos como medicamentos, cosméticos, perfumes e itens de higiene pessoal que chegam até a população não gerem danos à saúde dos consumidores.

Ao falar sobre as dificuldades que existem em regulamentar áreas nas quais a inovação é muito rápida, ressalte que tornar obrigatória a caracterização dos nanomateriais quanto a parâmetros como tamanho, reatividade e toxicidade é fundamental para a atualização dos regulamentos referentes a esses materiais. Além disso, o estudo dos impactos dos nanomateriais é essencial para o desenvolvimento de metodologias que visam à redução ou à eliminação das eventuais consequências negativas deles no meio ambiente.

Oriente os estudantes durante a formação dos grupos e a elaboração dos vídeos. É importante auxiliá-los na escolha dos argumentos legais e éticos que embasem suas opiniões e na proposição de sugestões de melhoria solicitadas na atividade. Os vídeos podem ser apresentados para a turma, estimulando um debate sobre o tema. Caso considere válido, eles podem ser divulgados nas plataformas digitais da instituição para ampliar a discussão e envolver toda a comunidade escolar.

De olho na BNCC

- **EM13CNT104**
- **EM13CNT206**
- **EM13CNT303**
- **EM13CNT304**
- **Competências gerais 2, 5 e 7**

A *Atividade em grupo* possibilita o desenvolvimento das seguintes habilidades e competências da BNCC: **EM13CNT104**, pois permite 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; **EM13CNT206**, porque permite discutir a importância da preservação e da 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; **EM13CNT303**, pois permite 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**, já que envolve analisar e debater situações controversas sobre a aplicação de conhecimentos da área de Ciências da Natureza (no caso, valorizar a utilização da nanotecnologia nos casos em que sua contribuição é fundamental para o bem-estar humano e para a sanidade ambiental, mas refutar usos em produtos nos quais não sejam realmente necessários e/ou possam acarretar problemas à saúde humana e impactos ambientais), com base em argumentos consistentes, legais, éticos e responsáveis, distinguindo diferentes pontos de vista; **Competência geral 2**, uma vez que possibilita 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 criar soluções com base nos conhecimentos das diferentes áreas; **Competência geral 5**, haja vista que envolve compreender e utilizar tecnologias digitais de informação e comunicação de forma crítica, significativa, reflexiva e ética para se comunicar, acessar e disseminar informações, produzir conhecimentos e exercer protagonismo e autoria na vida pessoal e coletiva; e **Competência geral 7**, posto que requer 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.

MANUAL DO PROFESSOR

CAPÍTULO 1.
As leis da herança

1 a) É possível afirmar que são heterozigóticos os indivíduos 1, 2, 6 e 7, pois eles têm descendentes homozigóticos recessivos, além do indivíduo 8, cuja mãe é homozigótica recessiva.

b) Tendo concluído que os pais do indivíduo 4 são heterozigóticos, pois um de seus irmãos (5) é homozigótico recessivo, a probabilidade de o indivíduo 4 ser heterozigótico é de $\frac{2}{3}$, pois ele tem fenótipo dominante e poderia ser, portanto, homozigótico $\left(\frac{1}{3}\text{ de probabilidade}\right)$ ou heterozigótico $\left(\frac{2}{3}\text{ de probabilidade}\right)$.

c) A probabilidade de um filho do casal 3 × 4 ser homozigótico recessivo é a probabilidade de o indivíduo 4 ser heterozigótico $\left(\frac{2}{3}\right)$ multiplicada pela probabilidade dele transmitir ao filho o alelo recessivo $\left(\frac{1}{2}\right)$, portanto, $\frac{2}{3}\times\frac{1}{2}=\frac{2}{6}=\frac{1}{3}$.

2 Alternativa A.

3 Alternativa C.

4 Alternativa B. Ao trabalhar com as atividades 2, 3 e 4, peça aos estudantes que reproduzam na lousa ou no caderno os cruzamentos citados nas questões, de modo a facilitar as resoluções dos problemas.

5 Alternativa D. Pessoas do grupo sanguíneo O não apresentam aglutinogênios nas hemácias; por isso elas não se aglutinam com os soros anti-A e anti-B.

6 Alternativa C. Pessoas do grupo sanguíneo AB apresentam os aglutinogênios A e B nas hemácias; por isso elas se aglutinam com os soros anti-A e anti-B.

7 Alternativa A. Pessoas do grupo sanguíneo A apresentam aglutinogênios A nas hemácias; por isso elas se aglutinam com soro anti-A, mas não com anti-B.

8 Alternativa B. Pessoas do grupo sanguíneo B apresentam aglutinogênios B, por isso suas hemácias se aglutinam com soro anti-B, mas não com anti-A.

As atividades 5 a 8 têm o objetivo de revisar e de avaliar os conhecimentos obtidos pelos estudantes a respeito dos diferentes tipos de aglutinogênios que podem estar presentes nas hemácias, e como esses aglutinogênios reagem com os soros anti-A e anti-B. Aproveite a oportunidade para tirar possíveis dúvidas a respeito do assunto.

9 Alternativa B.

10 Alternativa C.

11 Alternativa A.

12 Alternativa D.

13 Alternativa B. Para que um filho do casal III2 × III3 seja afetado é necessário que seus pais, ambos com fenótipo dominante, sejam portadores do alelo recessivo *a*. A chance de o homem III3 ser heterozigótico está dada no enunciado, é $\frac{1}{50}$. A mulher III2 é certamente heterozigótica, pois apresenta fenótipo condicionado pelo alelo dominante A e recebeu de sua mãe, homozigótica recessiva, um alelo *a*. A chance de uma criança filha do casal vir a ser afetada é calculada multiplicando-se a chance de ter herdado de sua mãe um alelo recessivo *a* $\left(\frac{1}{2}\right)$ pela chance de ter herdado de seu pai um outro alelo *a* $\left(\frac{1}{2}\times\frac{1}{50}\right)$, portanto, $\frac{1}{2}\times\frac{1}{2}\times\frac{1}{50}=\frac{1}{200}$. Se não soubéssemos o sexo da criança e desejássemos estimar também a chance de pertencer ao sexo masculino, teríamos de multiplicar por $\frac{1}{2}$; entretanto, como já sabemos o sexo, isso não é necessário. A resposta, portanto, é $\frac{1}{200}$.

14 a) As "linhagens diferentes" citadas no rótulo do saco de milho são da mesma espécie, correspondendo apenas a diferentes variedades fenotípicas.

b) As plantas obtidas pela germinação das sementes adquiridas pelo agricultor produziram espigas uniformes por serem homozigóticas; o cruzamento de plantas diferentes produziu sementes que levaram ao aparecimento de plantas heterozigóticas com genótipos e fenótipos diferentes dos da primeira safra.

15 Alternativa B. Ao trabalhar com a atividade, relembre que metade do material genético vem do pai e metade da mãe. Por esse motivo, uma pessoa do grupo sanguíneo O, com genótipo ii, não poderia ter um filho do grupo sanguíneo AB.

16 Alternativa B. O genótipo das espécies permanece idêntico, porém as diferentes condições de iluminação a que foram submetidas foram responsáveis pelas diferenças observadas nos fenótipos. Se desejar, comente que as plantas que crescem no escuro sofrem de estiolamento, fenômeno adaptativo em que há crescimento rápido, embora a planta fique amarelada pela falta de clorofila. Esse fenômeno é exibido por plantas que se desenvolvem na ausência de luz.

CAPÍTULO 2.
Bases cromossômicas da herança

1 O fato de terem sido obtidos somente descendentes de coloração preta em F_1 permite inferir que essa é a característica dominante, sendo então a cinza a característica recessiva. Como apenas os machos F_2 apresentaram a característica recessiva, conclui-se que se trata de herança ligada ao sexo e que o sexo feminino é o homogamético e o masculino é o heterogamético.

2 A probabilidade é de $\frac{1}{2}$. O cromossomo Y da criança veio de seu pai, que por sua vez o recebeu de seu avô.

REPRODUÇÃO PROIBIDA

Já sua mãe possui um cromossomo X proveniente da avó e outro proveniente do avô da criança. A chance dessa criança receber de sua mãe o cromossomo proveniente de sua avó é de $\frac{1}{2}$.

3 A soma das respostas corretas é 9 (são corretas as afirmações 1 e 8). Se for o caso, reproduza na lousa o cruzamento por meio de um quadrado de Punnet, o que facilita a resolução e a discussão dos resultados.

4 Alternativa D. Ao trabalhar com a atividade, relembre o conteúdo sobre compensação de dose estudado no capítulo.

5 As configurações possíveis dos gametas seriam: 1M, 2M e 3M; 1M, 2M e 3P; 1M, 2P e 3M; 1P, 2M e 3M; 1M, 2P e 3P; 1P, 2M e 3P; 1P, 2P e 3M; 1P, 2P e 3P. Ou seja, podem se formar 8 tipos de gameta com diferentes combinações entre cromossomos de origem materna e paterna.

6 Considerando que o número haploide de cromossomos na espécie humana é 23, há 2^{23} (8.388.608) combinações cromossômicas possíveis. Sendo assim, a probabilidade de um gameta humano conter apenas cromossomos de origem materna ou paterna é de $\frac{1}{8.388.608}$.

CAPÍTULO 3.
O código genético e a síntese de proteínas

1 Alternativa D. As ligações de hidrogênio entre as cadeias de DNA ocorrem entre pares de bases específicos: a base adenina liga-se apenas à timina (A ⇔ T), enquanto a citosina liga-se apenas à guanina (C ⇔ G).

2 Alternativa C. As cadeias são complementares, de modo que, se em uma posição em uma das cadeias ocorrer a base nitrogenada A, na posição correspondente da outra cadeia estará presente a base nitrogenada T, e vice-versa. O mesmo ocorre com as bases nitrogenadas C e G.

3 a) A partir do códon AUG, que codifica a metionina, o aminoácido que inicia as cadeias polipeptídicas.
b) AUU, que nesse caso é o códon imediatamente anterior ao códon "pare" UGA para o qual não há aminoácido correspondente.
c) metionina - leucina - leucina - treonina - isoleucina

4 Cadeia 1: TGACTGTACAATGAGTGATAAACTGTCCATT
Cadeia 2: ACTGACATGTTACTCACTATTTGACAGGTAA
A cadeia transcrita pela polimerase do RNA é a cadeia 1

5 A sexta trinca do RNAm (ACU), que codifica o aminoácido treonina, seria modificada para GCU, que codifica alanina. A proteína codificada pelo RNA mutante teria, então, a seguinte sequência de aminoácidos: metionina - leucina - leucina - alanina - isoleucina.

6 O novo RNAm resultante da mutação teria a seguinte sequência de bases:
ACU.GAC.AUG.UUA.CUC.CUA.UUU.GAC.AGG.UAA,
com isso a leitura do RNAm sairia de fase e a tradução só seria interrompida no novo códon de parada: UAA. A proteína codificada pelo RNA mutante teria 7 aminoácidos, em vez de 5:
metionina - leucina - leucina - leucina - fenilalanina - ácido aspártico - arginina.

7 Alternativa A. As proteínas são moléculas poliméricas formadas por 20 diferentes tipos de aminoácidos. Existem 64 códons, mas somente 61 têm aminoácidos correspondentes; 3 códons não codificam aminoácidos, sendo sinais de parada da tradução.

8 Alternativa E. Os autoanticorpos característicos da síndrome antissintetase (SAS) impedem a ação da enzima que catalisa a união dos aminoácidos a seus respectivos RNAs transportadores e, com isso, impedem que os aminoácidos sejam posicionados sobre os RNAm para serem unidos entre si e formarem as cadeias polipeptídicas.

9 a) A sequência do dupleto solicitado é CG. Com a inserção de uma base extra, a leitura dos dupletes será modificada a partir daquele ponto, provocando uma deterioração total daquela linha. A deleção do último dupleto só provocará a falta de um pixel.
b) O dupleto determina um pixel na imagem da mesma forma que um códon determina um aminoácido na proteína. A tradução gênica ocorre no ribossomo.
Esse tipo de atividade contribui com o desenvolvimento do pensamento computacional dos estudantes, pois é uma proposta que se aproxima da automatização de processos e da criação de algoritmos.

10 a) Os corrimãos correspondem a uma sequência de fosfato e desoxirribose. Os degraus são constituídos por pares de bases nitrogenadas unidas por ligações de hidrogênio.
b) O DNA, por meio da transcrição, produz o RNA mensageiro, cuja sequência de códons determina a proteína produzida nos ribossomos.
c) As proteínas podem ser diferenciadas pela quantidade, tipos e sequências de seus aminoácidos.

11 Alternativa C. A tetraciclina impede a tradução ao se ligar aos ribossomos, impedindo a ligação dos RNAt que trazem os aminoácidos a serem incorporados na proteína.

CAPÍTULO 4.
Eletrostática: eletricidade estática

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 Alternativa C.
Na série triboelétrica, cada substância adquire carga elétrica positiva quando atritada com outra que a sucede na lista e carga elétrica negativa quando atritada com qualquer outra que a antecede na lista. No exemplo citado na questão, o vidro é sucedido pela lã e pela ebonite e, portanto, se eletriza positivamente quando atritado com qualquer uma das duas.

3 Alternativa C.
De acordo com a lei de Coulomb, a força de atração ou repulsão elétrica é uma força de campo (força que atua

EM MODERNA

a distância), cujo módulo é diretamente proporcional ao produto dos módulos das cargas e inversamente proporcional ao quadrado da distância entre elas:

$$F = k_0 \cdot \frac{|Q_1| \cdot |Q_2|}{d^2}$$

I. Incorreta. Dobrando-se a distância, a intensidade da força passa a ser $\frac{F}{4}$.

II. Incorreta. Dobrando-se os valores das cargas elétricas e mantendo-se a distância, a intensidade da força passa a ser $4F$.

III. Correta. Novas cargas após o contato:

$$Q'_1 = Q'_2 = \frac{Q_1 + 3\,Q_1}{2} = 2\,Q_1$$

Assim, temos antes do contato:

$$F = k_0 \cdot \frac{|Q_1| \cdot |Q_2|}{d^2} \Rightarrow F = k_0 \cdot \frac{|Q_1| \cdot |3\,Q_1|}{d^2} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow F = 3\,k_0 \cdot \frac{|Q_1| \cdot |Q_1|}{d^2} \quad (1)$$

Após o contato:

$$F' = k_0 \cdot \frac{|2\,Q_1| \cdot |2\,Q_1|}{d^2} \Rightarrow F' = 4\,k_0 \cdot \frac{|Q_1| \cdot |Q_1|}{d^2} \quad (2)$$

De (1) e (2), resulta: $F' = \frac{4F}{3}$

4 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 $+2Q$. Após o segundo contato, entre as esferas B e C, com cargas, respectivamente, iguais a $+2Q$ e $-2Q$, ambas as esferas se neutralizam.

Portanto, após os contatos, as esferas A, B e C terão cargas, respectivamente, iguais a $+2Q$, zero e zero.

5 **a)** O vetor campo elétrico $\vec{E}_A$ é de afastamento. Logo, o sinal da carga elétrica Q é positivo.

b)

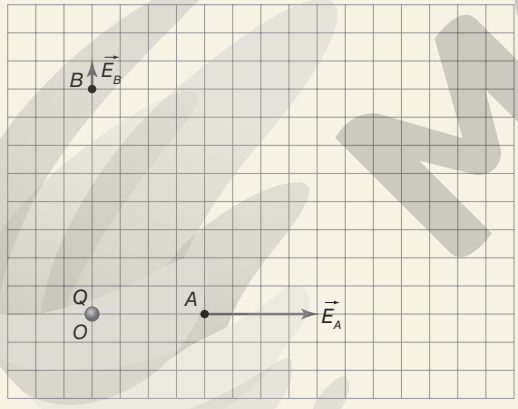


ILUSTRAÇÃO: ADILSON SECCO

c) Sendo $d_B = 2\,d_A$, resulta: $E_B = \frac{E_A}{4} \Rightarrow E_B = 1{,}0 \cdot 10^5$ N/C

d) $F_A = |q| \cdot E_A \Rightarrow F_A = 1{,}0 \cdot 10^{-6} \cdot 4{,}0 \cdot 10^5$

$\therefore\ F_A = 0{,}4$ N

e) Sendo $q > 0$, concluímos que o sentido de $\vec{F}_A$ é o mesmo de $\vec{E}_A$.

6 Alternativa B.

Durante a resolução do exercício, pode-se relembrar uma das aplicações trabalhadas no boxe *Dialogando com o texto* da página 59, a blindagem eletrostática. 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.

CAPÍTULO 5.
Circuitos elétricos

1 A unidade de medida ampere-hora (Ah) é usada para medir quantidade de carga elétrica, visto que é obtida pelo produto da intensidade da corrente elétrica pelo intervalo de tempo. Para uma bateria, por exemplo, a quantidade de carga de 100 Ah indica que, se for percorrida por corrente elétrica de intensidade 1 A, essa bateria terá carga para ser usada por 100 horas. A classificação indica, portanto, a quantidade de carga elétrica disponível na bateria.

2 Alternativa B.

Aplicação simples e imediata da definição de intensidade da corrente elétrica. Deve-se atentar para as unidades de medidas utilizadas.

A carga $\Delta Q = 6{,}0\ \mu C = 6{,}0 \cdot 10^{-6}$ C que passa pela seção transversal do fio em $\Delta t = 3{,}0$ ms $= 3{,}0 \cdot 10^{-3}$ s determina uma corrente elétrica de intensidade dada por:

$$i = \frac{\Delta Q}{\Delta t} \Rightarrow i = \frac{6{,}0 \cdot 10^{-6}}{3{,}0 \cdot 10^{-3}} \therefore\ i = 2{,}0 \cdot 10^{-3}\,A \Rightarrow i = 2{,}0\,mA$$

3 O exercício permite comparar o tempo de funcionamento de uma lâmpada e de um chuveiro elétrico que consomem a mesma energia elétrica.

$$E_{el_{lâmpada}} = E_{el_{chuveiro}} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow P_{lâmpada} \cdot \Delta t_{lâmpada} = P_{chuveiro} \cdot \Delta t_{chuveiro} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow 60 \cdot \Delta t_{lâmpada} = 5.400 \cdot 20$$

$$\therefore\ \Delta t_{lâmpada} = 1.800\ min \Rightarrow \Delta t_{lâmpada} = 30\ h$$

4 **a)** 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 (0,5 h), 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.

5 Alternativa D.

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).

6 Alternativa D.

A lâmpada acende quando seus terminais elétricos (base metálica e rosca metálica lateral) estão ligados aos polos da pilha. Isso ocorre nas ligações apresentadas nas figuras 1, 3 e 7.

MODELO

CAPÍTULO 6.
Pilhas e baterias (celas galvânicas)

1 Alternativa E.

As alternativas B, C e D não oferecem solução definitiva, apenas minimizam o problema causado por metais pesados presentes em pilhas e baterias.

A alternativa A propõe uma medida que, além de dificilmente poder ser implantada, não resolve definitivamente "o problema da poluição ambiental por metais pesados relatado no texto" porque as pilhas e baterias não são as únicas fontes de contaminação por metais pesados.

Resta a alternativa E, que ataca a origem do problema, ou seja, elimina a utilização de metais pesados em produtos comercializados. Assim, pela impossibilidade de extinguir o uso de pilhas e baterias, e de modo a solucionar os problemas relacionados ao impacto ambiental de resíduos, deve-se pensar em uma alternativa que não produza resíduos tóxicos.

2 Alternativa C.

Cela a combustível com eletrólito ácido:

$$2H_2(g) \rightarrow 4H^+(aq) + 4e^-$$
$$O_2(g) + 4H^+(aq) + 4e^- \rightarrow 2H_2O(l)$$
$$\text{(+)}$$
$$2H_2(g) + O_2(g) \rightarrow 2H_2O(l)$$

Cela a combustível com eletrólito alcalino:

$$2H_2(g) + 4OH^-(aq) \rightarrow 4H_2O(l) + 4e^-$$
$$O_2(g) + 2H_2O(l) + 4e^- \rightarrow 4OH^-(aq)$$
$$\text{(+)}$$
$$2H_2(g) + O_2(g) \rightarrow 2H_2O(l)$$

Independentemente do tipo de eletrólito (ácido ou alcalino), a semirreação na qual o $H_2(g)$ é reagente é de oxidação (perda de elétrons) e a semirreação em que o $O_2(g)$ é reagente é de redução (recebimento de elétrons). A oxidação do $H_2(g)$ ocorre no ânodo e a redução do $O_2(g)$, no cátodo.

3 Alternativa A.

A célula de combustível transforma energia química em energia elétrica produzindo a substância água, que não é poluente. A equação da reação global é:

$$2H_2(g) + O_2(g) \rightarrow 2H_2O(l)$$

4 Alternativa A.

$\Delta E^\ominus = E^\ominus_{\text{cátodo}} - E^\ominus_{\text{ânodo}} = +0{,}74\,V - (-0{,}76\,V)$

$\Delta E^\ominus = +1{,}5\,V$

CAPÍTULO 7.
Oxidantes e redutores

1 Alternativa E.

O número de oxidação do sódio vai de 0 (no Na) para +1 (no Na_2CO_3).

O número de oxidação do oxigênio não se altera; é −2 no reagente CO_2 e no produto Na_2CO_3.

O número de oxidação dos átomos de carbono que resultam em Na_2CO_3 não se altera (é +4 no CO_2 e no Na_2CO_3). Já o número de oxidação dos átomos de carbono que resultam no outro produto (C substância simples) se altera de +4 para 0.

2 Alternativa E.

I. O número de oxidação do urânio se modifica de +6 para +4 e o do hidrogênio, de 0 para +1.

II. Não há alteração de número de oxidação: o do urânio permanece +4, o do hidrogênio, +1, e o do oxigênio, −2.

III. O número de oxidação do urânio se altera de +4 para +6 e o do flúor, de 0 para −1.

3 Alternativa D.

O número de oxidação do metal em cada uma das substâncias citadas não é o mesmo; Fe: +2; Cu: +1; Cr: +3; Mn: +7. O fato de o número de oxidação do manganês ser o mais elevado indica, de acordo com as considerações do enunciado, que o $KMnO_4$ é o melhor agente oxidante.

4 Alternativa C.

Para impedir que o cobre metálico (que tem número de oxidação zero) se oxide a íons cobre(II), presentes no zinabre, é necessário o contato com um metal que se oxide mais facilmente que ele, ou seja, que apresente menor potencial de semicela (ou menor potencial de redução).

5 Alternativa A.

A liberação de gás hidrogênio (H_2) mencionada no enunciado deve-se à ocorrência da primeira semirreação da tabela,

$$2H_2O + 2e^- \rightarrow H_2 + 2OH^-,$$

cujo $E^\ominus$ vale −0,83 V. Como se trata de uma redução (recebimento de elétrons), é necessária a ocorrência simultânea de uma oxidação, que será uma das outras semirreações da tabela, invertida. Apenas uma delas apresenta valor de $E^\ominus$ inferior a −0,83 V, que é a seguinte:

$$Al(OH)_4^- + 3e^- \rightarrow Al + 4OH^-$$

Como esta tem a menor tendência a ocorrer como redução, apresenta, por outro lado, a maior tendência a ocorrer (invertida) como oxidação:

$$Al + 4OH^- \rightarrow Al(OH)_4^- + 3e^-$$

Então, a outra espécie presente na mistura, além do hidróxido de sódio, é o alumínio.

6 Alternativa E.

De acordo com o esquema, O_2 se transforma em íons hidróxido, OH^-, em um dos eletrodos. No outro eletrodo, esses íons hidróxido e o zinco metálico (Zn^0, do próprio eletrodo) se transformam em $Zn(OH)_4^{2-}$. Na transformação de O_2 em OH^- ocorre redução do elemento químico oxigênio (de número de oxidação zero para −2). Já na transformação de Zn^0 em $Zn(OH)_4^{2-}$ acontece a oxidação do elemento químico zinco (de número de oxidação zero para +2). Como ânodo é, por definição, a semicela em que ocorre oxidação, concluímos que a espécie química formada no ânodo é $Zn(OH)_4^{2-}$.

CAPÍTULO 8.
Eletromagnetismo

1 Alternativa D.

MODERNA

O exercício explora as características dos ímãs. Cada uma das alternativas pode ser utilizada como resumo teórico desse tópico inicial.

a) Incorreta. O polo norte da agulha aponta aproximadamente para o polo norte geográfico da Terra.

b) Incorreta. Conforme visto na interação entre polos de ímãs, polos de mesmo nome se repelem.

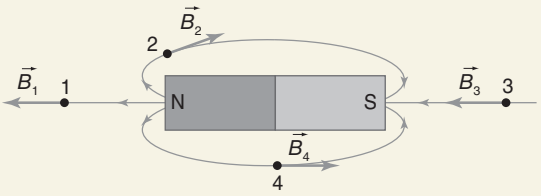
c) Incorreta. Quando serramos transversalmente um ímã, cada parte obtida é um ímã completo.

d) Correta. O polo sul da agulha aponta aproximadamente para o polo sul geográfico da Terra.

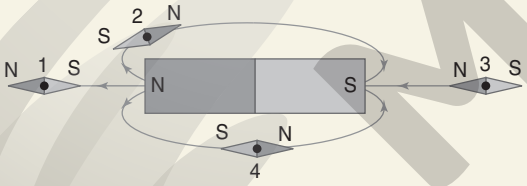
e) Incorreta. O prego de ferro é atraído pelo ímã, pois se magnetiza por "indução".

2 Convém relembrar aos estudantes as características do vetor indução magnética e o comportamento de um ímã ao ser colocado na presença de um campo magnético.

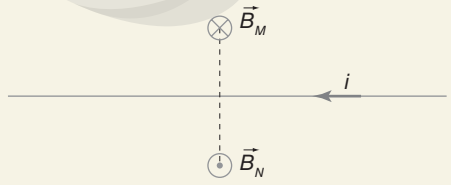
a) Os vetores indução magnética, de módulos B_1, B_2, B_3 e B_4, são tangentes às linhas de indução pelos pontos 1, 2, 3 e 4. Os sentidos desses vetores acompanham os sentidos das linhas de indução em cada ponto:



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 no sentido do vetor indução magnética existente no ponto onde cada uma foi colocada:

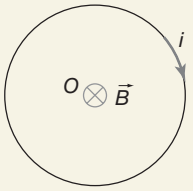


3 O exercício é uma aplicação simples e imediata da regra da mão direita. Aplicando essa regra, concluímos que o vetor campo magnético, no ponto *M*, está entrando no plano do papel, e, no ponto *N*, está saindo do plano do papel:



4 Alternativa B.

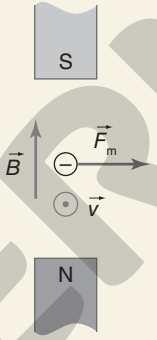
Aplicação da regra da mão direita a uma espira circular. Usando a regra da mão direita, concluímos que o sentido de campo magnético no centro *O* é entrando no plano do papel. A figura a seguir nos mostra a representação desse campo magnético.



5 Alternativa A.

Inicialmente devemos determinar o sentido do vetor campo magnético: do polo norte para o polo sul. Pela regra da mão esquerda, determinamos o sentido da força magnética: para a direita.

Como os elétrons que definem a imagem na tela são desviados para a direita, a imagem é distorcida para a direita.



6 Alternativa C.

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.

CAPÍTULO 9.
Eletrólise

1 Reação global da eletrólise da ureia:

$$CO(NH_2)_2 + 6\,OH^- \rightarrow N_2 + 5\,H_2O + CO_2 + 6\,e^-$$
$$6\,H_2O + 6\,e^- \rightarrow 3\,H_2 + 6\,OH^-$$
$$\text{(+)}$$
$$CO(NH_2)_2 + H_2O \rightarrow N_2 + CO_2 + 3\,H_2$$

Cálculo da massa de ureia em dez mil litros de urina:

massa de soluto		**volume de solução**
20 g	——	1 L
x	——	$1{,}0 \cdot 10^4$ L

$\Rightarrow \quad x = 2{,}0 \cdot 10^5$ g

A proporção estequiométrica (em mol) ureia : H_2 é de 1 : 3. Então, podemos calcular a massa de H_2:

$CO(NH_2)_2$		H_2
1 mol		3 mol
massa		**massa**
60 g	——	$3 \cdot 2$ g
$2{,}0 \cdot 10^5$ g	——	y

$\Rightarrow \quad y = 2{,}0 \cdot 10^4$ g

Com esse resultado, podemos determinar a distância percorrida:

ILUSTRAÇÕES: ADILSON SECCO

MODERNA

massa de H_2		distância
100 g	——	1 km
$2{,}0 \cdot 10^4$ g	——	z

$\Rightarrow \quad z = 200$ km

2 Alternativa C.

O fragmento do romance relata o uso de eletrólise para realizar a decomposição da água nas substâncias simples gás hidrogênio e gás oxigênio. Dos processos relacionados nas alternativas, o único que emprega eletrólise é a obtenção de alumínio a partir da bauxita.

3 Alternativa A.

Na obtenção do alumínio a partir do óxido de alumínio, Al_2O_3, por meio de eletrólise, o elemento químico alumínio se reduz no cátodo e, simultaneamente, o elemento químico oxigênio se oxida no ânodo. Em seguida, o gás oxigênio produzido no ânodo reage com o eletrodo de grafite, produzindo CO_2.

4 Alternativa B.

O estanho oferece proteção ao ferro ao revesti-lo completamente. No entanto, a camada desse metal na folha de flandres é bastante fina, e, ao amassar a lata, essa camada pode ser rompida, expondo o ferro ao alimento, o que possibilita a oxidação desse metal e a contaminação do alimento com os produtos da oxidação.

5 Um banho de 600 s (isto é, 10 min) consome uma quantidade de energia, em joules, assim calculada:

tempo		energia
1 s	——	3.000 J
600 s	——	x

$\Rightarrow \quad x = 1{,}8 \cdot 10^6$ J

Podemos, então, calcular o número de banhos:

energia		banhos
$1{,}8 \cdot 10^6$ J	——	1
$3{,}6 \cdot 10^6$ J	——	y

$\Rightarrow \quad y = 2$

Com a energia usada para fabricar uma latinha de alumínio poderiam ser tomados dois banhos.

CAPÍTULO 10.
Genética e biotecnologia na atualidade

1 01 + 02 + 04 + 08 = 15

A trangênese, ou transgenia, se refere ao processo de alteração do material genético de uma espécie pela introdução de uma ou mais sequências de genes provenientes de outra espécie.

2 **a)** Plasmídios são obtidos de bactérias. As moléculas empregadas no corte de plasmídios são enzimas de restrição (endonucleases).

b) O plasmídio contendo o gene de interesse precisa entrar no núcleo da célula para ser expresso e gerar as proteínas que atuarão como antígenos, que desencadearão a produção de anticorpos específicos pelo organismo.

3 Alternativa D. O código genético é universal, ou seja, é o mesmo em todos os seres vivos.

4 Alternativa B. O fenótipo é resultado da interação do genótipo com o ambiente. O item IV pode ser ponto de partida para um debate sobre os limites éticos do mapeamento genético de doenças em seres humanos, que podem eventualmente resultar discriminação genética. Por exemplo, será que conhecer o material genético não permitiria a algum governo não democrático promover a exclusão social ou econômica de pessoas portadoras de determinados genótipos? Ainda, seria eticamente aceitável que as empresas seguradoras de saúde possam utilizar o mapeamento genético para regular valores de serviços ou mesmo excluir clientes que demonstrem propensão a determinadas doenças? Esses temas são em geral interessantes aos estudantes. Verifique a possibilidade de debatê-los em aula.

CAPÍTULO 11.
Acústica

1 Alternativa E.

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 mesmas 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 $\lambda_{infrassom} > \lambda_{som} > \lambda_{ultrassom}$.

2 Alternativa E.

Som, infrassom e ultrassom são ondas mecânicas e, portanto, necessitam de um meio material para propagar-se de um ponto a outro. Logo, elas não podem se propagar no vácuo, caso da superfície lunar.

3 Alternativa D.

Analisando o gráfico, notamos que entre $t = 0$ e $t = 2$ s, a frequência percebida pelo observador é menor que f_0, o que indica um afastamento entre a fonte e o observador.

A partir de $t = 2$ s, a frequência percebida pelo observador passa a ser maior que f_0, o que indica uma aproximação entre a fonte e o observador. Portanto, a fonte inverteu o sentido de seu movimento em $t = 2$ s.

Entretanto, a fonte não chega a passar pelo observador, pois se isso ocorresse ele deveria perceber novamente um som com frequência menor que f_0.

4 **a)** Para o cálculo da velocidade do som (v_{som}), temos:

Aproximação da fonte sonora,

$$\frac{f_0}{v_{som} \pm v_O} = \frac{f_S}{v_{som} \pm v_S} \Rightarrow \frac{550}{v_{som} \pm 0} = \frac{f_S}{v_{som} - 35} \quad (1)$$

Afastamento da fonte sonora,

$$\frac{f_O}{v_{som} \pm v_O} = \frac{f_F}{v_{som} \pm v_F} \Rightarrow \frac{450}{v_{som} \pm 0} = \frac{f_F}{v_{som} + 35} \quad (2)$$

Dividindo-se as equações (1) e (2), entre si, temos:

$$\frac{550}{450} = \frac{v_{som} + 35}{v_{som} - 35} \Rightarrow 11 \cdot (v_{som} - 35) = 9 \cdot (v_{som} + 35)$$

$\therefore \quad v_{som} = 350$ m/s

b) Substituindo-se v_{som} na equação (1), ou na (2), temos:

$$\frac{f_O}{v_{som} \pm v_O} = \frac{f_S}{v_{som} \pm v_S} \Rightarrow \frac{450}{350 \pm 0} = \frac{f_S}{350 + 35} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow 450 \cdot 385 = f_S \cdot 350 \Rightarrow f_S = \frac{450 \cdot 385}{350}$$

$$\therefore f_S = 495 \text{ Hz}$$

5 Como a galáxia está afastando-se da Terra, devemos ter $f_R < f_E$. Assim:

$$f_O = \left(\sqrt{\frac{c - v}{c + v}}\right) \cdot f_F \Rightarrow f = \left(\sqrt{\frac{c - 0{,}6 \cdot v}{c + 0{,}6 \cdot v}}\right) \cdot f_E \Rightarrow$$

$$\Rightarrow f = \left(\sqrt{\frac{0{,}4 \cdot c}{1{,}6 \cdot c}}\right) \cdot f_E \Rightarrow f = \left(\sqrt{\frac{4 \cdot c}{16 \cdot c}}\right) \cdot f_E \Rightarrow$$

$$\Rightarrow f = \frac{1}{2} \cdot f_E \therefore f = 2 \cdot f_R$$

A radiação emitida pela galáxia tem o dobro da frequência da radiação captada aqui na Terra.

CAPÍTULO 12.
Nanotecnologia

1 **a)** O comprimento de 1 cm equivale a $1 \cdot 10^{-2}$ m.
O número de segundos em 1 mês de 30 dias pode ser calculado pela multiplicação

$$1 \text{ mês} \cdot \frac{30 \text{ dia}}{1 \text{ mês}} \cdot \frac{24 \text{ h}}{1 \text{ dia}} \cdot \frac{60 \text{ min}}{1 \text{ h}} \cdot \frac{60 \text{ s}}{1 \text{ min}},$$

que resulta $2{,}6 \cdot 10^6$ s.
Então, a taxa de crescimento do fio de cabelo é:

$$\frac{1 \cdot 10^{-2} \text{ m}}{2{,}6 \cdot 10^6 \text{ s}} = 3{,}8 \cdot 10^{-9} \text{ m/s} = 3{,}8 \text{ nm/s}$$

b) Considerando que as unhas cresçam 3 mm (isto é, $3 \cdot 10^{-3}$ m) por mês, o que é uma consideração razoável, em um mês de 30 dias temos:

$$\frac{3 \cdot 10^{-3} \text{ m}}{2{,}6 \cdot 10^6 \text{ s}} = 1{,}2 \cdot 10^{-9} \text{ m/s} = 1{,}2 \text{ nm/s}$$

2 Alternativa A.
Uma pepita de ouro é um objeto de dimensões macroscópicas e, portanto, sua densidade (citada na alternativa A) é uma propriedade referente a um sistema macroscópico. As demais alternativas apresentam propriedades individuais de átomos (alternativas B e D), moléculas (alternativa E) ou partículas nanométricas (alternativa C).

3 Alternativa D.
Uma gota de chuva, a cabeça de um alfinete, uma folha de papel-alumínio e os menores grãos de areia que podem ser vistos são materiais macroscópicos. Embora um *chip* processador de celular seja visível a olho nu, cada um dos transistores nele existentes apresenta dimensões nanométricas.

4 Alternativa C.
Como exemplo do que é expresso na frase "descoberta de fármacos com ação terapêutica aperfeiçoada e com menores efeitos colaterais" podemos citar a utilização de nanopartículas para a entrega de fármacos. Como as nanopartículas permitem direcionar os fármacos para células específicas, sua ação terapêutica é aperfeiçoada e com menores efeitos colaterais.

5 **a)** Como os dois elementos químicos mencionados, o cádmio (Cd) e o zinco (Zn), estão em um mesmo grupo da tabela periódica, apresentam algumas propriedades químicas similares.

b) Espera-se que os estudantes se manifestem atribuindo responsabilidade aos fabricantes quanto ao estabelecimento da logística reversa dos equipamentos com esse tipo de componente. A logística reversa consiste em procedimentos e meios destinados a viabilizar a coleta e a restituição dos resíduos sólidos ao setor empresarial para reaproveitamento ou para dar outras destinações finais ambientalmente adequadas. A logística reversa deve ser uma responsabilidade dos produtores de dispositivos eletrônicos com telas de pontos quânticos, pois o cádmio é um metal extremamente tóxico.

c) A expectativa é de que os estudantes atribuam ao consumidor a responsabilidade de descartar o produto em postos de coleta adequados, que os enviarão posteriormente ao fabricante.

d) Resposta pessoal. Esperam-se respostas que comentem que a educação científica e a realização de campanhas de conscientização são importantes para que a população saiba como fazer o descarte adequado e tenha conhecimento das consequências de não fazê-lo. Além disso, podem ser sugeridas penalizações por órgãos públicos aos cidadãos que descumpram a responsabilidade de descarte adequado. O governo deve ser ágil nas normatizações que obrigam os fabricantes a criar toda a cadeia de logística reversa para garantir que os componentes perigosos permaneçam nesse circuito fechado. Também é função do poder público fiscalizar a correta implementação e o adequado funcionamento da logística reversa.

MODELO

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS COMPLEMENTARES DO VOLUME

Capítulo 1 – As leis da herança

GUIMARÃES, M. O legado de um monge invisível. *Revista FAPESP*, (236), jan. 2016. Disponível em: <https://revistapesquisa.fapesp.br/o-legado-de-um-monge-invisivel/>. Acesso em: 2 set. 2020.

A reportagem descreve um breve resumo da biografia de Mendel, a importância do seu legado para a Genética e como o seu trabalho foi redescoberto apenas muito tempo após a sua morte.

HENIG, R. M. *O monge no jardim*: o gênio esquecido e redescoberto de Gregor Mendel, o pai da Genética. Rio de Janeiro: Rocco, 2001.

Esse livro trata com certo detalhe diversos aspectos sobre a vida e o trabalho de Mendel.

VILICZINSKI, A. C. M. *Aplicação da biomatemática na abordagem dos tipos sanguíneos dos estudantes da escola de ensino médio Governador Celso Ramos*. Trabalho de Conclusão de Curso. Pós-graduação em Ciências e Tecnologia. Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC). Centro Tecnológico de Joinville, 2017. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/182276/Artigo%20Final%20Viliczinski.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 2 set. 2020.

O artigo apresenta os resultados da execução de um projeto interdisciplinar entre Matemática e Biologia, cuja proposta foi envolver os estudantes em atividades práticas relacionadas a tipos sanguíneos e a estatística.

Capítulo 2 – Bases cromossômicas da herança

ALMEIDA, E. J. C. de; VAINZOF, M.; MACHADO, P. M. *Genética e Biologia Molecular*. Universidade de São Paulo. E-disciplinas. Disponível em: <https://edisciplinas.usp.br/course/view.php?id=66164&section=0>. Acesso em: 2 set. 2020.

Caso queira se aprofundar sobre os aspectos históricos e clássicos da Genética, bem como sobre os avanços nas áreas de Engenharia Genética, Farmacogenética, Genética Forense, Genética Médica, Clonagem e Terapia Gênica, o curso de Genética e Biologia Molecular da Universidade de São Paulo é uma ótima opção.

BERTOCCHI, N. A.; DEGRANDI, T. M.; OLIVEIRA, T. D. *et al*. "Jogo da Velha Mendeliano": uma atividade lúdica para o ensino de Genética. *Revista Brasileira de Ensino de Ciência e Tecnologia*, 2016, v. 9 (3): 1-15.

O ensino de genética mendeliana no Ensino Médio pode ser desafiador. A atividade desenvolvida por pesquisadores da Universidade Federal do Pampa, São Gabriel – RS, tem o objetivo de desenvolver um modelo didático que contribua para a compreensão das proporções fenotípicas e genotípicas da primeira e segunda lei de Mendel.

Capítulo 3 – O código genético e a síntese de proteínas

SEBRAE. *Como aplicar o pensamento computacional na educação?* Disponível em: <https://cer.sebrae.com.br/pensamento-computacional-na-educacao/>. Acesso em: 2 set. 2020.

Artigo que explica como aspectos do pensamento computacional, estabelecimento de padrões, abstrações e algoritmos podem permear diversas áreas do conhecimento escolar.

UNIVERSIDADE Federal do Rio de Janeiro. Instituto de Bioquímica Médica. *Sobre como o código genético corrobora o darwinismo*. 24 set. 2013. Disponível em: <http://www.bioqmed.ufrj.br/darwin_e_o_codigo_genetico>. Acesso em: 10 set. 2020.

Artigo que apresenta alguns aprofundamentos sobre a natureza do código genético, relacionando-o com a evolução das espécies.

VIGGIANO, G. Bê-a-bá do DNA: 13 termos básicos para compreender genética. Revista *Galileu*, 29 ago. 2020. Disponível em: <https://revistagalileu.globo.com/Ciencia/Biologia/noticia/2020/08/be-ba-do-dna-13-termos-basicos-para-compreender-genetica.html>. Acesso em: 2 set. 2020.

Glossário com termos básicos para compreender conceitos-chaves de Genética.

Capítulo 4 – Eletrostática: eletricidade estática

PhET – Balões e Eletricidade Estática

<https://phet.colorado.edu/pt_BR/simulation/balloons-and-static-electricity>. Acesso em: 17 ago. 2020

Esse *site* traz um simulador de interação entre cargas de um balão de borracha atritado com um casaco de lã, mostrando uma aplicação da eletricidade estática.

ASSIS, André Koch Torres. *Os Fundamentos Experimentais e Históricos da Eletricidade*. São Paulo: Editora Livraria da Física, v. 2, 2011. Disponível em: <https://www.ifi.unicamp.br/~assis/Eletricidade-Vol-2.pdf>. Acesso em: 17 ago. 2020.

Este livro apresenta fundamentos experimentais e históricos da eletricidade relacionando temas que englobam a eletrostática, sendo um ótimo complemento ao tema tratado neste capítulo.

CAMILO, J.; ASSIS, A. K. T. *Construção de um gerador eletrostático gotejante*: chuva elétrica de Kelvin. A Física na Escola, v. 9, 2008. Disponível em: < https://www.ifi.unicamp.br/~assis/A-Fisica-na-Escola-V9-p29-32(2008).pdf>. Acesso em: 17 ago. 2020.

Este trabalho apresenta o passo a passo da construção simples e de baixo custo de um gerador eletrostático cuja alta tensão é gerada pela queda de gotas de água. São apresentados conceitos relacionados à eletrostática que podem ser discutidos em sala de aula.

MODERNA

FERREIRA, Norberto Cardoso. Eletrostática: Não faça desenhos, faça experimentos. *Revista de Ensino de Ciências*, v. 6, 1982.

Neste livro o autor descreve uma sequência de três atividades práticas, com a utilização de materiais acessíveis e baratos. A sequência de experimentos apresentada pode ser utilizada como introdução ao estudo da Eletrostática, tornando a aprendizagem mais clara e significativa para os estudantes.

Capítulo 5 – Circuitos elétricos

PhET – Sinal de circuito

<https://phet.colorado.edu/sims/cheerpj/signal-circuit/latest/signal-circuit.html?simulation=signal-circuit&locale=pt_BR> Acesso em: 18 ago. 2020.

Este *site* apresenta um simulador no qual é possível visualizar o movimento de elétrons ao ligar o interruptor de um circuito elétrico ligado a uma lâmpada e uma pilha.

NILSSON, James W.; RIEDEL, Susan A. *Circuitos Elétricos*. 8. ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2008.

Esta obra explora temas dos fundamentais aos mais avançados sobre circuitos elétricos, apresentando exemplos, exercícios e problemas de perspectiva prática.

GUSSOW, Milton. *Eletricidade Básica*. 2. ed. Porto Alegre: Editora Bookman, 2008.

De maneira muito didática, este livro aborda conceitos e aplicações da Eletricidade básica, apresentando diversos exemplos que auxiliam a aprendizagem e problemas contextualizados com o cotidiano dos estudantes.

LOURENÇO, Antônio Carlos. *Circuitos em corrente contínua*. São Paulo: Érica, 2000.

Este livro apresenta os componentes básicos utilizados em circuitos, passando por temas como lei de Ohm, associação de resistores, resistividade, entre outros. Além disso, contém exemplos que auxiliam a aprendizagem.

Capítulo 6 – Pilhas e baterias (celas galvânicas)

BOCCHI, N.; FERRACIN, L. C.; BIAGGIO, S. R. Pilhas e baterias: funcionamento e impacto ambiental. *Química Nova na Escola*, n. 11, 2000. p. 3-9.

O artigo traz comentários sobre o funcionamento de alguns tipos de pilhas e baterias e discute aspectos relacionados ao impacto ambiental causado por esses dispositivos.

BUSNARDO, N. G.; PAULINO, J. F.; AFONSO, J. C. Recuperação de cobalto e de lítio de baterias íon-lítio usadas. *Química Nova*, v. 30, n. 4, 2007. p. 995-1000.

Artigo que mostra os processos que viabilizam a reciclagem industrial de baterias de íons lítio.

HIOKA, N. *et al*. Pilhas modificadas empregadas no acendimento de lâmpadas. *Química Nova na Escola*, n. 8, 1998. p. 36-39.

O artigo sugere dois experimentos eletroquímicos. Em um deles é realizada uma montagem alternativa da pilha de Daniell e no outro é feita uma montagem semelhante àquela que Volta construiu em 1800. Em ambos os casos, a voltagem é suficiente para acender uma lâmpada de 1,5 V e mantê-la acesa por vários minutos.

HIOKA, N. *et al*. Pilhas de Cu/Mg construídas com materiais de fácil obtenção. *Química Nova na Escola*, n. 11, 2000. p. 40-44.

Os autores apresentam e analisam experimentos em que celas galvânicas são construídas e a energia elétrica produzida é empregada para operar pequenos equipamentos eletrônicos.

MATSUBARA, E. Y.; NERI, C. R.; ROSOLEN, J. M. Pilhas alcalinas: um dispositivo útil para o ensino de Química. *Química Nova*, v. 30, n. 4, 2007. p. 1.020-1.025.

Embora esse artigo se destine ao ensino superior, contém informações interessantes sobre a constituição e o funcionamento das pilhas alcalinas de 1,5 V.

SILVA, C. N.; AFONSO, J. C. Processamento de pilhas do tipo botão. *Química Nova*, v. 31, n. 6, 2008. p. 1.567-1.572.

Explica o modo pelo qual indústrias podem reciclar metais existentes nas pilhas botão.

TOLENTINO, M.; ROCHA-FILHO, R. C. O bicentenário da invenção da pilha elétrica. *Química Nova na Escola*, n. 11, 2000. p. 35-39.

O artigo traz uma contextualização histórica sobre a invenção da pilha, ressaltando sua utilidade para o ser humano.

VILLULLAS, H. M.; TICIANELLI, E. A.; GONZÁLEZ, E. R. Células a combustível: energia limpa a partir de fontes renováveis. *Química Nova na Escola*, n. 15, 2002. p. 28-34.

Este artigo define o que são as células a combustível, discute de forma resumida os princípios que determinam o seu funcionamento e apresenta algumas de suas aplicações.

Capítulo 7 – Oxidantes e redutores

BRAATHEN, P. C. Hálito culpado. O princípio químico do bafômetro. *Química Nova na Escola*, n. 5, 1997. p. 3-5.

Artigo que trata da detecção de motoristas intoxicados pelo álcool. Além de uma discussão sobre o princípio em que se baseia o bafômetro de dicromato, o autor apresenta uma simulação de seu uso.

CARVALHO, L. C.; LUPETTI, K. O.; FATIBELLO-FILHO, O. Um estudo sobre a oxidação enzimática e a prevenção do escurecimento de frutas no Ensino Médio. *Química Nova na Escola*, n. 22, 2005. p. 48-50.

Este artigo propõe um experimento didático para a observação do escurecimento de frutas e a prevenção da oxidação enzimática na presença de alguns agentes inibidores, como o ácido ascórbico.

FERREIRA, G. A. L.; MÓL, G. S.; SILVA, R. R. Bafômetro – um modelo demonstrativo. *Química Nova na Escola*, n. 5, 1997. p. 32-33.

O artigo descreve a construção de um modelo de bafômetro que pode ser empregado para comparações qualitativas.

FIORUCCI, A. R.; BENEDETTI FILHO, E. A importância do oxigênio dissolvido em ecossistemas aquáticos. *Química Nova na Escola*, n. 22, 2005. p. 10-16.

MODERNA

Artigo que discute a importância do oxigênio dissolvido no meio aquático, sua atuação como agente oxidante, os fatores que afetam sua solubilidade, o balanço de oxigênio dissolvido nos sistemas aquáticos e suas variações com a profundidade.

MERÇON, F.; GUIMARÃES, P. I. C.; MAINIER, F. B. Corrosão: um exemplo usual de fenômeno químico. *Química Nova na Escola*, n. 19, 2004. p. 11-14.

Os autores abordam os principais aspectos da corrosão, não apenas em materiais metálicos, e alguns métodos de prevenção.

OLIVEIRA, A. C. *et al*. Fontes vegetais naturais de antioxidantes. *Química Nova*, v. 32, n. 3, 2009. p. 689-702.

Apresenta informações sobre a capacidade antioxidante de grande variedade de alimentos provenientes de plantas.

PALMA, M. H. C.; TIERA, V. A. O. Oxidação de metais. *Química Nova na Escola*, n. 18, 2003. p. 52-54.

Artigo que relata experimento simples para ilustrar a oxidação de substâncias metálicas, permitindo, inclusive, comparar as diferentes tendências à oxidação de alguns diferentes metais presentes no cotidiano.

KONDO, M. M.; ROSA, V. A. M. Protótipo de reator anaeróbio: tratamento de esgoto doméstico nas escolas. *Química Nova na Escola*, n. 26, 2007. p. 33-36.

O artigo descreve como construir, utilizando materiais recicláveis, um modelo em pequena escala de reator anaeróbio similar ao empregado em estações de tratamento de esgoto.

SILVA, S. L. A.; FERREIRA, G. A. L.; SILVA, R. R. À procura da vitamina C. *Química Nova na Escola*, n. 2, 1995. p. 31-32.

Os autores descrevem um método semiquantitativo para identificação da presença da vitamina C em diversos sucos de frutas por meio de um procedimento que envolve oxirredução.

WARTHA, E. J. *et al*. A maresia no ensino de Química. *Química Nova na Escola*, n. 26, 2008. p. 17-20.

Artigo que apresenta sugestões para a abordagem do tema corrosão.

Capítulo 8 – Eletromagnetismo

PhET — Lei de Faraday

<https://phet.colorado.edu/sims/html/faradays-law/latest/faradays-law_pt_BR.html> Acesso em: 15 set. 2020.

Este *site* apresenta um simulador no qual é possível visualizar o fenômeno da indução eletromagnética.

HALLIDAY, David; RESNICK, Robert; WALKER, Jearl. *Fundamentos da Física: eletromagnetismo*. Rio de Janeiro: LTC, 2016, v. 3.

Este livro apresenta conceitos da Física de maneira clara e objetiva, apresentando aplicações práticas do eletromagnetismo com problemas e exemplos contextualizados. Uma ótima ferramenta de apoio ao professor.

FOLMER-JOHNSON, Tore N. O. *Elementos de magnetismo*. São Paulo: Nobel, 1965.

Este livro apresenta um estudo introdutório completo e abrangente sobre conceitos relacionados ao eletromagnetismo.

REZENDE, S. M. Magnetismo na Terra Brasilis. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, v. 22, n. 3, 2000.

Este material apresenta detalhes sobre a evolução do estudo sobre o eletromagnetismo no Brasil.

Capítulo 9 – Eletrólise

ELETRÓLISE da salmoura – elementos de química – Portal e-Aulas. GEPEQ-USP. 2015. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=ILiYTIN6w5g>. Acesso em: 3 set. 2020.

Este vídeo apresenta a eletrólise de uma solução de cloreto de sódio feita em laboratório.

LINS, V. S. A eletrólise e sua interdisciplinaridade no contexto do Ensino Médio. *Universidade Estadual da Paraíba*. 2014. Disponível em: <http://dspace.bc.uepb.edu.br/jspui/bitstream/123456789/5391/1/PDF%20-%20Vin%C3%ADcius%20de%20Sousa%20Lins.pdf>. Acesso em: 3 set. 2020.

Uma monografia que apresenta a demonstração da montagem de uma cela eletrolítica e uma sugestão de abordagem multidisciplinar do tema.

MÓL, G. S. *et al*. Constante de Avogadro. É simples determiná-la em sala de aula. *Química Nova na Escola*, n. 3, 1996. p. 32-33.

O artigo sugere um método para a determinação da constante de Avogadro a partir de medidas referentes à eletrólise da água. Útil no caso de o planejamento escolar incluir abordagem quantitativa dos processos eletroquímicos.

MORAIS, C. A. *et al*. Processos físicos e químicos utilizados na indústria mineral. *Química Nova na Escola*, n. 8, 2014. p. 9-17.

O artigo descreve como a Química pode ser utilizada para a obtenção de metais a partir dos mais diversos minérios. São descritas as técnicas mais comumente utilizadas pelas indústrias de mineração e metalurgia.

OKI, M. C. M. A eletricidade e a Química. *Química Nova na Escola*, n. 12, 2000. p. 34-37.

O artigo apresenta a trajetória que levou à compreensão da eletricidade e o seu uso na descoberta de novos elementos químicos.

Capítulo 10 – Genética e biotecnologia na atualidade

GOTTEMS, L. Biotecnologia pode revolucionar a saúde. *Agrolink*, 28 ago. 2020. Disponível em: <https://www.agrolink.com.br/noticias/biotecnologia-pode-revolucionar-a-saude_438899.html>. Acesso em: 2 set. 2020.

Artigo que aponta possíveis aplicações da Genética e da Biotecnologia na área da saúde.

GUYONNET, E. Ética e manipulação genética. *Le Monde Diplomatique Brasil*. Disponível em: <https://diplomatique.org.br/etica-e-manipulacao-genetica/>. Acesso em: 20 ago. 2020.

Artigo que discute aspectos éticos da manipulação genética de seres vivos, levantando possibilidades de sua utilização indevida.

MODERNA

SOUZA, R. F. Uma simulação de teste de paternidade: quem é o pai do bezerro? *Genética na Escola*, v. 6, p. 6-10, 2011.

Após breve explanação teórica sobre a técnica de PCR, o texto propõe uma atividade de investigação sobre a paternidade de um bezerro. Disponível em: <http://media.wix.com/ugd/b703be_02d535736b384ab79ff827bf3330502c.pdf>. Acesso em: 20 ago. 2020.

Capítulo 11 – Acústica

BORGES, Antônio N.; RODRIGUES, Cloves G. *Introdução à Física Acústica*. São Paulo: Livraria da Física, 2017.

Este livro apresenta conceitos introdutórios de Acústica, tratando desde os temas mais gerais relacionados às ondas, oscilações, velocidade das ondas, entre outros, até os mais específicos às ondas sonoras.

ELMORE, W. C.; HEALD, M. A. *Physics of Waves*. Nova York: Dover, 1985.

Esse livro é um clássico no assunto. Abrange todos os fenômenos ondulatórios com todos os tipos de ondas em meios elásticos conservativos ou não.

HENRIQUE, Luís L. *Acústica musical*. Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian, 2002.

Este livro aborda a Acústica com um enfoque musical, apresentando características físicas do som, além de apresentar também um capítulo que trata do sistema auditivo, sendo uma ótima ferramenta para um trabalho interdisciplinar dentro do tema abordado neste capítulo.

RIGDEN, John S. *Physics and the sound of music*, 2nd ed. New York: Wiley, 1985.

Caso compreenda o idioma inglês, este livro aborda as diferentes fontes de emissão sonora, propagação do som, entre outros, e pode servir como base para o trabalho com o tema do capítulo.

Capítulo 12 – Nanotecnologia

REBELLO G. A. F. *et al*. Nanotecnologia: um tema para o Ensino Médio utilizando a abordagem CTSA. *Cadernos Temáticos de Química Nova na Escola*, n. 1, 2012. p. 3-9.

O artigo descreve projeto desenvolvido com um experimento que abrange a preparação de nanopartículas magnéticas a partir da reação entre íons Fe(II) e Fe(III) em meio básico, empregando-se como reagentes materiais de uso comercial.

ROCHA-FILHO, R. C. Os fulerenos e sua espantosa geometria molecular. *Química Nova na Escola*, n. 4, 1996. p. 7-11.

Artigo que conta um pouco da história da descoberta dos fulerenos e faz algumas considerações geométricas acerca de suas estruturas.

SILVA, S. L. A. *et al*. Afinal, o que é nanociência e nanotecnologia? Uma abordagem para o Ensino Médio. *Química Nova na Escola*, n. 3, 2009. p. 172-178.

O artigo apresenta uma discussão para as dúvidas mais frequentes dos estudantes sobre alguns conceitos básicos da nanociência e da nanotecnologia.

TOMA, H. E. *Nanotecnologia molecular: materiais e dispositivos*. São Paulo: Blucher, 2016. v. 6 (Coleção de Química conceitual.)

Escrito por pesquisador brasileiro de nanotecnologia, esse livro apresenta diversas frentes de atuação dessa área e comenta grande quantidade de aplicações.

TOMA, H. E. A nanotecnologia das moléculas. *Química Nova na Escola*, n. 21, 2005. p. 3-90.

Artigo que aborda a atuação da Química no desenvolvimento da nanotecnologia, apresenta os conceitos de máquinas moleculares e exemplos de nanomateriais.

MODERNA

JOSÉ MARIANO AMABIS
Licenciado em Ciências Biológicas pelo Instituto de Biociências – Faculdade de Educação da Universidade de São Paulo. Doutor e Mestre em Ciências, na área de Biologia (Genética), pelo Instituto de Biociências da Universidade de São Paulo. Professor aposentado do Departamento de Genética e Biologia Evolutiva do IBUSP.

GILBERTO RODRIGUES MARTHO
Licenciado em Ciências Biológicas pelo Instituto de Biociências – Faculdade de Educação da Universidade de São Paulo. Professor.

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.

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.

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.

JÚLIO SOARES
Doutor em Ciências, na área de Física do Estado Sólido, pelo Instituto de Física da Universidade de São Paulo. Cientista.

EDUARDO LEITE DO CANTO
Licenciado em Química pela Universidade Estadual de Campinas (SP). Doutor em Ciências pelo Instituto de Química da Universidade Estadual de Campinas (SP). Professor.

LAURA CELLOTO CANTO LEITE
Bacharela em Ciências Biológicas pela Universidade Estadual de Campinas (SP). Licenciada em Ciências Biológicas pela Universidade Estadual de Campinas (SP). Professora.

MODERNA PLUS

CIÊNCIAS DA NATUREZA E SUAS TECNOLOGIAS

CIÊNCIA E TECNOLOGIA

Área do conhecimento:
Ciências da Natureza e suas Tecnologias

1ª edição

São Paulo, 2020

MODERNA

MODERNA

Coordenação editorial: Fabio Martins de Leonardo, Rita Helena Bröckelmann

Edição de texto: Dino Santesso Gabrielli, Flávia Valério Esteves dos Reis, Jeferson Felix da Silva, Júlio Francisco Hisada Pedroni, Marilu Maranho Tassetto, Mauro Faro, Natalia Leporo Torcato, Caroline Silva de Matos

Assistência editorial: Beatriz Assunção Baeta, Giovanni Laranjo de Stefani, Heloise do Nascimento Calça, Luana Félix da Silva

Assistência didático-pedagógica: Antônio Carlos Rodrigues de Amorim, Luiz Alberto de Paula, Thais Ribeiro Semprebom

Gerência de *design* e produção gráfica: Everson de Paula

Coordenação de produção: Patricia Costa

Gerência de planejamento editorial: Maria de Lourdes Rodrigues

Coordenação de *design* e projetos visuais: Marta Cerqueira Leite

Projeto gráfico: Otávio dos Santos, Ana Carolina Orsolin

Capa: Daniel Messias

Foto: Eric Isselee/Shutterstock. Detalhe do olho do camaleão-de-três-chifres (*Trioceros jacksonii*). Nativo das florestas úmidas do leste da África, mede cerca de 25 cm.

Coordenação de arte: Wilson Gazzoni Agostinho

Edição de arte: Márcia Cunha do Nascimento

Editoração eletrônica: Setup Editoração Eletrônica

Edição de infografia: Giselle Hirata, Priscilla Boffo

Coordenação de revisão: Elaine C. del Nero

Revisão: Ana Paula Felippe, Edna Luna, Nancy H. Dias, ReCriar Editorial, Renato da Rocha, Salete Brentan, Viviane T. Mendes

Coordenação de pesquisa iconográfica: Luciano Baneza Gabarron

Pesquisa iconográfica: Flávia Aline de Moraes, Luciana Vieira, Joanna Heliszkowski

Coordenação de *bureau*: Rubens M. Rodrigues

Tratamento de imagens: Ademir Francisco Baptista, Joel Aparecido, Luiz Carlos Costa, Marina M. Buzzinaro

Pré-impressão: Alexandre Petreca, Everton L. de Oliveira, Marcio H. Kamoto, Vitória Sousa

Coordenação de produção industrial: Wendell Monteiro

Impressão e acabamento:

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

Moderna plus : ciências da natureza e suas tecnologias. -- 1. ed. -- São Paulo : Moderna, 2020.

Vários autores.
Obra em 6 v.
Conteúdo: O conhecimento científico -- Água e vida -- Matéria e energia -- Humanidade e ambiente -- Ciência e tecnologia -- Universo e evolução

1. Biologia (Ensino médio) 2. Ciências (Ensino médio) 3. Física (Ensino médio) 4. Química (Ensino médio).

20-39972 CDD-373.19

Índices para catálogo sistemático:

1. Ensino integrado : Livro-texto : Ensino médio 373.19

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
Vendas e Atendimento: Tel. (0_ _11) 2602-5510
Fax (0_ _11) 2790-1501
www.moderna.com.br
2020
Impresso no Brasil

1 3 5 7 9 10 8 6 4 2

MODERNA

Apresentação

Prezado estudante

Enquanto escrevíamos esta coleção de livros sobre as Ciências da Natureza, a humanidade enfrentava uma das maiores tragédias já vivenciadas por nossa espécie: a pandemia do coronavírus, a COVID-19, que está causando a morte de milhares de pessoas em todo o mundo e que pode devastar a economia global. Nossa expectativa é que, quando esta obra for publicada e chegar a suas mãos, o pior já tenha passado.

Essa tragédia certamente nos deixará lições importantes. A crise tem evidenciado, por exemplo, o papel fundamental da Ciência para a sobrevivência da espécie humana em nosso planeta. Termos científicos que antes eram do domínio apenas de especialistas – estatísticas e projeções matemáticas, pandemias, epidemias, estrutura e reprodução dos vírus e das células vivas, endossomos, defesas imunitárias etc. – foram incorporados ao repertório das pessoas leigas. O mundo não será mais o mesmo de antes da pandemia, e a Ciência será mais valorizada e receberá a importância que realmente tem para os cidadãos.

Nesta obra, nossa equipe multidisciplinar de Química, Física e Biologia empenhou todos os esforços para levar ao cotidiano dos estudantes os conceitos realmente importantes. Procuramos eliminar o excesso de detalhes dessas disciplinas, para dar prioridade a uma educação científica mais realista e útil para a formação cidadã necessária a todos.

A integração entre as três especificidades das Ciências Naturais, tanto no conteúdo quanto em sua aplicação, focaliza a participação dos estudantes na pesquisa, na reflexão e na interação com os problemas cruciais que nos atingem. Isso fica evidente na quantidade de atividades que visam mais o aspecto social do que os conhecimentos técnicos de cada área.

Atendendo às diretrizes da Base Nacional Comum Curricular, a BNCC, a quantidade de conteúdos formais foi substancialmente reduzida, ao passo que houve um aumento expressivo da contribuição de atividades individuais e em grupo. Desse modo, os estudantes terão mais motivação para explorar os aspectos abordados nos capítulos.

Nossa expectativa é que, ao perceber os esforços necessários para superar os desafios com os quais a humanidade se depara, os estudantes passem a valorizar a abordagem científica dos fenômenos naturais, utilizando-a para a compreensão da natureza e de nosso papel na trama da vida. Esperamos que se conscientizem de que apenas com a cooperação e a integração de todas as áreas do conhecimento será possível encontrar soluções globais para os problemas enfrentados hoje por nossa espécie. Como sabemos, muitos desses problemas devem-se ao fato de termos negligenciado a integração da humanidade com o planeta do qual fazemos parte. Sairemos mais sábios e mais fortes das crises que nós mesmos geramos e venceremos ao valorizar os conhecimentos que podemos obter na escola e que nos preparam para um futuro melhor. Contra as trevas da ignorância, só nos resta saber mais e compartilhar o conhecimento que vem sendo construído pelo esforço de tantas mulheres e homens dedicados à Ciência.

Os autores

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

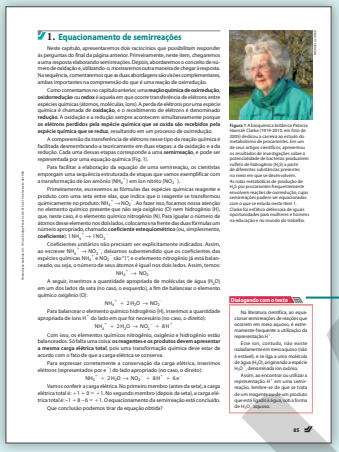
MODERNA

Conheça seu livro

Videotutorial
- Assista ao videotutorial com orientações sobre o volume.

Abertura

A abertura apresenta temas relacionados às Ciências da Natureza e indica os assuntos que serão abordados em cada capítulo.

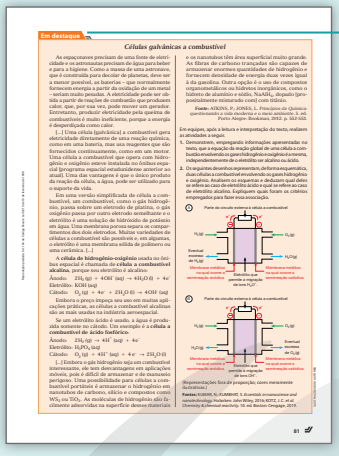


Dialogando com o texto

Atividades ou informações diretamente relacionadas ao conteúdo que visam acentuar a interatividade entre o estudante e o capítulo.

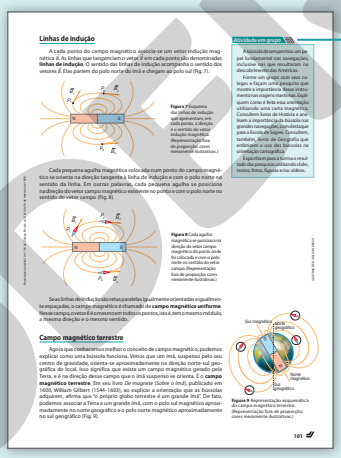
De olho na BNCC

Indica as habilidades da BNCC que serão desenvolvidas no capítulo.



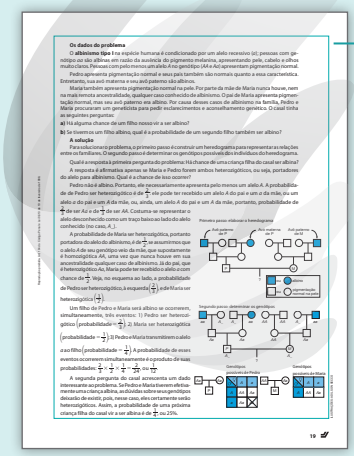
Em destaque

Textos de outras mídias com informações complementares aos assuntos tratados no capítulo.



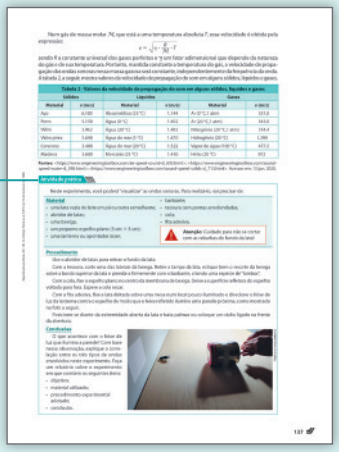
Atividade em grupo

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



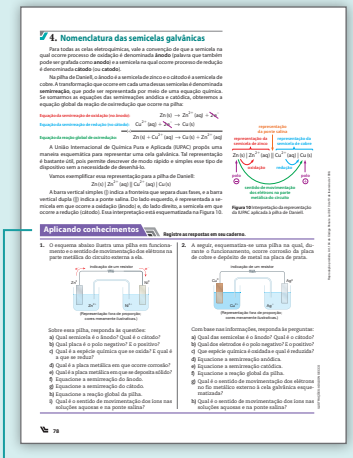
Exercício resolvido

Exemplos de aplicação da teoria apresentados ao longo do capítulo.



Atividade prática

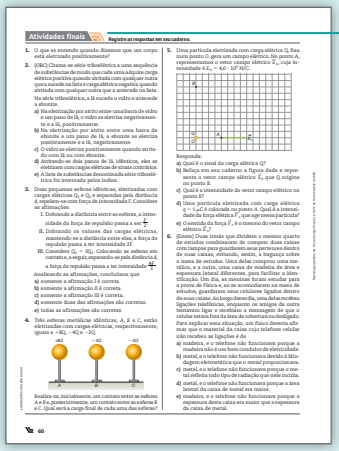
Atividades práticas que buscam abordar aspectos das Ciências da Natureza, como observação, investigação e formulação de hipóteses.



Aplicando conhecimentos

Atividades para verificação e assimilação de conceitos apresentados no capítulo.

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.

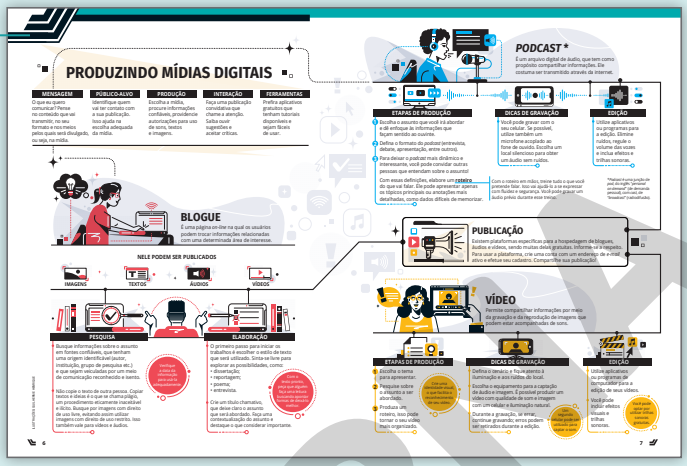
1. O que se entende quando dizemos que um corpo está eletrizado positivamente?
2. (OBC) Chama-se série triboelétrica a uma sequência de substâncias de modo que cada uma adquire carga elétrica positiva quando atritada com qualquer outra que a suceda na lista e carga elétrica negativa quando atritada com qualquer outra que a anteceda na lista.
Na série triboelétrica, a, B sucede o vidro e antecede a ebonite.
a) Na eletrização por atrito entre uma barra de vidro e um pano de lã, o vidro se eletriza negativamente e a lã, positivamente.
b) Na eletrização por atrito entre uma barra de ebonite e um pano de lã, a ebonite se eletriza positivamente e a lã, negativamente.
c) O vidro se eletriza positivamente quando atritado com lã ou com ebonite.
d) Atritando-se dois panos de lã, idênticos, eles se eletrizam com cargas elétricas de sinais contrários.
e) A lista de substâncias denominada série triboelétrica foi inventada pelos índios.
3. Duas pequenas esferas idênticas, eletrizadas com cargas elétricas Q_1 e Q_2, e separadas pela distância d, repelem-se com força de intensidade F. Considere as afirmações:
I. Dobrando a distância entre as esferas, a intensidade da força de repulsão passa a ser $\frac{F}{4}$.
II. Dobrando os valores das cargas elétricas, mantendo-se a distância entre elas, a força de repulsão passa a ser intensidade 2F.
III. Considere $Q_1 = 3Q_2$. Colocando as esferas em contato e, depois, separando-as pela distância d, a força de repulsão passa a ser intensidade $\frac{3F}{4}$.
Analisando as afirmações, concluímos que:
a) somente a afirmação I é correta.
b) somente a afirmação II é correta.
c) somente a afirmação III é correta.
d) somente duas das afirmações são corretas.
e) todas as afirmações são corretas.
4. 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 e, posteriormente, um contato entre as esferas B e C. Qual será a carga final de cada uma das esferas?
5. Uma partícula eletrizada com carga elétrica Q_1 fixa num ponto O, gera um campo elétrico. No ponto A, representamos o vetor campo elétrico $\vec{E}_{A_1}$, cuja intensidade é $E_A = 4,0 \cdot 10^5$ N/C.

Respondo:
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 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 $\vec{E}_A$?
6. (Enem) Jorinã 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 dentro de suas caixas. Ao longo daquela aula, seus dispositivos ficaram sem nenhum sinal, impossibilitando ligações telefônicas, enquanto os amigos da outra tentavam ligar e mandar a mensagem de que o celular estava fora da área de cobertura ou desligado. 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 funcionou porque a madeira não é um bom condutor de eletricidade.
b) metal, e o telefone não funcionou devido à blindagem eletrostática que o metal proporcionava.
c) metal, e o telefone não funcionou porque o metal reflete todo tipo de radiação que nele incida.
d) metal, ou o telefone não funcionou porque a área lateral da caixa era muito grande.
e) madeira, e o telefone não funcionou porque a espessura desta caixa era maior que a espessura da caixa de metal.

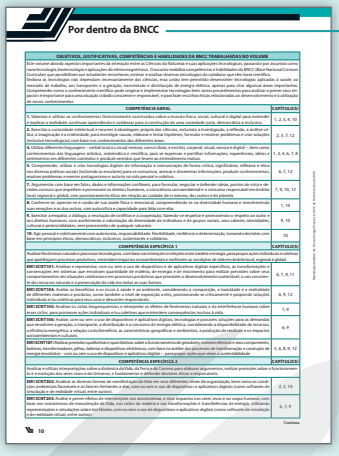
Atividades finais

Atividades autorais e dos principais vestibulares que englobam assuntos abordados ao longo do capítulo.



Produzindo mídias digitais

Sugestões de como produzir e transmitir informações confiáveis por meio de algumas mídias digitais.


Por dentro da BNCC

OBJETIVOS, JUSTIFICATIVAS, COMPETÊNCIAS E HABILIDADES DA BNCC TRABALHADAS NO VOLUME

Ao volume são atribuídos objetivos de educação, justificativas, competências e habilidades da Base Nacional Comum Curricular (BNCC). Para mais informações, consulte a BNCC (Base Nacional Comum Curricular). Disponível em: http://basenacionalcomum.mec.gov.br/. Acesso em: 5 ago. 2019.

COMPETÊNCIA GERAL	CAPÍTULOS
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.	1, 2, 3, 4, 10
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.	2, 5, 7, 12
3. Valorizar e fruir as diversas manifestações artísticas e culturais, das locais às mundiais, incluindo as suas, e participar de práticas diversificadas da produção artística e cultural.	1, 3, 4, 7, 8
4. 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.	4, 7, 12
5. 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.	7, 9, 10, 12
6. 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.	1, 10
7. 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.	8, 10
10. Agir pessoal e coletivamente com autonomia, responsabilidade, flexibilidade, resiliência e determinação, tomando decisões com base em princípios éticos, democráticos, inclusivos, sustentáveis e solidários.	10

COMPETÊNCIA ESPECÍFICA 1	CAPÍTULOS
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 nos ecossistemas e melhorem as condições de vida em âmbito local, regional e global.	
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 o comportamento 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.	6, 7, 11
EM13CNT102: Realizar ou propor ações que visem 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 condizentes com princípios éticos, democráticos, inclusivos, sustentáveis e solidários.	6, 9, 12
EM13CNT103: Analisar e avaliar criticamente os impactos ambientais e climáticos decorrentes de fenômenos naturais e de atividades humanas, sejam eles individuais ou coletivos, que promovem ações individuais e/ou coletivas que minimizem consequências nocivas à vida.	7, 9
EM13CNT104: 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.	6, 9
EM13CNT105: Analisar processos naturais e tecnológicos sobre o funcionamento de geradores, motores elétricos e seus componentes, bobinas, transformadores, pilhas, baterias e dispositivos eletrônicos, com base na análise dos princípios de transformação e conservação de energia envolvidos – com ou sem o uso de dispositivos e aplicativos digitais – para propor ações que visem à sustentabilidade.	5, 6, 8, 9, 12

COMPETÊNCIA ESPECÍFICA 2	CAPÍTULOS
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.	
EM13CNT201: Analisar as diversas formas de manifestação da Vida em seus diferentes níveis de organização, bem como os conceitos, teorias e modelos propostos pelas ciências Biológicas para explicá-la, com ou sem o uso de dispositivos e aplicativos digitais (como softwares de simulação de realidade virtual, entre outros).	2, 5, 10
EM13CNT202: Analisar e prever efeitos de intervenções em ecossistemas, e seus impactos nos seres vivos e no corpo humano, com base nos mecanismos de manutenção da Vida, nos ciclos de 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 de realidade virtual, entre outros).	6, 7, 8

Continua

Por dentro da BNCC

A Base Nacional Comum Curricular (BNCC) é um documento que apresenta as aprendizagens essenciais que todos os estudantes do Brasil devem ter acesso durante a Educação Básica. Esses conhecimentos estão estruturados em competências gerais, específicas e habilidades. Na tabela apresentada nas páginas iniciais do livro, você pode conhecer as competências e habilidades que estão sendo mobilizadas no livro.
Cada habilidade é identificada por um código alfanumérico cuja composição é a seguinte:

EM 13 LGG 103

O primeiro par de letras indica a etapa de **Ensino Médio**

O primeiro par de números (13) indica que as habilidades descritas podem ser desenvolvidas em qualquer série do Ensino Médio, conforme definição dos currículos.

A segunda sequência de letras indica a área (três letras) ou o componente curricular (duas letras):
LGG = Linguagens e suas Tecnologias
LP = Língua Portuguesa
MAT = Matemática e suas Tecnologias
CNT = Ciências da Natureza e suas Tecnologias
CHS = Ciências Humanas e Sociais Aplicadas

Os números finais indicam a competência específica à qual se relaciona a habilidade (1º número) e a sua numeração no conjunto de habilidades relativas a cada competência (dois últimos números).
Vale destacar que o uso de numeração sequencial para identificar as habilidades não representa uma ordem ou hierarquia esperada das apredizagens. Cabe aos sistemas e escolas definir a progressão das aprendizagens, em função de seus contextos locais.

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

PRODUZINDO MÍDIAS DIGITAIS

MENSAGEM

O que eu quero comunicar? Pense no conteúdo que vai transmitir, no seu formato e nos meios pelos quais será divulgado, ou seja, na mídia.

PÚBLICO-ALVO

Identifique quem vai ter contato com a sua publicação. Isso ajuda na escolha adequada da mídia.

PRODUÇÃO

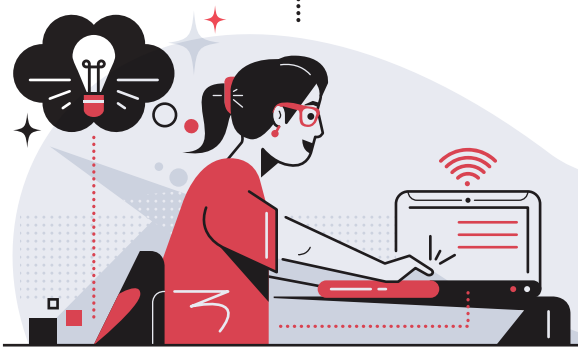
Escolha a mídia, procure informações confiáveis, providencie autorizações para uso de sons, textos e imagens.

INTERAÇÃO

Faça uma publicação convidativa que chame a atenção. Saiba ouvir sugestões e aceitar críticas.

FERRAMENTAS

Prefira aplicativos gratuitos que tenham tutoriais disponíveis e sejam fáceis de usar.



BLOGUE

É uma página *on-line* na qual os usuários podem trocar informações relacionadas com uma determinada área de interesse.

NELE PODEM SER PUBLICADOS

PESQUISA

- Busque informações sobre o assunto em fontes confiáveis, que tenham uma origem identificável (autor, instituição, grupo de pesquisa etc.) e que sejam veiculadas por um meio de comunicação reconhecido e isento.
- Não copie o texto de outra pessoa. Copiar textos e ideias é o que se chama plágio, um procedimento eticamente inaceitável e ilícito. Busque por imagens com direito de uso livre, evitando assim utilizar imagens com direito de uso restrito. Isso também vale para vídeos e áudios.

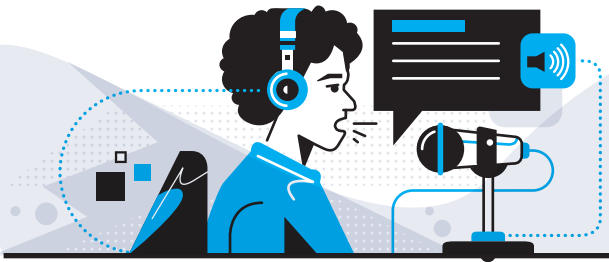
Verifique a data da informação para usá-la adequadamente.

ELABORAÇÃO

- O primeiro passo para iniciar os trabalhos é escolher o estilo de texto que será utilizado. Sinta-se livre para explorar as possibilidades, como:
  - dissertação;
  - reportagem;
  - poema;
  - entrevista.
- Crie um título chamativo, que deixe claro o assunto que será abordado. Faça uma contextualização do assunto e destaque o que considerar importante.

Com o texto pronto, peça que alguém faça uma leitura buscando apontar formas de deixá-lo melhor.

ILUSTRAÇÕES: GUILHERME HENRIQUE



PODCAST *

É um arquivo digital de áudio, que tem como propósito compartilhar informações. Ele costuma ser transmitido através da internet.

ETAPAS DE PRODUÇÃO

1. Escolha o assunto que você irá abordar e dê enfoque às informações que façam sentido ao ouvinte.
2. Defina o formato do *podcast* (entrevista, debate, apresentação, entre outros).
3. Para deixar o *podcast* mais dinâmico e interessante, você pode convidar outras pessoas que entendam sobre o assunto!

Com essas definições, elabore um **roteiro** do que vai falar. Ele pode apresentar apenas os tópicos principais ou anotações mais detalhadas, como dados difíceis de memorizar.

DICAS DE GRAVAÇÃO

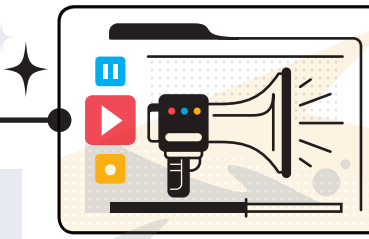
Você pode gravar com o seu celular. Se possível, utilize também um microfone acoplado ao fone de ouvido. Escolha um local silencioso para obter um áudio sem ruídos.

Com o roteiro em mãos, treine tudo o que você pretende falar. Isso vai ajudá-lo a se expressar com fluidez e segurança. Você pode gravar um áudio prévio durante esse treino.

EDIÇÃO

Utilize aplicativos ou programas para a edição. Elimine ruídos, regule o volume das vozes e inclua efeitos e trilhas sonoras.

**Podcast* é uma junção de *pod*, do inglês "*personal on demand*" (de demanda pessoal), com *cast*, de "*broadcast*" (radiodifusão).



PUBLICAÇÃO

Existem plataformas específicas para a hospedagem de blogues, áudios e vídeos, sendo muitas delas gratuitas. Informe-se a respeito. Para usar a plataforma, crie uma conta com um endereço de *e-mail* ativo e efetue seu cadastro. Compartilhe sua publicação!

VÍDEO

Permite compartilhar informações por meio da gravação e da reprodução de imagens que podem estar acompanhadas de sons.

ETAPAS DE PRODUÇÃO

1. Escolha o tema para apresentar.
2. Pesquise sobre o assunto a ser abordado.
3. Produza um roteiro, isso pode tornar o seu vídeo mais organizado.

Crie uma identidade visual, o que facilita o reconhecimento de seu vídeo.

DICAS DE GRAVAÇÃO

- Defina o cenário e fique atento à iluminação e aos ruídos do local.
- Escolha o equipamento para a captação de áudio e imagem. É possível produzir um vídeo com qualidade de som e imagem com um celular e iluminação natural.
- Durante a gravação, se errar, continue gravando; erros podem ser retirados durante a edição.

Um segundo celular pode ser utilizado para captar o som.

EDIÇÃO

- Utilize aplicativos ou programas de computador para a edição de seus vídeos.
- Você pode incluir efeitos visuais e trilhas sonoras.

Você pode optar por utilizar trilhas sonoras gratuitas.

Sumário

CAPÍTULO 1 As leis da herança ... 13

1. **Gregor Mendel e as origens da Genética** ... 13
   A ervilha como material experimental, 14
   A dedução da lei da separação dos fatores, 15
2. **Conceitos básicos em Genética** ... 16
   Teoria das probabilidades aplicada à Genética, 16
   Resolvendo um problema de Genética, 18
3. **Alelos múltiplos, dominância incompleta e codominância** ... 20
   Alelos múltiplos, 20
   Dominância incompleta, 20
   Codominância, 21
4. **Herança de grupos sanguíneos na espécie humana** ... 21
   Sistema ABO, 21
   Genética do sistema ABO, 22
   Sistema Rh, 22
   Genética do sistema Rh e incompatibilidade materno-fetal, 23

Atividades finais ... 24

CAPÍTULO 2 Bases cromossômicas da herança ... 26

1. **A segregação independente dos genes** ... 27
   A base celular da segregação: meiose, 28
2. **Interação entre genes com segregação independente** ... 30
   Herança quantitativa, ou herança poligênica, 31
3. **Genes localizados no mesmo cromossomo** ... 32
   A permutação como causa da quebra da ligação gênica, 33
4. **Genes localizados em cromossomos sexuais** ... 34
   Herança de genes ligados ao cromossomo X, 34
   A hipótese da compensação de dose, 35

Atividades finais ... 36

CAPÍTULO 3 O código genético e a síntese de proteínas ... 37

1. **Cromossomos em ação: duplicação e transcrição gênicas** ... 38
   A estrutura molecular do DNA, 38
   A duplicação semiconservativa do DNA, 39
   A síntese de RNA: transcrição gênica, 39
2. **Síntese de proteínas e tradução gênica** ... 40
   Tipos de RNA e suas funções, 40
   RNA mensageiro (RNAm), 40
   RNA transportador (RNAt), 41
   RNA ribossômico (RNAr), 42
   A síntese da cadeia polipeptídica, 42
   Os limites de um gene, 46

Atividades finais ... 47

CAPÍTULO 4 Eletrostática: eletricidade estática ... 49

1. **Eletricidade estática** ... 49
   Primeiras descobertas, 49
   Primeiras explicações, 50
   O que se sabe hoje, 50
   Eletrização por atrito, 51
   Eletrização por contato, 52
   Carga elétrica elementar (*e*), 53
   Eletrização por indução, 54
2. **Lei de Coulomb** ... 55
3. **Campo elétrico** ... 57
   Campo elétrico de uma carga elétrica pontual fixa, 57
   Linhas de força, 58

Atividades finais ... 60

CAPÍTULO 5 Circuitos elétricos ... 61

1. **Corrente elétrica** ... 61
   Conceito de corrente elétrica, 61
   Corrente real e corrente convencional, 62
   Intensidade de corrente elétrica, 62
2. **Resistência elétrica** ... 63
3. **Tensão elétrica** ... 63
4. **Lâmpada elétrica por incandescência** ... 64
5. **Lâmpadas LED** ... 64
6. **Potência elétrica** ... 65
7. **Resistores** ... 65
8. **Lei de Ohm** ... 65
9. **Associação de lâmpadas** ... 66
   Ligação em série, 66
   Ligação em paralelo, 67
10. **Relógio de luz** ... 68
11. **Circuito elétrico nas residências** ... 69
    Instalação elétrica residencial, 69
    Chave paralela, 70
12. **Gerador elétrico** ... 70
    Gerador ideal e gerador real, 70
13. **Amperímetro e voltímetro** ... 71

Atividades finais ... 72

CAPÍTULO 6 Pilhas e baterias (celas galvânicas) ... 73

1. **Diferença de potencial nos polos de uma pilha** ... 74
2. **Oxidação e redução** ... 75
3. **Pilha de Daniell** ... 76
4. **Nomenclatura das semicelas galvânicas** ... 78
5. **Potencial-padrão de semicela** ... 79

Atividades finais ... 83

MODERNA

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

CAPÍTULO 7 Oxidantes e redutores **84**

1. **Equacionamento de semirreações** 85
2. **Agente oxidante e agente redutor** 87
3. **Número de oxidação** 88
4. **Número de oxidação e oxirredução** 91
5. **Força de oxidantes e redutores** 94
6. **Corrosão de metais** 95

Atividades finais 97

CAPÍTULO 8 Eletromagnetismo **98**

1. **Ímãs** 98
   Polos de um ímã, 99
   Polo norte e polo sul de um ímã, 99
   Ações entre polos de ímãs, 99
   Inseparabilidade dos polos de um ímã, 99
   Ímãs permanentes e ímãs temporários, 100
2. **Campo magnético de um ímã** 100
   Linhas de indução, 101
   Campo magnético terrestre, 101
   Imantação de uma barra de ferro, 102
3. **Campo magnético das correntes elétricas** 102
   Regra da mão direita, 102
   Imantação por corrente elétrica: o eletroímã, 104
4. **Força magnética** 105
   Força magnética sobre partículas eletrizadas lançadas num campo magnético, 105
   Força magnética sobre um condutor percorrido por corrente elétrica, 106
5. **Fenômeno da indução eletromagnética** 106
   O sentido da corrente elétrica induzida, 107
6. **O transformador** 108
7. **A guitarra elétrica** 108

Atividades finais 109

CAPÍTULO 9 Eletrólise **110**

1. **Conceito de eletrólise** 111
2. **Eletrólise ígnea** 111
3. **Eletrólise aquosa** 113
4. **Aplicações da eletrólise** 115
5. **Metalurgia** 117

Atividades finais 121

CAPÍTULO 10 Genética e biotecnologia na atualidade **122**

1. **Melhoramento genético** 123
   Problemas decorrentes do melhoramento genético, 123
   Heterose, ou vigor híbrido, 124
2. **Engenharia Genética** 124
   "Tesouras" moleculares: enzimas de restrição, 125
3. **Clonagem de DNA e Engenharia Genética** 126
   Plasmídios como vetores da clonagem, 126
   Vírus bacteriófagos como vetores da clonagem de DNA, 126
   Bactérias como "fábricas" de proteínas humanas, 127
4. **Misturando genes entre espécies: transgênicos** 128
   Como são produzidos os animais transgênicos?, 129
   Transgênicos entre animais e plantas, 129
5. **Desvendando o genoma humano** 131
   O Projeto Genoma Humano, 131

Atividades finais 132

CAPÍTULO 11 Acústica **134**

1. **Som, infrassom e ultrassom** 134
2. **Características da propagação sonora** 136
3. **Qualidades fisiológicas do som** 138
   Altura do som, 139
   Timbre, 139
   Intensidade sonora e nível de intensidade sonora, 140
4. **Efeito Doppler-Fizeau** 142

Atividades finais 145

CAPÍTULO 12 Nanotecnologia **146**

1. **O que é nanotecnologia** 147
2. **Área superficial de nanomateriais** 148
3. **Pontos quânticos** 149
4. **Microscopia e nanocaracterização** 150
5. **Aplicações da nanotecnologia** 151
6. **Segurança e nanotecnologia** 154

Atividades finais 155

Ampliando os conhecimentos 156

Tabela periódica dos elementos (IUPAC) 158

Referências bibliográficas 159

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

MODERNA

OBJETIVOS, JUSTIFICATIVAS, COMPETÊNCIAS E HABILIDADES DA BNCC TRABALHADAS NO VOLUME	
Este volume aborda aspectos importantes da interação entre as Ciências da Natureza e suas aplicações tecnológicas, passando por assuntos como nanotecnologia, biotecnologia e aplicações do eletromagnetismo. O assunto mobiliza competências e habilidades da BNCC (Base Nacional Comum Curricular) que possibilitam aos estudantes reconhecer, estimar e analisar diversas tecnologias do cotidiano que têm base científica. Embora as tecnologias não dependam necessariamente das ciências, essa união tem permitido desenvolver tecnologias aplicadas à saúde, ao mercado de trabalho, aos transportes e a geração, transmissão e distribuição de energia elétrica, apenas para citar algumas áreas importantes. Compreender como o conhecimento científico pode originar e implementar tecnologias bem como procedimentos para analisar e prever seus impactos é importante para uma atuação cidadã consciente e responsável, e para fazer escolhas éticas relacionadas ao desenvolvimento e à utilização de novos conhecimentos	
COMPETÊNCIA GERAL	**CAPÍTULO(S)**
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.	1, 2, 3, 4, 10
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.	2, 3, 7, 12
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.	1, 3, 4, 6, 7, 8
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, 7, 12
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.	7, 9, 10, 12
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.	1, 10
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.	9, 10
10. Agir pessoal e coletivamente com autonomia, responsabilidade, flexibilidade, resiliência e determinação, tomando decisões com base em princípios éticos, democráticos, inclusivos, sustentáveis e solidários.	10
COMPETÊNCIA ESPECÍFICA 1	**CAPÍTULO(S)**
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.	
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.	6, 7, 9, 11
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.	6, 9, 12
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.	7, 9
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.	6, 9
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.	5, 6, 8, 9, 12
COMPETÊNCIA ESPECÍFICA 2	**CAPÍTULO(S)**
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.	
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).	2, 3, 10
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).	6, 7, 9

Continua

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

MANUAL DO PROFESSOR

Continuação

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.	1, 2, 7, 9, 10, 11
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.	6, 7, 9, 12
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.	1
COMPETÊNCIA ESPECÍFICA 3	**CAPÍTULO(S)**
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).	
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.	1, 2, 4, 5, 8, 9, 10, 11, 12
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.	2, 3, 4, 6, 7, 8, 10
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.	3, 6, 9, 10, 12
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.	3, 10, 12
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.	4, 5, 6, 7, 11
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.	6, 7, 9, 12
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.	5, 6, 8, 9, 12
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.	6, 12
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.	7

CIÊNCIAS HUMANAS E SOCIAIS	
Competência específica 1: Analisar processos políticos, econômicos, sociais, ambientais e culturais nos âmbitos local, regional, nacional e mundial em diferentes tempos, a partir da pluralidade de procedimentos epistemológicos, científicos e tecnológicos, de modo a compreender e posicionar-se criticamente em relação a eles, considerando diferentes pontos de vista e tomando decisões baseadas em argumentos e fontes de natureza científica.	
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.	8
EM13CHS103: Elaborar hipóteses, selecionar evidências e compor argumentos relativos a processos políticos, econômicos, sociais, ambientais, culturais e epistemológicos, com base na sistematização de dados e informações de diversas naturezas (expressões artísticas, textos filosóficos e sociológicos, documentos históricos e geográficos, gráficos, mapas, tabelas, tradições orais, entre outros).	4
EM13CHS106: Utilizar as linguagens cartográfica, gráfica e iconográfica, diferentes gêneros textuais e tecnologias 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.	5, 8, 11
Competência específica 2: Analisar a formação de territórios e fronteiras em diferentes tempos e espaços, mediante a compreensão das relações de poder que determinam as territorialidades e o papel geopolítico dos Estados-nações.	
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.	8

Continua

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

MOLEDINA

Continuação

Competência específica 3: Analisar e avaliar criticamente as relações de diferentes grupos, povos e sociedades com a natureza (produção, distribuição e consumo) e seus impactos econômicos e socioambientais, com vistas à proposição de alternativas que respeitem e promovam a consciência, a ética socioambiental e o consumo responsável em âmbito local, regional, nacional e global.	
EM13CHS302: Analisar e avaliar criticamente os impactos econômicos e socioambientais de cadeias produtivas ligadas à exploração de recursos naturais e às atividades agropecuárias em diferentes ambientes e escalas de análise, considerando o modo de vida das populações locais – entre elas as indígenas, quilombolas e demais comunidades tradicionais –, suas práticas agroextrativistas e o compromisso com a sustentabilidade.	9, 10

LINGUAGENS E SUAS TECNOLOGIAS	
Competência específica 1: Compreender o funcionamento das diferentes linguagens e práticas culturais (artísticas, corporais e verbais) e mobilizar esses conhecimentos na recepção e produção de discursos nos diferentes campos de atuação social e nas diversas mídias, para ampliar as formas de participação social, o entendimento e as possibilidades de explicação e interpretação crítica da realidade e para continuar aprendendo.	
EM13LGG104: Utilizar as diferentes linguagens, levando em conta seus funcionamentos, para a compreensão e produção de textos e discursos em diversos campos de atuação social.	1, 4
Competência específica 3: Utilizar diferentes linguagens (artísticas, corporais e verbais) para exercer, com autonomia e colaboração, protagonismo e autoria na vida pessoal e coletiva, de forma crítica, criativa, ética e solidária, defendendo pontos de vista que respeitem o outro e promovam os Direitos Humanos, a consciência socioambiental e o consumo responsável, em âmbito local, regional e global.	
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.	8, 11
EM13LGG303: Debater questões polêmicas de relevância social, analisando diferentes argumentos e opiniões, para formular, negociar e sustentar posições, frente à análise de perspectivas distintas.	10
Competência específica 7: Mobilizar práticas de linguagem no universo digital, considerando as dimensões técnicas, críticas, criativas, éticas e estéticas, para expandir as formas de produzir sentidos, de engajar-se em práticas autorais e coletivas, e de aprender a aprender nos campos da ciência, cultura, trabalho, informação e vida pessoal e coletiva.	
EM13LGG701: Explorar tecnologias digitais da informação e comunicação (TDIC), compreendendo seus princípios e funcionalidades, e utilizá-las de modo ético, criativo, responsável e adequado a práticas de linguagem em diferentes contextos.	2
EM13LGG703: Utilizar diferentes linguagens, mídias e ferramentas digitais em processos de produção coletiva, colaborativa e projetos autorais em ambientes digitais.	8, 11
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.	4

MATEMÁTICA E SUAS TECNOLOGIAS	
Competência específica1: Utilizar estratégias, conceitos e procedimentos matemáticos para interpretar situações em diversos contextos, sejam atividades cotidianas, sejam fatos das Ciências da Natureza e Humanas, das questões socioeconômicas ou tecnológicas, divulgados por diferentes meios, de modo a contribuir para uma formação geral.	
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.	5, 8
Competência específica 3: Utilizar estratégias, conceitos, definições e procedimentos matemáticos para interpretar, construir modelos e resolver problemas em diversos contextos, analisando a plausibilidade dos resultados e a adequação das soluções propostas, de modo a construir argumentação consistente.	
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.	5, 8, 11
EM13MAT305: Resolver e elaborar problemas com funções logarítmicas nos quais seja necessário compreender e interpretar a variação das grandezas envolvidas, em contextos como os de abalos sísmicos, pH, radioatividade, Matemática Financeira, entre outros.	11
EM13MAT312: Resolver e elaborar problemas que envolvem o cálculo de probabilidade de eventos em experimentos aleatórios sucessivos.	1
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.	4
EM13MAT314: Resolver e elaborar problemas que envolvem grandezas determinadas pela razão ou pelo produto de outras (velocidade, densidade demográfica, energia elétrica etc.).	8, 11
Competência específica 4: Compreender e utilizar, com flexibilidade e precisão, diferentes registros de representação matemáticos (algébrico, geométrico, estatístico, computacional etc.), na busca de solução e comunicação de resultados de problemas.	
EM13MAT401: Converter representações algébricas de funções polinomiais de 1º grau em representações geométricas no plano cartesiano, distinguindo os casos nos quais o comportamento é proporcional, recorrendo ou não a *softwares* ou aplicativos de álgebra e geometria dinâmica.	5

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

MODERNA

CAPÍTULO 1

AS LEIS DA HERANÇA

MONTAGEM: MARCUS PENNA;
FOTO: ULLSTEIN BILD/GETTY IMAGES

Gregor Mendel é considerado o principal precursor da Genética por ter proposto as leis básicas da herança biológica.

A utilização de exames de DNA para identificar pessoas, a partir da década de 1980, contribuiu para reduzir inúmeros casos de paternidade duvidosa, mudando regras e condutas na sociedade, sem falar na aplicação das tecnologias de identificação por DNA para solucionar crimes. Quem diria que a Genética assumiria tal importância no cotidiano das pessoas? E pensar que as bases do conhecimento genético foram lançadas por experimentos pioneiros realizados no século XIX pelo monge-cientista austríaco Gregor Mendel (1822-1884).

A redescoberta dos trabalhos de Mendel, no começo do século XX, marca a origem do ramo da Biologia denominado Genética. Desde então, os conhecimentos nessa área ampliam-se continuamente, gerando inclusive tecnologias empregadas em áreas diversas, como Arqueologia, Paleontologia, criminalística, estudos de genealogias, entre outras. A Genética tornou-se mais acessível aos jovens de hoje em parte porque conhecimentos sobre computadores e informática, tão bem assimilados pela juventude, facilitam a compreensão do código que os sistemas vivos utilizam para a transmissão de informações de geração para geração.

Neste capítulo iniciamos o estudo da Genética, um dos ramos que mais se desenvolveram na Biologia neste século XXI. É importante que os estudantes fiquem atentos à progressão dos conhecimentos ao longo dos estudos de Genética, pois a assimilação dos conteúdos de cada etapa é fundamental para a compreensão dos conteúdos da etapa seguinte. Além disso, o entendimento dos princípios básicos da herança biológica contribui para a formação da cidadania, uma vez que a Genética faz parte da vida de todos.

1. Gregor Mendel e as origens da Genética

A **Genética** é a área da Biologia que estuda a **herança biológica**, ou hereditariedade, que consiste na transmissão de características de pais para filhos ao longo das gerações. Embora as pessoas se interessem pela herança biológica desde a Antiguidade, a Genética só se desenvolveu realmente no século XX, com a redescoberta das leis da hereditariedade propostas originalmente em 1865 por **Gregor Mendel**. Também contribuíram para o desenvolvimento da Genética o avanço da microscopia e a compreensão do fenômeno da vida no nível microscópico.

De olho na BNCC :
- EM13CNT205
- EM13CNT207
- EM13CNT301
- EM13LGG104
- EM13MAT312

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

EVOLUA

A ervilha como material experimental

Mendel escolheu como material de estudo plantas da ervilha *Pisum sativum*. Essas plantas são leguminosas (família Fabaceae) e como tal apresentam frutos em forma de legume, nome técnico que os botânicos dão à vagem, na qual se abrigam as sementes (os "grãos" de ervilha). A flor da ervilha é hermafrodita, apresentando tanto partes femininas como masculinas. Em razão de os elementos reprodutivos da flor estarem enclausurados dentro da quilha formada pelas pétalas, geralmente ocorre **autofecundação**, processo em que os gametas femininos são fecundados pelos gametas masculinos da mesma flor. Para cruzar diferentes plantas de ervilha Mendel se utilizou da polinização artificial, eliminando as anteras da flor destinada a ser fecundada por pólen de outra planta, antes que a autofecundação ocorresse (Fig. 1).

Mendel focalizou sete características, cada uma delas com dois aspectos, ou estados, bem contrastantes, de fácil distinção. Algumas das características que ele estudou foram a cor da semente, que pode ser amarela ou verde; a forma da vagem, que pode ser inflada ou sulcada; a forma da semente, que pode ser lisa ou rugosa, entre outras.

Antes de iniciar um cruzamento, Mendel certificava-se de que estava lidando apenas com plantas de linhagens puras para cada característica estudada. **Linhagem pura** é aquela que, por autofecundação, produz apenas plantas iguais a ela mesma. Por exemplo, uma linhagem pura de ervilhas de sementes amarelas origina, quando autofecundada, apenas plantas com sementes amarelas.

Mendel inicialmente realizou cruzamentos entre plantas puras de diversos tipos. Em um dos experimentos, por exemplo, ele cruzou plantas puras de sementes amarelas com plantas puras de sementes verdes; em outro experimento, cruzou plantas puras altas com plantas puras baixas; e assim por diante.

A geração constituída pelas variedades puras foi denominada por Mendel **geração parental**, chamada abreviadamente de **geração P**. A descendência direta do cruzamento entre variedades puras com estados contrastantes de uma característica é a primeira geração híbrida, denominada **geração F_1** (primeira geração de filhos). A descendência resultante da autofecundação da geração F_1 é a segunda geração híbrida, ou **geração F_2**.

Mendel observou que os descendentes híbridos da geração F_1 eram sempre iguais a um dos pais. Por exemplo, os híbridos originados do cruzamento entre plantas puras de sementes amarelas e plantas puras de sementes verdes sempre produzia apenas sementes amarelas, idênticas às da planta amarela parental. Assim, o estado cor verde da semente não se manifestava na geração F_1.

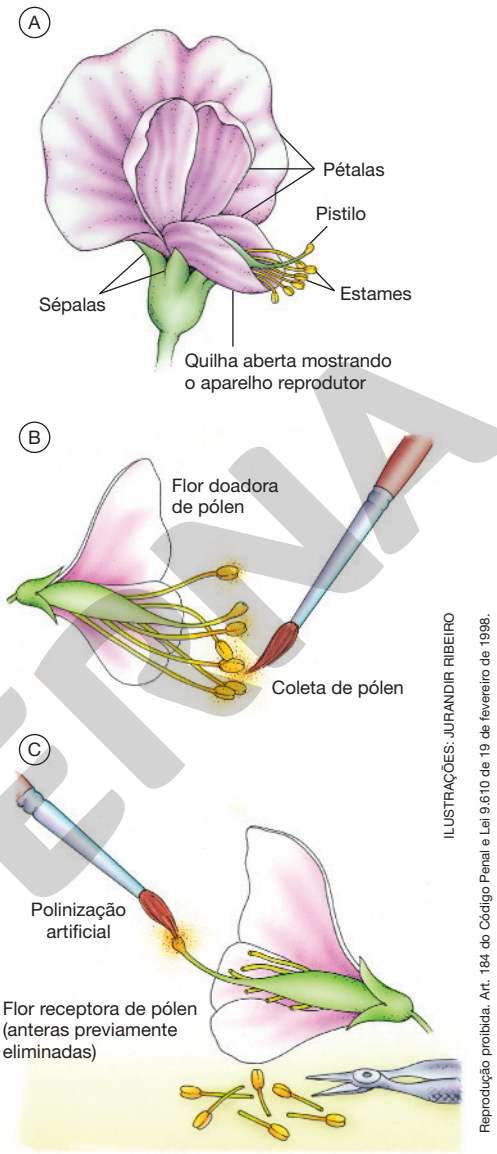
Entretanto, a autofecundação de plantas híbridas F_1 produzia uma descendência constituída por plantas com sementes amarelas e plantas com sementes verdes. Isso levou Mendel a concluir que a característica cor verde da semente não desaparecia realmente nas plantas da geração F_1, mas ficava encoberta, reaparecendo na geração F_2.

Mendel denominou **dominante** o estado da característica que se manifestava nas plantas híbridas e **recessivo** o estado da característica que ficava encoberto. No caso da cor da semente, amarelo é dominante e verde, recessivo.

A originalidade do pensamento de Mendel foi sua visão matemática dos resultados: ele comparou o número de plantas com traço dominante com o número de plantas com traço recessivo, na geração F_2. No cruzamento entre plantas puras de sementes amarelas com plantas puras de sementes verdes, por exemplo, ele obteve em F_2 (resultante da autofecundação de F_1) um total de 8.023 sementes, das quais 6.022 eram amarelas e 2.001, verdes. Dividindo 6.022 por 2.001, Mendel obteve a proporção de aproximadamente 3,01 de sementes amarelas para 1 de sementes verdes (3,01 : 1).

Em outro experimento, em que plantas puras de sementes lisas foram cruzadas com plantas puras de sementes rugosas, Mendel obteve, em F_2, 5.474 sementes lisas e 1.850 sementes rugosas, proporção de aproximadamente 2,96 : 1. Os números obtidos nos diferentes experimentos eram sempre próximos a 3 : 1, ou seja, $\frac{3}{4}$, ou 75% com o estado dominante, para $\frac{1}{4}$, ou 25% com o estado recessivo.

A semelhança nas proporções entre os estados dominante e recessivo em diferentes características levou Mendel a pensar que devia haver uma lei geral, determinante do padrão de herança de todas as sete características que ele estudou em ervilhas.



ILUSTRAÇÕES: JURANDIR RIBEIRO

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

Figura 1 Representação esquemática de polinização artificial em ervilha. (A) Flor de ervilha mostrando as estruturas reprodutivas masculinas e femininas. (B) Coleta de pólen de uma flor madura com um pincel. (C) Polinização artificial de uma flor cujas anteras foram previamente eliminadas para evitar autofecundação. (Representação fora de proporção; cores meramente ilustrativas.) **Fonte:** ilustração dos autores.

EM MODERNA

A dedução da lei da separação dos fatores

Mendel elaborou uma hipótese para explicar os resultados obtidos. Suas premissas eram: 1) cada característica hereditária é determinada por um par de fatores, um herdado do genitor materno e outro herdado do genitor paterno; 2) os fatores de cada par separam-se (ou, no dizer de Mendel, segregam-se) na formação dos gametas, de modo que cada gameta conterá apenas um dos fatores do par em questão; 3) os gametas encontram-se aleatoriamente dois a dois, originando os indivíduos da geração seguinte.

Vejamos o modelo imaginado por Mendel em um exemplo, no caso, o cruzamento entre plantas altas puras fornecedoras dos óvulos e plantas baixas (necessariamente puras) fornecedoras do pólen.

Chamando de *A* o fator para planta alta e de *a* o fator para planta baixa, uma planta alta pura apresentaria dois fatores (*AA*) e uma planta baixa, dois fatores (*aa*). De acordo com o modelo mendeliano, todos os gametas femininos formados pelas plantas altas puras contêm o fator *A*, uma vez que plantas puras altas formam apenas um tipo de gameta, com o fator *A*. Por sua vez, todos os gametas masculinos formados pelas plantas baixas (*aa*) contêm o fator *a*.

O encontro ao acaso dos gametas dessas plantas originará uma descendência F_1 inteiramente constituída de plantas híbridas, nas quais estão presentes os dois tipos de fator (*Aa*). Como todas as plantas híbridas F_1 são altas, conclui-se que o fator para estatura alta é dominante sobre o fator para estatura baixa.

Quando uma planta alta híbrida (*Aa*) forma gametas, os fatores *A* e *a* segregam-se, de acordo com as premissas de Mendel. Cada gameta recebe apenas um tipo de fator, de modo que aproximadamente metade dos gametas femininos produzidos pela planta híbrida conterá o fator para estatura alta (*A*) e a outra metade, o fator para estatura baixa (*a*). O mesmo ocorre com os gametas masculinos. Considerando o encontro dos gametas aleatório, segundo o pensamento de Mendel, quatro tipos de encontro entre gametas têm a mesma chance de ocorrer. O resultado esperado desse cruzamento é que se formem três plantas altas (1 pura *AA* e 2 híbridas *Aa*) para cada planta baixa *aa* (necessariamente pura). O ponto-chave da hipótese de Mendel é a **separação dos fatores** hereditários durante a formação dos gametas. Por isso, esse princípio ficou conhecido como **lei da segregação dos fatores**, ou primeira lei de Mendel (Fig. 2).

Figura 2 Representação esquemática da segregação dos fatores hereditários em uma planta híbrida e da combinação aleatória dos gametas na formação da geração seguinte, segundo o modelo mendeliano. (Representação fora de proporção; cores meramente ilustrativas.)

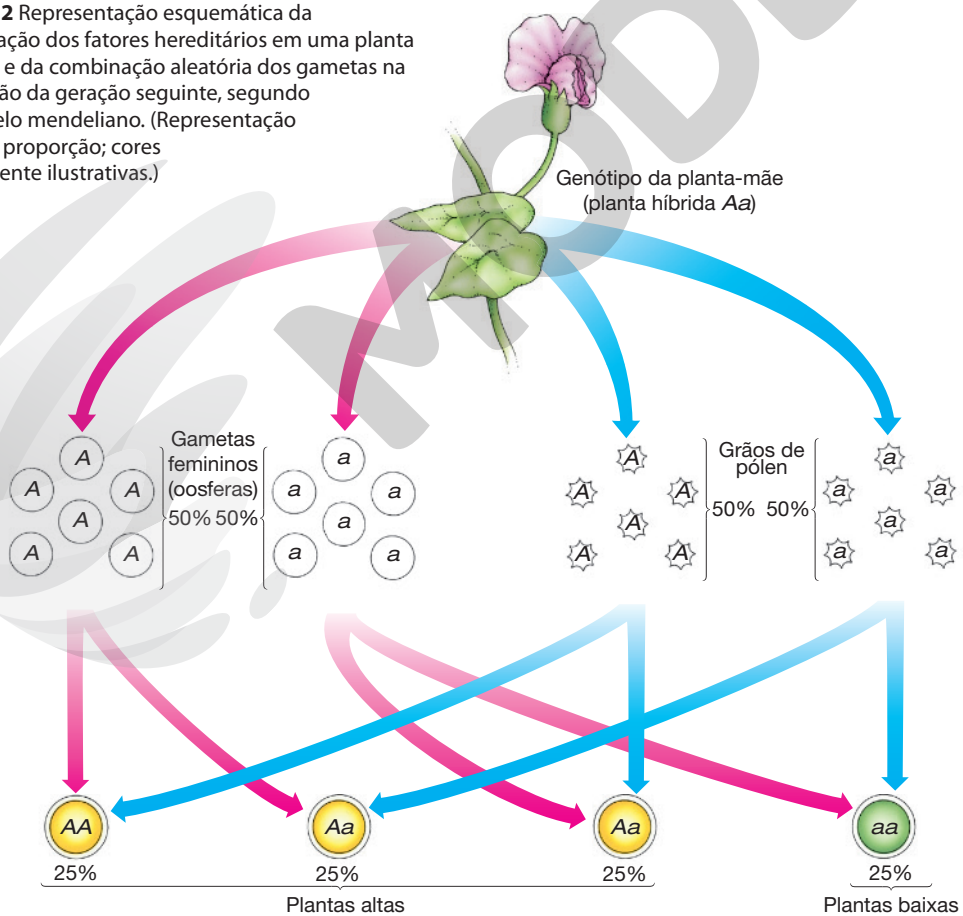


ILUSTRAÇÃO: JURANDIR RIBEIRO

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

MODERNA

2. Conceitos básicos em Genética

Os fatores mendelianos, atualmente denominados genes, estão localizados nos cromossomos. **Gene** é uma instrução codificada em um segmento de DNA, que se expressa em determinada característica do organismo. Cada gene ocupa uma posição definida no cromossomo, posição essa denominada loco gênico.

Um gene pode se apresentar em diferentes versões, denominadas **alelos**. Por exemplo, o fator mendeliano que faz a planta de ervilha ser alta é o alelo dominante (*A*) do gene responsável pela estatura da planta. O fator para a forma baixa é o alelo recessivo (*a*) desse mesmo gene. Indivíduos com alelos idênticos de um gene (*AA* ou *aa*), que Mendel denominava puros, recebem atualmente a denominação **homozigóticos**. Indivíduos com alelos diferentes de um gene (*Aa*), que Mendel denominava híbridos, são atualmente chamados **heterozigóticos**.

Os geneticistas utilizam o termo **fenótipo** (do grego *phenos*, "evidente", e *typos*, "característica") para se referir às características observáveis de um ser vivo, sejam elas físicas, bioquímicas ou comportamentais. O termo **genótipo** (do grego *genos*, "origem"), por sua vez, designa o conjunto de genes de um indivíduo. Quando falamos da cor das flores ou da estatura de uma planta, ou da cor da pele ou do tipo sanguíneo de uma pessoa, estamos nos referindo ao fenótipo. Por outro lado, quando aludimos à constituição genética de uma planta para ter flores vermelhas ou aos alelos do gene responsável pelo tipo sanguíneo de uma pessoa, estamos falando do genótipo.

Teoria das probabilidades aplicada à Genética

Uma das razões que levaram o trabalho de Mendel a não ser compreendido por seus contemporâneos foi o raciocínio matemático empregado por ele no tratamento do problema. Enquanto alguns biólogos da época não deram atenção para a proporção de 3 : 1 que observaram na segunda geração de certas variedades cruzadas, Mendel tinha plena convicção de que essa proporção sempre estava presente, apesar das pequenas variações casuais (por exemplo, 3,01 : 1), perfeitamente explicáveis pela teoria das probabilidades. Para compreender plenamente os resultados obtidos em cruzamentos genéticos, é necessário ter conhecimento de alguns princípios básicos da teoria das probabilidades, como veremos a seguir.

Probabilidade é a chance de determinado evento ocorrer, entre dois ou mais eventos possíveis. Por exemplo, a chance de uma moeda cair com a face cara voltada para cima representa um entre dois eventos possíveis, cara ou coroa. Então, a probabilidade de sair cara é de $\frac{1}{2}$ (uma chance em duas possíveis), ou de 50%, pois espera-se que em aproximadamente metade dos lançamentos de uma moeda seja obtida a face cara.

A obtenção de cara no lançamento de uma moeda, o sorteio de um ás de ouros do baralho ou a obtenção de face 6 no lançamento de um dado são **eventos aleatórios** (do latim *alea*, "sorte"). Em cada um dos casos, há um conjunto de eventos possíveis, e o evento selecionado (cara, ás de ouros ou face 6) tem a mesma chance de ocorrer que qualquer outro evento possível naquele conjunto.

Por exemplo, a probabilidade de obter cara no lançamento de uma moeda é de $\frac{1}{2}$, pois o conjunto de possibilidades é composto de dois eventos – cara ou coroa – que têm a mesma chance de ocorrer. A probabilidade de sortear o ás de ouros em um baralho é de $\frac{1}{52}$, pois o conjunto de possibilidades é formado por 52 cartas, cada uma com igual chance de ser sorteada. A probabilidade de obter face 6 ao lançar um dado é de $\frac{1}{6}$, que corresponde a um entre seis eventos possíveis.

A probabilidade de um gameta formado por um indivíduo heterozigótico *Aa* portar o alelo *A* ou o alelo *a* é um evento aleatório. O conjunto de possibilidades é formado por dois tipos de evento: o gameta ser portador do alelo *A* e o gameta ser portador do alelo *a*, ambos com a mesma chance de ocorrer. Portanto, a probabilidade de um gameta de um indivíduo heterozigótico *Aa* portar o alelo *A*, ou o alelo *a*, é de $\frac{1}{2}$, ou de 50%.

Quando a ocorrência de um evento não afeta a probabilidade de outro evento ocorrer, fala-se em **eventos independentes**. Por exemplo, o fato de obter cara ao lançar uma moeda não aumenta nem diminui a chance de sair cara em um novo lançamento da mesma moeda ou de outra moeda qualquer. Assim, o resultado obtido em cada lançamento de moeda é um evento independente. Da mesma maneira, o nascimento de uma criança com determinado genótipo é um evento independente do nascimento de outros filhos de um casal. Por exemplo, mesmo que um casal já tenha tido duas filhas, a probabilidade de uma terceira criança também ser do sexo feminino continua a ser de $\frac{1}{2}$, ou de 50%.

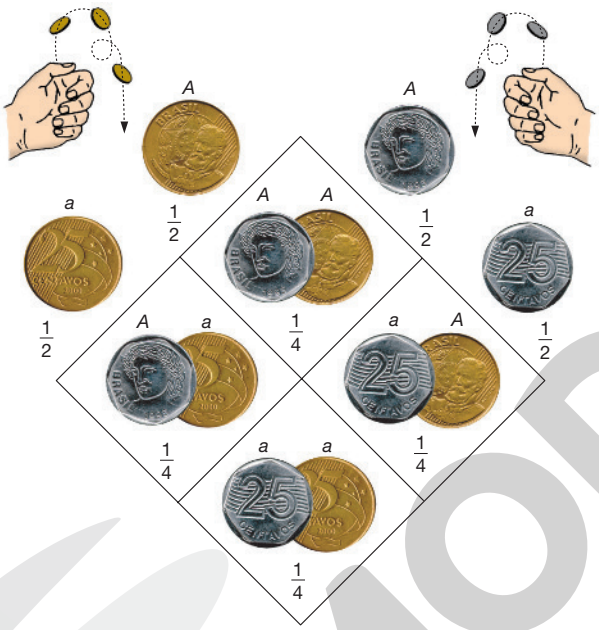
MODERNA

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

Segundo a teoria das probabilidades, a probabilidade de dois ou mais eventos independentes ocorrerem conjuntamente é igual ao produto das probabilidades de esses eventos ocorrerem separadamente. Esse princípio é conhecido popularmente como regra do "e", pois corresponde à pergunta: qual é a probabilidade de ocorrer determinado evento "e" também outro, simultaneamente?

Por exemplo, se jogarmos uma moeda duas vezes, qual é a probabilidade de obter duas vezes a face cara, ou seja, sair cara tanto no primeiro lançamento como no segundo? A chance de a face cara da moeda cair voltada para cima na primeira jogada é de $\frac{1}{2}$, e a chance de a face cara da moeda cair voltada para cima na segunda jogada também é de $\frac{1}{2}$. A probabilidade conjunta de ocorrência desses dois eventos é de $\frac{1}{2} \times \frac{1}{2} = \frac{1}{4}$.

A segregação dos alelos de um par de fatores em um organismo é comparável à obtenção de cara ou coroa no lançamento de uma moeda. Acompanhe no esquema a seguir: suponha que uma moeda dourada represente um indivíduo heterozigótico feminino, que forma gametas com o fator *A* (cara) e com o fator *a* (coroa), e que uma moeda prateada represente um indivíduo heterozigótico masculino, que também forma gametas com o fator *A* (cara) e com o fator *a* (coroa). O resultado da fecundação é comparável à combinação dos resultados obtidos no lançamento simultâneo das duas moedas (Fig. 3).



ILUSTRAÇÕES: ADILSON SECCO
EVILWATA/ISTOCKPHOTO/GETTY IMAGES
BANCO CENTRAL DO BRASIL

Figura 3 Esquema que compara as probabilidades de obtenção de cara e coroa no lançamento de duas moedas com a formação de diferentes indivíduos pela combinação ao acaso de um par de fatores, em um cruzamento genético. (Representação fora de proporção.)

Vejamos outro exemplo. Qual é a probabilidade de dois filhos de um casal serem do sexo masculino?

Uma vez que a probabilidade de uma criança ser do sexo masculino é de $\frac{1}{2}$, a probabilidade de que dois filhos de um casal sejam meninos, ou seja, o primeiro filho do sexo masculino "e" o segundo também do sexo masculino, é de $\frac{1}{2} \times \frac{1}{2}$, ou seja, $\frac{1}{4}$.

Outro princípio da teoria das probabilidades refere-se à ocorrência de dois **eventos mutuamente exclusivos**, aqueles em que a ocorrência de um evento exclui a ocorrência do outro. Nesse caso, a probabilidade de esses eventos ocorrerem corresponde à soma das probabilidades de cada evento isolado. Por exemplo, qual é a probabilidade de obter face 1 "ou" face 6 no lançamento de um dado? A probabilidade de obter face 1 é de $\frac{1}{6}$, e a de obter face 6 também é de $\frac{1}{6}$. Portanto, a probabilidade de obter face 1 "ou" face 6 no lançamento de um dado é de $\frac{1}{6} + \frac{1}{6} = \frac{2}{6}$, ou $\frac{1}{3}$. Esse princípio é conhecido popularmente como regra do "ou", pois corresponde à pergunta: Qual é a probabilidade de ocorrer determinado evento "ou" outro?

Consideremos agora uma nova questão: Qual é a probabilidade de obter cara e coroa no lançamento de duas moedas? Para responder a essa questão, é preciso levar em conta as duas maneiras de se obter cara e coroa quando se lançam duas moedas: pode sair cara na primeira moeda e coroa na segunda ou coroa na primeira moeda e cara na segunda.

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

MODERNA

Como vimos, a probabilidade de sair cara "e" coroa é de $\frac{1}{2} \times \frac{1}{2} = \frac{1}{4}$. Da mesma forma, a probabilidade de sair coroa "e" cara também é de $\frac{1}{2} \times \frac{1}{2} = \frac{1}{4}$. Como esses dois eventos são mutuamente exclusivos, devemos somar suas probabilidades, obtendo a probabilidade final de $\frac{1}{4} + \frac{1}{4} = \frac{2}{4}$, ou $\frac{1}{2}\left(\frac{1}{4}\right.$ para cara "e" coroa "ou" $\left.\frac{1}{4}\right.$ para coroa "e" cara$\left.\right)$.

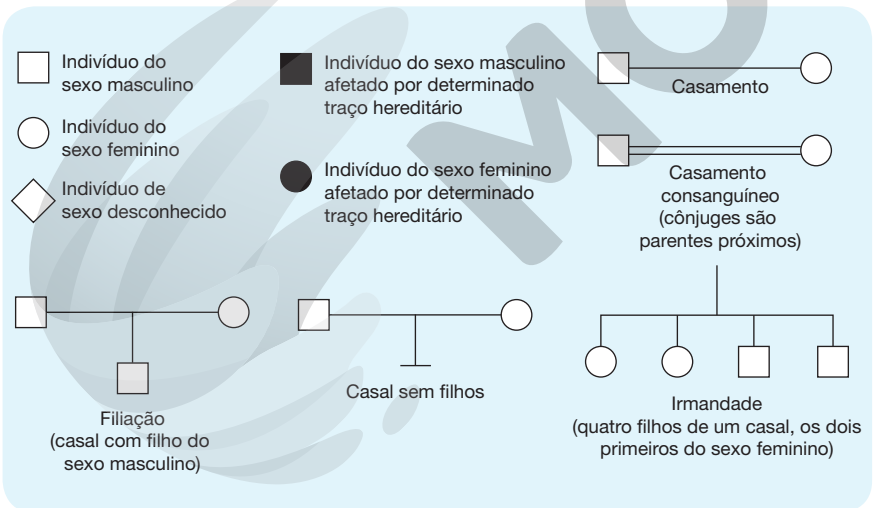
Raciocínio semelhante é válido para a Genética. Por exemplo, qual é a probabilidade de que duas crianças de um casal sejam uma menina e um menino? Há duas maneiras de um casal ter um menino e uma menina: a primeira criança ser menino "e" a segunda, menina "ou" a primeira ser menina "e" a segunda, menino. Portanto, a probabilidade de dois filhos de um casal serem uma menina e um menino é de $\frac{1}{2} \times \frac{1}{2} + \frac{1}{2} \times \frac{1}{2} = \frac{2}{4}$, ou $\frac{1}{2}$.

Resolvendo um problema de Genética

Na espécie humana, os estudos genéticos não podem se utilizar de cruzamentos propositalmente dirigidos, como se faz com muitas outras espécies. O trabalho do geneticista humano consiste em analisar os membros de uma ou mais famílias em que haja portadores de certa característica com o objetivo de estabelecer padrões de herança.

As relações de parentesco entre os membros das famílias são representadas por meio de **heredogramas** (do latim *heredium*, "herança"), ou árvores genealógicas, diagramas que facilitam a visualização do comportamento das características hereditárias ao longo das gerações.

Nos heredogramas, os indivíduos do sexo masculino costumam ser representados por quadrados e os do sexo feminino, por círculos. Indivíduos cujo sexo não se conhece são representados por losangos. O casamento, no sentido biológico de procriação, é indicado por um traço horizontal que une os dois membros do casal. Filhos são representados por quadrados, círculos ou losangos unidos por traços verticais ao traço horizontal do casal (Fig. 4).



ILUSTRAÇÕES: ADILSON SECCO

Figura 4 Simbologia utilizada na elaboração de heredogramas.

Fonte: adaptado de BEIGUELMAN, B. *A interpretação genética da variabilidade humana*. Ribeirão Preto: Sociedade Brasileira de Genética, 2008.

Vamos a seguir aplicar conhecimentos de Genética para resolver um problema referente a uma característica presente na espécie humana, o albinismo tipo I.

Veja comentários sobre essa atividade no Suplemento do Professor.

Dialogando com o texto

Calcule a probabilidade de um casal que tenha três filhos gerar duas crianças do sexo masculino e uma do sexo feminino. Pense na ordem em que as três crianças podem nascer e faça os cálculos.

Dialogando com o texto

Seu desafio nesta atividade é elaborar um heredograma referente à sua família, identificando, se possível, cada pessoa por nome e idade, além de outras anotações que julgar importantes.

Veja comentários sobre essa atividade no Suplemento do Professor.

MODERNA

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

Os dados do problema

O **albinismo tipo I** na espécie humana é condicionado por um alelo recessivo (*a*); pessoas com genótipo *aa* são albinas em razão da ausência do pigmento melanina, apresentando pele, cabelo e olhos muito claros. Pessoas com pelo menos um alelo *A* no genótipo (*AA* e *Aa*) apresentam pigmentação normal.

Pedro apresenta pigmentação normal e seus pais também são normais quanto a essa característica. Entretanto, sua avó materna e seu avô paterno são albinos.

Maria também apresenta pigmentação normal na pele. Por parte da mãe de Maria nunca houve, nem na mais remota ancestralidade, qualquer caso conhecido de albinismo. O pai de Maria apresenta pigmentação normal, mas seu avô paterno era albino. Por causa desses casos de albinismo na família, Pedro e Maria procuraram um geneticista para pedir esclarecimentos e aconselhamento genético. O casal tinha as seguintes perguntas:

a) Há alguma chance de um filho nosso vir a ser albino?

b) Se tivermos um filho albino, qual é a probabilidade de um segundo filho também ser albino?

A solução

Para solucionar o problema, o primeiro passo é construir um heredograma para representar as relações entre os familiares. O segundo passo é determinar os genótipos possíveis dos indivíduos do heredograma.

Qual é a resposta à primeira pergunta do problema: Há chance de uma criança filha do casal ser albina?

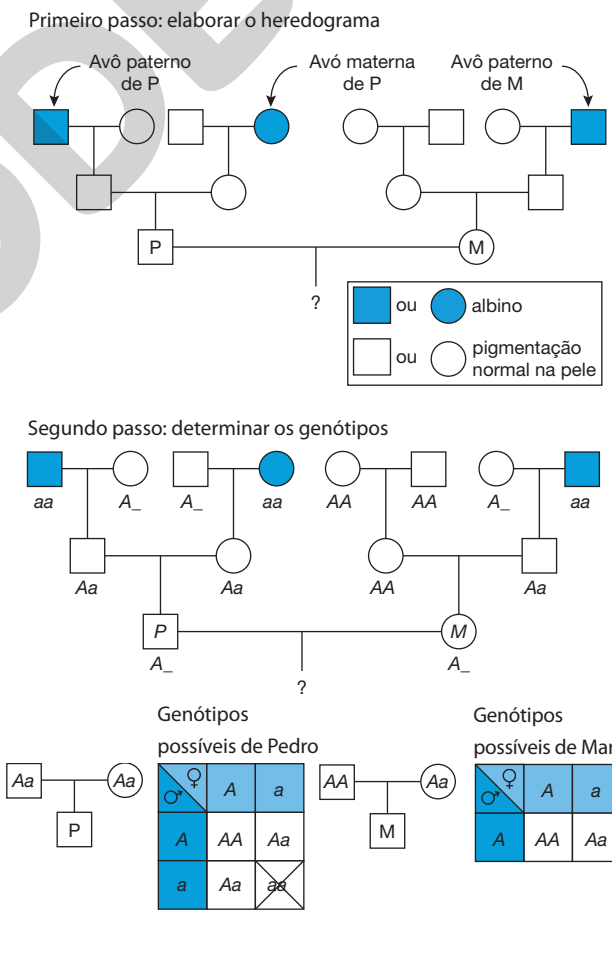
A resposta é afirmativa apenas se Maria e Pedro forem ambos heterozigóticos, ou seja, portadores do alelo para albinismo. Qual é a chance de isso ocorrer?

Pedro não é albino. Portanto, ele necessariamente apresenta pelo menos um alelo *A*. A probabilidade de Pedro ser heterozigótico é de $\frac{2}{3}$: ele pode ter recebido um alelo *A* do pai e um *a* da mãe, ou um alelo *a* do pai e um *A* da mãe, ou, ainda, um alelo *A* do pai e um *A* da mãe, portanto, probabilidade de $\frac{2}{3}$ de ser *Aa* e de $\frac{1}{3}$ de ser *AA*. Costuma-se representar o alelo desconhecido como um traço baixo ao lado do alelo conhecido (no caso, *A_*).

A probabilidade de Maria ser heterozigótica, portanto portadora do alelo do albinismo, é de $\frac{1}{2}$, se assumirmos que o alelo *A* de seu genótipo veio da mãe, que supostamente é homozigótica *AA*, uma vez que nunca houve em sua ancestralidade qualquer caso de albinismo. Já do pai, que é heterozigótico *Aa*, Maria pode ter recebido o alelo *a* com chance de $\frac{1}{2}$. Veja, no esquema ao lado, a probabilidade de Pedro ser heterozigótico, à esquerda $\left(\frac{2}{3}\right)$, e de Maria ser heterozigótica $\left(\frac{1}{2}\right)$.

Um filho de Pedro e Maria será albino se ocorrerem, simultaneamente, três eventos: 1) Pedro ser heterozigótico $\left(\text{probabilidade} = \frac{2}{3}\right)$; 2) Maria ser heterozigótica $\left(\text{probabilidade} = \frac{1}{2}\right)$; 3) Pedro e Maria transmitirem o alelo *a* ao filho $\left(\text{probabilidade} = \frac{1}{4}\right)$. A probabilidade de esses eventos ocorrerem simultaneamente é o produto de suas probabilidades: $\frac{2}{3} \times \frac{1}{2} \times \frac{1}{4} = \frac{2}{24}$, ou $\frac{1}{12}$.

A segunda pergunta do casal acrescenta um dado interessante ao problema. Se Pedro e Maria tiverem efetivamente uma criança albina, as dúvidas sobre seus genótipos deixarão de existir, pois, nesse caso, eles certamente serão heterozigóticos. Assim, a probabilidade de uma próxima criança filha do casal vir a ser albina é de $\frac{1}{4}$, ou 25%.



ILUSTRAÇÕES: ADILSON SECCO

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

MODERNA

3. Alelos múltiplos, dominância incompleta e codominância

Alelos múltiplos

Ainda nos primórdios da Genética observou-se que certos genes podiam estar presentes na população em três ou mais formas alélicas, embora cada indivíduo diploide sempre apresente apenas dois exemplares de cada gene, um proveniente de cada genitor. A existência de mais de dois alelos diferentes de um gene é o que se denomina, em Genética, **alelos múltiplos**.

Um dos primeiros casos estudados de alelos múltiplos foi o do gene para cor de certos tipos de pelagem em coelhos. Esse gene se apresenta em quatro formas alélicas: *C*, que determina pelagem castanho-acinzentada (selvagem, ou aguti); c^{ch}, que determina pelagem cinza (chinchila); c^{h}, que determina pelagem branca com extremidades escuras (himalaia); *c*, que condiciona pelagem branca (albina) (Fig. 5).

O alelo *C* comporta-se como dominante sobre os outros três. O alelo c^{ch}, recessivo em relação a *C*, comporta-se como dominante sobre c^{h} e sobre *c*. O alelo c^{h}, por sua vez, é recessivo em relação a *C* e a c^{ch} e dominante em relação a *c*. Este último, finalmente, é recessivo em relação aos outros três alelos. A relação de dominância entre os quatro alelos pode ser representada por: $C > c^{ch} > c^{h} > c$.

Como os alelos ocorrem nos indivíduos aos pares, há dez tipos possíveis de genótipos em coelhos quanto a esse gene e quatro tipos de fenótipo (Tab. 1).

LUIS GOMES/ABRIL COMUNICAÇÕES S/A

Figura 5 Quatro tipos de pelagem de coelhos: chinchila, à esquerda; himalaia, atrás; selvagem, à direita; albina, na frente. Os animais apresentam cerca de 40 cm de comprimento.

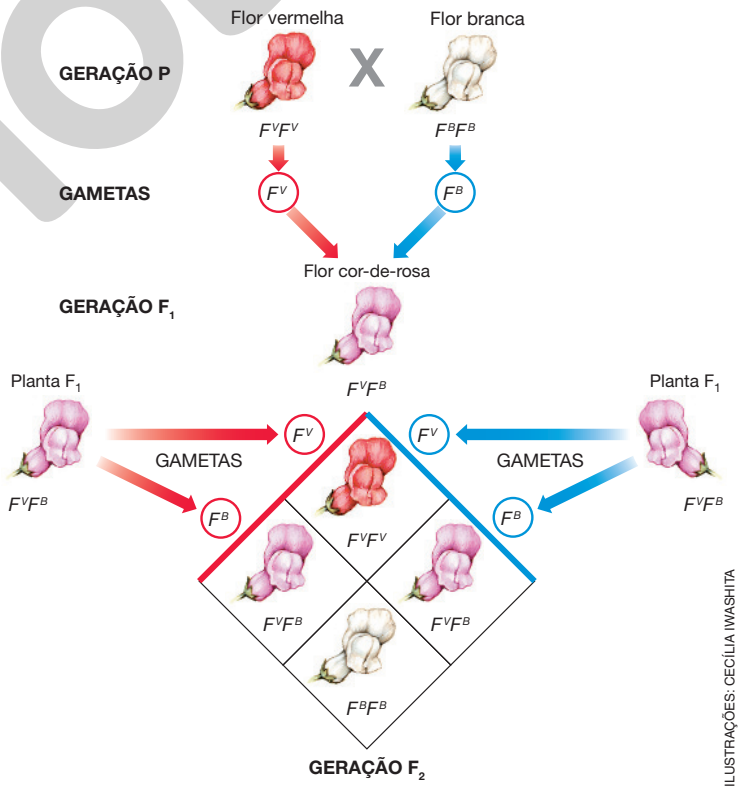
Tabela 1: Genótipos e fenótipos na cor da pelagem em coelhos

Genótipos	Fenótipos
CC, Cc^{ch}, Cc^{h} e Cc	Selvagem
$c^{ch}c^{ch}$, $c^{ch}c^{h}$ e $c^{ch}c$	Chinchila
$c^{h}c^{h}$ e $c^{h}c$	Himalaia
cc	Albino

Dominância incompleta

Em certos casos o fenótipo dos indivíduos heterozigóticos é intermediário entre os fenótipos dos dois homozigóticos; nesses casos, fala-se em dominância incompleta entre os alelos. Por exemplo, na planta boca-de-leão (*Antirrhinum majus*), indivíduos homozigóticos para um dos alelos de determinado gene têm flores vermelhas, os homozigóticos para o outro alelo têm flores brancas e os heterozigóticos têm flores cor-de-rosa.

A explicação é que um dos alelos do gene para cor da flor funcionaria normalmente, determinando a síntese de pigmentos, enquanto o outro alelo seria inativo, não determinando a síntese de pigmento. As plantas homozigóticas, que apresentam dois alelos funcionais para a síntese de pigmento vermelho, produzem-no em quantidade tal que as flores têm coloração vermelha intensa. Indivíduos heterozigóticos, em que há apenas um alelo funcional do gene, produzem cerca de metade do pigmento formado pelos homozigóticos, de modo que a cor das pétalas é mais clara, cor-de-rosa. Indivíduos homozigóticos para o alelo não funcional têm flores brancas, uma vez que não produzem pigmento (Fig. 6).



ILUSTRAÇÕES: CECÍLIA IWASHITA

Figura 6 Representação esquemática do cruzamento entre plantas boca-de-leão (*Antirrhinum majus*). Os indivíduos heterozigóticos têm fenótipo intermediário entre os fenótipos dos parentais homozigóticos. (Representação fora de proporção; cores meramente ilustrativas.) **Fonte:** ilustração dos autores.

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

MODERNA

Codominância

Há casos em que indivíduos heterozigóticos para determinado gene expressam simultaneamente os fenótipos dos dois tipos de indivíduos homozigóticos. Esse fenômeno, denominado pelos geneticistas **codominância**, ocorre porque os dois alelos do gene são funcionais, de modo que o indivíduo heterozigótico apresenta os produtos de ambos os alelos e manifesta as características dos homozigóticos para cada alelo. Mais adiante, veremos um exemplo de codominância que ocorre entre os alelos I^A e I^B, do sistema de grupos sanguíneos ABO humano.

Aplicando conhecimentos

Registre as respostas em seu caderno.

1. Qual alternativa contém o ponto fundamental da hipótese proposta por Mendel, que constitui a 1ª lei da herança?

1. c

a) Autofecundação.
b) Fecundação cruzada.
c) Separação dos fatores hereditários na formação dos gametas.
d) União dos fatores hereditários na formação dos gametas.

Utilize as alternativas a seguir para responder às questões 2 e 3.

a) dois fenótipos, um correspondente aos genótipos homozigótico dominante e heterozigótico e outro correspondente ao genótipo homozigótico recessivo.
b) dois fenótipos, um correspondente aos genótipos homozigótico recessivo e heterozigótico e outro correspondente ao genótipo homozigótico dominante.
c) três fenótipos, cada um correspondente a um genótipo.
d) apenas um fenótipo, correspondente aos três genótipos.

2. Um gene com dois alelos, um dominante sobre o outro, determina (■).

2. a

3. Um gene com dois alelos e dominância incompleta determina (■).

3. c

4. Herança de grupos sanguíneos na espécie humana

Sistema ABO

No início do século XX o médico austríaco Karl Landsteiner (1868-1943) verificou que, quando o sangue de diferentes pessoas era misturado, em alguns casos, as hemácias se juntavam, com formação de aglomerados visíveis a olho nu. Com base nesses estudos, a equipe de Landsteiner reconheceu a existência de quatro tipos sanguíneos na espécie humana, denominados **A**, **B**, **AB** e **O** (originalmente zero), o que ficou conhecido como **sistema ABO** de grupos sanguíneos.

Landsteiner verificou que a aglutinação das hemácias se devia a uma reação entre certas substâncias presentes no plasma sanguíneo, que foram denominadas **aglutininas**, com substâncias presentes na membrana das hemácias, denominadas **aglutinogênios**. Atualmente se sabe que as aglutininas são anticorpos plasmáticos capazes de reagir com certos polissacarídios presentes na membrana das hemácias, os chamados aglutinogênios.

A conclusão dos cientistas é a de que o sistema ABO se caracteriza pela presença de dois tipos de aglutinogênios nas hemácias – **A** e **B** – e dois tipos de aglutininas no plasma – **anti-A** e **anti-B** (Fig. 7 e Tab. 2).

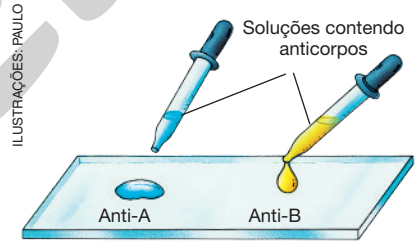
Veja comentários sobre essa atividade no Suplemento do Professor.

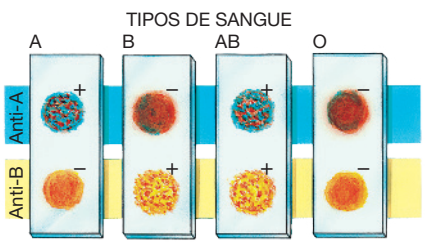
Dialogando com o texto

A raiz dos rabanetes pode ser arredondada, ovalada ou alongada. Cruzamentos entre plantas de raiz alongada e plantas de raiz arredondada produziram apenas indivíduos com raiz ovalada. Cruzamentos entre indivíduos com raízes ovaladas resultaram em 400 descendentes, dos quais 100 apresentaram raízes alongadas, 195 apresentaram raízes ovaladas e 105, raízes arredondadas.

a) Qual é o provável tipo de herança dessa característica? Como se chega a essa conclusão?

b) Se cruzássemos rabanetes de raízes ovaladas com rabanetes de raízes arredondadas, qual seria a proporção fenotípica esperada na descendência?





ILUSTRAÇÕES: PAULO MANZI

Figura 7 Representação esquemática da técnica empregada na determinação do grupo sanguíneo do sistema ABO. (Representação fora de proporção; cores meramente ilustrativas.)

Tabela 2: Aglutinogênios e aglutininas do sistema ABO

Grupo sanguíneo	Aglutinogênio (nas hemácias)	Aglutininas (no plasma)
A	A	Anti-B
B	B	Anti-A
AB	A e B	-
O	-	Anti-A e anti-B

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

MODERNA

Em 1930, Landsteiner recebeu o Prêmio Nobel em Fisiologia ou Medicina. Graças à descoberta e ao estudo dos grupos sanguíneos, tornou-se possível realizar transfusões de sangue mais seguras entre pessoas, com menos riscos para o receptor. Transfusões incompatíveis podem causar graves consequências para a saúde e até levar à morte, uma vez que as hemácias de um sangue incompatível recebido aglutinam-se, formando aglomerados que entopem capilares sanguíneos, prejudicando a circulação sanguínea da pessoa que recebeu o sangue incompatível com o seu.

Genética do sistema ABO

Os quatro fenótipos do sistema sanguíneo ABO – sangues tipo A, B, AB e O – são determinados por um gene com três alelos: I^A, I^B e i. Trata-se, portanto, de um caso de alelos múltiplos. O alelo I^A determina a presença do aglutinogênio A nas hemácias; o alelo I^B determina a presença do aglutinogênio B; o alelo i não determina nenhum aglutinogênio. Pessoas com genótipos $I^A I^A$ ou $I^A i$ apresentam apenas aglutinogênio A em suas hemácias e aglutininas naturais anti-B no plasma; pessoas com genótipos $I^B I^B$ ou $I^B i$ apresentam apenas aglutinogênio B nas hemácias e aglutininas naturais anti-A no plasma; pessoas com genótipo $I^A I^B$ apresentam os aglutinogênios A e B e não apresentam aglutininas anti-A ou anti-B no plasma; pessoas com genótipo ii não apresentam nenhum dos dois aglutinogênios e têm ambas as aglutininas naturais anti-A e anti-B no plasma.

Os alelos I^A e I^B são codominantes, uma vez que ambos se expressam na condição heterozigótica, produzindo, respectivamente, os aglutinogênios A e B. O alelo i é recessivo em relação aos outros dois; as relações de dominância entre esses três alelos podem ser representadas por $I^A = I^B > i$ (Tab. 3).

Hoje se sabe a maneira pela qual esses três alelos determinam os diferentes fenótipos do sistema ABO. O alelo I^A codifica uma enzima que transforma uma substância precursora H no aglutinogênio A; o alelo I^B codifica uma enzima ligeiramente diferente, que transforma o mesmo precursor H no aglutinogênio B; o alelo i é inativo e não leva à formação de nenhum aglutinogênio.

Tabela 3: Relação entre genótipos e fenótipos no sistema ABO

Fenótipos	Genótipos
Grupo A	$I^A I^A$ ou $I^A i$
Grupo B	$I^B I^B$ ou $I^B i$
Grupo AB	$I^A I^B$
Grupo O	ii

Sistema Rh

Na década de 1940, Landsteiner e sua equipe injetaram hemácias de um macaco reso (do latim *Rhesus*) em coelhos, os quais produziram um anticorpo denominado **anti-Rh** (abreviatura de *anti-Rhesus*). Quando o anticorpo anti-Rh produzido pelos coelhos era misturado ao sangue de uma amostra de pessoas, provocava a aglutinação das hemácias em cerca de 85% dos testes. Concluiu-se que as hemácias dessas pessoas testadas positivamente apresentavam um antígeno semelhante ao dos macacos resos, por isso denominado **fator Rh**. As pessoas que reagiram ao anti-Rh foram chamadas de **Rh positivas**, ou Rh^+. Concluiu-se, também, que as pessoas em que a aglutinação não ocorreu (15%) não apresentavam o fator Rh, sendo por isso chamadas de **Rh negativas**, ou Rh^-.

Esse sistema de grupos sanguíneos em que os fenótipos são Rh^+ e Rh^- foi denominado sistema Rh. Para identificar o fenótipo de uma pessoa quanto ao sistema Rh, mistura-se uma gota de seu sangue a uma solução com anticorpos anti-Rh; se as hemácias aglutinarem, a pessoa é Rh^+; se não houver aglutinação, a pessoa é Rh^- (Fig. 8).

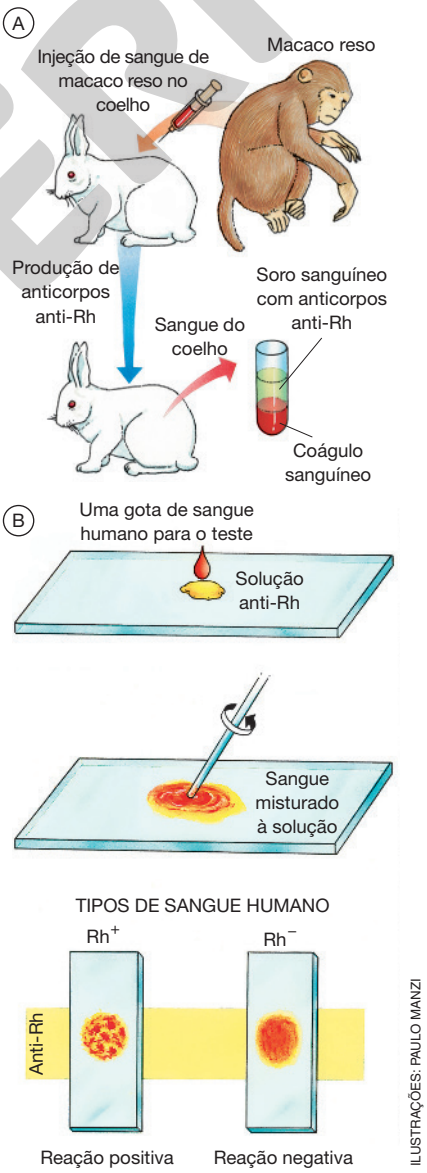


Figura 8 (A) Injeção de sangue do macaco reso em um coelho induz a produção de anticorpos anti-Rh. (B) Representação esquemática da técnica empregada na determinação do grupo sanguíneo do sistema Rh. (Representação fora de proporção; cores meramente ilustrativas.)

ILUSTRAÇÕES: PAULO MANZI

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

MODERNA

Atividade em grupo Veja comentários sobre essa atividade no Suplemento do Professor.

Para esta atividade, sugerimos formar um grupo para trocar ideias sobre o problema que apresentaremos a seguir. Atualmente, uma pessoa que precisa de transfusão recebe sangue do mesmo tipo que o seu, quanto aos sistemas ABO e Rh. Entretanto, no caso de não contar com sangue do mesmo tipo, há certas transfusões possíveis entre tipos sanguíneos do sistema ABO. A tarefa do grupo consiste em explicar, por meio de um esquema, quais seriam as transfusões possíveis para o sistema ABO, levando em conta que as aglutininas do plasma do receptor são capazes de aglutinar imediatamente hemácias incompatíveis que entrem, mas as aglutininas do sangue que entra diluem-se na maior quantidade de sangue corporal do receptor, com pequeno risco de aglutinar suas hemácias. Sugerimos também que o esquema apresente os conceitos de **doador universal** e de **receptor universal**.

Genética do sistema Rh e incompatibilidade materno-fetal

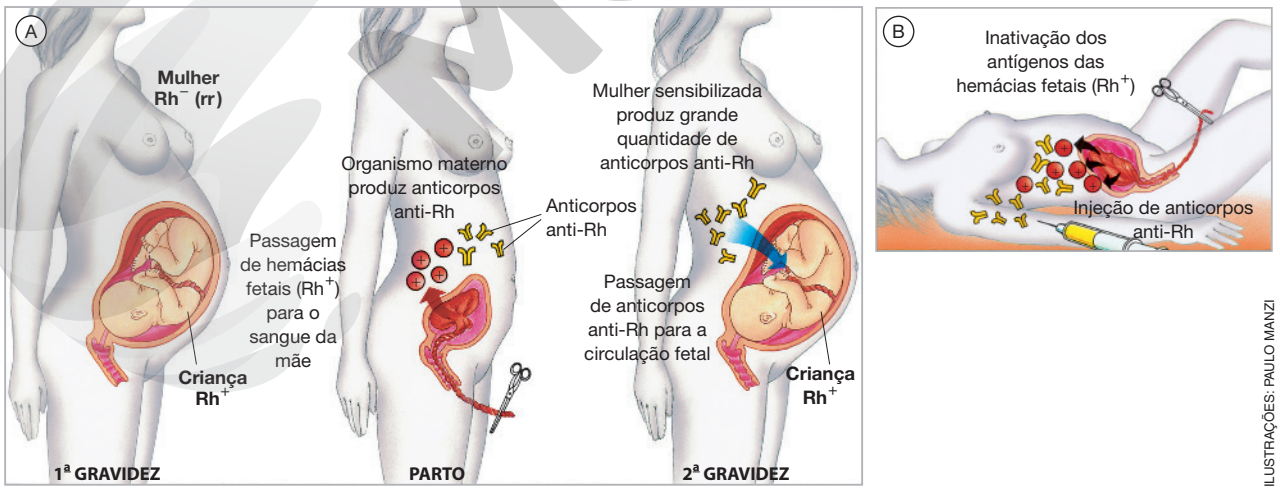
Os fenótipos do sistema Rh são condicionados basicamente por dois alelos, *R* e *r*, em que *R* se comporta como dominante sobre *r*. Se a pessoa apresentar um alelo dominante no genótipo (*RR* ou *Rr*), ela terá o fator Rh nas hemácias e, portanto, seu fenótipo é Rh^+; pessoas homozigóticas recessivas (*rr*) não têm o fator Rh nas hemácias, e seu fenótipo é Rh^-.

Pessoas Rh^+ não produzem anti-Rh. Pessoas Rh^-, em condições normais, também não apresentam anticorpos anti-Rh na circulação sanguínea. Esses anticorpos serão produzidos apenas se a pessoa Rh^- for previamente **sensibilizada**, isto é, se entrar em contato com sangue Rh^+ ao receber uma transfusão, por exemplo, ou no caso de mulheres Rh^- que engravidam de uma criança Rh^+.

Na primeira gravidez de uma criança Rh^+ por uma mulher Rh^-, o nível de sensibilização é baixo e a quantidade de anticorpos na circulação materna geralmente não chega a afetar a criança. Na hora do parto, com a ruptura da placenta, hemácias do bebê passam em maior quantidade para a circulação materna, sensibilizando a mulher e trazendo riscos para gestações posteriores. Por exemplo, se na gravidez seguinte a um primeiro filho Rh^+ a criança também for Rh^+, a mãe, já sensibilizada, produzirá rapidamente anticorpos anti-Rh, que atravessarão a placenta e entrarão na circulação do feto, destruindo suas hemácias, processo que continua a ocorrer no recém-nascido.

A destruição das hemácias fetais pelos anticorpos maternos causa anemia no recém-nascido e icterícia (pele amarelada). Para compensar a diminuição de hemácias, o organismo fetal libera para a circulação hemácias imaturas, chamadas eritroblastos. Esses sintomas caracterizam a **eritroblastose fetal**, ou doença hemolítica do recém-nascido (DHRN). O substantivo "hemólise", do qual deriva o adjetivo "hemolítica", vem do grego *haimos*, "sangue", e *lise*, "destruição", referindo-se à destruição das hemácias.

Atualmente, graças aos conhecimentos sobre o sistema Rh, é possível evitar a eritroblastose fetal. Uma mulher Rh^- que vai dar à luz uma criança Rh^+ recebe, no momento do parto, uma injeção intravenosa de anticorpos anti-Rh, que se combinam com as hemácias Rh^+, evitando a sensibilização da mulher (Fig. 9).



ILUSTRAÇÕES: PAULO MANZI

Figura 9 (A) Representação da sensibilização de uma mulher Rh negativa por uma criança Rh positiva. Essa sensibilização pode ser evitada pela técnica mostrada em (B): antes da expulsão da placenta, a parturiente recebe uma injeção de anticorpos anti-Rh que inativam as hemácias Rh^+ da criança e evitam a sensibilização da mãe. (Representação fora de proporção; cores meramente ilustrativas.)

Fonte: ilustração dos autores.

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

MODERNA

Atividade em grupo

Veja comentários sobre essa atividade no Suplemento do Professor.

Forme um grupo de colegas para pesquisar na internet, em *sites* confiáveis, a aplicação das técnicas de identificação de pessoas pelo DNA em investigações policiais. É importante levantar aspectos como o ano que surgiu essa tecnologia, seu grau de confiabilidade e a ampliação de sua utilização entre outros. Combine com o professor como cada grupo poderia apresentar suas pesquisas.

Os grupos também podem pesquisar sobre como a tecnologia de identificação de pessoas pelo DNA permitiu resolver casos de paternidade duvidosa. Antes dessa técnica, o método empregado de identificação da paternidade era baseado no estudo dos grupos sanguíneos da mãe, do filho e do suposto pai. Na época, utilizava-se a expressão "exclusão de paternidade", pois não era possível afirmar que determinado homem era o pai, mas apenas que ele poderia ser. Pesquise a respeito desse assunto e elabore, com seu grupo, um pequeno texto sobre como a identificação de pessoas pelo DNA substituiu com vantagem a antiga técnica de averiguação da paternidade por grupos sanguíneos.

Aplicando conhecimentos

Registre as respostas em seu caderno.

4. Duas pessoas do grupo sanguíneo AB podem ter filhos com sangue do tipo 4. d

a) AB, apenas.
b) O, apenas.
c) A e B.
d) A, B e AB.

5. Duas pessoas, uma do grupo A e outra do grupo B, ambas com pais do grupo O, podem ter filhos com sangue do tipo 5. d

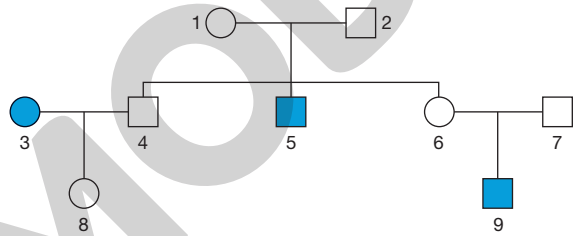
a) AB, apenas.
b) A e B, apenas.
c) A, B e O, apenas.
d) A, B, AB e O.

Atividades finais

Veja comentários sobre essa atividade no Suplemento do Professor.

Registre as respostas em seu caderno.

1. Analise o heredograma a seguir, em que os indivíduos masculinos são representados por quadrados e os femininos, por círculos. As figuras coloridas representam indivíduos homozigóticos recessivos.



ADILSON SECCO

a) Quais são os indivíduos certamente heterozigóticos?
b) Qual é a probabilidade de o indivíduo 4 ser heterozigótico?
c) Qual é a probabilidade de um filho do casal 3 × 4 ser homozigótico recessivo?

Utilize as alternativas a seguir para responder às questões de 2 a 4.

a) 1 : 1 **b)** 3 : 1 **c)** 1 : 2 : 1 **d)** 1 : 1 : 1 : 1

2. Um indivíduo heterozigótico em relação a um par de alelos forma gametas diferentes na proporção de (■). 2. a

3. O cruzamento entre indivíduos heterozigóticos em relação a um gene em que os alelos apresentam dominância incompleta ou codominância resultará em uma descendência com proporção fenotípica de (■). 3. c

4. O cruzamento entre indivíduos heterozigóticos em relação a um gene em que um dos alelos é dominante sobre o outro resultará em uma descendência com proporção fenotípica de (■). 4. b

Utilize as alternativas a seguir para completar as questões de 5 a 8.

a) grupo sanguíneo A
b) grupo sanguíneo B
c) grupo sanguíneo AB
d) grupo sanguíneo O

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

MODERNA

5. As hemácias de um indivíduo do (■) não se aglutinam nem com o soro anti-A nem com o soro anti-B. 5. d

6. As hemácias de um indivíduo do (■) aglutinam-se tanto com o soro anti-A como com o soro anti-B. 6. c

7. As hemácias de um indivíduo do (■) aglutinam-se com o soro anti-A, mas não com o soro anti-B. 7. a

8. As hemácias de um indivíduo do (■) aglutinam-se com o soro anti-B, mas não com o soro anti-A. 8. b

Utilize as alternativas a seguir para completar as questões de 9 a 12.

a) pode receber sangue de pessoas A, B, AB e O e doar apenas para pessoas AB.

b) pode receber sangue de pessoas A e O e doar para pessoas A e AB.

c) pode receber sangue de pessoas B e O e doar para pessoas B e AB.

d) pode receber sangue apenas de pessoas O e doar para pessoas A, B, AB e O.

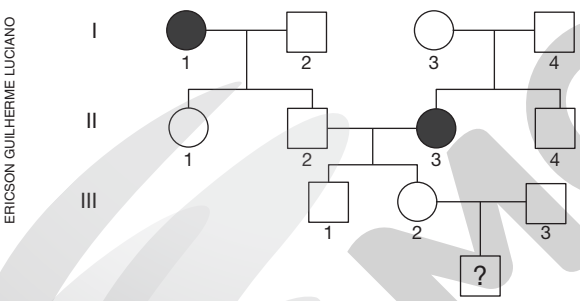
9. Uma pessoa do grupo sanguíneo A (■). 9. b

10. Uma pessoa do grupo sanguíneo B (■). 10. c

11. Uma pessoa do grupo sanguíneo AB (■). 11. a

12. Uma pessoa do grupo sanguíneo O (■). 12. d

13. (Fuvest-SP) Uma alteração genética é determinada por um gene com herança autossômica recessiva. O heredograma mostra famílias em que essa condição está presente. 13. b



ERICSON GUILHERME LUCIANO

O casal III2 e III3 está esperando um menino. Considerando que, nessa população, uma em cada 50 pessoas é heterozigótica para essa alteração, a probabilidade de que esse menino seja afetado é

a) 1/100
b) 1/200
c) 1/1.000
d) 1/25.000
e) 1/40.000

14. (Unifesp) Um agricultor adquiriu um saco de sementes de milho comercializadas por uma indústria agropecuária. O rótulo desse saco informava que as sementes vinham do cruzamento de linhagens diferentes e geneticamente puras, ou seja, para as características fenotípicas de interesse, as linhagens eram homozigotas, mas cada uma delas homozigota para alelos diferentes.

O agricultor plantou essas sementes em uma mesma área e obteve uma safra de ótima produção, com espigas uniformes e repletas de grãos.

Após a colheita, o agricultor, considerando a qualidade dessas espigas, resolveu guardar algumas delas para plantar a safra seguinte. Contudo, ainda que as condições ambientais tenham se mantido, essa nova safra foi pouco produtiva, gerando espigas não uniformes e sem a mesma qualidade da safra anterior.

a) As "linhagens diferentes", citadas no rótulo do saco de milho, são da mesma espécie ou de espécies diferentes? Justifique sua resposta.

b) Explique por que as plantas obtidas pela germinação das sementes adquiridas produziram espigas uniformes e explique o porquê das diferenças fenotípicas e de produtividade da segunda safra em relação à primeira.

15. (UFJF-MG) Além do teste de DNA, há exames mais simples que podem ajudar a esclarecer dúvidas sobre paternidade. Por exemplo, o teste de tipagem sanguínea do sistema ABO permite determinar quem não pode ser o pai. Qual das alternativas apresenta uma situação em que esse exame assegura a exclusão da paternidade? 15. b

a) O filho é do tipo O, a mãe do tipo O e o suposto pai do tipo A.

b) O filho é do tipo AB, a mãe do tipo AB e o suposto pai do tipo O.

c) O filho é do tipo AB, a mãe do tipo A e o suposto pai do tipo B.

d) O filho é do tipo B, a mãe do tipo B e o suposto pai do tipo O.

e) O filho é do tipo A, a mãe do tipo A e o suposto pai do tipo B.

16. (Enem-MEC) Em um experimento, preparou-se um conjunto de plantas por técnica de clonagem a partir de uma planta original que apresentava folhas verdes. Esse conjunto foi dividido em dois grupos, que foram tratados de maneira idêntica, com exceção das condições de iluminação, sendo um grupo exposto a ciclos de iluminação solar natural e outro mantido no escuro. Após alguns dias, observou-se que o grupo exposto à luz apresentava folhas verdes como a planta original e o grupo cultivado no escuro apresentava folhas amareladas. Ao final do experimento, os dois grupos de plantas apresentaram: 16. b

a) os genótipos e os fenótipos idênticos.

b) os genótipos idênticos e os fenótipos diferentes.

c) diferenças nos genótipos e fenótipos.

d) o mesmo fenótipo e apenas dois genótipos diferentes.

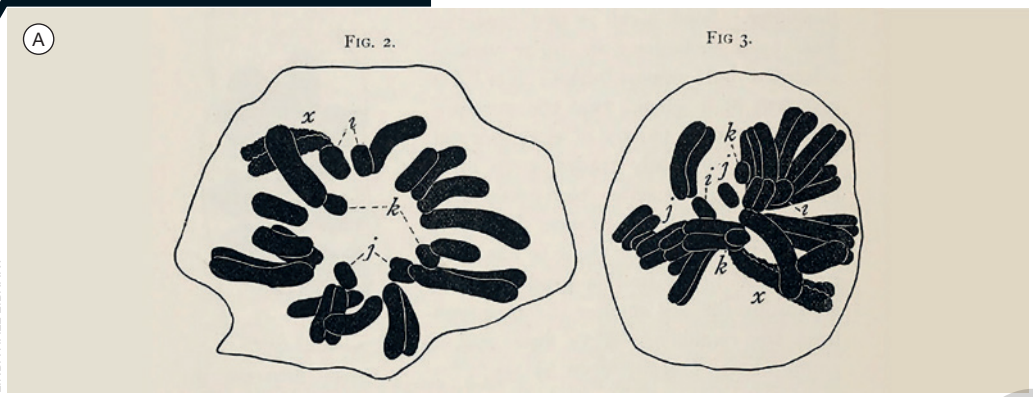
e) o mesmo fenótipo e grande variedade de genótipos.

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

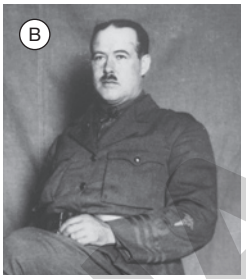
MODERNA

CAPÍTULO

2 BASES CROMOSSÔMICAS DA HERANÇA



LINDA HALL LIBRARY



UNIVERSITY OF KANSAS MEDICAL CENTER

(A) À esquerda, desenhos elaborados pelo pesquisador estadunidense Walter Sutton a partir de observações microscópicas de células em meiose de gafanhotos. (B) Acima, retrato de Sutton, o primeiro a sugerir que as hipóteses de Mendel sobre a segregação dos fatores genéticos deviam-se à sua localização nos cromossomos.

A elaboração dos princípios que regem a herança biológica tem percorrido um longo caminho e envolvido várias gerações de cientistas. Em 1885, ao imaginar que havia pares de fatores hereditários nos indivíduos e que os fatores de cada par se separavam na formação dos gametas, Mendel estava antecipando os conceitos de diploidia e haploidia e o evento reducional que ocorre na meiose, fatos que só seriam compreendidos tempos depois. Em 1902, o citologista estadunidense Walter Sutton (1877-1916) notou que os cromossomos, na meiose, seguem os pressupostos imaginados por Mendel.

Entrar na área desconhecida dos sistemas microscópicos da vida é como descobrir o que há em uma caixa fechada embrulhada em papel preto. Você pode segurar a caixa e avaliar certas características – como massa, textura, cheiro e ruídos produzidos – para levantar suas hipóteses. Mas você não consegue olhar diretamente dentro da caixa, tendo que descobrir seu conteúdo por meios indiretos.

Essa analogia se aplica a diversos aspectos do mundo natural que não podemos analisar diretamente com nossos sentidos. O biólogo austríaco Gregor Mendel (1822-1884), ao fazer cruzamentos de ervilhas, observou os tipos de descendentes que surgiram e tentou entender o que se passava no âmago das plantas genitoras. Usando um raciocínio matemático avançado para a Biologia da época, ele deduziu que nas ervilhas existiam fatores hereditários, de natureza desconhecida, que se separavam no processo de formação dos gametas.

Mais de 35 anos depois, Walter Sutton, a partir de observações microscópicas da meiose de gafanhoto, concluiu que os fatores mendelianos estavam localizados nos cromossomos. Essa ideia representou um extraordinário avanço na compreensão dos mecanismos genéticos, inaugurando a chamada teoria cromossômica da herança. Se pensarmos em todas as aplicações científicas e tecnológicas advindas do conhecimento de que os cromossomos são a base física da hereditariedade, inclusive para o Aconselhamento Genético, concluiremos que a hipótese de Sutton representou um avanço formidável no campo da Genética.

Ano após ano, novas descobertas e a formulação de novas hipóteses têm permitido aos cientistas entrar em muitas "caixas-pretas" de fenômenos naturais e, dentro delas, deparar-se com outras caixas-pretas repletas de novos desafios. A história da Genética ilustra como a ciência consegue solucionar problemas em níveis de grandeza que não podemos visualizar diretamente, mas que podemos compreender e até prever com base no raciocínio lógico e nos testes de hipóteses.

Estudaremos neste capítulo como Mendel, ao analisar a herança de duas ou mais características simultaneamente, formulou a lei da segregação independente dos fatores hereditários, ampliando assim a compreensão dos princípios básicos da herança. Hoje sabemos que a segregação independente ocorre apenas entre genes localizados em cromossomos diferentes. Veremos também como se dá a herança de genes localizados em um mesmo cromossomo, que não se segregam independentemente.

De olho na BNCC:

- EM13CNT202
- EM13CNT205
- EM13CNT301
- EM13CNT302
- EM13LGG701

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

EM MODERNA

À medida que o estudo da Genética progride, os conhecimentos vão gradativamente se ampliando. Os avanços, por exemplo, no conhecimento sobre a herança quantitativa, estudada neste capítulo, têm possibilitado promover o que se costuma denominar "melhoramento genético", com desenvolvimento de tecnologias que permitem aumentar e melhorar a produção de alimentos.

Professor, antes de prosseguir, certifique-se de que não há dúvidas relacionadas aos conceitos abordados no capítulo anterior. O domínio desses conteúdos é importante para a compreensão dos fundamentos da Genética apresentados neste capítulo.

1. A segregação independente dos genes

Em um de seus experimentos, Mendel considerou simultaneamente a cor dos cotilédones da semente – amarela ou verde – e a forma da semente – lisa ou rugosa. Plantas originadas de sementes amarelas lisas puras (homozigóticas) foram cruzadas com plantas originadas de sementes verdes rugosas, necessariamente puras, uma vez que esses são dois traços recessivos. Como era de esperar, todas as sementes produzidas na geração F_1 eram amarelas lisas.

A geração F_2, obtida por autofecundação das plantas de F_1, era composta de quatro tipos de semente distribuídos aproximadamente nas seguintes frações: $\frac{9}{16}$ de amarelas lisas; $\frac{3}{16}$ de amarelas rugosas; $\frac{3}{16}$ de verdes lisas; $\frac{1}{16}$ de verdes rugosas. Em proporção, havia 9 amarelas lisas : 3 amarelas rugosas : 3 verdes lisas : 1 verde rugosa (9 : 3 : 3 : 1) (Fig. 1).

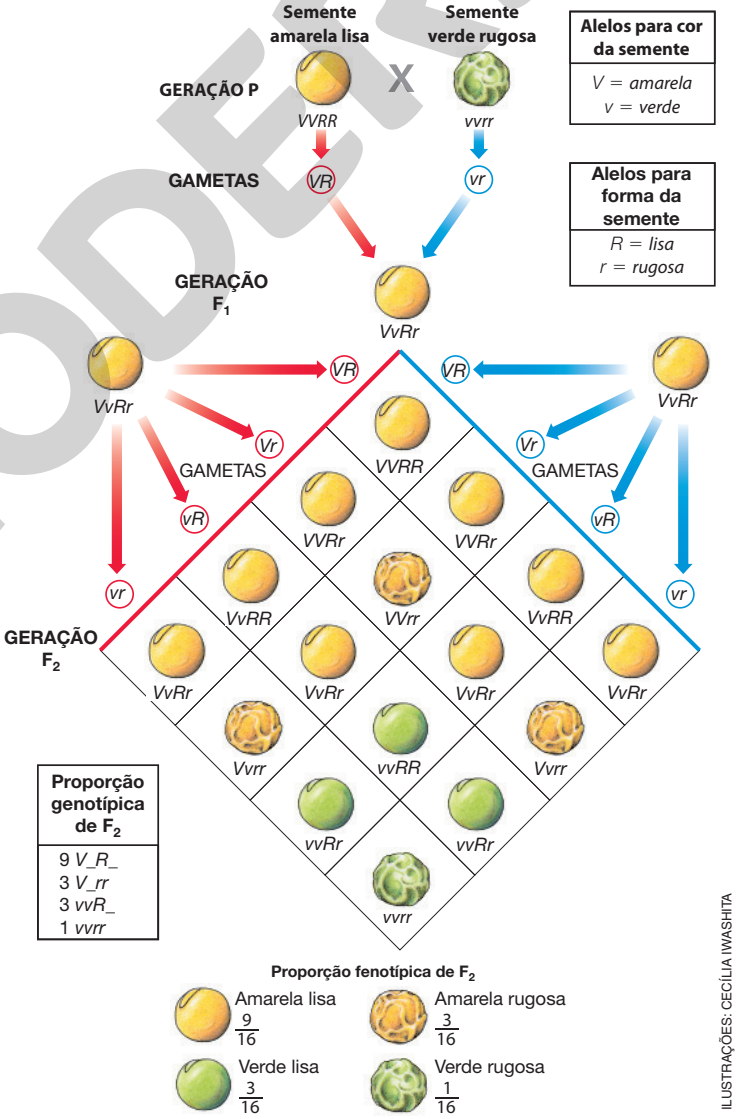
MARTIN SHIELDS/SCIENCE SOURCE/FOTOARENA

Figura 1 Na fotografia, é possível identificar os quatro fenótipos de ervilhas quanto à cor e à forma da semente: amarela lisa; amarela rugosa; verde lisa; verde rugosa.

Mendel concluiu que a segregação do par de fatores para cor da semente não interferia na segregação dos fatores para a forma da semente. Em outras palavras, a segregação desses fatores eram eventos independentes. Mendel chegou à conclusão de que, na formação dos gametas de plantas híbridas da geração F_1, os alelos para a cor da semente (***V*** e ***v***) separam-se independentemente dos alelos que condicionam a forma da semente (***R*** e ***r***). Assim, gametas portadores do alelo ***V*** podem conter tanto o alelo ***R*** como o alelo ***r***, com as mesmas chances; o mesmo é válido para os gametas portadores do alelo ***v***, que podem conter com iguais chances o alelo ***R*** ou o alelo ***r***.

Segundo a explicação de Mendel, uma planta duplo-heterozigótica ***VvRr*** forma quatro tipos de gameta em igual proporção: 1 ***VR*** : 1 ***Vr*** : 1 ***vR*** : 1 ***vr***. É a combinação aleatória desses gametas que explica a proporção 9 : 3 : 3 : 1, observada na geração F_2 dos cruzamentos (Fig. 2).

O princípio que rege a separação dos fatores foi chamado por Mendel de **lei da segregação independente**. Posteriormente, em merecida homenagem ao geneticista pioneiro, esse princípio passou a ser denominado também **segunda lei de Mendel**. O enunciado dessa lei diz: "Os fatores para duas ou mais características segregam-se (separam-se) no híbrido, distribuindo-se de modo independente para os gametas".



ILUSTRAÇÕES: CECÍLIA IWASHITA

Figura 2 Representação esquemática do cruzamento entre linhagens puras de ervilhas de semente amarela lisa e de semente verde rugosa, seguido pelo cruzamento entre indivíduos da geração F_1. Os resultados do cruzamento mostram que os alelos dos genes que condicionam as características cor (amarela ou verde) e forma (lisa ou rugosa) das sementes segregam-se de modo independente. (Representação fora de proporção; cores meramente ilustrativas.)

Fonte: adaptada de REECE, J. B. *et al. Biologia de Campbell*. 10. ed. Porto Alegre: Artmed, 2015.

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

MODERNA

A base celular da segregação: meiose

Ao estudar a meiose em gafanhotos, Walter Sutton percebeu que os cromossomos se segregavam de maneira semelhante aos fatores mendelianos. Isso levou o pesquisador a supor que os fatores hereditários situavam-se nos cromossomos. Na meiose, os cromossomos homólogos separam-se com total independência uns dos outros. A segregação independente de dois genes ocorreria somente quando eles se situassem em diferentes pares de cromossomos homólogos. Acompanhe o texto a seguir observando a figura 3.

Consideremos uma célula duplo-heterozigótica ***AaBb***, em que os alelos do par ***A*** e ***a*** se situam em um par de cromossomos homólogos e os alelos do par ***B*** e ***b*** se situam em outro par de cromossomos homólogos. Durante a divisão meiótica, os membros de cada par de cromossomos homólogos emparelham-se e orientam-se em direção a polos opostos da célula. Nesse momento, há duas possibilidades de orientação cromossômica.

Possibilidade 1: O cromossomo portador do alelo dominante ***A*** orienta-se para o mesmo polo que o cromossomo portador do alelo dominante ***B***; consequentemente, o cromossomo portador do alelo recessivo ***a*** orienta-se para o mesmo polo que o cromossomo portador do alelo recessivo ***b***.

Possibilidade 2: O cromossomo portador do alelo dominante ***A*** orienta-se para o mesmo polo que o cromossomo portador do alelo recessivo ***b***; consequentemente, o cromossomo portador do alelo recessivo ***a*** orienta-se para o mesmo polo que o cromossomo portador do alelo dominante ***B***.

Cada célula que passa por meiose segue uma ou outra dessas orientações cromossômicas, com mesma chance de ocorrência. Se ocorre a possibilidade 1, formam-se dois tipos de gameta quanto a esses genes: ***AB*** e ***ab***. Se ocorre a possibilidade 2, formam-se outros dois tipos de gameta: ***Ab*** e ***aB***.

Assim, um indivíduo heterozigótico para dois genes – ***Aa*** e ***Bb*** – localizados em pares diferentes de cromossomos produz quatro tipos de gametas em mesma proporção: 1 ***AB*** : 1 ***Ab*** : 1 ***aB*** : 1 ***ab*** (Fig. 3).

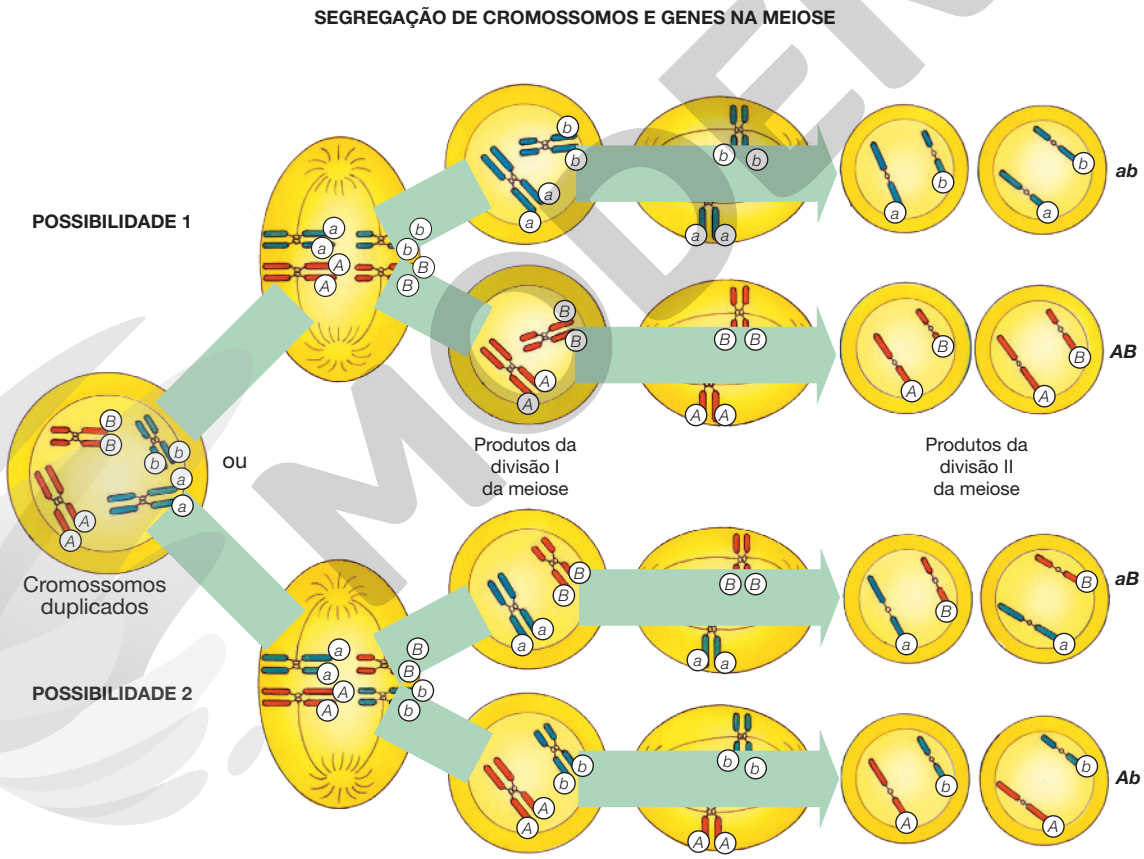


Figura 3 Representação esquemática das duas possibilidades de separação de dois pares de cromossomos homólogos na célula que passa por meiose para originar os gametas. Isso explica por que ocorre segregação independente dos alelos ***A*** e ***a*** e ***B*** e ***b***. (Representação fora de proporção; cores meramente ilustrativas.)

Fonte: adaptada de GRIFFITHS, A. J. F. *et al*. *Introdução à Genética*. 11. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2016.

ILUSTRAÇÃO: JURANDIR RIBEIRO

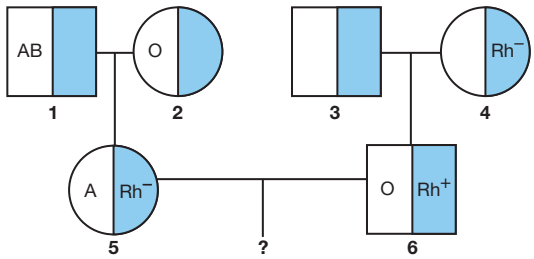
Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

MODERNA

Resolvendo um problema de Genética

Os dados do problema

O heredograma a seguir representa uma família estudada quanto aos grupos sanguíneos do sistema ABO e do sistema Rh. Os genes que determinarm esses dois grupos sanguíneos segregam-se independentemente. Na genealogia, o símbolo que representa as pessoas – quadrado para homem e círculo para mulher – é dividido por um traço vertical, com o lado esquerdo representando o fenótipo para o sistema ABO e o lado direito representando o fenótipo para o sistema Rh.



ADILSON SECCO

Sobre essa família, pergunta-se:

a) Qual é a probabilidade de um filho do casal 5 × 6 ter sangue dos tipos O/Rh$^+$ ou A/Rh$^-$?

b) Uma antiga namorada de 6, com sangue O/Rh$^+$, afirmou que ele era o pai de seu filho, uma criança A/Rh$^-$. Pelo que se conhece a respeito de herança dos grupos sanguíneos ABO e Rh, o que se pode dizer sobre a possível paternidade?

A solução

Em primeiro lugar é preciso determinar os genótipos dos indivíduos 5 e 6 aos quais se refere o problema. A mulher 5 tem sangue Rh$^-$ e, portanto, seu genótipo é ***rr***. Como ela tem sangue do tipo A, um de seus alelos é I^A. Como a mãe da mulher 5 tem sangue tipo O (***ii***), ela só pode ter fornecido à filha um alelo ***i***. O genótipo da mulher 5 é, portanto, I^A***irr***.

Para determinar o genótipo do homem 6, o raciocínio é o mesmo: como seu fenótipo é O/Rh$^+$ e sua mãe é Rh$^-$ (***rr***), concluímos que ele tem genótipo ***iiRr***.

Com relação ao sistema ABO, a mulher 5 forma dois tipos de gameta: I^A e ***i***. O homem 6 forma apenas um tipo de gameta: ***i***. Assim, os filhos desse casal poderão ter sangue do tipo A ou do tipo O, com $\frac{1}{2}$, ou 50%, de probabilidade para cada tipo.

Quanto ao sistema Rh, a mulher 5 forma apenas um tipo de gameta: ***r***. O homem 6 forma gametas de dois tipos: ***R*** e ***r***. Assim, os filhos do casal poderão ter sangue Rh$^+$ ou Rh$^-$, com $\frac{1}{2}$, ou 50%, de probabilidade para cada tipo.

Sabendo que os alelos que condicionam esses dois grupos sanguíneos apresentam segregação independente, a herança simultânea das duas características pode ser calculada multiplicando-se as probabilidades individuais:

- Probabilidade de um filho vir a ser O/Rh$^+$ $= \frac{1}{2}$ (O) $\times \frac{1}{2}$ (Rh$^+$) $= \frac{1}{4}$.
- Probabilidade de um filho vir a ser A/Rh$^-$ $= \frac{1}{2}$ (A) $\times \frac{1}{2}$ (Rh$^-$) $= \frac{1}{4}$.
- Probabilidade de um filho vir a ser O/Rh$^+$ ou A/Rh$^-$ $= \frac{1}{4} + \frac{1}{4} = \mathbf{\frac{1}{2}}$.

Pode-se também construir a representação gráfica mostrada a seguir, denominada quadrado de Punnett, e com base nele estimar a probabilidade procurada $\left(\frac{2}{4}, \text{ ou } \frac{1}{2}\right)$.

		Gametas formados por 6 (o pai)	
		iR	***ir***
Gametas formados por 5 (a mãe)	I^A***r***	I^A*iRr* (A/Rh$^+$)	I^A*irr* (A/Rh$^-$)
	ir	*iiRr* (O/Rh$^+$)	*iirr* (O/Rh$^-$)

A segunda pergunta do problema é: o homem 6 pode ser pai de uma criança A/Rh$^-$, filha de sua antiga namorada O/Rh$^+$?

O indivíduo 6 tem genótipo ***iiRr*** e a mãe da criança tem genótipo ***iiR***_, pois seu sangue é tipo O/Rh$^+$. Com essas informações, nem é preciso investigar o lado familiar da mãe: se a criança apresenta fenótipo A/Rh$^-$, ela tem necessariamente um alelo I^A, que só pode ter vindo de seu pai biológico, o qual poderia ter sangue tipo A ou AB, mas nunca poderia pertencer ao grupo O. Portanto, o homem 6 pode ser excluído da suspeita de ser o pai da criança em questão. Esse tipo de investigação não determina quem é o verdadeiro pai, mas permite excluir os que não podem ser; por isso, esse tipo de análise é chamado de **teste de exclusão de paternidade**. Atualmente, os testes de exclusão de paternidade com base nos grupos sanguíneos têm sido substituídos por exames de DNA, mais precisos e conclusivos.

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

MODERNA

2. Interação entre genes com segregação independente

Ainda nos primórdios da Genética verificou-se que a herança de certas características podia ser explicada admitindo-se a atuação conjunta de dois ou mais genes. Surgiu, então, o conceito de **interação gênica** para designar essas situações.

Um exemplo de interação gênica ocorre na cor da pelagem de cães labradores – preta, marrom ou dourada –, resultante da interação de dois genes com segregação independente, cada um com dois alelos (***Bb*** e ***Ee***).

O alelo dominante ***B*** determina a produção de pigmento preto, enquanto o alelo recessivo ***b*** determina a produção de pigmento marrom.

O segundo gene controla a deposição de pigmento nos pelos. O alelo dominante ***E*** condiciona a deposição normal de pigmentos, enquanto o alelo recessivo ***e*** não condiciona essa deposição. Cães homozigóticos recessivos para esse gene não depositam pigmentos nos pelos; sua pelagem é dourada, sejam quais forem os alelos do outro par (***B_ee*** ou ***bbee***).

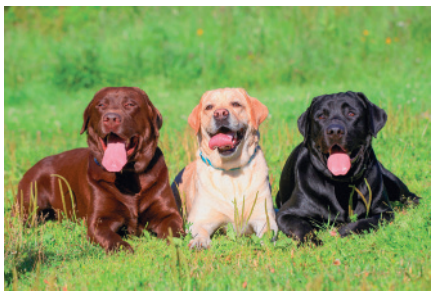
Basta um alelo funcional do gene para a deposição de pigmento para que os animais tenham pelagem preta (genótipo ***B_E_***) ou marrom (genótipo ***bbE_***). Observe a seguir cruzamentos entre duas linhagens de labradores que diferem quanto à cor da pelagem (Fig. 4).

Veja comentários sobre essa atividade no Suplemento do Professor.

Atividade em grupo

Cães labradores são animais de estimação bastante comuns. Seu desafio nesta proposta de atividade é encontrar donos de labradores de diferentes cores de pelagem e entrevistá-los, tentando descobrir o que eles sabem sobre a ancestralidade (ou *pedigree*) do cão. Forme um grupo com dois ou três colegas para a realização da atividade. Peçam permissão ao dono do animal para fotografar ou gravar um vídeo curto. Vocês podem apresentar seus resultados em classe e também postá-los na internet (sugestões de uso de mídias digitais estão disponíveis no início do livro). Lembre-se de agregar o maior número possível de dados sobre o cão (nome e idade, por exemplo) e também o nome de seu dono.

(A)



ROSA JAY/SHUTTERSTOCK

(B)

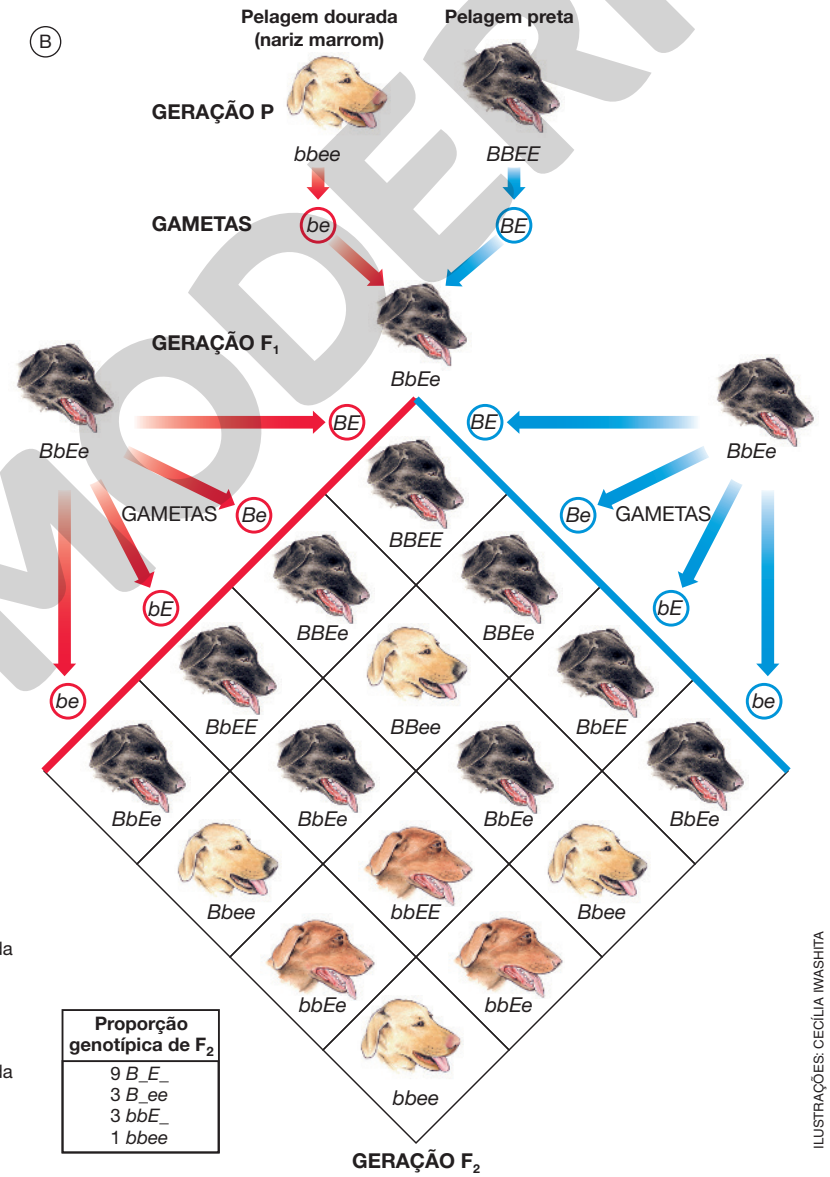


Figura 4 (A) Da esquerda para a direita, fenótipos marrom, dourado e preto dos cães labradores. (B) Representação esquemática do cruzamento entre cães labradores de pelagem dourada e nariz marrom com os de pelagem preta (geração P) e do cruzamento entre indivíduos da geração F_1. Acompanhe a explicação no texto. (Representação fora de proporção.)

Fonte: adaptada de GRIFFITHS, A. J. F. *et al. Introdução à Genética*. 11. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2016.

Proporção fenotípica de F_2

Pelagem preta
$\frac{9}{16}$

Pelagem dourada (nariz preto)
$\frac{3}{16}$

Pelagem marrom
$\frac{3}{16}$

Pelagem dourada (nariz marrom)
$\frac{1}{16}$

Proporção genotípica de F_2
9 *B_E_*
3 *B_ee*
3 *bbE_*
1 *bbee*

ILUSTRAÇÕES: CECÍLIA IWASHITA

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

MODERNA

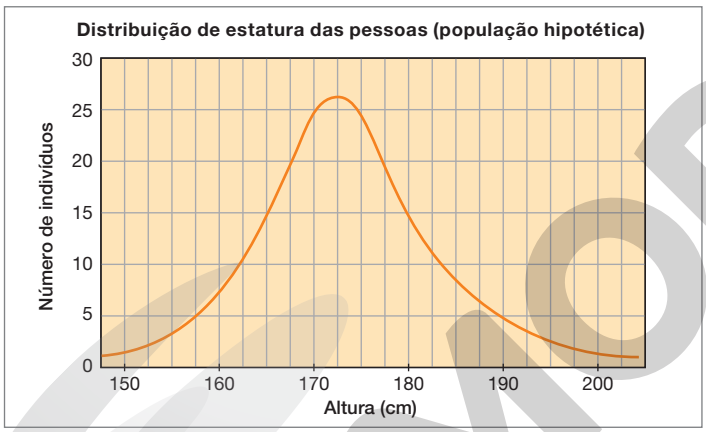
O cruzamento entre cães pretos de genótipo ***BBEE*** e cães dourados de genótipo ***bbee*** produz, em F_1, apenas cães pretos (***BbEe***). O cruzamento dos cães pretos duplo-heterozigóticos de F_1 produz a seguinte proporção na descendência: 9 pretos (***B_E_***) : 3 marrons (***bbE_***): 4 dourados (***_ _ee***).

Cães dourados descendentes do cruzamento entre labradores duplo-heterozigóticos podem ter genótipos ***BBee*** $\left(\frac{1}{4}\right)$, ***Bbee*** $\left(\frac{2}{4}\right)$ ou ***bbee*** $\left(\frac{1}{4}\right)$. Os portadores do alelo ***B*** produzem pigmento preto, que não se deposita no pelo devido ao genótipo ***ee***. Assim, a pelagem dos cães com genótipo ***B_ee*** é dourada, mas os lábios e o nariz desses cães são pretos, pois o alelo ***e*** não interfere na pigmentação desses locais. Cães homozigóticos ***bb*** produzem pigmento marrom em vez de preto, mas esse também não se deposita nos pelos por causa do genótipo ***ee***. A pelagem desses cães é dourada, mas eles têm os lábios e o nariz marrons. Portanto, dos $\frac{4}{16}$ descendentes com pelagem dourada de F_2, $\frac{3}{16}$ têm lábios e nariz pretos e $\frac{1}{16}$ tem lábios e nariz marrons.

Herança quantitativa, ou herança poligênica

Muitas características dos seres vivos, entre elas altura, massa corporal, cor etc., resultam do efeito cumulativo de vários genes, cada um contribuindo com uma parcela no fenótipo. É isso o que caracteriza um padrão de herança denominado **herança quantitativa**, ou herança poligênica.

Geralmente nesse tipo de herança o ambiente exerce forte influência na manifestação dos fenótipos. Por exemplo, a estatura na espécie humana segue o modelo da herança quantitativa; há pessoas muito altas e outras muito baixas, e a maioria tem estatura intermediária. Pessoas que acumulam maior número de alelos para maior estatura são mais altas. Essa característica, porém, é bastante influenciada pelo ambiente; pessoas com mesmo genótipo podem ter alturas diferentes em consequência, por exemplo, da alimentação na infância, do grau de atividade física ou de doenças desenvolvidas durante a fase de crescimento. O gráfico de distribuição da estatura das pessoas de uma população é uma curva em forma de sino, conhecida como curva de distribuição normal (Fig. 5).



ADILSON SECCO

Figura 5 Características condicionadas por vários genes com efeito cumulativo, neste caso a estatura humana, têm sua expressão geralmente influenciada por fatores ambientais e apresentam as diferentes alturas de acordo com uma curva normal, com formato de sino. A estatura média estaria situada no centro da curva, onde se concentra o maior número de pessoas da população. (Dados hipotéticos.)

Dialogando com o texto

Veja comentários sobre essa atividade no Suplemento do Professor.

Faça um levantamento na internet sobre a estatura média das populações de alguns países, incluindo o Brasil, onde a estatura média cresceu, em média, cerca de 8,6 cm nos últimos cem anos. Organize com seus colegas quais nações cada um irá pesquisar, para que diferentes países façam parte do levantamento da turma. Selecione diversos *sites* sobre o assunto e confronte os dados para dar credibilidade à sua pesquisa. Por fim, elabore um texto de no máximo uma página sobre o assunto, de preferência ilustrando-o com algum tipo de gráfico. Compartilhe o texto produzido com colegas e leia as informações dos países pesquisados por eles. Uma das questões a ser discutida é: a que fatores poderia ser atribuído um eventual aumento da estatura média das populações humanas?

Aplicando conhecimentos

Registre as respostas em seu caderno.

1. 1. d
Uma célula duplo-heterozigótica quanto a dois pares de alelos, *Aa* e *Bb*, localizados em diferentes pares de cromossomos homólogos, formará por meiose quatro células, sendo

a) uma portadora de *A*, outra de *a*, outra de *B* e outra de *b*.

b) uma portadora de *AB*, outra de *Ab*, outra de *aB* e outra de *ab*.

c) uma portadora de *AA*, outra de *Ab*, outra de *aB* e outra de *aa*.

d) duas portadoras de *AB* e duas portadoras de *ab*, ou duas portadoras de *Ab* e duas portadoras de *aB*.

2. 2. b
Um indivíduo multicelular duplo-heterozigótico quanto a dois pares de alelos, *Aa* e *Bb*, localizados em diferentes pares de cromossomos homólogos, forma gametas na proporção de

a) 1 *A* : 1 *a* : 1 *B* : 1 *b*.

b) 1 *AB* : 1 *Ab* : 1 *aB* : 1 *ab*.

c) 1 *AA* : 1 *Ab* : 1 *aB* : 1 *aa*.

d) 1 *AB* : 1 *ab* ou 1 *Ab* : 1 *aB*.

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

MODERNA

3. Genes localizados no mesmo cromossomo

Até agora estudamos apenas genes localizados em pares diferentes de cromossomos homólogos, que se separam de maneira independente na meiose. Entretanto, isso não ocorre com genes localizados no mesmo cromossomo, uma vez que eles estão fisicamente ligados, fazendo parte do mesmo filamento cromossômico. Na linguagem introduzida pelo grupo do geneticista estadunidense Thomas Morgan (1866--1945), que estudava a herança em drosófilas, genes localizados no mesmo cromossomo estão em *linkage*, termo em inglês que significa "ligação".

Vejamos um exemplo estudado por Morgan de dois genes situados no mesmo cromossomo da mosca *Drosophila melanogaster*, portanto, em ligação: um controla a cor do corpo e o outro, a forma das asas.

A cor do corpo das drosófilas encontradas na natureza, característica denominada selvagem, é cinzento--amarelada. Hoje sabemos que a cor do corpo de moscas selvagens é condicionada pelo alelo dominante ***P***, localizado no cromossomo II. Uma mutação ocorrida em laboratório originou o alelo recessivo ***p*** do gene, que condiciona corpo preto (*black*, em inglês).

Quanto à forma das asas, drosófilas selvagens têm asas alongadas, condicionadas pelo alelo dominante ***V*** de um gene que hoje sabemos também estar localizado no cromossomo II. Uma mutação surgida em laboratório originou o alelo recessivo ***v***, que condiciona asas de tamanho reduzido, denominadas **asas vestigiais**.

Quando fêmeas selvagens puras de fenótipo corpo cinzento-amarelado e asas normais e genótipo ***PPVV*** são cruzadas com machos de corpo preto e asas vestigiais – ***ppvv*** –, a geração F_1 é constituída por machos e fêmeas com fenótipo selvagem (corpo cinzento-amarelado e asas normais). Quando fêmeas de F_1 são submetidas a cruzamentos-teste (com machos de corpo preto e asas vestigiais), produzem quatro tipos de descendentes, nas seguintes porcentagens:

- 41,5% de corpo cinzento-amarelado e asas alongadas;
- 41,5% de corpo preto e asas vestigiais;
- 8,5% de corpo cinzento-amarelado e asas vestigiais;
- 8,5% de corpo preto e asas alongadas.

Esses resultados mostram que as fêmeas duplo-heterozigóticas produzem quatro tipos de gametas, nas seguintes porcentagens: 41,5% ***PV*** : 41,5% ***pv*** : 8,5% ***Pv*** : 8,5% ***pV***. Os machos, sendo homozigóticos recessivos, produzem apenas um tipo de gameta: ***pv*** (Fig. 6).

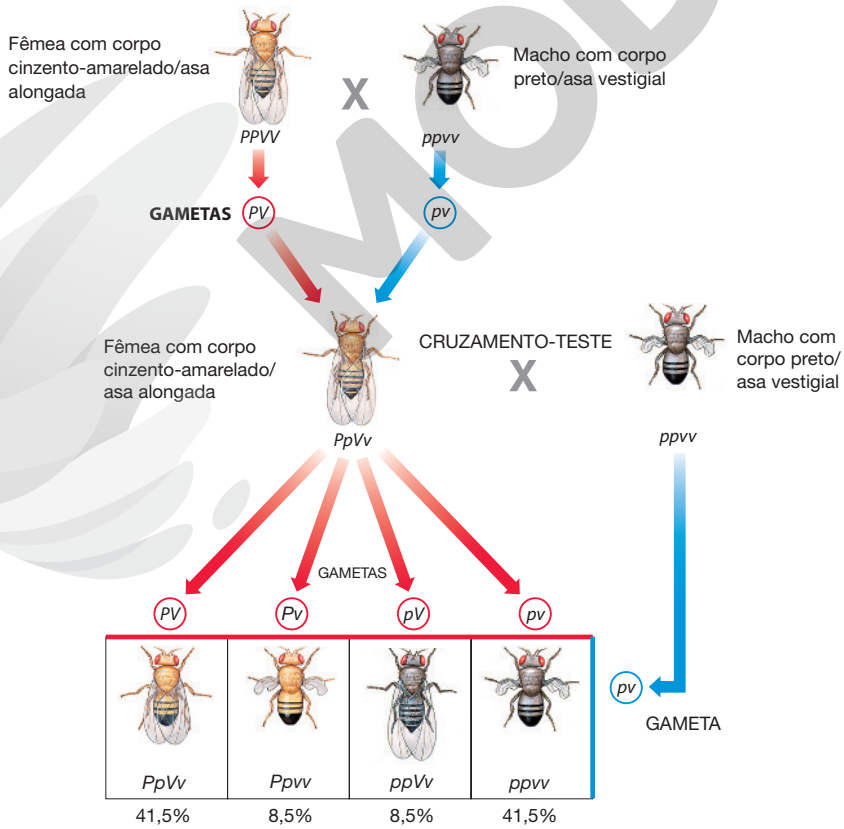


Figura 6 Representação esquemática de um cruzamento que mostra a segregação não independente dos genes para cor do corpo e forma das asas em drosófilas. O cruzamento--teste de fêmeas duplo-heterozigóticas com machos duplo--recessivos mostra que elas formam quatro tipos de gametas, mas em proporções diferentes daquelas esperadas se houvesse segregação independente dos genes analisados. (Representação fora de proporção; cores meramente ilustrativas.)

Fonte: adaptada de GRIFFITHS, A. J. F. *et al. Introdução à Genética*. 11. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2016.

ILUSTRAÇÕES: CECÍLIA IWASHITA

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

MODERNA

Note que, embora as fêmeas de F_1 tenham produzido quatro tipos de gametas, estes não se encontram em mesma proporção (1 : 1 : 1 : 1, ou 25% de cada tipo), como seria esperado pela segunda lei de Mendel. Portanto, não ocorreu segregação independente entre os dois genes: gametas portadores dos alelos ***PV*** e dos alelos ***pv*** ocorrem em proporção muito maior do que os gametas portadores dos alelos ***Pv*** e ***pV***.

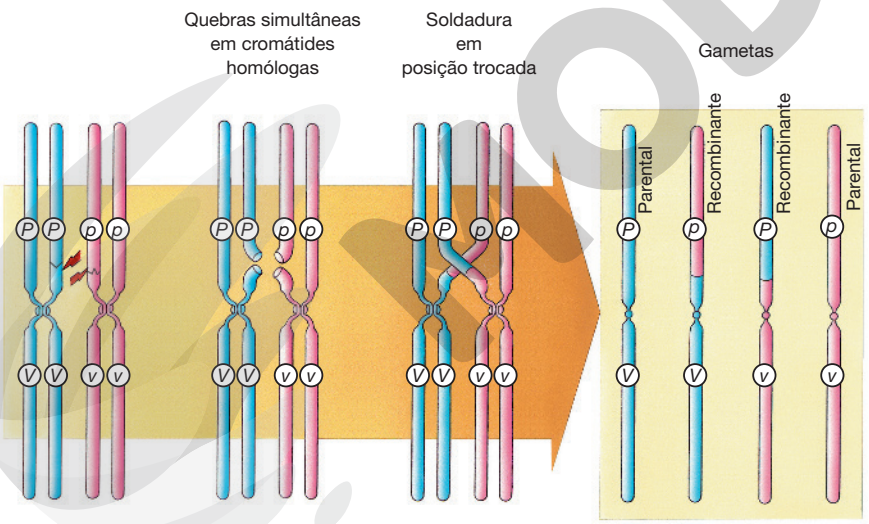
Os resultados mostraram que os genes para cor do corpo e forma da asa não se segregam de maneira independente, o que levou os cientistas a concluírem que eles deveriam se localizar no mesmo cromossomo, ou seja, estão em *linkage*. Entretanto, a questão que intrigava os geneticistas do grupo de Morgan era: se esses genes estão fisicamente ligados no cromossomo, por que essa ligação não é completa? Como explicar certa porcentagem de recombinação entre alelos de genes que supostamente situam-se no mesmo filamento cromossômico?

A permutação como causa da quebra da ligação gênica

Suponhamos que uma fêmea duplo-heterozigótica apresente os alelos ***P*** e ***V***, recebidos da mãe, em um dos homólogos, enquanto o outro apresente os alelos ***p*** e ***v***, recebidos do pai.

Se a ligação entre esses genes fosse completa, essas fêmeas formariam apenas dois tipos de gametas, metade $\left(\frac{1}{2}, \text{ ou } 50\%\right)$ com o cromossomo materno, portador dos alelos dominantes ***P*** e ***V***, e metade $\left(\frac{1}{2}, \text{ ou } 50\%\right)$ com o cromossomo paterno, portador dos alelos recessivos ***p*** e ***v***. Os resultados, porém, mostram que também se formaram gametas "recombinantes", ou seja, que combinam alelos de origem materna e de origem paterna: 8,5% deles têm os alelos ***P*** e ***v*** e 8,5% têm os alelos ***p*** e ***V***.

Morgan propôs, na década de 1910, a hipótese de que a ligação entre genes localizados no mesmo cromossomo é rompida se, durante a prófase I da meiose, ocorrerem quebras e trocas de pedaços entre cromátides de cromossomos homólogos que portam esses genes. Esse fenômeno, conhecido como permutação cromossômica (do termo em inglês *crossing-over*), já havia sido descrito em 1909 pelo citologista belga Frans Janssens (1865-1924), e pela hipótese de Morgan seria responsável pela formação de certa porcentagem de gametas recombinantes, resultantes da troca de pedaços ocorrida entre os cromossomos herdados dos pais (Fig. 7).



ILUSTRAÇÕES: CECÍLIA IWASHITA

Figura 7 Representação esquemática da permutação cromossômica que mostra a formação de dois cromossomos com combinações gênicas parentais e de dois cromossomos recombinantes. (Representação fora de proporção; cores meramente ilustrativas.)

Fonte: adaptada de REECE, J. B. *et al. Biologia de Campbell*. 10. ed. Porto Alegre: Artmed, 2015.

Aplicando conhecimentos

Registre as respostas em seu caderno.

3. Um indivíduo duplo-heterozigótico *AaBb* formou 4 tipos de gametas nas seguintes porcentagens: 40% *AB* : 40% *ab* : 10% *Ab* : 10% *aB*. Esses números indicam que se trata de um caso de

3. c

a) herança quantitativa.
b) interação gênica.
c) ligação gênica.
d) segregação independente.

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

MODERNA

4. Genes localizados em cromossomos sexuais

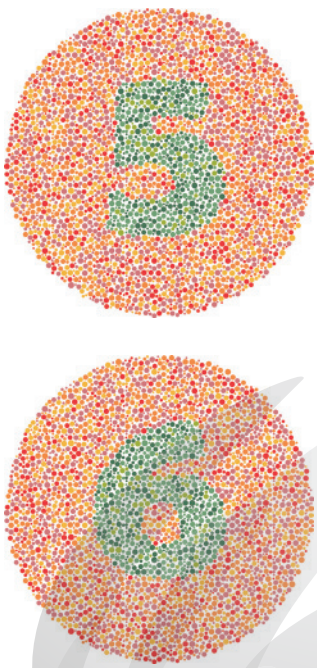
Em muitas espécies de animais e em algumas plantas, a diferença entre machos e fêmeas é definida por um par de **cromossomos sexuais** denominados X e Y. Nesses casos, as fêmeas têm um par de **cromossomos X**, constituído por homólogos equivalentes em forma e tamanho. Os machos, por sua vez, têm um cromossomo X semelhante ao da fêmea e outro tipicamente masculino, sem correspondente no sexo feminino, o **cromossomo Y**.

Os cromossomos sexuais X e Y praticamente não apresentam homologia. Enquanto o cromossomo X tem grande quantidade de genes envolvidos na determinação de diversas características, o cromossomo Y apresenta poucos genes. Isso explica por que indivíduos sem cromossomos X não sobrevivem, enquanto a ausência de cromossomo Y é compatível com a vida.

Suponhamos um gene hipotético com dois alelos, ***A*** e ***a***, localizados no cromossomo X. Fêmeas podem apresentar três tipos de genótipo quanto a esse gene: X^AX^A, X^AX^a e X^aX^a. Como os machos têm apenas um cromossomo X, eles apresentam um único alelo do gene e seus genótipos podem ser X^AY ou X^aY.

Genes localizados no cromossomo X seguem a chamada **herança ligada ao cromossomo X**. Por sua vez, genes localizados nos autossomos seguem **herança autossômica**.

Na herança ligada ao X, descendentes do sexo masculino herdam necessariamente os genes do cromossomo X materno. Os do sexo feminino herdam metade dos genes ligados ao X da mãe e metade do pai. Por sua vez, o pai transmite genes localizados no cromossomo X apenas às filhas. Para entender melhor essas informações, vejamos exemplos de herança ligada ao cromossomo X na espécie humana.



STLEUNG/SHUTTERSTOCK

Figura 8 O teste de cores de Ishihara consiste em diagramas empregados para identificar o tipo mais comum de cegueira para cores (daltonismo). Pessoas de visão normal conseguem distinguir um número escrito dentro dos círculos, o que não ocorre com pessoas daltônicas.

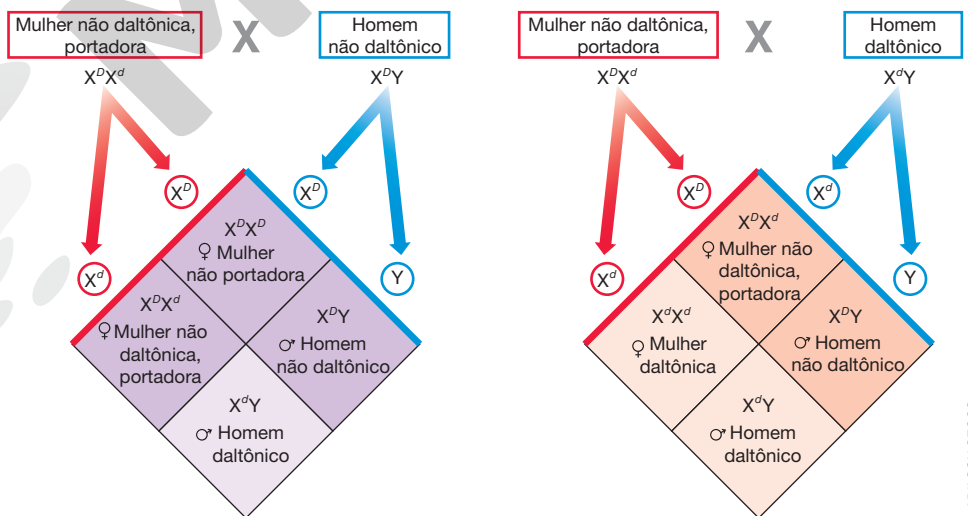
Herança de genes ligados ao cromossomo X

Daltonismo, ou cegueira para cores

Cerca de 5% a 8% dos homens e 0,04% das mulheres apresentam um tipo de cegueira para cores conhecida como **daltonismo**. Pessoas daltônicas são incapazes de distinguir entre as cores vermelha e verde. O termo daltonismo originou-se do nome do físico e químico inglês John Dalton (1766-1844), que era portador dessa característica (Fig. 8).

O daltonismo é condicionado por um gene localizado no cromossomo X. Um homem portador do alelo recessivo desse gene (X^dY) ou uma mulher homozigótica recessiva (X^dX^d) são daltônicos; mulheres heterozigóticas (X^DX^d) têm visão normal. Mulheres filhas de pai não daltônico sempre terão visão normal, pois recebem um alelo normal do pai.

Se uma mulher for daltônica, ela transmitirá essa característica a todos os filhos homens, que recebem do pai um cromossomo Y. Uma mulher heterozigótica quanto ao daltonismo tem 50% de probabilidade de transmitir a um filho homem essa característica. Por sua vez, homens daltônicos transmitem para as filhas um cromossomo X portador do alelo alterado, X^d (Fig. 9).



ADILSON SECCO

Figura 9 Representação esquemática da herança do daltonismo em duas situações: à esquerda, homem não daltônico com mulher portadora do alelo mutante; à direita, homem daltônico com mulher portadora do alelo mutante.

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

MODERNA

Hemofilia

A **hemofilia A** é uma doença hereditária causada pela deficiência do fator VIII da coagulação do sangue. A pessoa hemofílica pode ter hemorragias abundantes mesmo em pequenos ferimentos ou contusões.

O gene responsável por essa característica localiza-se no cromossomo X e apresenta um alelo normal (X^H), que leva à produção de fator VIII funcional, e uma forma alterada do gene (alelo X^a), que não leva à produção de fator VIII funcional. Basta a presença de um alelo normal no genótipo para que a pessoa tenha coagulação normal do sangue. Atualmente, pessoas hemofílicas podem ser tratadas com injeções de fator VIII produzido por bactérias geneticamente modificadas.

A transmissão hereditária dessa doença segue o padrão típico de herança ligada ao cromossomo X. Mulheres de genótipo X^hX^h e homens de genótipo X^hY são hemofílicos; homens X^HY, mulheres X^HX^H e mulheres X^HX^h não apresentam hemofilia.

A hipótese da compensação de dose

No início do desenvolvimento embrionário das fêmeas de mamíferos ocorre inativação de um dos cromossomos X de cada célula somática; esse fenômeno não ocorre em células da linhagem germinativa. O cromossomo X inativo nas células somáticas torna-se extremamente condensado e assume o aspecto de um pequeno grânulo, denominado **cromatina sexual**, que pode ser visualizado em observações microscópicas de células em interfase.

A condensação de um dos cromossomos X das fêmeas de mamíferos é interpretada como uma estratégia para inativar metade dos genes do par homólogo X, de modo a igualar, ou "compensar", a quantidade de genes ativos em machos. Essa hipótese, conhecida como **compensação de dose**, foi proposta em 1961 pela pesquisadora inglesa Mary Lyon (Fig. 10).

A inativação do cromossomo X ocorre em determinada etapa do desenvolvimento embrionário e persiste daí em diante. Por exemplo, se em uma célula embrionária o cromossomo X de origem paterna tiver sido inativado, todas as descendentes dessa célula terão esse mesmo cromossomo inativo.

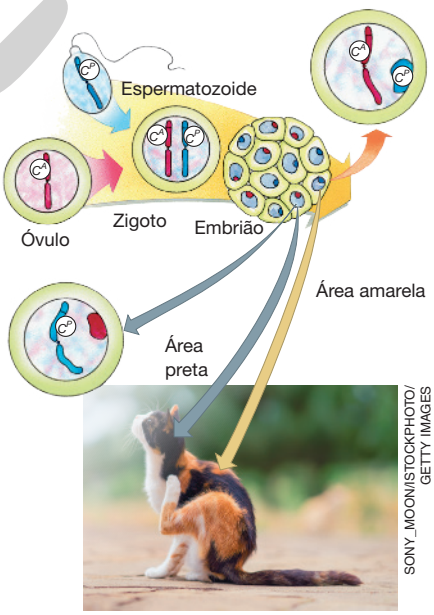
A inativação pode ocorrer tanto para o cromossomo X materno quanto para o cromossomo X paterno, com mesma probabilidade. Assim, o corpo de uma fêmea de mamífero é comparável a um mosaico celular quanto ao cromossomo X: em certas regiões, as células têm ativo o cromossomo X de origem materna e, em outras, o cromossomo X de origem paterna.

Em razão da inativação aleatória do cromossomo X, as fêmeas heterozigóticas expressam um dos alelos em certas partes do corpo e o outro alelo nas demais regiões. Isso explica, por exemplo, por que algumas mulheres heterozigóticas para o gene do daltonismo (X^DX^d) têm visão normal em um dos olhos e são daltônicas no outro. Nesse caso, o cromossomo X ativo nas células de um dos olhos é portador do alelo que condiciona visão normal (X^D); no outro olho, o cromossomo X ativo é o que apresenta o alelo para daltonismo (X^d), e a mulher é daltônica para esse olho.

A inativação aleatória do cromossomo X das fêmeas de mamíferos pode ser notada em certas linhagens de gatos domésticos, em que a pelagem preta e a pelagem amarela são condicionadas por alelos de um gene localizado no cromossomo X. Como os machos apresentam apenas um cromossomo X, eles nunca têm essas duas cores simultaneamente, pois apresentam apenas um ou outro alelo. Fêmeas heterozigóticas geralmente são malhadas, com partes do corpo pretas e partes amarelas. A explicação para esse fato é que, nas regiões pretas, o cromossomo X inativo é o portador do alelo para pelagem amarela, enquanto nas regiões amarelas o cromossomo X inativo é o portador do alelo para pelagem preta (Fig. 11).

JANE GITSCHIER/CC BY 2.5/WIKIMEDIA COMMUNS

Figura 10 A geneticista inglesa Mary Lyon (1925-2014) propôs, na década de 1960, a hipótese de que ocorria inativação de um dos dois cromossomos X presentes em células de fêmeas, de modo a compensar a dose genética única presente em machos XY.



ILUSTRAÇÕES: JURANDIR RIBEIRO

SONY_MOON/ISTOCKPHOTO/GETTY IMAGES

Figura 11 Em gatas malhadas de preto e amarelo, o cromossomo X no qual se localiza o alelo para cor preta (X^{CP}) está inativo nas regiões amarelas, enquanto o cromossomo X no qual se localiza o alelo para cor amarela (X^{CA}) está inativo nas regiões pretas. A cor branca é efeito de outro gene, que condiciona a variegação da pelagem. (Representação fora de proporção; cores meramente ilustrativas.)

Fonte: adaptada de GRIFFITHS, A. J. F. *et al. Introdução à Genética*. 11. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2016.

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

MODELO

Atividades finais

Registre as respostas em seu caderno.

Veja respostas e comentários no Suplemento do Professor.

1. Em uma espécie de animal, fêmeas de coloração preta provenientes de uma linhagem pura foram cruzadas com machos de coloração cinza também puros, produzindo, em F_1, machos e fêmeas de coloração preta. Quando os indivíduos F_1 foram cruzados entre si, todas as fêmeas F_2 obtidas apresentaram coloração preta, enquanto os machos eram de dois tipos: 50% pretos e 50% cinza. Explique qual dos sexos forma dois tipos de gameta com relação ao par cromossômico sexual (sexo heterogamético) e qual é o sexo homogamético.

2. Na espécie humana, qual é a probabilidade de uma criança do sexo masculino apresentar, simultaneamente, um cromossomo X originário da avó materna e um cromossomo Y originário do avô paterno? Desenhe um heredograma para facilitar seu raciocínio.

3. (UEM-PR) Do cruzamento entre parentais duplo heterozigotos para dois genes, encontrou-se a proporção fenotípica de 9 : 3 : 3 : 1. Com base nessa proporção fenotípica, escolha o que for correto. [A resposta corresponde à soma dos números das alternativas corretas.]

3. Soma = 9

(01) Se duas características fenotípicas forem detectadas, simultaneamente, na proporção citada, é possível afirmar que se trata de um caso de segregação independente.

(02) Os parentais têm genótipo $AAbb \times aaBB$.

(04) A proporção genotípica dos gametas dos parentais formados por mitose será diferente nos casos de segregação independente e de interação gênica.

(08) Se somente uma característica fenotípica for detectada, na proporção citada, podemos afirmar que se trata de um caso de interação gênica.

(16) Se três características fenotípicas forem detectadas, simultaneamente, na proporção citada, é possível afirmar que se trata de um caso de herança quantitativa ou poligênica.

4. (Enem)

4. d

A distrofia muscular Duchenne (DMD) é uma doença causada por uma mutação em um gene localizado no cromossomo X. Pesquisadores estudaram uma família na qual gêmeas monozigóticas eram portadoras de um alelo mutante recessivo para esse gene (heterozigóticas). O interessante é que uma das gêmeas apresentava o fenótipo relacionado ao alelo mutante, isto é, DMD, enquanto a sua irmã apresentava fenótipo normal.

RICHARDS, C. S. *et al. The American Journal of Human Genetics*, n. 4, 1990. Adaptado.

A diferença na manifestação da DMD entre as gêmeas pode ser explicada pela

a) dominância incompleta do alelo mutante em relação ao alelo normal.

b) falha na separação dos cromossomos X no momento da separação dos dois embriões.

c) recombinação cromossômica em uma divisão celular embrionária anterior à separação dos dois embriões.

d) inativação aleatória de um dos cromossomos X em fase posterior à divisão que resulta nos dois embriões.

e) origem paterna do cromossomo portador do alelo mutante em uma das gêmeas e origem materna na outra.

5. Suponha uma espécie com três pares de cromossomos ($2n = 6$). Identifique os pares de cromossomos por números 1, 2 e 3, e os membros de cada par de homólogos por sua origem, materna (M) ou paterna (P). Assim, pode-se representar a configuração cromossômica de um indivíduo como $\frac{1M}{1P}$, $\frac{2M}{2P}$ e $\frac{3M}{3P}$. Nesse caso, quais seriam as combinações possíveis entre cromossomos maternos e paternos em um gameta?

6. Considere que na espécie humana há 23 cromossomos de origem materna e 23 de origem paterna e que na formação dos gametas pode haver livre combinação desses cromossomos, de tal maneira que um gameta pode conter apenas cromossomos de origem paterna, ou apenas de origem materna, ou qualquer uma das combinações possíveis entre esses tipos cromossômicos. Considerando a fórmula 2^n, qual é a probabilidade de um gameta humano conter apenas cromossomos de origem materna? E de origem paterna?

MODERNA

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

CAPÍTULO 3

O CÓDIGO GENÉTICO E A SÍNTESE DE PROTEÍNAS

ENOT-POLOSKUN/GETTY IMAGES

A molécula de DNA, que há algumas décadas era conhecida apenas pelos estudiosos da ciência, é hoje um ícone da modernidade. O sistema de codificação genética, com sua simplicidade e sofisticação, é o mesmo em todos os seres vivos, o que nos leva a pensar que ele se desenvolveu nos primórdios da vida na Terra.

Os conhecimentos sobre a natureza do DNA e da codificação genética, aprimorados nas décadas de 1950 e 1960, permitiram o desenvolvimento de tecnologias de manipulação dos genes. A aplicação de conhecimentos genéticos pode auxiliar a humanidade a enfrentar muitos desafios futuros, embora existam aspectos morais, religiosos e culturais a discutir.

Técnicas de manipulação dos genes, que constituem a Genética Molecular, têm sido aplicadas em diversas áreas. Além da aplicação em criminalística, antropólogos têm utilizado o DNA para estudar as relações entre populações de diversas partes do planeta e rastrear a história da espécie humana; historiadores têm analisado o DNA de restos mortais humanos encontrados em escavações arqueológicas para estabelecer relações de parentesco e compreender melhor a organização social de civilizações antigas etc.

De acordo com o pesquisador estadunidense David Baltimore (1938-), ganhador do prêmio Nobel em Fisiologia e Medicina de 1975:

> "com a conclusão do sequenciamento do genoma humano, todos precisamos adquirir noções suficientes de Ciência para poder compreender os avanços do conhecimento e aplicá-los conscientemente".

Em 1956, em seu livro *Ciência e valores humanos*, o filósofo, cientista e educador polonês Jacob Bronowski (1908-1974) pondera que a educação científica será cada vez mais necessária para uma participação social consciente e responsável. Segundo ele:

> "[...] devemos temer sempre que ouvimos um homem de sensibilidade considerar a Ciência um assunto que pertence a outra pessoa. Hoje em dia, o mundo é feito, é potencializado pela Ciência, e qualquer pessoa que abdique de seu interesse pela ciência caminha de olhos abertos para a escravatura".

O termo "gene" foi criado em 1909 pelo pesquisador dinamarquês Wilhelm Ludvig Johannsen (1857-1927) e logo adotado pela comunidade científica em substituição ao termo "fator hereditário", introduzido por Mendel em meados do século XIX. O conceito de gene vem sendo atualizado de acordo com os conhecimentos genéticos de cada época. Curiosamente, a quantidade crescente de informações sobre a estrutura e o funcionamento do material genético, em razão do desenvolvimento da Genética Molecular, em vez de facilitar, tem dificultado adequar o conceito de gene aos novos conhecimentos. Há cientistas que chegam a considerar o conceito de gene ultrapassado e sugerem que se deixe de usá-lo.

Veja comentários sobre essa atividade no Suplemento do Professor.

Dialogando com o texto

Faça uma pesquisa em *sites* da internet sobre notícias que envolvem o estudo do DNA em pesquisas relacionadas à evolução humana e à história das civilizações antigas. Compartilhe os resultados das pesquisas com os colegas e o professor.

De olho na BNCC:

- EM13CNT202
- EM13CNT302
- EM13CNT303
- EM13CNT304

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

EM MODERNA

Uma ironia em meio a toda essa discussão é que nunca, na história da Genética, o termo "gene" teve tanto destaque como nos dias atuais. Deixar de usá-lo poderia trazer mais problemas que soluções, principalmente para os não especialistas. No âmbito deste livro, uma definição que permite incorporar dados moleculares sem abalar a visão clássica é: "gene é um segmento de DNA com informação para a síntese de um polipeptídio ou de um RNA". É importante que você tenha essa definição sempre em mente ao longo deste capítulo, no qual apresentamos o código em que as instruções hereditárias são inscritas no DNA, denominado código genético, e a maneira como os genes se perpetuam e se manifestam.

1. Cromossomos em ação: duplicação e transcrição gênicas

A estrutura molecular do DNA

O constituinte fundamental do cromossomo é o **ácido desoxirribonucleico**, o **DNA**, ou ADN, uma molécula formada por duas cadeias moleculares que se enrolam helicoidalmente no espaço, constituindo uma dupla-hélice. Cada uma das cadeias helicoidais do DNA é composta de milhões de unidades moleculares denominadas nucleotídios, unidos em sequência.

Cada nucleotídio do DNA, por sua vez, é constituído por três componentes moleculares quimicamente unidos: uma **base nitrogenada**, o glicídio **desoxirribose** e um **fosfato**, íon negativo derivado do ácido fosfórico. Por conter desoxirribose, os nucleotídios do DNA são denominados **desoxirribonucleotídios**. As bases nitrogenadas que compõem os desoxirribonucleotídios podem ser de quatro tipos: **adenina** (A), **guanina** (G), **citosina** (C) e **timina** (T).

No DNA os nucleotídeos estão unidos em sequência por meio de ligações covalentes, que se estabelecem entre o grupo fosfato de um nucleotídio e a desoxirribose de outro. A sequência de nucleotídios quimicamente unidos constitui uma **cadeia polinucleotídica**. No DNA há duas cadeias polinucleotídicas dispostas helicoidalmente no espaço, que se mantêm paralelas graças a ligações de hidrogênio. Estas são ligações relativamente fracas que se estabelecem entre as bases nitrogenadas das duas cadeias.

As ligações de hidrogênio entre as cadeias de DNA sempre ocorrem entre pares de bases específicos: a base adenina liga-se apenas à timina (A ⇔ T), enquanto a citosina se liga apenas à guanina (C ⇔ G). Consequentemente, as duas cadeias da dupla-hélice do DNA são sempre complementares: se, em um local de uma cadeia, houver um desoxirribonucleotídio com adenina, na posição correspondente da cadeia complementar haverá um desoxirribonucleotídio com timina e vice-versa. Se, em uma das cadeias, houver um desoxirribonucleotídio com guanina, na outra cadeia haverá um com citosina e vice-versa. Conhecendo esse critério de emparelhamento, é fácil deduzir que, se soubermos a sequência de bases em uma das cadeias, saberemos também a sequência na cadeia complementar. Por exemplo, se a sequência de bases em uma das cadeias, do DNA for ATTGCATGCGCATTACG, a região correspondente da outra cadeia apresentará a sequência complementar TAACGTACGCGTAATGC (Fig. 1).

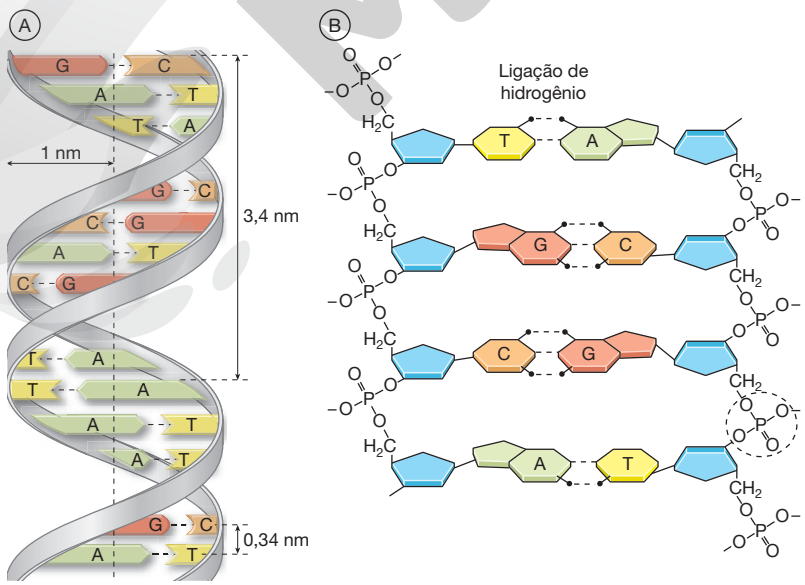


Figura 1 (A) Representação esquemática da estrutura espacial do DNA, formado por duas cadeias emparelhadas e em disposição helicoidal, constituindo uma dupla-hélice. (B) Representação de um segmento de DNA mostrando como as duas cadeias se emparelham por meio das ligações de hidrogênio entre as bases nitrogenadas; o fosfato está destacado por um círculo pontilhado; a desoxirribose está representada em azul; as quatro bases nitrogenadas estão representadas por cores diferentes. (Representação fora de proporção; cores meramente ilustrativas.)

Fonte: adaptada de REECE, J. B. *et al. Biologia de Campbell*. 10. ed. Porto Alegre: Artmed, 2015.

ILUSTRAÇÕES: ADILSON SECCO

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

A duplicação semiconservativa do DNA

O modelo para a estrutura da molécula de DNA foi proposto originalmente em 1953 pelos pesquisadores James Watson (1928-) e Francis Crick (1916-2004). O modelo foi bem-aceito porque é coerente com as propriedades físicas e químicas do DNA e explica uma característica fundamental do material genético: a capacidade de se duplicar.

De acordo com o modelo de Watson e Crick, no processo da duplicação, as duas cadeias de uma molécula de DNA se separam e cada uma delas orienta a formação de uma cadeia complementar. À medida que as cadeias de DNA se afastam, uma enzima, a **polimerase do DNA**, orienta o encaixe de desoxirribonucleotídios livres às cadeias originais, sempre respeitando a regra de emparelhamento A ⇔ T e C ⇔ G. Os desoxirribonucleotídios, uma vez corretamente posicionados, unem-se entre si por meio de ligações covalentes, originando uma cadeia polinucleotídica perfeitamente complementar à que serviu de molde. Ao final do processo de duplicação, portanto, surgem duas novas moléculas de DNA, idênticas, cada uma delas constituída por uma cadeia proveniente da molécula original e por uma cadeia nova, recém-sintetizada. Por isso, a duplicação do DNA é chamada **semiconservativa**, uma vez que uma cadeia, original da molécula-mãe, conserva-se na molécula-filha (Fig. 2).

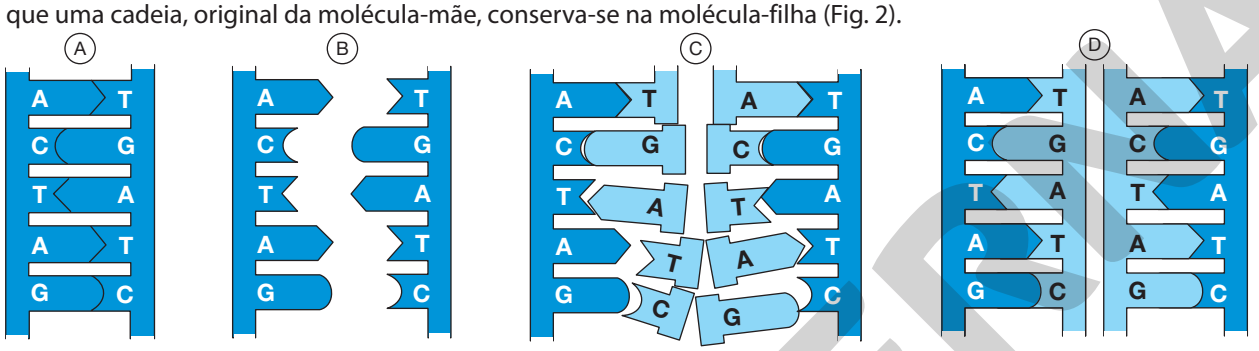


ILUSTRAÇÃO: ADILSON SECCO

Figura 2 Representação esquemática da duplicação semiconservativa do DNA. (A) A molécula de DNA é constituída por duas cadeias polinucleotídicas unidas por ligações de hidrogênio entre bases nitrogenadas complementares. (B) A primeira etapa do processo de duplicação do DNA é o rompimento das ligações de hidrogênio e a separação das duas cadeias. (C) Cada cadeia antiga serve de molde para a síntese de uma cadeia nova, determinando a ordem em que os nucleotídios livres devem se encaixar. (D) Os nucleotídios ordenados sobre a cadeia-molde unem-se entre si por meio de ligações covalentes, formando uma nova cadeia complementar à antiga. (Representação fora de proporção; cores meramente ilustrativas.)

Fonte: adaptada de REECE, J. B. *et al. Biologia de Campbell*. 10. ed. Porto Alegre: Artmed, 2015.

A síntese de RNA: transcrição gênica

Nas células eucarióticas, a maior parte do DNA localiza-se dentro do núcleo, onde faz parte dos **cromossomos**. Entretanto, a produção de proteínas e a maior parte das atividades celulares ocorrem no citoplasma. Como o DNA cromossômico, que não sai do núcleo, é capaz de fazer suas instruções codificadas atuarem no citoplasma? A resposta está nas moléculas de **ácido ribonucleico**, o **RNA**, ou ARN, que agem como mensageiras e assessoras do DNA.

O RNA, como o DNA, também é constituído por nucleotídios unidos em sequência por meio de ligações covalentes. Entretanto, nos nucleotídios de RNA o glicídio é a **ribose**, e não a desoxirribose. Assim, as unidades constituintes do RNA são **ribonucleotídios**. Três das quatro bases nitrogenadas presentes no RNA são idênticas às do DNA: adenina (**A**), guanina (**G**) e citosina (**C**). A quarta base do RNA é a **uracila (U)**, e não a timina. Outra diferença em relação ao DNA é que as moléculas de RNA, com poucas exceções, são constituídas por apenas uma cadeia polinucleotídica, e não por duas, como no DNA.

O DNA se expressa transcrevendo instruções, que correspondem a sequências específicas de bases nitrogenadas – os genes –, para moléculas de RNA. Estas moléculas saem do núcleo pelos poros da carioteca e atuam na síntese de proteínas.

A **transcrição do RNA** tem início com a separação das duas cadeias de certo trecho do DNA, processo catalisado pela enzima **polimerase do RNA**. À medida que separa as duas cadeias do DNA, a polimerase orienta o emparelhamento de ribonucleotídios livres em apenas uma delas, que serve de molde para a síntese do RNA; a outra cadeia do DNA não agrega nucleotídios e não participa da transcrição.

O emparelhamento dos ribonucleotídios livres à cadeia-molde de DNA obedece à seguinte regra: ribonucleotídios com uracila emparelham-se às adeninas da cadeia-molde de DNA (U ⇔ A); o emparelhamento dos outros nucleotídios é como no DNA: ribonucleotídios com adenina emparelham-se às timinas do DNA (A ⇔ T); ribonucleotídios com citosina emparelham-se às guaninas do DNA (C ⇔ G); e ribonucleotídios com guanina emparelham-se às citosinas do DNA (G ⇔ C).

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

EDITORIA

À medida que o emparelhamento ocorre, os ribonucleotídios unem-se por meio de ligações covalentes por ação da enzima polimerase do RNA, formando a nova cadeia de RNA. Ao final do processo, o RNA recém-formado liberta-se do DNA molde, cujas duas cadeias voltam a se emparelhar, reconstituindo a dupla-hélice. A sequência de bases nitrogenadas do RNA formado reflete fielmente a sequência de bases da cadeia de DNA que serviu de molde. Por exemplo, uma cadeia de DNA com sequência de bases TAGGCTAATGCTCGTA produz um RNA com sequência de bases AUCCGAUUACGAGCAU. Conhecendo o critério de emparelhamento, se soubermos a sequência de bases nitrogenadas de um RNA, deduziremos a sequência de bases no DNA que o codificou. A síntese de RNA a partir de DNA é chamada de **transcrição gênica** (Fig. 3).

ILUSTRAÇÃO: ADILSON SECCO

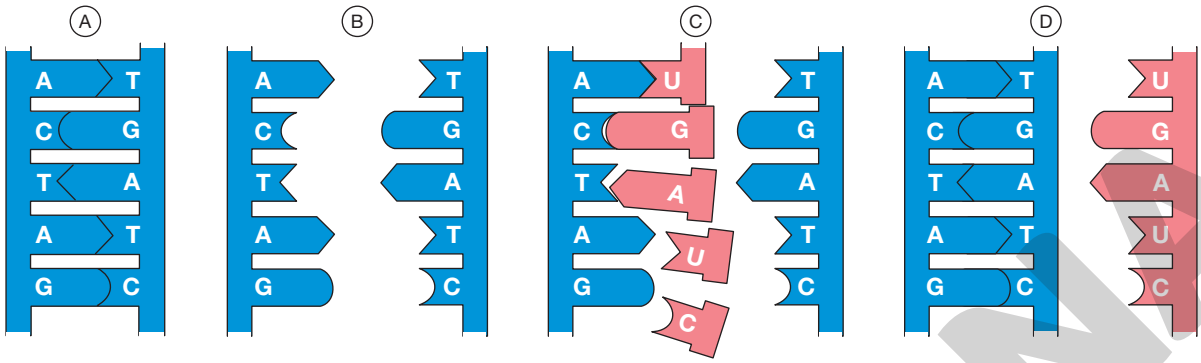


Figura 3 Representação esquemática da síntese de RNA a partir do DNA, processo denominado transcrição gênica. (A) A molécula de DNA é constituída por duas cadeias polinucleotídicas unidas por ligações de hidrogênio entre bases nitrogenadas complementares. (B) A primeira etapa no processo de síntese de RNA é a separação das duas cadeias de DNA. (C) Uma das cadeias do DNA serve de molde para a formação do RNA, determinando a ordem em que os ribonucleotídios devem se unir, enquanto a outra cadeia permanece inativa. (D) Os ribonucleotídios ordenados sobre a cadeia-molde unem-se por meio de ligações covalentes, formando a molécula de RNA, transcrita com base na sequência de bases contida na cadeia de DNA. Por fim, as cadeias do DNA separadas durante a transcrição voltam a se unir. (Representação fora de proporção; cores meramente ilustrativas.)

Fonte: adaptada de REECE, J. B. *et al. Biologia de Campbell*. 10. ed. Porto Alegre: Artmed, 2015.

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

2. Síntese de proteínas e tradução gênica

Tipos de RNA e suas funções

A função primordial das moléculas de RNA é participar da síntese de proteínas. Uma vez que são as proteínas que definem a estrutura e o funcionamento das células e, consequentemente, do organismo como um todo, o DNA controla indiretamente, por meio do RNA, praticamente todas as características de um ser vivo. Os principais participantes da síntese de proteínas são três tipos de RNA: o RNA mensageiro, o RNA transportador e o RNA ribossômico.

RNA mensageiro (RNAm)

O **RNA mensageiro** (RNAm) é o portador da instrução para a sequência de aminoácidos que caracteriza a proteína (cadeia polipeptídica). A instrução é a sequência de nucleotídios do RNAm, que define o número e a sequência de aminoácidos da cadeia polipeptídica que será produzida. Em última análise, a instrução para a proteína está originalmente codificada na sequência de nucleotídios do DNA que transcreveu a instrução para o RNA mensageiro.

O sistema de codificação genética dos seres vivos é denominado **código genético**. Nesse código, uma trinca de nucleotídios do RNA mensageiro, e, consequentemente do DNA, corresponde a um aminoácido no polipeptídio produzido. Cada trinca de bases nitrogenadas do RNAm é denominada **códon**.

A combinação dos quatro tipos de nucleotídios do RNA com as bases nitrogenadas A, G, C e U permite calcular que há 64 códons diferentes, número mais do que suficiente para codificar os vinte tipos de aminoácido que entram na composição das proteínas. Certos códons correspondem ao mesmo aminoácido, como se fossem sinônimos (Tab. 1). Há também três trincas que não correspondem a nenhum aminoácido. Sua função é pontuar a instrução genética, indicando o final da mensagem contida no RNA mensageiro que codifica um polipeptídio.

TABELA 1 CÓDIGO GENÉTICO

Primeira base do códon	Segunda base do códon: U		Segunda base do códon: C		Segunda base do códon: A		Segunda base do códon: G		Terceira base do códon
U	UUU	Phe	UCU	Ser	UAU	Tyr	UGU	Cys	U
	UUC	Phe	UCC	Ser	UAC	Tyr	UGC	Cys	C
	UUA	Leu	UCA	Ser	UAA	pare*	UGA	pare*	A
	UUG	Leu	UCG	Ser	UAG	pare*	UGG	Trp	G
C	CUU	Leu	CCU	Pro	CAU	His	CGU	Arg	U
	CUC	Leu	CCC	Pro	CAC	His	CGC	Arg	C
	CUA	Leu	CCA	Pro	CAA	Gln	CGA	Arg	A
	CUG	Leu	CCG	Pro	CAG	Gln	CGG	Arg	G
A	AUU	Ile	ACU	Thr	AAU	Asn	AGU	Ser	U
	AUC	Ile	ACC	Thr	AAC	Asn	AGC	Ser	C
	AUA	Ile	ACA	Thr	AAA	Lys	AGA	Arg	A
	AUG	Met	ACG	Thr	AAG	Lys	AGG	Arg	G
G	GUU	Val	GCU	Ala	GAU	Asp	GGU	Gly	U
	GUC	Val	GCC	Ala	GAC	Asp	GGC	Gly	C
	GUA	Val	GCA	Ala	GAA	Glu	GGA	Gly	A
	GUG	Val	GCG	Ala	GAG	Glu	GGG	Gly	G

Abreviatura dos aminoácidos:
Phe = fenilalanina; Leu = leucina; Ile = isoleucina; Met = metionina; Val = valina; Ser = serina; Pro = prolina; Thr = treonina; Ala = alanina; Tyr = tirosina; His = histidina; Gln = glutamina; Asn = aspargina; Lys = lisina; Asp = ácido aspártico; Glu = ácido glutâmico; Cys = cisteína; Trp = triptofano; Arg = arginina; Gly = glicina.
A palavra *pare* corresponde aos códons de parada.

Tabela 1 As letras da coluna **azul** correspondem às bases que ocupam a primeira posição na trinca de bases do códon. As letras da linha superior, **vermelha**, correspondem às bases que ocupam a segunda posição na trinca. As letras da coluna **verde** correspondem às bases que ocupam a terceira posição na trinca. Apenas dois aminoácidos – a metionina e o triptofano – são codificados por uma única trinca de bases; para todos os outros aminoácidos há códons sinônimos. Por isso, os geneticistas costumam dizer que o código genético é "degenerado". Três trincas sem sentido (UAA, UAG e UGA), chamadas códons "pare", sinalizam o fim da mensagem genética.

Fonte: adaptada de REECE, J. B. *et al. Biologia de Campbell*. 10. ed. Porto Alegre: Artmed, 2015.

Veja comentários sobre essa atividade no Suplemento do Professor.

O código genético é universal, ou seja, é o mesmo em praticamente todos os seres vivos do planeta. Essa é uma forte evidência do parentesco evolutivo entre as diversas espécies biológicas e indica que essa codificação genética se estabeleceu logo no início da diversificação da vida na Terra, estando presente no ancestral comum a todas as espécies hoje existentes. As exceções conhecidas à universalidade do código genético restringem-se ao significado de alguns códons em RNA produzidos em mitocôndrias e em genes nucleares de poucas espécies de seres unicelulares. As mitocôndrias e os cloroplastos são organelas que apresentam DNA, RNA e pequenos ribossomos semelhantes aos de bactérias.

RNA transportador (RNAt)

O **RNA transportador** (RNAt) é constituído por moléculas relativamente pequenas quando comparadas a outros tipos de RNA, tendo cerca de 75 a 90 ribonucleotídios. As moléculas de RNAt são capazes de reconhecer e se ligar a aminoácidos específicos, transportando-os até seus códons correspondentes no RNA mensageiro.

A forma espacial das moléculas de RNAt é perfeitamente adequada ao desempenho de sua função. A cadeia nucleotídica do RNAt dobra-se sobre si mesma, adquirindo a forma de uma letra "L", de tal forma que determinada região da molécula, correspondente a uma das extremidades do "L", apresenta uma trinca de bases nitrogenadas capaz de se emparelhar ao códon complementar do RNAm; por isso, essa trinca é denominada **anticódon**. A extremidade da molécula do RNAt no outro braço do "L" é capaz de se ligar ao aminoácido correspondente ao anticódon (Fig. 4).

Há vários tipos de RNAt, capazes de se ligar especificamente aos vinte tipos de aminoácido que constituem as proteínas. Essa ligação é mediada por enzimas, que reconhecem tanto o RNAt e seu respectivo anticódon, quanto o aminoácido que corresponde àquele anticódon. Por exemplo, moléculas de RNAt com anticódon AAA ou AAG ligam-se sempre ao aminoácido fenilalanina; RNAt com anticódons CCA, CCG, CCU ou CCC ligam-se à glicina; e assim por diante.

Atividade em grupo

Forme um grupo com colegas para elaborar um código que possibilite escrever uma mensagem utilizando apenas quatro letras: A, T, C e G. Nosso alfabeto tem 26 letras; também podem ser utilizados sinais de pontuação (vírgula, ponto-final etc). Será que combinar as quatro letras A, T, C e G, duas a duas, seria suficiente para representar nosso alfabeto? E três a três? O grupo tem o desafio de elaborar um sistema de codificação compreensível apenas por pessoas que conheçam o sistema. Um trabalho que enriquece a atividade é a comparação da codificação dos diferentes grupos.

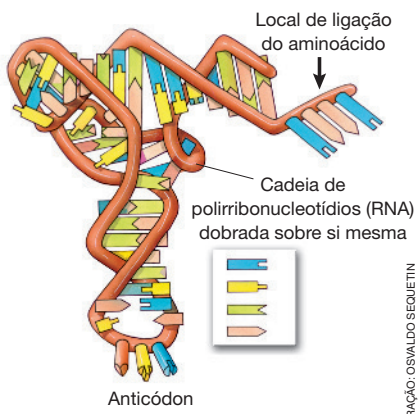


ILUSTRAÇÃO: OSVALDO SEQUETIN

Figura 4 Representação esquemática da estrutura tridimensional de um RNAt. Uma trinca de bases especial, o anticódon, permite que o RNAt se emparelhe ao códon complementar do RNAm durante a síntese da proteína. (Representação fora de proporção; cores meramente ilustrativas.)

Fonte: adaptada de RAWN, J. D. *Biochemistry*. Burlington: Neil Patterson, 1989.

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

MOLEENA

RNA ribossômico (RNAr)

Um dos tipos de RNA é o **RNA ribossômico** (RNAr), constituinte, juntamente com proteínas, de estruturas granulares fundamentais à síntese de proteínas: os **ribossomos**. Cada ribossomo é composto de duas partículas, ou subunidades, de funções diferentes, cujo papel é promover o encontro entre duas peças-chave da transcrição: o RNA mensageiro (RNAm) e os RNAt, transportadores dos aminoácidos.

O RNAm associa seu códon de início da tradução à subunidade menor do ribossomo. Os RNAt, cada qual unido ao seu respectivo aminoácido, unem-se à outra subunidade do ribossomo, na qual há dois locais específicos, conhecidos como sítio A e sítio P. Nessa subunidade maior do ribossomo está presente a enzima peptidiltransferase, cuja função é catalisar a ligação peptídica entre os aminoácidos acoplados ao ribossomo, depois que eles se posicionam corretamente, de acordo com a sequência de códons do RNAm (Fig. 5).

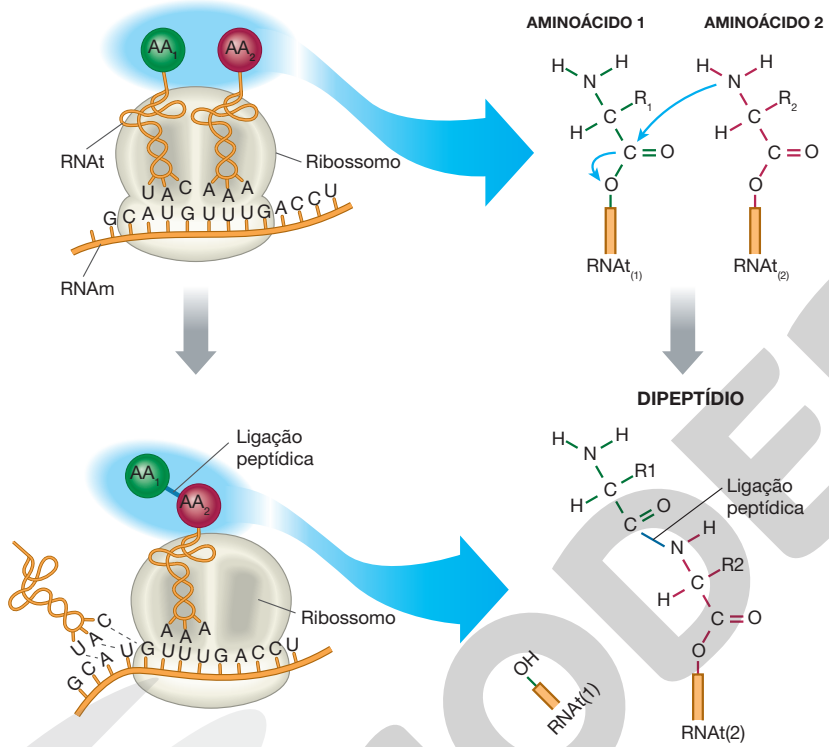


Figura 5 No lado esquerdo da ilustração, representação esquemática das etapas de ligação entre os aminoácidos corretamente posicionados no ribossomo. Os dois aminoácidos trazidos por seus respectivos RNAt e posicionados sobre os códons do RNAm unem-se pela ação da enzima peptidiltransferase, presente no ribossomo. No lado direito, formação da ligação peptídica entre dois aminoácidos, representados por suas fórmulas estruturais. (Representação fora de proporção; cores meramente ilustrativas.)

Fonte: adaptada de CAMPBELL, N. A.; REECE, J. B.; MITCHELL, L. G. *Campbell Biology*. 5. ed. Menlo Park, CA: Benjamin Cummings, 1999.

A síntese da cadeia polipeptídica

A síntese de uma cadeia polipeptídica consiste na união de aminoácidos de acordo com a sequência de códons do RNAm. Como essa sequência é determinada pela sequência de bases do DNA transcrita para o RNAm, a síntese de proteínas representa, em última instância, a "tradução" da instrução genética, sendo, por isso, chamada **tradução gênica** (Fig. 6).

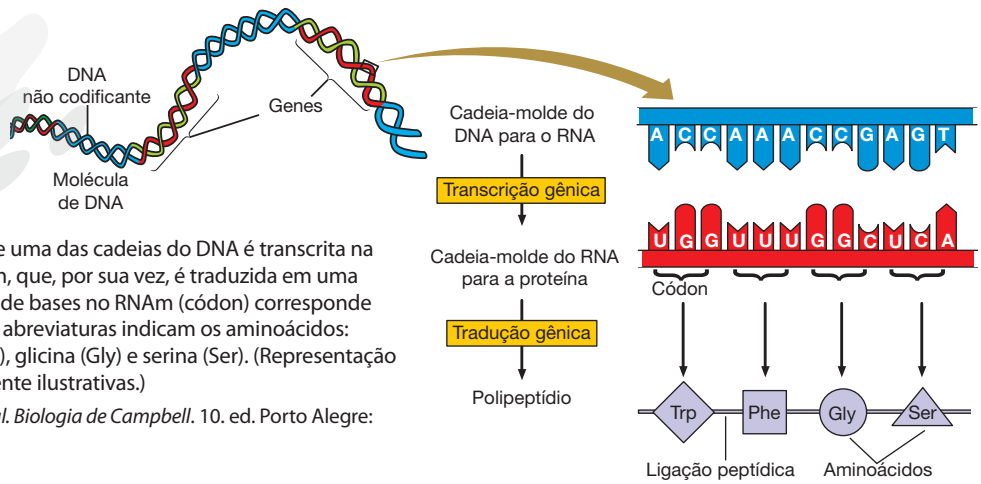


Figura 6 A sequência de bases de uma das cadeias do DNA é transcrita na forma de uma molécula de RNAm, que, por sua vez, é traduzida em uma cadeia polipeptídica. Cada trinca de bases no RNAm (códon) corresponde a um aminoácido na proteína. As abreviaturas indicam os aminoácidos: triptofano (Trp), fenilalanina (Phe), glicina (Gly) e serina (Ser). (Representação fora de proporção; cores meramente ilustrativas.)

Fonte: adaptada de REECE, J. B. *et al. Biologia de Campbell*. 10. ed. Porto Alegre: Artmed, 2015.

ILUSTRAÇÕES: ADILSON SECCO

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

No processo de tradução gênica participam, entre outros fatores, um ribossomo, um RNAm, vários RNAt, aminoácidos e diversas enzimas. O ribossomo encaixa-se em uma das extremidades do RNAm e se desloca percorrendo-o em direção à outra extremidade. À medida que esse deslocamento ocorre, os RNAt vão encaixando os aminoácidos na sequência definida pela ordem dos códons do RNAm. Dessa forma, a instrução codificada pela sequência de bases do RNAm vai sendo traduzida na sequência de aminoácidos da proteína. Veja a seguir, com mais detalhes, as principais etapas da tradução gênica.

Início da síntese da cadeia polipeptídica

A síntese de um polipeptídio tem início com a associação entre um ribossomo, um RNAm e o RNAt que transporta o aminoácido metionina. O anticódon da metionina é UAC, emparelhando-se ao códon AUG localizado perto da extremidade inicial da molécula de RNAm. Esse primeiro códon (AUG) de um RNAm é chamado de **códon de início de tradução**, uma vez que determina o início da instrução para a cadeia polipeptídica.

Crescimento da cadeia polipeptídica

O local do ribossomo em que se encaixa o primeiro RNAt correspondente ao códon de início de tradução, sendo chamado de sítio P; durante a síntese da proteína, esse sítio será ocupado pelo RNAt que carregará a cadeia polipeptídica em formação. Junto ao sítio P do ribossomo localiza-se o sítio A, no qual se aloja o RNAt que traz o próximo aminoácido incorporado na cadeia polipeptídica em formação.

Com o primeiro RNAt encaixado no sítio P, o segundo RNAt aloja-se no sítio A. O anticódon desse segundo RNAt é complementar ao segundo códon codificador do RNAm, posicionado no sítio A. Por exemplo, se o códon do RNAm no sítio A for UUU, o RNAt que se encaixará tem anticódon AAA e transporta o aminoácido fenilalanina (Phe) (Fig. 7).

Assim que os dois primeiros RNAt se encaixam aos sítios P e A do ribossomo, ocorre, por ação da enzima peptidiltransferase, a ligação peptídica entre os aminoácidos e o desligamento do RNAt que transportava a metionina do RNAm, abandonando o ribossomo. Simultaneamente, o ribossomo desloca-se sobre a molécula de RNAm, dando um "passo" correspondente a uma trinca de bases. O RNAt que ocupava o sítio A passa a ocupar o sítio P; esse RNAt transporta agora dois aminoácidos unidos por ligação peptídica (dipeptídio).

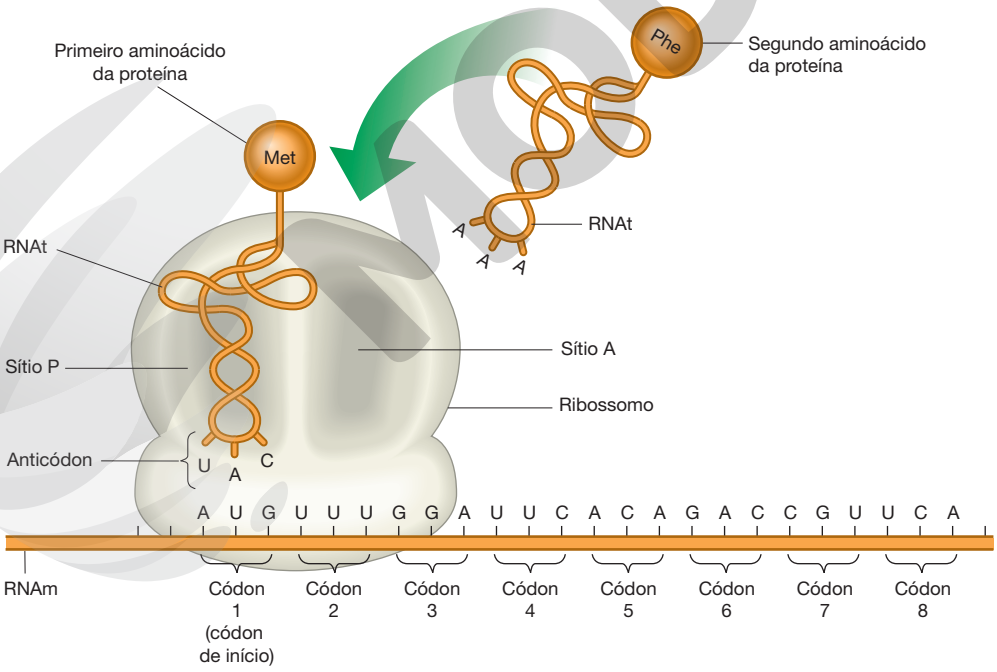


ILUSTRAÇÃO: ADILSON SECCO

Figura 7 Representação esquemática do início da síntese de uma proteína. O ribossomo associa-se ao RNAm; o primeiro RNAt, transportando o aminoácido metionina, ocupa o sítio P. O segundo RNAt, no caso transportando fenilalanina, ocupará o sítio A e os dois aminoácidos vão se unir pela ligação peptídica. O ribossomo se deslocará uma trinca sobre o RNAm e o processo se repete. (Representação fora de proporção; cores meramente ilustrativas.)

Fonte: adaptada de CAMPBELL, N. A.; REECE, J. B.; MITCHELL, L. G. *Campbell Biology*. 5. ed. Menlo Park, CA: Benjamin Cummings, 1999.

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

MODERNA

Com o deslocamento do ribossomo em relação ao RNAm, o sítio A torna-se disponível para a entrada do próximo RNAt, que se encaixa ao terceiro códon da sequência codificadora do RNAm.

Novamente a enzima peptidiltransferase do ribossomo catalisa a separação do dipeptídio do RNAt que ocupava o sítio P e sua ligação com o aminoácido recém-chegado, transportado pelo RNAt ocupante do sítio A. Mais uma vez o ribossomo dá um "passo" correspondente a uma trinca de bases; o RNAt desligado dos aminoácidos é liberado, e o sítio P passa a ser ocupado pelo RNAt que antes ocupava o sítio A. Esse RNAt transporta agora um tripeptídio, ou seja, uma cadeia de três aminoácidos. O sítio A, localizado sobre o quarto códon da sequência, fica disponível para receber o próximo RNAt, com seu respectivo aminoácido. À medida que o ribossomo se desloca sobre o RNAm, a cadeia polipeptídica cresce (Fig. 8).

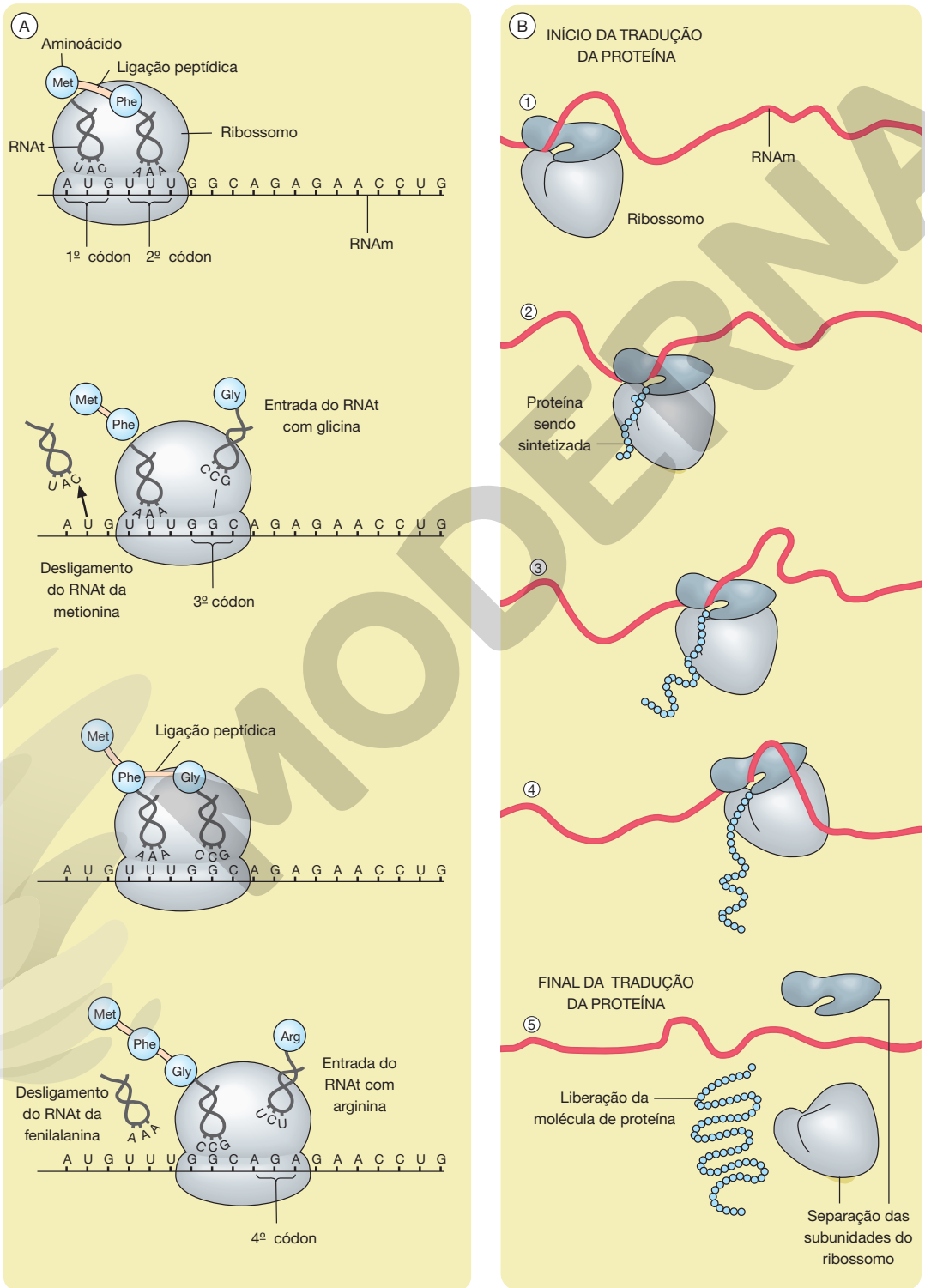


Figura 8 (A) De cima para baixo, representação dos estágios sucessivos do encadeamento dos aminoácidos para formar a proteína. A sequência de códons do RNAm determina a ordem em que os aminoácidos se unem. (B) Visão geral do processo de síntese de proteínas que ocorre no ribossomo desde o momento em que ele se une ao RNAm (1) até que suas subunidades se separam (5), liberando o polipeptídio completamente formado. (Representação fora de proporção; cores meramente ilustrativas.)

Fonte: adaptada de CAMPBELL, N. A.; REECE, J. B.; MITCHELL, L. G. *Campbell Biology*. 5. ed. Menlo Park, CA: Benjamin Cummings, 1999.

ILUSTRAÇÕES: ADILSON SECCO

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

MODERNA

Término da síntese da cadeia polipeptídica

O último estágio da síntese de um polipeptídio ocorre quando o ribossomo chega a um **códon de parada**, um dos três para os quais não há aminoácido correspondente. Quando isso ocorre, o sítio A do ribossomo é ocupado por uma proteína denominada **fator de liberação**. Todos os participantes do processo se separam, liberando, então, a cadeia polipeptídica formada.

Ao percorrer a extensão da molécula de RNAm, um ribossomo promove a síntese de uma única cadeia polipeptídica. Entretanto, outros ribossomos podem se associar ao mesmo RNAm e iniciar a síntese de outras cadeias polipeptídicas, idênticas às produzidas por todos ribossomos que traduzirem esse RNAm.

É comum encontrar entre dez e vinte ribossomos traduzindo simultaneamente um mesmo RNAm. Cada um deles apresenta uma cadeia polipeptídica em formação, cujo tamanho depende do trecho já percorrido no RNAm. O conjunto formado por vários ribossomos traduzindo simultaneamente um mesmo RNAm é denominado **polirribossomo**, ou polissomo (Fig. 9).

Em bactérias, mitocôndrias e plastos, a síntese de proteínas é fundamentalmente semelhante à que ocorre no citoplasma das células eucarióticas. Uma diferença está no tamanho dos ribossomos das bactérias e das organelas, que são menores do que os das células eucarióticas.

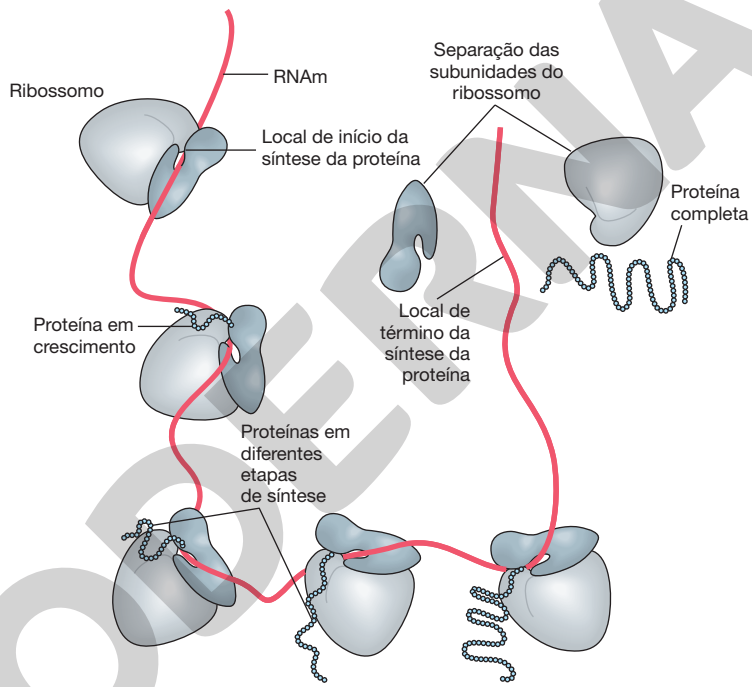


ILUSTRAÇÃO: ADILSON SECCO

Figura 9 Representação esquemática de um polirribossomo. Uma molécula de RNAm é percorrida simultaneamente por diversos ribossomos, todos eles sintetizando cadeias polipeptídicas idênticas. (Representação fora de proporção; cores meramente ilustrativas.)

Fonte: adaptada de REECE, J. B. *et al. Biologia de Campbell*. 10. ed. Porto Alegre: Artmed, 2015.

Aplicando conhecimentos

Registre as respostas em seu caderno.

1. Ao final da síntese de um polipeptídio, o que o ribossomo encontra na molécula de RNA mensageiro que está sendo traduzida?
1. b

a) Um códon AUG.
b) Um dos três códons de parada, para os quais não há RNAt correspondentes.
c) Uma região promotora.
d) Uma sequência de término de transcrição.

2. Onde é sintetizada uma cadeia polipeptídica?
2. a

a) Em apenas um ribossomo, que se desloca sobre o RNA mensageiro desde um códon AUG até um códon de parada.
b) Em apenas um ribossomo, que se desloca sobre o RNA mensageiro desde a região promotora até um anticódon.
c) Em inúmeros ribossomos, que se dispõem em sequência sobre o RNA mensageiro, cada um deles associado a um códon.
d) Em inúmeros ribossomos, que se dispõem em sequência sobre o RNA mensageiro, cada um deles associado a dois códons vizinhos.

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

MODERNA

Os limites de um gene

Cada cromossomo é constituído por uma única molécula de DNA, com milhões de pares de bases e milhares de informações genéticas; cada informação pode ser considerada um gene.

A manifestação de cada gene ocorre por meio do processo de transcrição gênica, que consiste em transcrever a sequência de bases nitrogenadas de um segmento de DNA para uma molécula de RNA. Entretanto, uma pergunta que intrigou os cientistas durante muito tempo foi: o que define o início e o fim do segmento de DNA a ser transcrito? Em outras palavras, o que define os limites de um gene?

Hoje se sabe que o início de transcrição é definido por uma sequência especial de pares de bases nitrogenadas na dupla-hélice de DNA. Essa sequência de bases nitrogenadas, conhecida como **região promotora do gene**, determina o local em que se encaixará a enzima polimerase do RNA para iniciar a síntese de RNA.

Após se encaixar à região promotora do gene, a enzima polimerase do RNA separa as duas cadeias do DNA e utiliza uma delas como molde para a síntese de uma molécula de RNA. Quando a polimerase do RNA encontra uma sequência específica de bases nitrogenadas denominada **sequência de término de transcrição**, o processo termina e a cadeia de RNA transcrito solta-se do DNA molde, que reconstitui a dupla-hélice. Portanto, a mensagem contida em um gene tem início na região promotora e acaba na sequência de término de transcrição (Fig. 10).

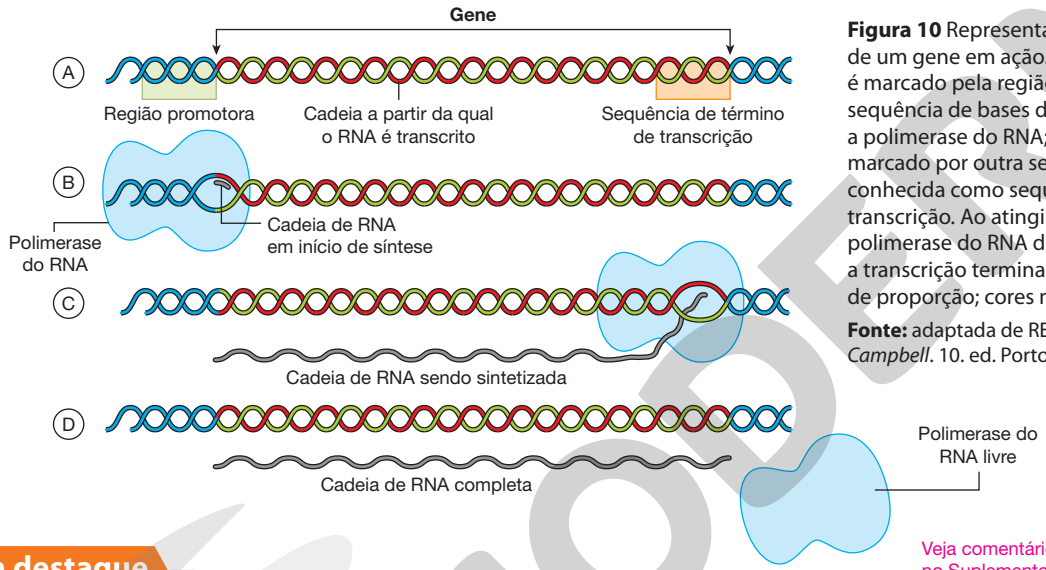


Figura 10 Representação esquemática de um gene em ação. O início do gene é marcado pela região promotora, uma sequência de bases do DNA à qual se liga a polimerase do RNA; o final do gene é marcado por outra sequência de bases, conhecida como sequência de término de transcrição. Ao atingir essa sequência, a polimerase do RNA desprende-se do DNA e a transcrição termina. (Representação fora de proporção; cores meramente ilustrativas.)

Fonte: adaptada de REECE, J. B. *et al. Biologia de Campbell*. 10. ed. Porto Alegre: Artmed, 2015.

ILUSTRAÇÕES: ADILSON SECCO

Veja comentários sobre essa atividade no Suplemento do Professor.

Em destaque

Príons - Proteínas anormais provocam doenças

As proteínas são os componentes fundamentais dos seres vivos e responsáveis pela maioria de suas funções vitais. O nome "proteína" deriva do grego *protos*, que significa "o primeiro" ou "o mais importante". Só para citar alguns exemplos, são proteínas as fibras que compõem nossos músculos, nossos fios de cabelo e as enzimas que digerem o alimento que comemos.

As proteínas são codificadas pelos genes presentes no DNA e são compostas por uma série de aminoácidos. Os aminoácidos se unem através de ligações chamadas de ligações peptídicas e formam uma longa cadeia denominada polipeptídio.

Uma das proteínas produzidas normalmente pelos genes de todos os animais é a proteína príon celular (ou PrPc). Essa proteína atua nas células nervosas e, em condições normais, não provoca nenhum dano ao organismo.

Porém, devido a algumas doenças, chamadas de doenças priônicas, a PrPc pode ter sua estrutura alterada, formando uma proteína modificada, chamada príon. Os príons são capazes de provocar a alteração da conformação de PrPcs normais, transformando-as em outros príons. Este processo gera uma reação em cadeia que produz mais e mais príons. A forma como isso ocorre ainda não está clara para os cientistas.

As primeiras menções aos príons surgiram na década de 1960, quando cientistas formularam a hipótese de que algumas doenças poderiam ser causadas por fragmentos de proteínas. Em meados dos anos [19]80, outro cientista conseguiu isolar essa proteína. Foi então que a forma alterada da proteína passou a ser chamada de príon, e a proteína a partir da qual o príon se forma, de proteína príon celular (PrPc).

As doenças priônicas podem atingir tanto humanos quanto animais. Elas atacam o sistema nervoso, prejudicando suas funções normais e matando as células nervosas.

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

MODERNA

Doença da vaca louca

Acredita-se que um mal que acomete bovinos, a doença da vaca louca, seja provocado por príons. A doença da vaca louca é também conhecida como encefalopatia espongiforme bovina (ou EEB). A EEB ataca o gado provocando a morte de células de seu sistema nervoso central. Devido à degeneração celular, formam-se buracos no tecido cerebral e este fica com um aspecto esponjoso, vindo daí o nome encefalopatia espongiforme. O gado passa a apresentar comportamentos estranhos e acaba morrendo.

Um dos primeiros casos de EEB ocorreu na década de 1980. Acredita-se que o gado tenha contraído a doença através da ingestão de ração contendo carne de ovelhas contaminadas, ou seja, contendo o príon. O Reino Unido foi a região mais afetada pela doença, que, na década de [19]90, atingiu o *status* de epidemia, provocando a morte de milhares de animais.

A doença provocou grande queda na importação e no consumo de carne bovina provenientes do Reino Unido. Como forma de conter a doença, em 1988, no Reino Unido e, alguns anos depois, na Europa toda, foi proibido o uso de ração bovina contendo carne de outros ruminantes.

Atualmente, as criações de gado do Reino Unido são constantemente monitoradas para averiguar a presença de animais contaminados. Através desses programas, verificou-se que a incidência da doença vem caindo a cada ano.

Acredita-se que a EEB esteja ligada a uma variação de uma doença degenerativa do sistema nervoso humano, chamada de doença de Creutzeldt-Jakob (ou vCDJ). Segundo a teoria mais aceita, a pessoa contrai a doença principalmente através da ingestão de carne de animais infectados pela vaca louca. Outra hipótese que já foi levantada é a de que a doença seja adquirida devido a uma infecção viral. Essa infecção provocaria a produção de proteínas anormais, ou seja, de príons.

Os principais sintomas desta variação da doença de Creutzeldt-Jakob são alterações comportamentais, alucinações, perda de memória, convulsões, dificuldades locomotoras e outros distúrbios neurológicos. O diagnóstico, geralmente, é feito através de exames do líquido cefalorraquidiano, ressonâncias eletromagnéticas do cérebro e biópsias de tecidos do sistema nervoso central.

Segundo a Organização Mundial de Saúde, o primeiro caso foi registrado em 1996 e, até 2002, ocorreram cerca de 138 casos, sendo a maioria no Reino Unido. Embora rara, a doença é fatal e ainda não existem tratamentos com eficácia comprovada para seu tratamento.

Fonte: BRITES, A. D. *Príons*: proteínas anormais provocam doenças. Disponível em: <https://educacao.uol.com.br/disciplinas/biologia/prions-proteinas-anormais-provocam-doencas.htm>, com pequenas adaptações. Acesso em: jun. 2020.

Forme um grupo com alguns colegas para responder às questões a seguir. Pode ser interessante escolher um redator, encarregado da produção do texto com as respostas. Sugira ao professor a possibilidade de que cada grupo apresente seu texto em classe. Além dessa atividade, os grupos podem pesquisar outros *sites*, comparando informações e acrescentando aspectos não contemplados nas perguntas a seguir.

1. Confira os pontos do capítulo que corroborem (ou não) informações citadas nos dois primeiros parágrafos do texto do *site*. Sugerimos que, para cada parágrafo, seja feito um breve comentário sobre as informações do livro sobre o assunto.
2. Segundo o texto do *site*, um príon anormal pode ocasionar mudanças em proteínas normais, levando-as a se comportar como príons. Tendo em vista a importância da estrutura espacial das proteínas em sua atuação, tente formular uma hipótese de como os príons atuariam na alteração de proteínas normais.
3. Explique o que é a "doença da vaca louca", apresentada no texto. Se possível, pesquise essa expressão em outros *sites*, eventualmente complementando informações.

Atividades finais

Registre as respostas em seu caderno. Veja respostas e comentários no Suplemento do Professor.

1. O que significa dizer que as duas cadeias de uma molécula de DNA são complementares? 1. d

a) Elas têm os mesmos tipos de bases nitrogenadas.

b) Uma delas é formada apenas pelas bases A/T, e a outra, por C/G.

c) Onde houver A em uma delas, haverá U na outra; onde houver C em uma delas, haverá G na outra.

d) Onde houver A em uma delas, haverá T na outra; onde houver C em uma delas, haverá G na outra.

2. Um pesquisador descobriu que a sequência de bases de um trecho de uma molécula de DNA é ATTACGAGGTACATTCG. Qual será a sequência de bases na cadeia complementar no mesmo trecho? 2. c

a) ATTACGAGGTACATTCG.

b) GCCGTAGAACGTGCCTA.

c) TAATGCTCCATGTAAGC.

d) Não pode ser determinada.

3. A sequência ACUGACAUGUUACUCACUAUUUGACAGGUAA representa uma molécula de RNA mensageiro cuja tradução ocorre da esquerda para a direita. Tendo como base a tabela de código genético apresentada neste capítulo, determine:

a) o códon a partir do qual será iniciada a cadeia polipeptídica;

b) o último códon com aminoácido correspondente na cadeia polipeptídica;

c) a sequência de aminoácidos da cadeia polipeptídica codificada por esse RNA.

4. Escreva a sequência de bases das duas cadeias do DNA a partir do qual foi transcrito o RNA mencionado na questão anterior, indicando qual das cadeias foi transcrita pela polimerase do RNA.

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

PROIBIDA

5. Quais seriam os efeitos no RNA mensageiro e no polipeptídio traduzido se o 16º par de bases (T = A) do DNA da questão anterior fosse substituído pelo par C ≡ G? (Utilize a tabela de código genético para responder a esta questão.)

6. Quais seriam os efeitos no RNA mensageiro e no polipeptídio se o 16º par de nucleotídios do DNA da questão 4 fosse eliminado da molécula? (Utilize a tabela de código genético para responder a esta questão.)

7. (FGV-SP) A decodificação realizada pelos ribossomos durante a síntese de proteínas, tendo por base as informações genéticas contidas na molécula de RNAm, consiste no encadeamento de

7. a

a) 20 tipos de aminoácidos, a partir dos 61 códons com sentido no RNAm.

b) 20 tipos de aminoácidos, a partir dos 20 códons possíveis no RNAm.

c) 64 tipos de aminoácidos, a partir dos 64 códons possíveis no RNAm.

d) 20 tipos de anticódons do RNAt, a partir dos 61 códons com sentido no RNAm.

e) 64 tipos de anticódons do RNAt, a partir dos 64 códons possíveis no RNAm

8. (UEA-AM) Durante a síntese proteica, a enzima aminoacil-RNAt sintetase promove a ligação do RNA transportador a um aminoácido específico. A síndrome antissintetase (SAS) é uma doença autoimune em que anticorpos do doente atacam esta enzima e, como consequência, impedem a

8. e

a) replicação do DNA pela enzima DNA polimerase.

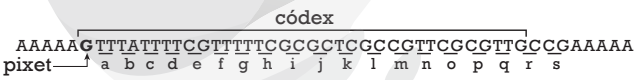
b) transcrição do RNA mensageiro pela enzima RNA polimerase.

c) ligação do ribossomo ao RNA mensageiro.

d) acoplagem do RNA transportador ao códon do RNA mensageiro.

e) ligação dos aminoácidos específicos à cadeia polipeptídica.

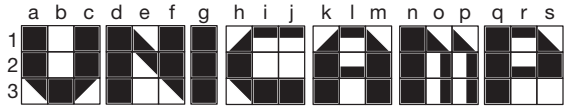
9. (Unicamp-SP) Recentemente, foi criado um sistema que emprega moléculas sintéticas de DNA para armazenar dados de textos, imagens ou vídeos simples. Nesse sistema, qualquer trecho compreendido entre 5 bases A na sequência da molécula sintética de DNA é chamado códex, o qual tem a estrutura genérica a seguir.



A primeira base de cada códex é o *pixet*, que indica qual das três linhas de *pixels* da imagem o códex representa: G indica a primeira linha (1), C indica a segunda linha (2) e T indica a terceira linha (3).

Após o *pixet*, o códex inclui 19 conjuntos de duas bases (dupletos), nomeados de a até s; cada dupleto representa um *pixel* gráfico na imagem.

Por exemplo, a imagem a seguir foi codificada pela seguinte sequência de DNA (apenas a sequência de uma das fitas de DNA é apresentada): AAAAACTTTATTTTCCTTTTTTACACTTGGTTTTGTGTTTGGTTAAAAATCCTTTGTTAGCCTTCCTTTTTTCATTTTGTGTTTAGAGAAAAAGTTTATTTTCGTTTTTCGCGCTCGCCGTTCGCGTTGCCGAAAAA.



a) Qual a sequência de bases do dupleto que representa os *pixels* do tipo ◣? Explique, em termos da deterioração da imagem, por que a inserção de uma base extra logo após o primeiro dupleto de um códex da sequência de DNA citada é mais grave que a deleção do último dupleto desse códex.

b) Compare o funcionamento dos dupletos do sistema descrito com o funcionamento dos códons na codificação de aminoácidos em organismos vivos. Qual organela catalisa o processo de tradução?

10. (Unicamp-SP) Em 25 de abril de 1953, um estudo de uma única página na revista inglesa *Nature* intitulado "A estrutura molecular dos ácidos nucleicos", quase ignorado de início, revolucionou para sempre todas as ciências da vida, sejam elas do homem, rato, planta ou bactéria. James Watson e Francis Crick descobriram a estrutura do DNA, que permitiu posteriormente decifrar o código genético determinante para a síntese proteica.

a) Watson e Crick demonstraram que a estrutura do DNA se assemelha a uma escada retorcida. Explique a que correspondem os "corrimãos" e os "degraus" dessa escada.

b) Que relação existe entre DNA, RNA e síntese proteica?

c) Como podemos diferenciar duas proteínas?

11. (Fuvest-SP) Existe um número muito grande de substâncias com funções antibióticas. Essas substâncias diferem quanto à maneira pela qual interferem no metabolismo celular. Assim, a tetraciclina liga-se aos ribossomos e impede a ligação do RNA transportador; a mitomicina inibe a ação da polimerase do DNA e a estreptomicina causa erros na leitura dos códons do RNA mensageiro. Essas informações permitem afirmar que

11. c

I. a tetraciclina impede a transcrição e leva a célula bacteriana à morte por falta de RNA mensageiro.

II. a mitomicina, por inibir a duplicação do DNA, impede a multiplicação da célula bacteriana.

III. a estreptomicina interfere na tradução e leva a célula bacteriana a produzir proteínas defeituosas.

Das afirmativas acima

a) apenas I é correta.

b) apenas I e II são corretas.

c) apenas II e III são corretas.

d) apenas I e III são corretas.

e) I, II e III são corretas.

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

ILUSTRAÇÃO: ERICSON GUILHERME LUCIANO

MODERNA

CAPÍTULO 4

ELETROSTÁTICA: ELETRICIDADE ESTÁTICA

IDEA STUDIO/SHUTTERSTOCK

AARON FOSTER/THE IMAGE BANK RF/GETTY IMAGES

Avião em pleno voo e detalhes de uma das asas.

Talvez você já tenha visto que alguns aviões têm pequenas antenas na ponta das asas, como mostra essa foto. Você sabe para que elas servem?

Essas pequenas antenas têm a finalidade de descarregar eletricidade estática. Quando esfregamos um pente numa malha de lã, ele se eletriza e pode atrair pequenos pedaços de papel. Com o avião ocorre algo semelhante. Por causa do atrito com o ar, a aeronave acumula cargas elétricas durante o voo. Esse acúmulo pode ser perigoso, pois a energia elétrica aumentada pode interferir nos aparelhos de comunicação. As antenas são utilizadas porque, devido à sua baixa resistência elétrica e ao seu formato, são capazes de escoar o excesso de cargas elétricas para a atmosfera.

Neste capítulo, estudaremos os conceitos físicos que envolvem a eletrização de um corpo. Por meio de um ponto de vista histórico, vamos estudar a evolução do entendimento físico do processo de eletrização. Em seguida, a lei de Coulomb, que descreve a força elétrica entre corpos eletrizados, e o conceito de campo elétrico, que explica a interação entre cargas elétricas.

De olho na BNCC:

- EM13CNT301
- EM13CNT302
- EM13CNT306
- EM13CHS103
- EM13LGG104
- EM13LGG704
- EM13MAT313

1 Eletricidade estática

Primeiras descobertas

Tales de Mileto (c. 625 a.C.-c. 547 a.C.), filósofo grego, foi um dos pioneiros na observação dos fenômenos elétricos e a tentar explicá-los com base nos conhecimentos científicos da época. Como quase nada foi preservado de sua obra, o que sabemos de seus estudos vem de citações dos estudiosos que o sucederam. Segundo esses relatos, Tales teria verificado que um pedaço de âmbar, uma resina vegetal, adquiria o poder de atrair fragmentos de objetos leves ao ser esfregado (atritado) por algum tecido.

Durante muito tempo, não foram realizadas pesquisas e experiências sobre tais fenômenos ou, pelo menos, não há notícia delas. Conforme os registros de que dispomos, um estudo científico desses fenômenos só ocorreu no século XVI, com William Gilbert (1544-1603) (Fig. 1), que era físico e médico da rainha Elizabeth I da Inglaterra.

R. CLAMP - BIBLIOTECA WELLCOME, LONDRES

Figura 1 Retrato de William Gilbert, ilustração de 1628.

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

MODERNA

Gilbert retomou as experiências de Tales e criou o termo *elétrico* e seus derivados a partir da palavra grega *elektron*, que significa âmbar. Ao realizar novos experimentos, verificou que, além do âmbar, vários corpos podiam ser eletrizados por atrito, adquirindo a capacidade de atrair pequenos objetos leves.

Alguns anos depois, o físico alemão Otto von Guericke (1602-1686) (Fig. 2), reproduzindo as experiências de Gilbert, constatou haver duas espécies de "corpos elétricos": alguns deles, ao mesmo tempo que atraem objetos leves, se atraem mutuamente; ao passo que outros, após atritados, se repelem. Além dessas constatações, Guericke construiu a primeira máquina eletrostática da história.

MUSEU NACIONAL GERMÂNICO, NUREMBERGUE

Figura 2 Retrato de Otto von Guericke, gravura de C. Galle, de 1649.

Primeiras explicações

Dando continuidade aos estudos sobre os fenômenos elétricos, o físico inglês Stephen Gray (1666-1736) verificou que a eletricidade dos corpos poderia ser conduzida por meio de fios que os ligassem. Em suas experiências, Gray percebeu que alguns dos fios usados conduziam bem a eletricidade e chamou-os de **condutores**. Aos que não conduziam ou conduziam mal a eletricidade deu o nome de **isolantes**.

Entre os condutores, estão os metais, como o cobre, o ferro, 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, entre os materiais, havia basicamente dois comportamentos; por exemplo, ao serem atritados com lã, dois bastões de vidro se repeliam (Fig. 3.A), já um bastão de vidro e outro de resina, como o âmbar, se atraíam (Fig. 3.B).

ILUSTRAÇÃO: ADILSON SECCO

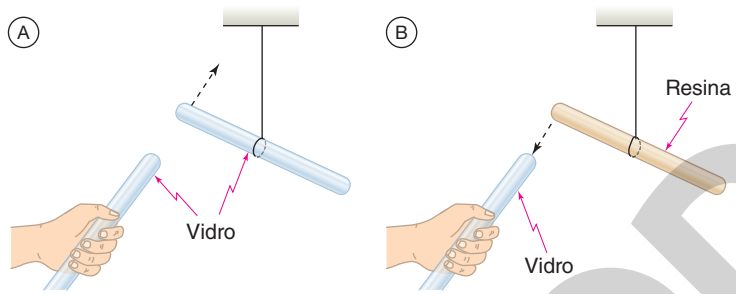


Figura 3 (A) Representação da repulsão entre corpos eletrizados; (B) representação da atração entre corpos eletrizados.

Repetindo os procedimentos com outros materiais, Du Fay verificou que alguns se comportavam como o vidro e outros, como a resina. Diante disso, propôs que deveriam existir dois tipos de eletricidade: a do vidro, que chamou de **eletricidade vítrea**, e a da resina, que chamou de **eletricidade resinosa**.

Das experiências de Du Fay, originou-se o chamado **princípio da atração e repulsão**, que pode ser enunciado como segue, usando a nomenclatura da época.

> Corpos com eletricidade de mesmo tipo se repelem e corpos com eletricidade de tipos diferentes se atraem.

Posteriormente, o termo eletricidade foi substituído por carga elétrica. Foi o cientista, escritor e estadista estadunidense Benjamin Franklin (1706-1790) quem criou os termos **eletricidade positiva**, para designar a eletricidade vítrea, e **eletricidade negativa**, para designar a eletricidade resinosa. Essa troca de nomes baseou-se na teoria do **fluido elétrico**, elaborada por Franklin. De acordo com essa teoria, um corpo neutro possui uma quantidade normal de fluido elétrico, não manifestando nenhuma propriedade elétrica. Se houver excesso de fluido, o corpo se comporta como o vidro atritado na lã, tendo eletricidade positiva (mais fluido elétrico). Se apresentar falta de fluido, o corpo se comporta como a resina atritada na lã, tendo eletricidade negativa (menos fluido elétrico).

O que se sabe hoje

A ideia do fluido elétrico e dos dois tipos de eletricidade permaneceu por muito tempo. A partir de 1897, com a descoberta do elétron, partícula elementar constituinte da matéria, pôde-se começar a explicar o que acontecia de fato quando um corpo se eletrizava. A explicação só se completou quando a estrutura do átomo foi mais bem compreendida, no início do século XX.

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

MODERNA

Todos os corpos são constituídos de **átomos**. O modelo planetário do átomo, proposto, em 1911, por Ernest Rutherford (1871-1937), admite que cada átomo possui um núcleo central, constituído de **nêutrons**, partículas sem carga elétrica, e de **prótons**, partículas com carga elétrica positiva. Em torno do núcleo, há a eletrosfera, formada de **elétrons**, partículas com carga elétrica negativa que giram ao redor do núcleo (Fig. 4). O átomo é eletricamente neutro, pois possui prótons e elétrons em quantidades iguais.

Hoje sabemos que são os elétrons que podem se movimentar de um corpo para outro; portanto, a eletrização de um objeto inicialmente neutro se deve ao **excesso** ou à **falta de elétrons**.

O corpo com excesso de elétrons está negativamente eletrizado ou apresenta quantidade de carga elétrica negativa. Já o corpo com falta de elétrons está eletrizado positivamente ou apresenta quantidade de carga elétrica positiva, pois nele passa a predominar a carga dos prótons. Muitas vezes, para simplificar, usa-se o termo **carga elétrica** em vez de **quantidade de carga elétrica**, representada por ***Q***. Retomando o conceito histórico anterior, é interessante notar que a eletricidade positiva ou **carga elétrica positiva** corresponde a um corpo com **falta de elétrons**, enquanto a eletricidade negativa ou **carga elétrica negativa** corresponde a um corpo com **excesso de elétrons** (Fig. 5).

Os corpos com excesso ou falta de elétrons são denominados corpos eletrizados. É usual dizer que um corpo eletrizado possui **eletricidade estática**.

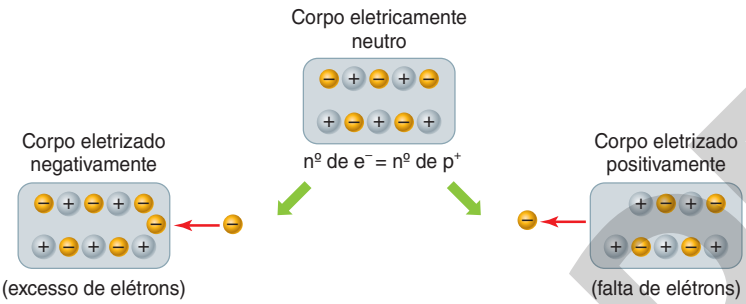


Figura 5 Representação esquemática da eletrização de um corpo inicialmente neutro. (Representação fora de proporção; cores meramente ilustrativas.)

Eletrização por atrito

A eletrização por atrito, originalmente observada por Tales de Mileto, ocorre quando dois materiais são atritados e há uma troca de elétrons de um para o outro. O material que recebe elétrons adquire carga elétrica negativa (a antiga eletricidade resinosa ou negativa) e o que perde elétrons adquire carga elétrica positiva (a antiga eletricidade vítrea ou positiva).

É importante destacar que, ao atritar dois materiais diferentes, a eletrização por atrito sempre poderá ocorrer.

Se o corpo atritado é feito de material isolante, as cargas elétricas que nele se desenvolvem ficam confinadas à região atritada. Entretanto, se o corpo é feito de material condutor (por exemplo, de metal), as cargas elétricas em excesso se espalham, ocupando sempre a superfície externa, pois as cargas, sendo todas de mesmo sinal, repelem-se mutuamente, tendendo a ficar o mais longe possível umas das outras (Fig. 6).

Se um operador quiser manter a eletrização de um condutor, terá de segurá-lo com um cabo isolante, pois, se não o fizer, todas as cargas se espalharão pelo seu corpo, que também é condutor, e daí por todos os materiais condutores com os quais ele estiver em contato, como a terra, por exemplo. Diz-se, nesse caso, que o corpo está ligado à terra ou aterrado.

Na figura 7, o condutor está eletrizado negativamente: ao ser aterrado, os elétrons em excesso se movimentam para a terra e ele perde sua eletrização, tornando-se neutro.

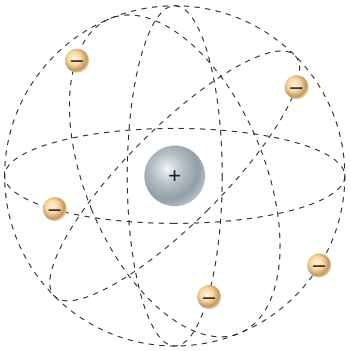


Figura 4 Modelo do átomo de Rutherford. (Representação fora de proporção; cores meramente ilustrativas.)

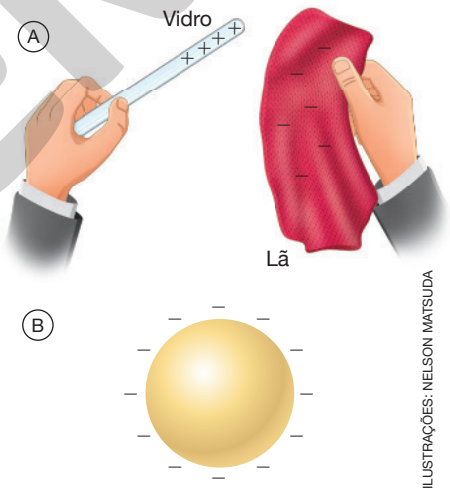


Figura 6 (A) Em um material isolante, as cargas elétricas ficam confinadas na região atritada; (B) em um material condutor, as cargas elétricas em excesso se distribuem pela superfície externa do corpo. (Representação fora de proporção; cores meramente ilustrativas.)

ILUSTRAÇÕES: NELSON MATSUDA

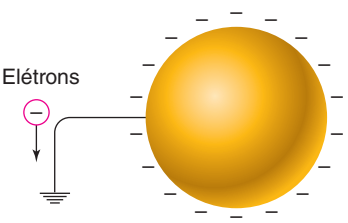


Figura 7 Representação de aterramento de um condutor eletrizado negativamente. (Representação fora de proporção; cores meramente ilustrativas.)

ILUSTRAÇÕES: ADILSON SECCO

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

MODERNA

Na figura 8, o condutor está eletrizado positivamente: ao ser aterrado, os elétrons se movimentam da terra para o condutor, neutralizando o excesso de cargas positivas; assim, ele perde a eletrização, tornando-se neutro.

Portanto, conclui-se que um condutor eletrizado e isolado de outros corpos perde sua eletrização, ou seja, fica descarregado, ao ser ligado à terra.

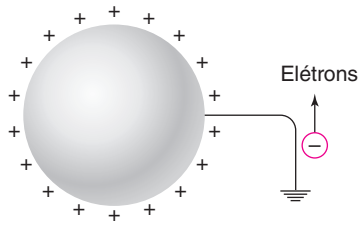


Figura 8 Representação de aterramento de condutor eletrizado positivamente. (Representação fora de proporção; cores meramente ilustrativas).

Atividade em grupo Veja comentários sobre essa atividade no Suplemento do Professor.

Vimos na abertura deste capítulo que os aviões podem ficar eletrizados durante o voo devido ao atrito com o ar. No entanto, há outras situações do dia a dia em que os corpos podem acumular cargas elétricas. Esse fato poderia, eventualmente, provocar acidentes graves.

Forme um grupo com os colegas e investiguem qual é o procedimento adotado para evitar essas situações. Pesquisem como os aparelhos utilizam o fio terra como um sistema de proteção, discutam os resultados da pesquisa e apresentem um modelo explicativo usando recursos como maquetes, audiovisuais, quadrinhos, entre outros.

Dialogando com o texto Veja comentários sobre essa atividade no Suplemento do Professor.

Vimos que, ao atritar dois materiais, ocorre a troca de elétrons de um para o outro. Assim, o material que recebe elétrons adquire carga elétrica negativa e o que perde elétrons adquire carga elétrica positiva. O que ocorre quando atritamos um bastão de vidro com um pano de lã? Quais são os sinais das cargas adquiridas pelo vidro e pela lã? Para responder a essas perguntas, é necessário conhecer a série triboelétrica, que é uma listagem de materiais que, na eletrização por atrito, ficam carregados positivamente e de materiais que ficam carregados negativamente.

Faça uma pesquisa sobre série triboelétrica usando o exemplo do vidro e da lã e explique como ela funciona.

Eletrização por contato

Outra maneira de eletrizar um corpo é a eletrização por contato. Quando dois corpos, um eletrizado e outro neutro, são encostados ou ligados por fios, haverá passagem de elétrons de um para o outro. O corpo neutro se eletriza com carga elétrica de mesmo sinal que o corpo eletrizado. Para que se realize esse tipo de eletrização, os corpos e os fios devem ser condutores, ou seja, não podem ser isolantes.

Por exemplo, se um corpo eletrizado negativamente, portanto com excesso de elétrons, é encostado em um corpo neutro, parte dos elétrons passa do corpo carregado para o corpo neutro, que também fica eletrizado negativamente (Fig. 9).

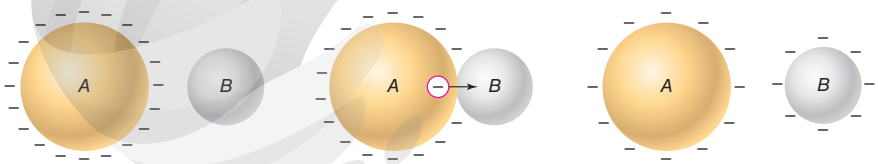


Figura 9 Representação da eletrização por contato com condutor eletrizado negativamente. (Representação fora de proporção; cores meramente ilustrativas.)

Se o 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 eletrizados positivamente (Fig. 10).

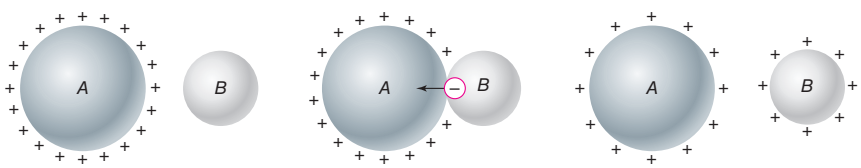


Figura 10 Representação da eletrização por contato com condutor eletrizado positivamente. (Representação fora de proporção; cores meramente ilustrativas.)

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

ILUSTRAÇÕES: ADILSON SECCO

MODERNA

A medida da carga elétrica que um corpo adquire ao ser eletrizado recebe o nome de **quantidade de carga elétrica**. A unidade do Sistema Internacional de Unidades (SI) para medir a carga elétrica é denominada **coulomb** (símbolo C), em homenagem ao físico francês Charles Augustin de Coulomb.

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**, enunciado assim:

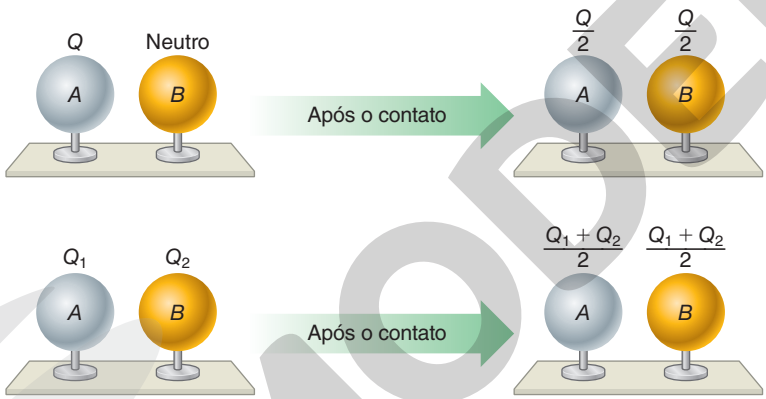
> Em um sistema eletricamente isolado, a soma algébrica das cargas elétricas positivas e das cargas elétricas negativas permanece constante.

Assim, suponhamos que dois corpos, *A* e *B*, isolados de qualquer influência elétrica externa, possuam inicialmente cargas elétricas Q_A e Q_B. Se eles forem colocados em contato, haverá troca de cargas entre eles, de modo que, após algum tempo, as respectivas cargas 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 condutores dependem de suas dimensões. No caso de corpos idênticos, como esferas de mesmo raio, as cargas elétricas serão iguais após o contato.

A figura 11 ilustra dois corpos idênticos, *A* e *B*, em duas situações. Na primeira, o corpo *A* tem inicialmente carga elétrica *Q*, enquanto o corpo *B* está neutro; na segunda, os corpos *A* e *B* têm cargas elétricas iniciais Q_1 e Q_2. Observe que, como os corpos são idênticos, a quantidade de carga elétrica total do início da situação é dividida igualmente entre as esferas após o contato.



ILUSTRAÇÕES: ADILSON SECCO

Figura 11 Esquema da eletrização por contato. (Representação fora de proporção; cores meramente ilustrativas.)

Carga elétrica elementar (*e*)

Embora no estudo sobre a eletrização por contato se fale em quantidade de carga elétrica transferida entre os corpos, sem levar em conta sua natureza, são os elétrons que estão se movimentando. Portanto, a quantidade de carga transferida é um múltiplo da carga do elétron. E quanto vale a carga do elétron?

A carga elétrica de um elétron é igual, em módulo, à do próton. Os valores dessas cargas, expressas em coulombs, são:

$$Q_e = -1{,}6 \cdot 10^{-19}\,\text{C} \qquad Q_p = +1{,}6 \cdot 10^{-19}\,\text{C}$$

O módulo dessas cargas costuma ser denominado **carga elétrica elementar** (***e***) e seu valor, obtido experimentalmente, é dado por:

$$e = 1{,}6 \cdot 10^{-19}\,\text{C}$$

Como um corpo eletrizado está sempre com excesso ou falta de certo número *n* de elétrons, o módulo de sua carga *Q* é múltiplo inteiro da carga elementar:

$$Q = n \cdot e$$

Observe que a carga elétrica não existe em quantidades contínuas, sendo sempre um múltiplo da carga elementar *e*. Dizemos, então, que a carga elétrica é quantizada.

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

MODERNA

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. As figuras a seguir ilustram a indução eletrostática em duas situações:

- quando a carga do corpo carregado (chamado indutor) é positiva (Fig. 12.A);
- quando o corpo carregado tem carga negativa (Fig. 12.B).

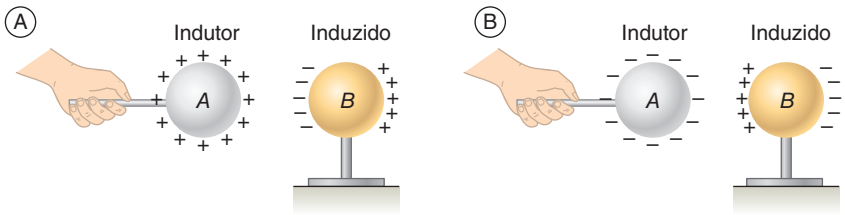


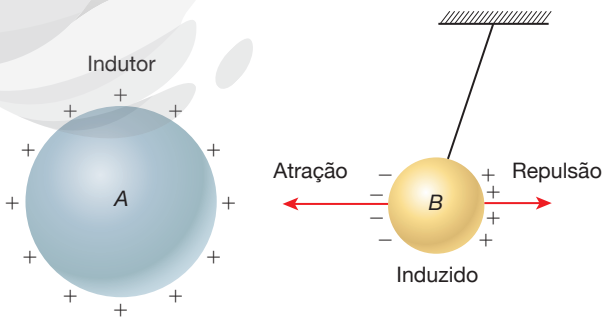
Figura 12 Representação da indução eletrostática. (Representação fora de proporção; cores meramente ilustrativas.)

Ao aproximar o indutor (corpo carregado) do induzido (condutor neutro), observamos uma separação das cargas elétricas. De fato, na região mais próxima do indutor, o induzido apresenta cargas elétricas de sinal contrário ao do indutor. Já na região mais afastada do indutor, o induzido apresenta cargas de sinal igual ao do indutor. Isso acontece porque a carga do indutor exerce ação de atração ou de repulsão sobre os elétrons do induzido. Em ambas as situações, a separação de cargas desaparece quando o indutor é afastado, isto é, o condutor (corpo induzido) volta para o estado inicial.

Por meio do fenômeno de indução eletrostática, é possível deixar o condutor induzido permanentemente carregado. Para isso, é preciso ligá-lo à terra antes de afastar o indutor. Essa ligação pode ser feita encostando o dedo no induzido: elétrons do induzido escoam para a terra (Fig. 13.A) ou elétrons da terra deslocam-se para o induzido (Fig. 13.B).

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.

O fenômeno de indução eletrostática explica por que ocorre atração ao aproximar um condutor eletrizado de um condutor neutro (Fig. 14). Um corpo *A*, eletrizado positivamente, é aproximado de um condutor metálico *B*, neutro, ocasiona o fenômeno da indução eletrostática. A carga positiva de *A* atrai a carga negativa induzida de *B* e repele a carga induzida positiva de *B*. Por causa da menor distância, a intensidade da força de atração é maior do que a de repulsão, por isso o efeito resultante é o de atração.



NELSON MATSUDA

Figura 14 Ao aproximar um condutor eletrizado de um condutor neutro, ocorre uma atração elétrica. (Representação fora de proporção; cores meramente ilustrativas.)

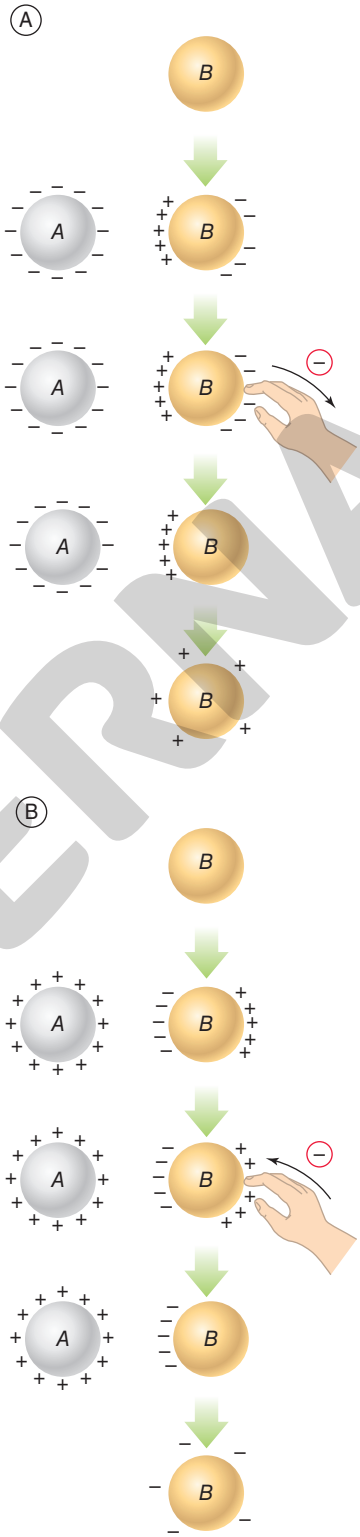


Figura 13 Representação da eletrização por indução. (A) Elétrons do induzido deslocando-se para a terra; (B) elétrons da terra deslocando-se para o induzido. (Representação fora de proporção; cores meramente ilustrativas.)

ILUSTRAÇÕES: ADILSON SECCO

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

MODERNA

É interessante notar que, ao aproximar um corpo eletrizado de um corpo isolante neutro, também se observa o fenômeno da atração. O isolante não possui elétrons livres, mas cada átomo dele se deforma, formando um **dipolo elétrico**. Em uma face do isolante, há um excesso de cargas elétricas negativas; já 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. Dizemos que o isolante está **polarizado**. Podemos verificar esse fenômeno aproximando uma barra de vidro atritada com lã de pedaços de papel (Fig. 15).

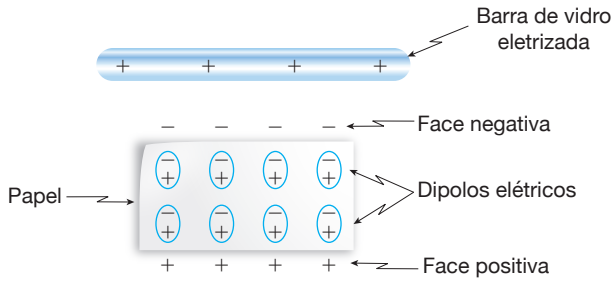


Figura 15 O pedaço de papel se polariza pela ação da barra eletrizada e é atraído por ela. (Representação fora de proporção; cores meramente ilustrativas.)

Aplicando conhecimentos

Veja respostas e comentários no Suplemento do Professor.

Registre as respostas em seu caderno.

1. Eneida e Pedro são dois alunos entusiasmados com o estudo de eletricidade estática. Eneida contou que, num 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, a Dani, brincava no pátio do colégio descendo do alto de um escorregador de plástico e, à medida que escorregava, seus cabelos também se arrepiavam.

1. 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 da Dani estavam previamente eletrizados.

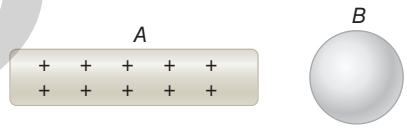
e) Esses fatos têm a mesma explicação: os fios de cabelo normalmente estão eletrizados, com cargas de mesmo sinal, pelo atrito com o ar.

2. Duas esferas metálicas idênticas, *A* e *B*, montadas sobre suportes isolantes, estão eletrizadas com cargas elétricas, respectivamente, iguais a $Q_A = +6\,\mu C$ e $Q_B = -2\,\mu C$. As esferas são colocadas em contato uma com a outra e, depois, separadas.

a) Durante o contato, haverá passagem de elétrons de uma esfera para outra? Em caso afirmativo, os elétrons passam de *A* para *B* ou de *B* para *A*? Justifique sua resposta.

b) Qual é a carga elétrica final de cada esfera depois do contato?

3. **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*?

2 Lei de Coulomb

Duas cargas elétricas pontuais ou puntiformes, isto é, corpos eletrizados de pequenas dimensões, Q_1 e Q_2, separadas por uma distância *d*, se repelem com forças de mesma intensidade F_{el}, mesma direção e sentidos opostos, se ambas tiverem sinais iguais (Fig. 16.A), ou se atraem com forças de mesma intensidade F_{el}, mesma direção e sentidos opostos, se ambas tiverem sinais contrários (Fig. 16.B), como prevê o princípio da ação e reação.

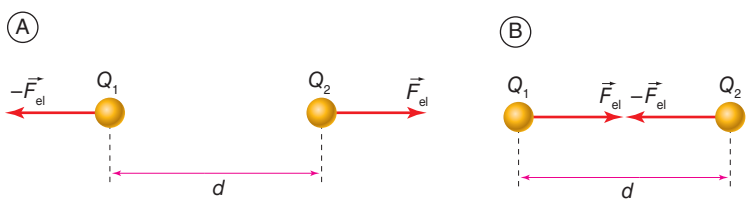


Figura 16 Representação esquemática das interações elétricas: (A) repulsão; (B) atração. (Representação fora de proporção; cores meramente ilustrativas.)

ILUSTRAÇÕES: ADILSON SECCO

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

MODERNA

A lei de Coulomb estabelece que:

> A intensidade da força com que duas cargas pontuais se atraem ou se repelem é diretamente proporcional ao produto dos módulos dessas cargas e inversamente proporcional ao quadrado da distância entre elas.

Analiticamente, 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 estão colocadas, é denominada constante eletrostática. Para o vácuo, e aproximadamente para o ar, o valor da constante eletrostática, que é indicada por k_0, determinado experimentalmente, é:

$$k_0 = 9 \cdot 10^9 \frac{N \cdot m^2}{C^2}$$

É importante salientar a influência da distância na intensidade da força de ação mútua entre as cargas. Se, para uma distância d, a intensidade da força é F_{el}, caso a distância passe a $2d$, a intensidade da força passará a $\frac{F_{el}}{4}$. Se a distância for triplicada, isto é, passar para $3d$, a intensidade da força passará a ser $\frac{F_{el}}{9}$. Se a distância for alterada para $4d$, a intensidade passará para $\frac{F_{el}}{16}$. Para a distância $5d$, a intensidade da força será $\frac{F_{el}}{25}$, e assim por diante (Fig. 17).

O exemplo a seguir ajudará a consolidar esses conceitos.

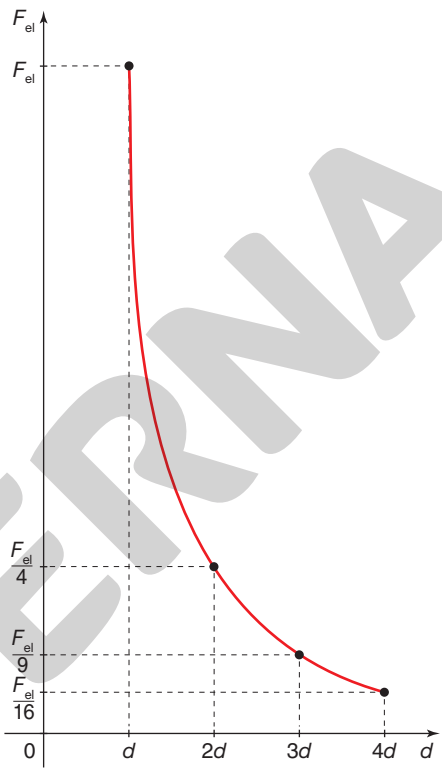


Figura 17 A intensidade da força F_{el} é inversamente proporcional ao quadrado da distância entre as cargas, d^2.

ILUSTRAÇÃO: ADILSON SECCO

Duas pequenas esferas iguais, eletrizadas com a mesma carga elétrica Q, situam-se à 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.

***Resolução*:**

Temos: $d = 50$ cm $= 0{,}5$ m e $F_{el} = 1{,}44 \cdot 10^{-1}$ N

Aplicando a lei de Coulomb, obtemos:

$$F_{el} = k \cdot \frac{|Q_1| \cdot |Q_2|}{d^2} \Rightarrow F_{el} = k_0 \cdot \frac{Q^2}{d^2} \Rightarrow Q^2 = \frac{F_{el} \cdot d^2}{k_0} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow Q^2 = \frac{1{,}44 \cdot 10^{-1} \cdot 0{,}25}{9 \cdot 10^9} \Rightarrow Q^2 = 4 \cdot 10^{-2}$$

Portanto:

$Q = 2 \cdot 10^{-6}$ C $= 2$ μC ou $Q = -2$ μC

Observe que é impossível determinar se as duas cargas são positivas ou negativas, pois em ambos os casos teríamos uma repulsão elétrica.

Aplicando conhecimentos

Veja respostas e comentários no Suplemento do Professor.

Registre as respostas em seu caderno.

4. 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 estas se atraem ou se repelem.

5. Duas pequenas esferas idênticas eletrizadas, com cargas elétricas $5q$ e $-3q$, se atraem com força 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.

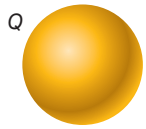
b) Qual é a intensidade da força elétrica entre as esferas após o contato?

MODERNA

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. 18).



Esse fato tem 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 num 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 $\vec{E}$.

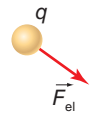


Figura 18 A carga elétrica q na presença de um campo elétrico fica sujeita a uma força elétrica. (Representação fora de proporção; cores meramente ilustrativas.)

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 $\vec{E}$ possuem 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. 19).

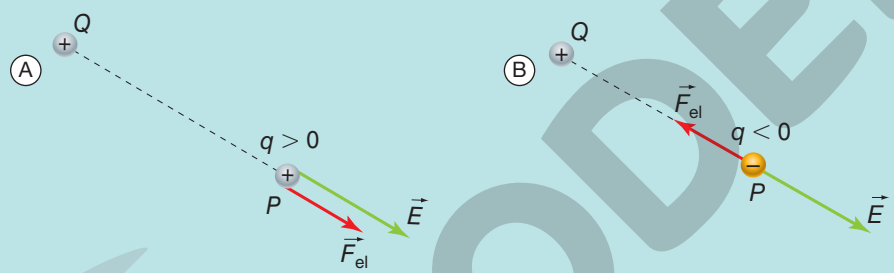


Figura 19 A força elétrica e o vetor campo elétrico possuem a mesma direção. No entanto, o sentido da força elétrica vai depender do sinal da carga elétrica no ponto P. (Representação fora de proporção; cores meramente ilustrativas.)

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 20.A), independentemente do sinal de q e de seu valor.

De fato, se no ponto P do campo elétrico (Fig. 20.A) colocarmos uma carga de prova positiva ($q > 0$), essa carga de prova ficará sujeita à força de repulsão $\vec{F}_{el}$ (Fig. 20.B). 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. 20.C). Note que $\vec{F}_{el}$ e $\vec{E}$ têm sentidos opostos. Note que o sentido de $\vec{E}$ é o mesmo do da carga Q, para fora, isto é, de afastamento.

Portanto, o vetor campo elétrico em P permanece o mesmo, independentemente do sinal da carga de prova.

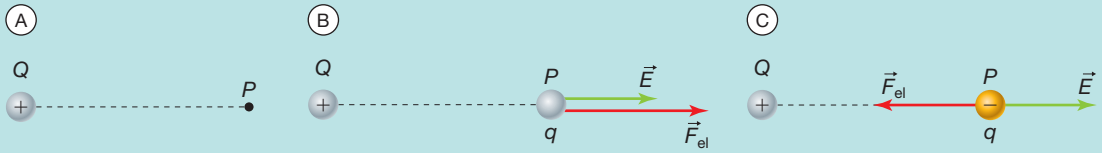


Figura 20 Representação esquemática do vetor campo elétrico $\vec{E}$. (Representação fora de proporção; cores meramente ilustrativas.)

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

MODERNA

ILUSTRAÇÕES: ADILSON SECCO

Dialogando com o texto

Refaça as etapas da figura 20, considerando $Q < 0$, e conclua que o vetor campo elétrico $\vec{E}$ em P tem sentido de fora para a carga, isto é, de aproximação.

De $E = \frac{F_{el}}{|q|}$ e da lei de Coulomb, podemos expressar o valor da **intensidade** do campo elétrico gerado por uma carga elétrica pontual; assim:

$$E = \frac{F_{el}}{|q|} \Rightarrow E = \frac{\left(k \cdot \frac{|q| \cdot |Q|}{d^2}\right)}{|q|} \Rightarrow E = k \cdot \frac{|Q|}{d^2}$$

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 que gera o campo. Quanto ao **sentido**, quando a carga elétrica pontual que gera o campo é positiva, ele é de afastamento, isto é, está orientado da carga para fora (Fig. 21.A). Se a carga elétrica que gera o campo é negativa, o sentido do vetor campo elétrico é de aproximação, isto é, está orientado de fora para a carga (Fig. 21.B).

Vamos representar o vetor campo elétrico resultante num ponto P nos casos: o campo elétrico é gerado por duas cargas elétricas pontuais, Q_1 e Q_2, de sinais contrários (Fig. 22.A) e o campo elétrico é gerado por duas cargas elétricas pontuais, Q_1 e Q_2, positivas (Fig. 22.B).

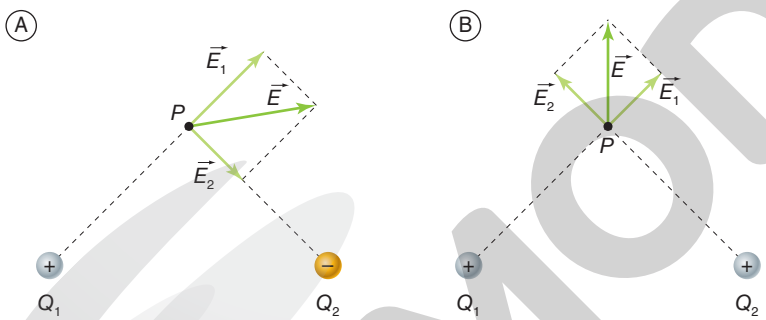


Figura 22 Representação esquemática do vetor campo elétrico no ponto P gerado por duas cargas elétricas pontuais: (A) de sinais contrários; (B) positivas. (Representação fora de proporção; cores meramente ilustrativas.)

Linhas de força

As linhas de força de um campo elétrico foram sugeridas inicialmente por Michael Faraday (1791-1867) para explicar a ação da distância entre cargas elétricas. Para ele, essas linhas poderiam não só indicar a direção do campo elétrico, mas 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 que gera o campo elétrico é positiva, as linhas de força são semirretas orientadas com origem na carga (Fig. 23.A). 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. 23.B).

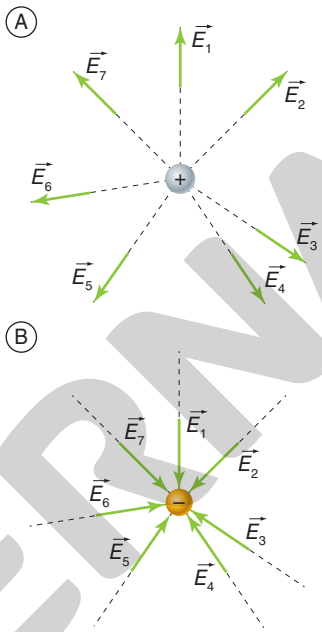


Figura 21 Representação esquemática de um campo elétrico: (A) orientação de afastamento; (B) orientação de aproximação. (Representação fora de proporção; cores meramente ilustrativas.)

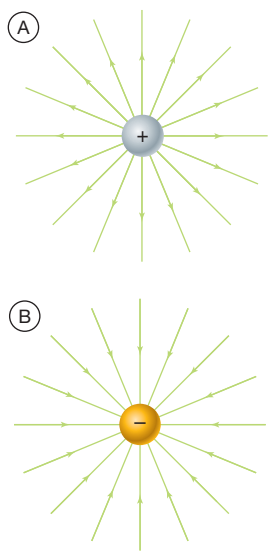


Figura 23 Esquema das linhas de força de um campo elétrico. (A) Campo gerado por carga positiva; (B) campo gerado por carga negativa. (Representação fora de proporção; cores meramente ilustrativas.)

ILUSTRAÇÕES: ADILSON SECCO

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

MODERNA

As linhas de força do campo elétrico gerado por duas cargas elétricas pontuais de mesmo módulo estão representadas na figura 24. Observe que, para cargas de sinais opostos (Fig. 24.A), 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. 24.B), ou seja, as linhas de força geradas por uma carga não encontram as linhas de força de outra.

Ainda na figura anterior, 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. 24.A).

Vamos analisar o exemplo a seguir para compreender melhor as características do campo elétrico criado por uma carga pontual.

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 num 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.

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) De $F = |q| \cdot E$, podemos calcular a intensidade da força que age sobre a carga de prova. Substituindo os valores, obtemos:

$$F = 1{,}0 \cdot 10^{-7} \cdot 2{,}0 \cdot 10^5 \Rightarrow F = 2{,}0 \cdot 10^{-2}$$

$$\therefore F = 0{,}02\ N$$

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:

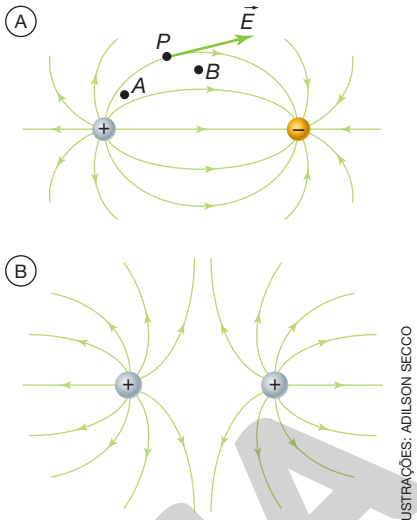
Veja respostas e comentários no Suplemento do Professor.

Aplicando conhecimentos

Registre as respostas em seu caderno.

6. 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.

7. 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 3Q em um ponto situado à distância $\frac{d}{2}$? Dê a resposta em função de E.



ILUSTRAÇÕES: ADILSON SECCO

Figura 24 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.)

Veja comentários sobre essa atividade no Suplemento do Professor.

Dialogando com o texto

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, discuta com os colegas o que ocorre com os ocupantes de um automóvel quando o veículo é atingido por um raio. Considere o carro totalmente fechado. Isso vale também para um avião? Pesquisem como aparelhos elétricos utilizam esse conceito para proteger o circuito interno.

MODERNA

Veja respostas e comentários no Suplemento do Professor.

Registre as respostas em seu caderno.

1. O que se entende quando dizemos que um corpo está eletrizado positivamente?

2. (OBC) Chama-se série triboelétrica a uma sequência de substâncias de modo que cada uma adquire carga elétrica positiva quando atritada com qualquer outra que a sucede na lista e carga elétrica negativa quando atritada com qualquer outra que a antecede na lista. Na série triboelétrica, a lã sucede o vidro e antecede a ebonite.

2. c

a) Na eletrização por atrito entre uma barra de vidro e um pano de lã, o vidro se eletriza negativamente e a lã, positivamente.

b) Na eletrização por atrito entre uma barra de ebonite e um pano de lã, a ebonite se eletriza positivamente e a lã, negativamente.

c) O vidro se eletriza positivamente quando atritado com lã ou com ebonite.

d) Atritando-se dois panos de lã, idênticos, eles se eletrizam com cargas elétricas de sinais contrários.

e) A lista de substâncias denominada série triboelétrica foi inventada pelos índios.

3. Duas pequenas esferas idênticas, eletrizadas com cargas elétricas Q_1 e Q_2 e separadas pela distância d, repelem-se com força de intensidade F. Considere as afirmações:

3. c

I. Dobrando a distância entre as esferas, a intensidade da força de repulsão passa a ser $\frac{F}{2}$.

II. Dobrando os valores das cargas elétricas, mantendo-se a distância entre elas, a força de repulsão passa a ter intensidade $2F$.

III. Considere $Q_2 = 3Q_1$. Colocando as esferas em contato e, a seguir, separando-as pela distância d, a força de repulsão passa a ter intensidade $\frac{4F}{3}$.

Analisando as afirmações, concluímos que:

a) somente a afirmação I é correta.

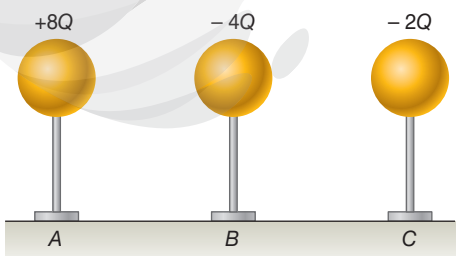
b) somente a afirmação II é correta.

c) somente a afirmação III é correta.

d) somente duas das afirmações são corretas.

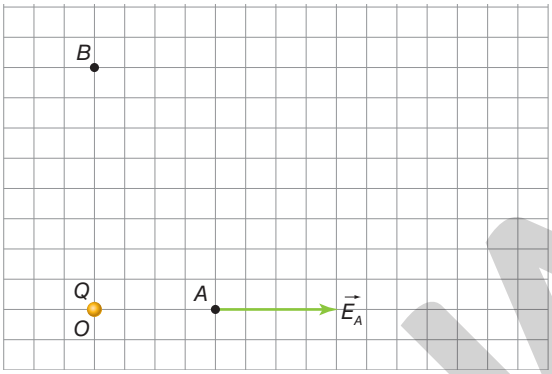
e) todas as afirmações são corretas.

4. 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 e, posteriormente, um contato entre as esferas B e C. Qual será a carga final de cada uma das esferas?

5. Uma partícula eletrizada com carga elétrica Q, fixa num 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.



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 $\vec{E}_A$?

6. (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.

6. 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.

ILUSTRAÇÕES: ADILSON SECCO

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

MODERNA

CAPÍTULO 5

CIRCUITOS ELÉTRICOS

De olho na BNCC:

- EM13CNT107
- EM13CNT301
- EM13CNT306
- EM13CNT308
- EM13CHS106
- EM13MAT101
- EM13MAT302
- EM13MAT401

JABOTICABA FOTOS/SHUTTERSTOCK

Aviso de perigo em área de alta tensão.

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 pela mão de uma pessoa e sai pela outra. Atravessando o tórax, há grande chance de a corrente elétrica afetar o coração e a respiração. 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. O valor que pode causar a morte está compreendido entre 10 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 (SI), 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. Finalizaremos o capítulo com o estudo dos geradores e dos aparelhos de medida, amperímetro e voltímetro.

1. Corrente elétrica

Conceito de 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 elétrico.

Os metais possuem uma quantidade muito grande de elétrons livres. 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.

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

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. Sob a ação de forças elétricas, os elétrons livres entram 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. 1.A) e ordenadamente, constituindo, assim, uma corrente elétrica (Fig. 1.B).

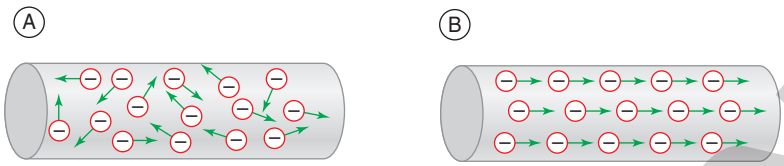


Figura 1 Representação esquemática do movimento dos elétrons livres em um fio metálico: (A) movimento caótico dos elétrons; (B) movimento ordenado dos elétrons. (Representação fora de proporção; cores meramente ilustrativas.)

Corrente real e corrente convencional

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 um fluido elétrico, estabeleceu-se, por convenção, 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, portanto, 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.

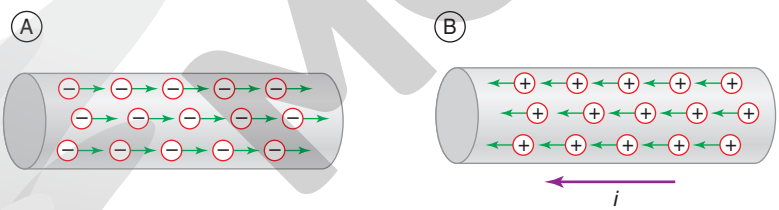


Figura 2 Representação esquemática: (A) corrente real; (B) corrente convencional. (Representações fora de proporção; cores meramente ilustrativas.)

Intensidade de corrente elétrica

Vamos considerar um condutor metálico pelo qual passa uma corrente elétrica. Se destacarmos uma seção transversal S desse condutor (Fig. 3), passarão por ela, num dado intervalo de tempo Δt, n partículas elementares, correspondendo a uma carga elétrica ΔQ, que pode ser calculada por $\Delta Q = n \cdot e$, sendo e o valor do módulo da carga elétrica do elétron, chamada carga elétrica elementar ($e = 1{,}6 \cdot 10^{-19}$ C).

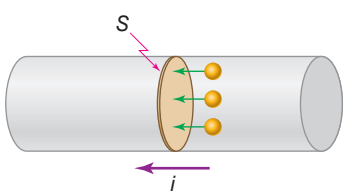


Figura 3 Representação das cargas elementares atravessando uma seção transversal S do condutor e da corrente elétrica ***i***. (Representação fora de proporção; cores meramente ilustrativas.)

ILUSTRAÇÕES: ADILSON SECCO

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

MODERNA

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, portanto, 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, um dos responsáveis pelo desenvolvimento da Eletricidade.

Aplicando conhecimentos

Veja respostas e comentários no Suplemento do Professor.

Registre as respostas em seu caderno.

1. A corrente elétrica que se estabelece num condutor metálico é decorrente do movimento ordenado de:

1. c

a) íons do metal;
b) prótons;
c) elétrons livres;
d) prótons num 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, pois, ao se movimentar, eles colidem com os átomos do condutor. Desse modo, todo condutor dificulta a passagem da corrente elétrica, ou seja, todos os condutores apresentam **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.

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).

EDUARDO SANTALIESTRA

Figura 4 Geradores elétricos de uso comum.

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

MODERNA

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. Montamos, assim, um circuito elétrico.

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.

MALERAPASO/ISTOCKPHOTO/GETTY IMAGES

Figura 5 Lâmpada elétrica incandescente.

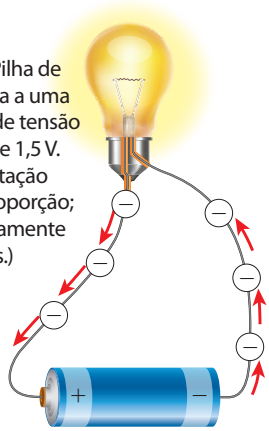


Figura 6 Pilha de 1,5 V ligada a uma lâmpada de tensão nominal de 1,5 V. (Representação fora de proporção; cores meramente ilustrativas.)

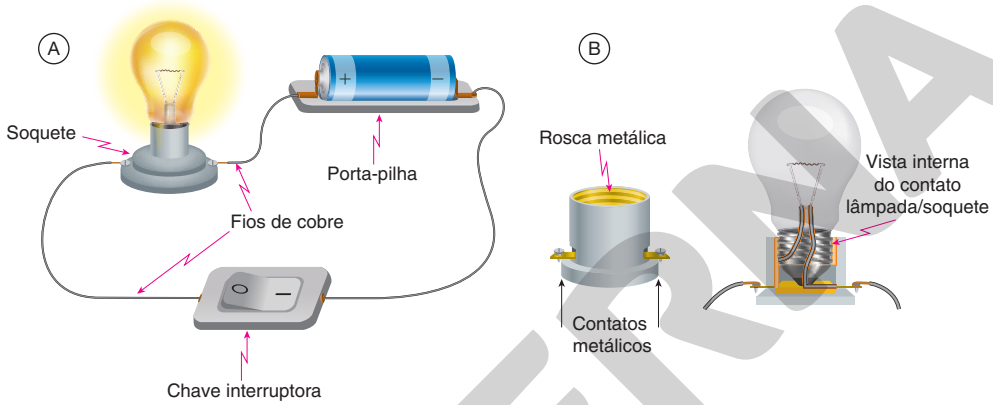


Figura 7 (A) Circuito elétrico; (B) ligação da lâmpada ao soquete. (Representação fora de proporção; cores meramente ilustrativas.)

Utilizando os símbolos indicados na figura 8.A, podemos fazer uma representação esquemática de um circuito (Fig. 8.B).

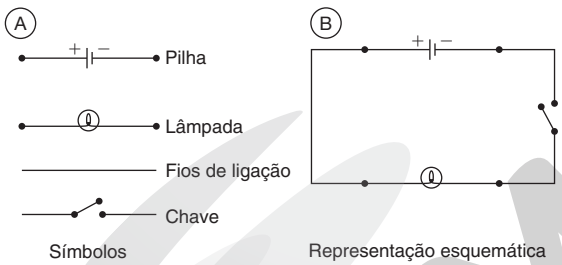


Figura 8 (A) Representação esquemática de alguns elementos presentes em circuitos elétricos; (B) representação esquemática de um circuito elétrico.

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**.

5. Lâmpadas LED

O LED (*light emitting diode*) é um diodo semicondutor que emite luz.

As lâmpadas incandescentes utilizadas para a iluminação residencial consomem muita energia, e sua durabilidade é relativamente pequena. Com a criação de novas opções para a iluminação, as lâmpadas incandescentes foram substituídas por lâmpadas fluorescentes, que são mais eficientes e mais duráveis. Atualmente, são muito utilizadas as lâmpadas LED, que apresentam baixo consumo de energia elétrica e uma longa vida útil.

ILUSTRAÇÕES: ERICSON GUILHERME LUCIANO

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

MODERNA

6. 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.

$$\mathrm{W} = \frac{1\,\mathrm{J}}{1\,\mathrm{s}}$$

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:

$$\frac{60}{1.000}\ \mathrm{kW} \cdot 10\ \mathrm{h} = 0{,}6\ \mathrm{kWh}$$

7. 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. 9.A) e o fio de nicromo, enrolado em forma de hélice, dos chuveiros elétricos (Fig. 9.B).

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**.

8. 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 estabeleceu, por meio de experimentos, uma relação entre as grandezas U, R e i, encontrando:

$$U = R \cdot i$$

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

MODERNA

Essa relação passou a ser conhecida como lei de Ohm. Na lei de Ohm, U é medido em volt (V), R em ohm (Ω) e i em ampere (A).

Observação: O cálculo da potência elétrica P consumida pelo resistor, percorrido por corrente elétrica de intensidade i e sob tensão U, é dada pelo produto de U por i:

$$P = U \cdot i$$

P é medido em watt (W), U em volt (V) e i em ampere (A).

Dialogando com o texto Veja respostas e comentários sobre essa atividade no Suplemento do Professor.

Os resistores para os quais vale a lei de Ohm (U diretamente proporcional a i, ou seja, R constante) são chamados de resistores ôhmicos. O gráfico de U em função de i é denominado curva característica.

Faça uma pesquisa sobre resistores ôhmicos e não ôhmicos, descreva as diferenças entre os dois e faça um esboço da curva característica desses resistores. Qual é a diferença entre os gráficos?

Aplicando conhecimentos

Veja respostas e comentários no Suplemento do Professor.

Registre as respostas em seu caderno.

3. O quadro abaixo mostra alguns aparelhos eletrodomésticos, sua potência e o intervalo de tempo que permanecem ligados durante um dia.

Quantidade	Aparelho	Potência (W)	Intervalo de tempo (h)
6	Lâmpadas	60	10
2	Chuveiro	3.600	1
1	Torneira elétrica	4.000	1
1	TV	100	8

Determine:

a) o consumo, em kWh, de energia elétrica em um dia;

b) o custo da energia elétrica consumida em um dia sabendo que 1 kWh custa R$ 0,40.

4. Uma família com quatro pessoas planeja substituir um chuveiro elétrico de 5.000 W por um sistema de aquecimento solar, cujo custo de instalação é de R$ 3.000,00. Considerando que o chuveiro é usado todos os dias por um período total de duas horas e que o custo da energia elétrica é de R$ 0,40/kWh, em quanto tempo o investimento no sistema de aquecimento solar será recuperado?

9. Associação de lâmpadas

Ligação em série

Quando lâmpadas estão ligadas, conforme indica a figura 10, dizemos que elas estão associadas em série.

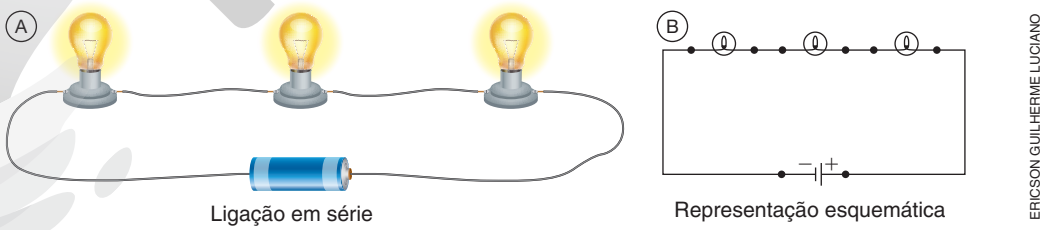


Figura 10 (A) Lâmpadas e pilha ligadas em série; (B) representação esquemática do circuito. (Representação fora de proporção; cores meramente ilustrativas.)

ERICSON GUILHERME LUCIANO

Na ligação em série, todas as lâmpadas são percorridas pela mesma corrente elétrica. Se uma delas queimar, a corrente elétrica será interrompida e as outras lâmpadas apagarão.

Considere R_1, R_2 e R_3 as resistências elétricas das lâmpadas. Substituindo as três lâmpadas por uma só que produza o mesmo efeito das três, obtemos uma lâmpada equivalente e sua resistência elétrica, R_{eq}, é a soma das resistências associadas:

$$R_{eq} = R_1 + R_2 + R_3$$

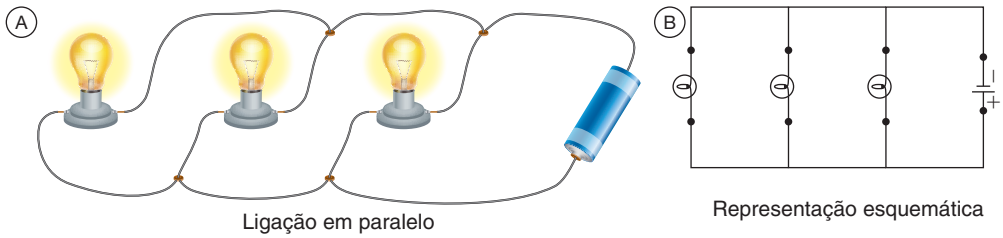
Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

MODERNA

Embora tenhamos analisado o cálculo da resistência equivalente para uma associação de três lâmpadas, podemos calcular a resistência equivalente da mesma forma para qualquer número de lâmpadas associadas em série.

Ligação em paralelo

Quando todos os terminais de um mesmo lado de um circuito estão ligados entre si, ocorrendo o mesmo com os terminais do outro lado (Fig. 11), dizemos que os elementos do circuito estão ligados em paralelo.



ERICSON GUILHERME LUCIANO

Figura 11 (A) Lâmpadas e pilha ligadas em paralelo; (B) representação esquemática do circuito. (Representação fora de proporção; cores meramente ilustrativas.)

Sejam R_1, R_2 e R_3 as resistências elétricas das lâmpadas da associação. A resistência da lâmpada equivalente é tal que seu inverso é a soma dos inversos das resistências associadas:

$$\frac{1}{R_{eq}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}$$

Embora tenhamos analisado o cálculo da resistência equivalente para uma associação de três lâmpadas, podemos calcular a resistência equivalente da mesma forma para qualquer número de lâmpadas associadas em paralelo.

Na ligação em paralelo, cada lâmpada é ligada independentemente aos polos da pilha, ou seja, uma ligação não depende da outra. Portanto, se uma das lâmpadas queimar, as outras continuarão acesas e com o mesmo brilho. Podemos concluir que a associação em paralelo é a que melhor funciona para uma instalação elétrica domiciliar. Por isso, se uma lâmpada queimar em uma casa, as outras poderão permanecer ou ser acesas. Por exemplo, ao ligar um televisor, não alteramos o funcionamento de outros aparelhos que também estejam ligados.

Dialogando com o texto

Veja comentários sobre essa atividade no Suplemento do Professor.

Levando em conta o texto sobre as associações em série e em paralelo, qual seria a resistência equivalente de três lâmpadas de mesma resistência *R*? Dê a resposta em função de *R*. Analise, em primeiro lugar, lâmpadas em série e, em segundo lugar, em paralelo.

Considere também duas lâmpadas de resistências R_1 e R_2 associadas em paralelo. Calcule a resistência equivalente R_{eq} e, com base em operações matemáticas, estabeleça uma regra que permita rapidamente determinar R_{eq}.

Aplicando conhecimentos

Veja respostas e comentários no Suplemento do Professor.

Registre as respostas em seu caderno.

5. 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?

6. 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 total na associação;

c) as intensidades das correntes que atravessam cada resistor;

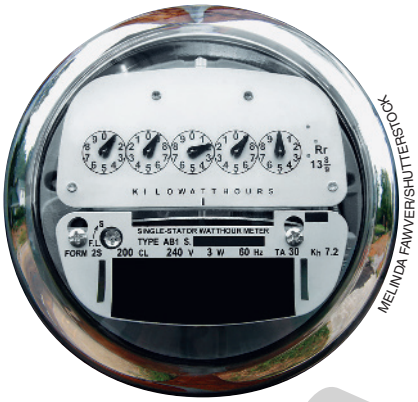
d) a potência dissipada na associação.

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

MODERNA

10. 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. 12). É importante conferir o valor consumido com o que é indicado nas contas de luz e comparar com o consumo da energia elétrica nos meses anteriores. Qual é o preço de 1 kWh? Quais são os impostos cobrados? Que porcentagem eles representam do total a ser pago?



MELINDA FAWVER/SHUTTERSTOCK

Figura 12 Medidor de consumo de energia elétrica.

Há pessoas que, preocupadas com o excessivo gasto energético da sociedade, 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 a utilização de usinas termoelétricas, o racionamento e a cobrança de multas para quem excede um certo nível de consumo de eletricidade.

Em geral, os medidores de energia elétrica possuem 4 ou 5 mostradores (Fig. 13).

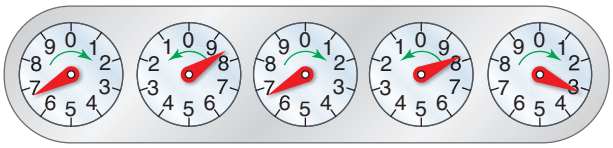


Figura 13 Representação dos mostradores em que se faz a leitura do consumo de energia elétrica. (Representação fora de proporção; cores meramente ilustrativas.)

ADILSON SECCO

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 14 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 14, que mostra o medidor de energia elétrica de uma residência em 7 de abril e em 6 de maio.

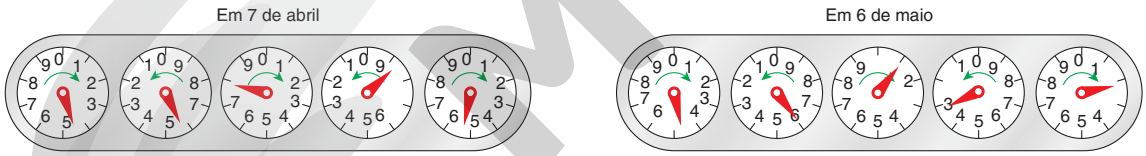


Figura 14 Em 7 de abril, o medidor indicava 45.785 kWh e, em 6 de maio, marcava 46.132 kWh. (Representação fora de proporção; cores meramente ilustrativas.)

ERICSON GUILHERME LUCIANO

Portanto, a quantidade de energia elétrica consumida nesse período é dada pela diferença:

$$E_{consumida} = 46.132\ kWh - 45.785\ kWh = 347\ kWh$$

Atividade em grupo

Veja comentários sobre essa atividade no Suplemento do Professor.

Embora o choque elétrico seja potencialmente perigoso, há situações em que ele é necessário. Por exemplo, os desfibriladores são aparelhos usados em Medicina para aplicar choques elétricos no coração no caso de uma parada cardíaca; há também os marca-passos, que servem para regular a frequência dos batimentos cardíacos.

Forme um grupo com seus colegas e pesquisem os efeitos dos choques elétricos no nosso organismo. Apresentem os resultados de sua investigação à turma e discutam as medidas preventivas que devem ser tomadas para evitar que acidentes com eletricidade aconteçam.

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

MODERNA

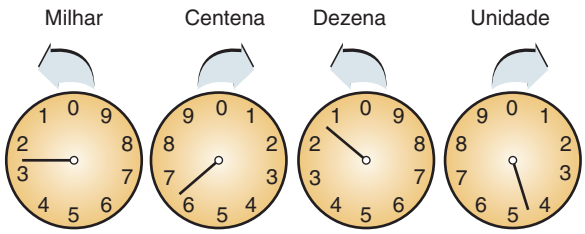
Aplicando conhecimentos

Veja respostas e comentários no Suplemento do Professor.

Registre as respostas em seu caderno.

7. (Enem) O medidor de energia elétrica de uma residência, conhecido por "relógio de luz", é constituído de quatro pequenos relógios, cujos sentidos de rotação estão indicados conforme a figura:

7. a



Disponível em: <http://www.enersul.com.br>. Acesso em: 26 abr. 2010.

A medida é expressa em kWh. O número obtido na leitura é composto por 4 algarismos. Cada posição do número é formada pelo último algarismo ultrapassado pelo ponteiro.

O número obtido pela leitura em kWh, na imagem, é

a) 2.614.
b) 3.624.
c) 2.715.
d) 3.725.
e) 4.162.

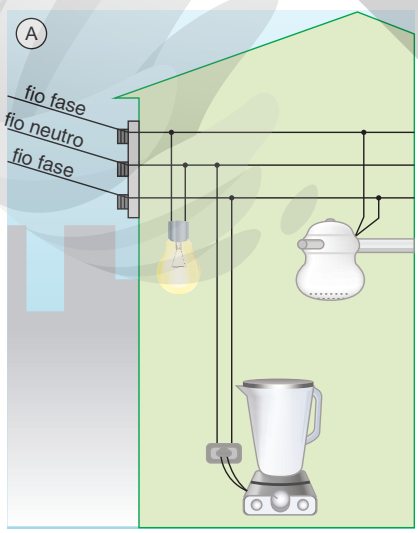
11. Circuito elétrico nas residências

Você saberia dizer como estão ligados os diversos aparelhos elétricos da sua residência? Como podemos acender e apagar a lâmpada de 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. 15.A). 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. 15.B) 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.



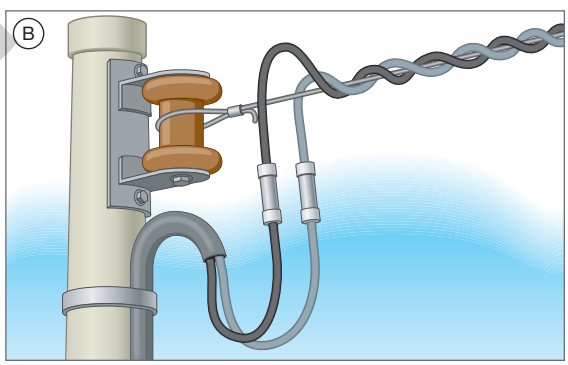


Figura 15 (A) Entre os fios fase a tensão elétrica é de 220 V. Entre cada fio fase e o fio neutro, a tensão é de 127 V. O chuveiro elétrico, que consome mais energia elétrica, é ligado de modo a ficar submetido a 220 V; (B) Todos os aparelhos são ligados em tensões de 127 V ou de 220 V em residências onde há somente esse tipo de instalação elétrica. (Representações fora de proporção; cores meramente ilustrativas.)

ILUSTRAÇÕES: ERICSON GUILHERME LUCIANO

ADILSON SECCO

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

MODERNA

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 16.

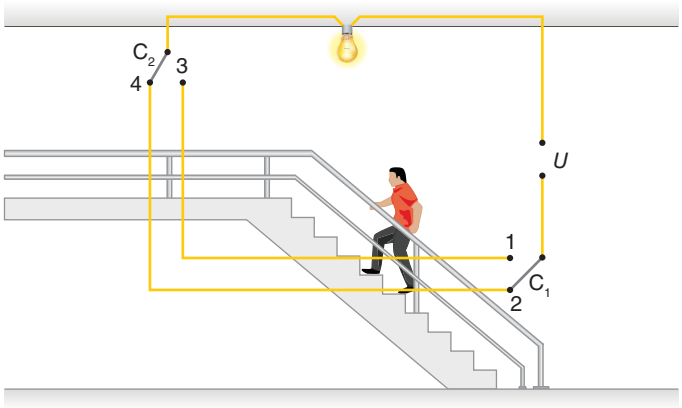


Figura 16 Instalação de chaves paralelas em uma escada. (Representação fora de proporção; cores meramente ilustrativas.)

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.

12. Gerador elétrico

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 17.A, 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.

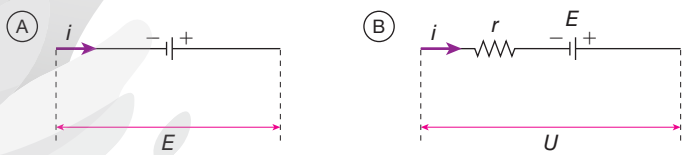


Figura 17 Representação de um gerador elétrico: (A) ideal; (B) real.

Já o gerador real possui resistência interna *r*, não nula. Na figura 17.B, temos a representação de um gerador real. Nela, encontramos a resistência interna *r* e o valor de *E*, que é colocado ao lado dos traços que representam os polos. Indicamos também o sentido convencional da corrente elétrica.

Sabemos que o produto $r \cdot i$ representa a ddp na resistência interna *r*, portanto, a ddp *U* fornecida pelo gerador é dada por:

$$U = E - r \cdot i$$

A equação acima é denominada **equação do gerador**.

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

ILUSTRAÇÕES: ERICSON GUILHERME LUCIANO

Dialogando com o texto

Veja comentários sobre essa atividade no Suplemento do Professor.

Analisando a equação do gerador $U = E - r \cdot i$, observe que, se $i = 0$, obtemos $U = E$. Nesse caso, dizemos que o gerador está em circuito aberto.

Observe também que, se $U = 0$, temos $i_{cc} = E/r$. Nesse caso, dizemos que o gerador está em curto-circuito, e essa corrente elétrica é denominada corrente de curto-circuito.

Em posse desses valores e sabendo que o gráfico do gerador representa uma reta, elabore um gráfico para um gerador cuja força eletromotriz é de 12 V e sua resistência interna é de 2 Ω.

Qual é a corrente de curto-circuito desse gerador? Pesquise o que ocorre quando ligamos os polos de uma pilha com uma fita de papel-alumínio ou com pedaços de palha de aço. Qual é a relação com o efeito Joule?

13. Amperímetro e voltímetro

O amperímetro é um aparelho destinado a medir a intensidade de corrente elétrica em dado trecho do circuito (Fig. 18).

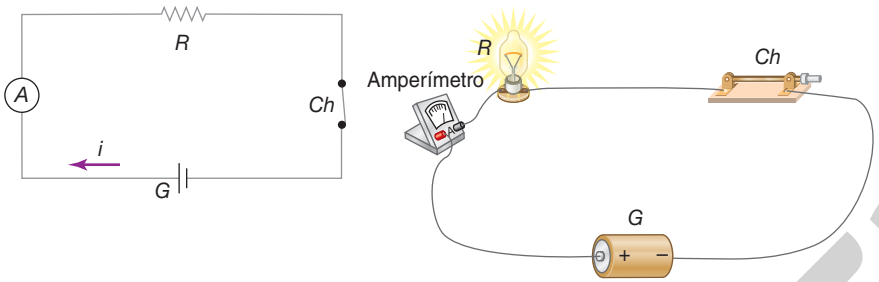


Figura 18 Representação esquemática de um circuito com amperímetro. (Representação fora de proporção; cores meramente ilustrativas.)

O amperímetro deve ter uma resistência elétrica muito baixa, que possa ser desprezada. Se o amperímetro tiver uma resistência elétrica elevada, ao ser intercalado no circuito, ele modifica a própria corrente elétrica que deve medir. Assim, nos circuitos aqui estudados, vamos considerar sempre o amperímetro ideal, portanto, com uma resistência elétrica nula ($R_A = 0$).

O voltímetro destina-se a medir a tensão elétrica entre dois pontos do circuito. Seus terminais devem ser ligados aos pontos cuja ddp ele deve medir (Fig. 19).

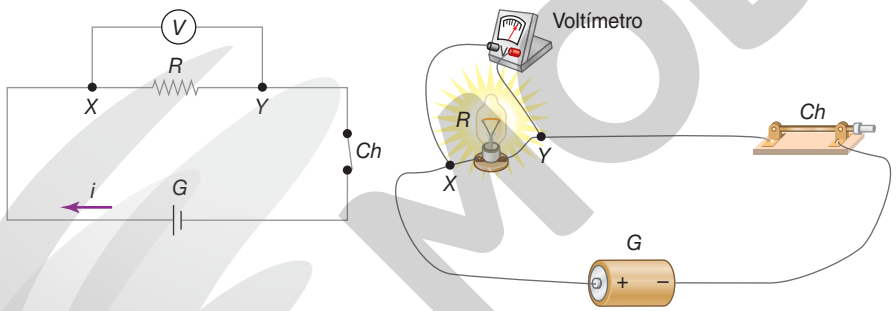


Figura 19 Representação esquemática de um circuito com voltímetro. O voltímetro registra a ddp entre os pontos *X* e *Y*. (Representação fora de proporção; cores meramente ilustrativas.)

Ao contrário do amperímetro, o voltímetro deve ter uma resistência elétrica muito elevada, para que possa ser desconsiderada a intensidade de corrente que se desvia para ele ao ser colocado no circuito. Se não fosse assim, ele modificaria a própria ddp que deve medir. Assim, nos circuitos aqui estudados, vamos considerar sempre o voltímetro ideal, portanto, com uma resistência elétrica infinita ($R_V \longrightarrow \infty$).

Aplicando conhecimentos

Veja respostas e comentários no Suplemento do Professor.

Registre as respostas em seu caderno.

8. Você dispõe de um resistor, um gerador, um amperímetro e um voltímetro ideais e fios de ligação e pretende montar um circuito para medir a intensidade da corrente que atravessa o resistor e a ddp entre seus terminais.

a) Desenhe o circuito em seu caderno.

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 valor da resistência elétrica do resistor?

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

ILUSTRAÇÕES: ADILSON SECCO

MODERNA

Registre as respostas em seu caderno.

Veja respostas e comentários no Suplemento do Professor.

1. As baterias, muitas vezes, são classificadas em termos de ampere-hora (Ah). O que essa classificação indica?

SCIENCEPHOTOS/ALAMY/FOTOARENA

2. 2.b A seção reta de um fio metálico é atravessada por uma carga elétrica de 6,0 μC, durante um intervalo de tempo de 3,0 ms. A intensidade da corrente elétrica que atravessou a seção do fio metálico foi igual a:

a) 1,0 mA
b) 2,0 mA
c) 3,0 mA
d) 4,0 mA
e) 6,0 mA

3. Quanto tempo deveria estar ligada uma lâmpada elétrica de 60 W para que consumisse a mesma quantidade de energia elétrica que um chuveiro de potência 5.400 W, ligado durante 20 minutos?

4. Um chuveiro elétrico traz uma plaqueta de fábrica com as especificações (220 V – 2.200 W/4.400 W). O chuveiro possui uma chave seletora que pode ser colocada na posição "INVERNO", na posição "VERÃO" ou na posição "DESLIGADO".
Supondo-o corretamente instalado e considerando que o custo da energia elétrica é de R$ 0,40/kWh, 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".

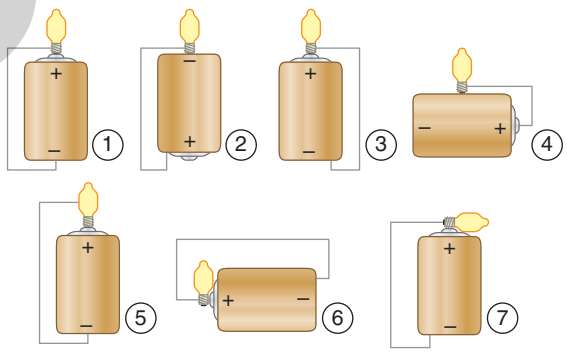
5. 5.d (Enem) Lâmpadas incandescentes são normalmente projetadas para trabalhar com a tensão da rede elétrica em que serão ligadas. Em 1997, contudo, lâmpadas projetadas para funcionar com 127 V foram retiradas do mercado e, em seu lugar, colocaram-se lâmpadas concebidas para uma tensão de 120 V. Segundo 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	Tensão da rede elétrica	Potência medida (watts)	Luminosidade medida (lumens)	Vida útil média (horas)
60 W – 127 V	127 V	60	750	1.000
60 W – 120 V	127 V	65	920	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.

6. 6.d (Enem) Um estudante curioso, empolgado com a aula de circuito elétrico a que assistiu na escola, resolve desmontar sua lanterna. Utilizando-se da lâmpada e da pilha, retiradas do equipamento, e de um fio com as extremidades descascadas, faz as seguintes ligações com a intenção de acender a lâmpada.



ADILSON SECCO

GONÇALVES FILHO, A.; BAROLLI, E. *Instalação elétrica*: investigando e aprendendo. São Paulo: Scipione, 1997 (adaptado).

Tendo por base os esquemas mostrados, em quais casos a lâmpada acendeu?

a) (1), (3), (6)
b) (3), (4), (5)
c) (1), (3), (5)
d) (1), (3), (7)
e) (1), (2), (5)

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

MODERNA

CAPÍTULO 6

PILHAS E BATERIAS (CELAS GALVÂNICAS)

TADEUSZ IBROM/SHUTTERSTOCK

Foto do capô aberto de um automóvel movido a eletricidade que possibilita ver a célula a combustível (dispositivo no qual está a inscrição em inglês *fuel cell*). Trata-se de um gerador químico de corrente elétrica que emprega, como reagentes, o oxigênio do ar e um combustível (que pode ser, por exemplo, o gás hidrogênio). Foto tirada durante exposição em Londres, Inglaterra, 2015.

SALLY RYAN PHOTOGRAPHY

A engenheira e cientista de materiais etíope Sossina Haile (nascida em 1966) recebeu diversos prêmios por suas pesquisas, entre elas o desenvolvimento de baterias que utilizam combustível como um dos reagentes. Na década de 1990, ela construiu a primeira cela a combustível de ácido sólido, o que abriu caminho para a produção e comercialização desse tipo de gerador elétrico em larga escala. (Foto durante participação em simpósio sobre tecnologia e desenvolvimento sustentável, na Universidade Northwestern, Estados Unidos, 2018.)

Pilhas e baterias constituem produtos de importância para boa parte da sociedade. Sua miniaturização e durabilidade foram fatores que contribuíram para a disseminação de telefones celulares, *tablets* e computadores portáteis nos últimos anos.

Existem reações químicas cuja ocorrência está relacionada à transferência de elétrons de uma espécie química (átomo, molécula, íon) para outra. Reações desse tipo podem, em princípio, ser empregadas em geradores químicos de corrente elétrica, as pilhas e baterias. A corrente elétrica produzida por tais geradores pode se destinar às mais variadas finalidades práticas, desde acender lâmpadas e manter computadores funcionando até possibilitar que um automóvel se movimente.

Mas como uma reação química pode produzir corrente elétrica? Entender a resposta é um dos pontos centrais deste capítulo.

Uma das vantagens das pilhas e baterias é o fato de serem pequenas e, portanto, portáteis. Seu tamanho, porém, representa uma limitação, já que o tempo de funcionamento depende da quantidade de reagentes químicos que nelas existe. Quando ao menos um deles reagir completamente, os dispositivos deixam de produzir corrente elétrica.

As células a combustível não têm essa limitação. São um tipo de pilha em que os reagentes (no caso, um combustível e gás oxigênio) são continuamente fornecidos a partir do meio externo. Assim, a célula pode operar pelo tempo desejado, desde que o suprimento de reagentes seja mantido e ela esteja em condições adequadas de manutenção.

Neste capítulo, você conhecerá celas a combustível e poderá perceber como elas são promissoras para uso em automóveis e outros veículos.

De olho na BNCC:

- **EM13CNT101**
- **EM13CNT104**
- **EM13CNT106**
- **EM13CNT107**
- **EM13CNT203**
- **EM13CNT206**
- **EM13CNT302**
- **EM13CNT303**
- **EM13CNT306**
- **EM13CNT307**
- **EM13CNT308**
- **EM13CNT309**

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

MODERNA

1. Diferença de potencial nos polos de uma pilha

Como funcionam as pilhas e baterias elétricas? Quais são as substâncias que as compõem? O que têm essas substâncias de especial e que papel exercem dentro de tais dispositivos? Por que chega um momento em que a carga das pilhas e baterias acaba, ou seja, por que a capacidade de geração de corrente elétrica por esses dispositivos é finita? Essas são algumas das perguntas que poderão ser respondidas com o que se estuda neste capítulo, que aborda, entre outros temas, os dispositivos que permitem gerar corrente elétrica a partir de determinadas reações químicas.

Como explicado no Capítulo 5, o voltímetro é um dispositivo usado para medir a **tensão elétrica** entre dois pontos, grandeza que, no Sistema Internacional de Unidades (SI), é expressa em volt (V). Há voltímetros analógicos (de ponteiro) e voltímetros digitais. A Figura 1 consiste de ilustrações que mostram o resultado de medidas feitas com um voltímetro digital e uma pilha comum de lanterna.

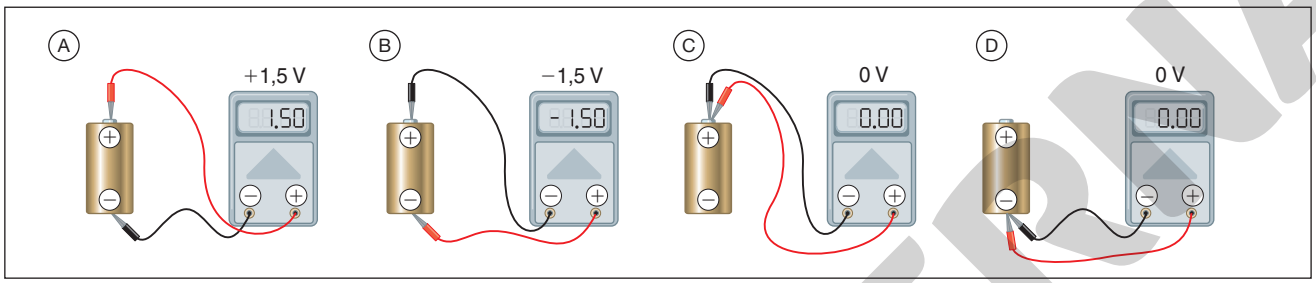


Figura 1 Alguns resultados experimentais que podem ser obtidos com um voltímetro digital e uma pilha comum de lanterna, comercializada como pilha de 1,5 V. (Representações fora de proporção; cores meramente ilustrativas.)

A tensão elétrica entre dois pontos pode ser considerada como sendo a diferença entre uma propriedade individual de cada um desses pontos, denominada **potencial elétrico**, também expressa em volt.

O voltímetro não fornece o valor do potencial elétrico de um ponto, mas sim a **diferença de potencial** (**ddp**) **elétrico** entre dois pontos, que corresponde à tensão elétrica. A Figura 1.A informa que a diferença de potencial elétrico entre os polos positivo e negativo da pilha de lanterna é de 1,5 V. A Figura 1.B informa a mesma coisa; o sinal negativo apareceu por causa da inversão no modo de conectar as extremidades dos fios do voltímetro aos polos da pilha. Ambas as medidas permitem concluir que o polo positivo da pilha de lanterna tem um potencial elétrico 1,5 V maior que o polo negativo ou, de modo equivalente, que o polo negativo tem um potencial elétrico 1,5 V inferior ao polo positivo. Assim, além de medir a diferença de potencial elétrico entre dois pontos, o voltímetro permite concluir qual deles apresenta o maior potencial.

De fato, o polo de uma pilha ou bateria que recebe a designação positivo é aquele que, dentre ambos, apresenta o maior potencial elétrico. A diferença de potencial elétrico nos terminais (polos) de uma pilha ou bateria, medida quando ela não esteja em uso para produzir corrente elétrica, corresponde à força eletromotriz (fem) dessa pilha ou bateria.

Os resultados das Figuras 1.C e 1.D revelam que a diferença de potencial é nula entre dois pontos pertencentes a um mesmo terminal de uma pilha.

Neste capítulo, discutimos a relação entre transformações (reações) químicas e produção de corrente elétrica em circuitos. Em função dos fenômenos estudados, é conveniente que, **na parte metálica dos circuitos elétricos externa à pilha**, ilustremos o sentido da **corrente elétrica real**, ou seja, o **sentido de movimentação dos elétrons**. As montagens experimentais esquematizadas na Figura 2 ilustram que, quando um condutor elétrico metálico é usado para conectar dois pontos entre os quais há uma diferença de potencial elétrico, estabelece-se uma movimentação ordenada de elétrons pelo fio, ou seja, uma corrente elétrica, com os elétrons se movendo espontaneamente de pontos de menor potencial elétrico para pontos de maior potencial elétrico.

Nesse ponto, você pode comentar com os estudantes que, conforme estudado no Capítulo 5, a tensão elétrica nos terminais de um gerador (U) é dada por $U = E - ri$, em que E é a força eletromotriz, r é a resistência interna do gerador e i é a intensidade da corrente elétrica que o atravessa. Quando $i = 0$, resulta $U = E$. Assim, quando a pilha ou bateria não alimenta nenhum circuito externo, a tensão elétrica U é equivalente à força eletromotriz E.

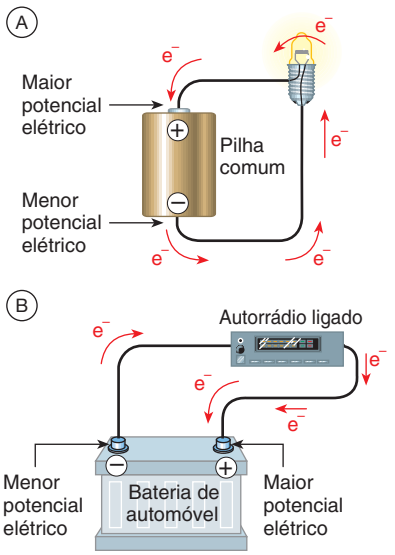


Figura 2 Indicação do sentido de movimentação dos elétrons na parte metálica de circuitos elétricos, que é o sentido da corrente elétrica real. (Representações fora de proporção; cores meramente ilustrativas.)

ILUSTRAÇÕES: ADILSON SECCO

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

EM MODERNA

2. Oxidação e redução

A **eletroquímica** estuda a relação entre a corrente elétrica e as reações químicas. Há dois casos de particular interesse para essa área da Ciência. O primeiro é o emprego controlado de certas reações químicas para produzir corrente elétrica, o que ocorre em uma **cela** (ou **célula**) **galvânica** (ou **voltaica**).

A primeira cela galvânica, construída pelo cientista italiano Alessandro Volta (1745-1827) em 1800, era uma pilha de discos de dois metais diferentes intercalados com discos de um material poroso embebido em uma solução aquosa apropriada. Por causa do formato desse dispositivo, uma cela galvânica ainda hoje é chamada de **pilha**, embora seja muito diferente da pilha elétrica de Volta.

O termo **bateria**, por sua vez, é reservado para a associação de duas ou mais pilhas, ainda que essa associação não seja visível do lado externo do dispositivo. É o caso, por exemplo, da bateria de automóvel, que corresponde na verdade à associação de várias pilhas iguais, e que fornece uma tensão elétrica maior que uma só das pilhas presentes em seu interior seria capaz de fornecer. Na linguagem corriqueira, contudo, os termos *bateria* e *pilha* são empregados indistintamente.

Nas baterias, duas ou mais pilhas estão associadas **em série**. Como consequência, a força eletromotriz total da bateria é igual à soma da força eletromotriz das pilhas constituintes da associação. Em uma bateria comum de automóvel, por exemplo, seis pilhas estão associadas em série, cada uma delas com força eletromotriz de aproximadamente 2 V, fazendo com que a bateria tenha força eletromotriz de aproximadamente 12 V. Esse exemplo será tratado na atividade 8 do *Aplicando conhecimentos*.

Um segundo caso de interesse da eletroquímica é o uso da corrente elétrica (gerada, por exemplo, por uma cela galvânica) para forçar a ocorrência de uma reação química que não ocorreria espontaneamente e que tem interesse prático. Uma reação não espontânea, mas que acontece de modo forçado devido à passagem de corrente elétrica, é denominada **eletrólise**, e o dispositivo em que esse processo ocorre é chamado de **cela eletrolítica**.

As celas galvânicas e as celas eletrolíticas, por serem ambas de interesse da eletroquímica, são conjuntamente denominadas **celas eletroquímicas** (Fig. 3). Neste capítulo, estudamos as celas galvânicas e, no Capítulo 9, as eletrolíticas.

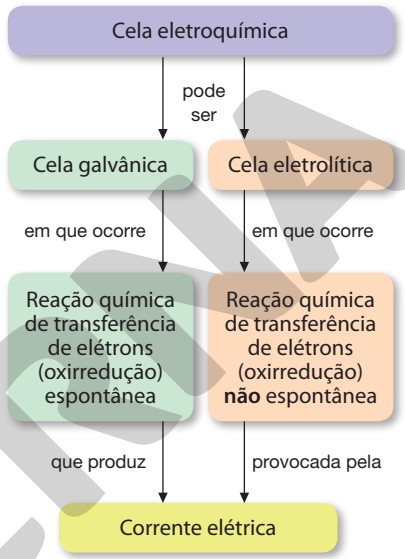


Figura 3 Organização de alguns conceitos empregados no estudo da eletroquímica. As celas galvânicas são estudadas neste capítulo e as celas eletrolíticas, no Capítulo 9.

Em toda cela eletroquímica ocorre uma transformação química em que há transferência de elétrons de uma espécie química (átomo, molécula, íon) para outra, denominada reação de **oxirredução**, **oxidorredução** ou **redox**.

Para exemplificar uma reação desse tipo, consideremos a reação química entre zinco metálico e íons cobre(II). Ela pode ser observada ao inserir uma placa de zinco em uma solução aquosa de sulfato de cobre(II). A solução, inicialmente azulada, vai perdendo sua coloração com o passar do tempo, e a placa de zinco, inicialmente cinza, tem a sua superfície recoberta por um depósito metálico escuro (Fig. 4). A equação da reação que ocorre é:

$$\underset{\text{placa}}{Zn\,(s)} + \underset{\text{solução}}{Cu^{2+}\,(aq)} \rightarrow \underset{\text{depósito}}{Cu\,(s)} + \underset{\text{solução}}{Zn^{2+}\,(aq)}$$

A compreensão desse processo é facilitada desmembrando-o teoricamente em duas etapas: a perda de elétrons pelo átomo de zinco (que pode ser representado por Zn^0, em que o zero sobrescrito ressalta não se tratar de um íon de zinco, mas de zinco metálico) e o recebimento de elétrons pelo íon Cu^{2+}.

A **perda de elétrons** por uma espécie química é chamada de **oxidação**, e o **recebimento de elétrons** é denominado **redução**. A oxidação e a redução sempre acontecem simultaneamente porque os elétrons perdidos pela espécie química que se oxida são recebidos pela espécie química que se reduz, resultando em uma reação de oxirredução.

No exemplo em questão, as duas etapas teóricas do processo, chamadas de **semirreações**, são a oxidação do zinco metálico, Zn (s), a íons zinco, Zn^{2+} (aq), e a redução dos íons cobre(II), Cu^{2+} (aq), a cobre metálico, Cu (s):

Equação da semirreação de oxidação do Zn^0: $Zn\,(s) \rightarrow Zn^{2+}\,(aq) + 2e^-$

Equação da semirreação de redução do Cu^{2+}: $Cu^{2+}\,(aq) + 2e^- \rightarrow Cu\,(s)$

(+)

Equação da reação global de oxirredução: $Zn\,(s) + Cu^{2+}\,(aq) \rightarrow Cu\,(s) + Zn^{2+}\,(aq)$

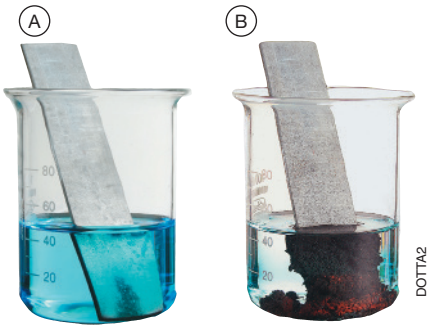


Figura 4 (A) Uma placa de zinco metálico, Zn (s) (também representado por Zn^0), é introduzida em solução aquosa de sulfato de cobre(II), na qual essa substância está dissociada nos íons Cu^{2+} (aq) e SO_4^{2-} (aq). A cor azul deve-se aos íons Cu^{2+} (aq). (B) Foto do mesmo sistema após algumas horas. Átomos de Zn^0 da placa reagiram com íons Cu^{2+} da solução transformando-se em íons Zn^{2+} (aq), incolores, e cobre metálico, Cu (s) (também representado por Cu^0), que constitui o depósito sobre a placa.

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

MODELO

3. Pilha de Daniell

Do ponto de vista didático, uma das celas galvânicas cujo funcionamento é mais simples de se entender é a **pilha de Daniell**, construída pelo cientista inglês John Frederic Daniell (1790-1845) em 1836, numa época em que a expansão dos telégrafos com fio exigia fontes de corrente elétrica para uso nesse meio de comunicação. A pilha de Daniell é um dispositivo no qual ocorre a reação química entre íons cobre(II) e zinco metálico, comentanda no item anterior. Como se trata de uma reação de oxirredução, a espécie que se oxida — o zinco — transfere elétrons para a que se reduz — os íons cobre(II). Contudo, em vez de essa transferência de elétrons ocorrer diretamente entre reagentes em contato, na pilha de Daniell ela ocorre por meio de um fio metálico.

Considere uma placa de zinco metálico mergulhada numa solução aquosa contendo 1,0 mol/L de íons Zn^{2+} * (de um sal solúvel de zinco como, por exemplo, sulfato de zinco, $ZnSO_4$), a 25 °C. Esse conjunto será denominado **semicela** (ou meia-cela) e será representado por Zn^{2+} (aq)/Zn (s) (Fig. 5.A). Considere, também, uma placa de cobre metálico mergulhada numa solução aquosa contendo 1,0 mol/L de Cu^{2+} (por exemplo, uma solução de sulfato de cobre(II), $CuSO_4$), a 25 °C. Essa semicela é representada por Cu^{2+} (aq)/Cu (s) (Fig. 5.B). Uma semicela também pode ser chamada de **eletrodo**.

Ao conectar essas placas metálicas usando fios metálicos e uma lâmpada apropriada e colocar uma ponte salina (falaremos sobre ela logo mais à frente), verifica-se que a lâmpada acende. Essa montagem é a pilha de Daniell (Fig. 6).

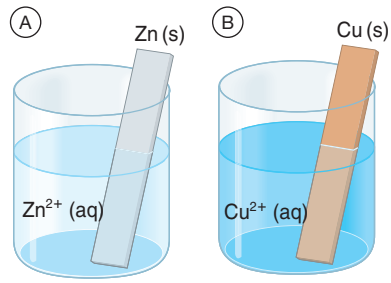


Figura 5 (A) Semicela Zn^{2+} (aq)/Zn (s). Na solução há também ânions de um sal solúvel de zinco (por exemplo, sulfato ou nitrato). Soluções aquosas de $ZnSO_4$ e $Zn(NO_3)_2$ são incolores. (B) Semicela Cu^{2+} (aq)/Cu (s). Na solução há também ânions de um sal solúvel de cobre(II) (por exemplo, sulfato ou nitrato). Soluções aquosas de $CuSO_4$ e $Cu(NO_3)_2$ são azuis, cor que se deve ao Cu^{2+} (aq). (Representações fora de proporção; cores meramente ilustrativas.)

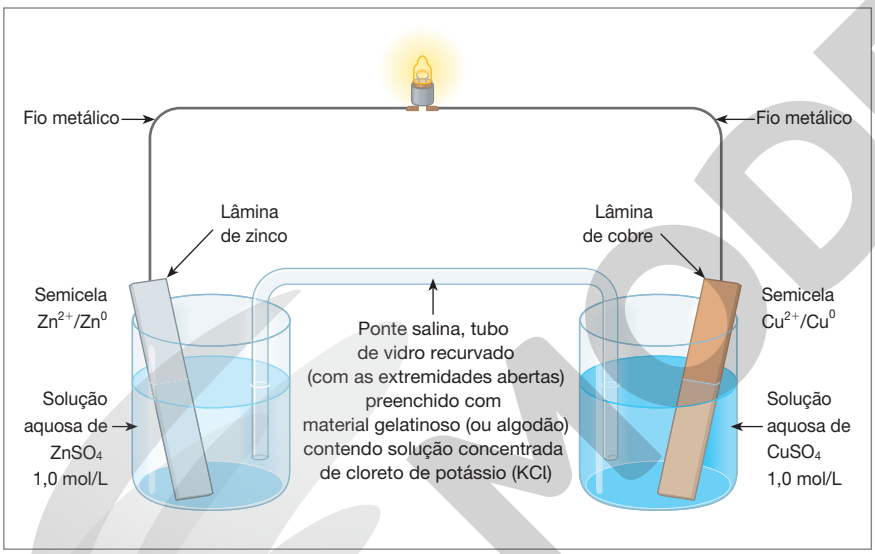


Figura 6 Montagem experimental conhecida como pilha de Daniell. (Representação fora de proporção; cores meramente ilustrativas.)

Fonte consultada: SILBERBERG, M. S.; AMATEIS, P. G. *Chemistry: the molecular nature of matter and change*. 8. ed. Nova York: McGraw-Hill, 2018.

Se a lâmpada acender, é porque o conjunto de semicelas, fios metálicos e ponte salina forneceu as condições para a movimentação ordenada de cargas elétricas, originando uma corrente elétrica.

O fato de a lâmpada acender também revela que há uma diferença de potencial elétrico entre as placas metálicas de cobre e zinco. Substituindo a lâmpada por um voltímetro (que consideraremos ideal), a 25 °C e com 1,0 mol/L de Cu^{2+} (aq) e 1,0 mol/L de Zn^{2+} (aq), verifica-se que a diferença de potencial elétrico entre as placas é de 1,10 V e que **o potencial elétrico da placa de cobre é maior que o da placa de zinco** (Fig. 7, na próxima página).

* Uma quantidade de referência usada como ponto de partida para diversos raciocínios quantitativos em Química é o **mol**, que corresponde a $6{,}0 \cdot 10^{23}$ unidades: 1 mol de átomos são $6{,}0 \cdot 10^{23}$ átomos, 1 mol de moléculas são $6{,}0 \cdot 10^{23}$ moléculas e 1 mol de íons são $6{,}0 \cdot 10^{23}$ íons. No Sistema Internacional, o mol é a unidade da grandeza **quantidade de matéria** (*n*). Se conhecermos a quantidade de matéria de uma espécie química que está homogeneamente dispersa em determinado volume, podemos expressar a **concentração em quantidade de matéria**, ou **concentração em mol/L**, dessa espécie por meio da divisão de sua quantidade (*n*), em mol, pelo volume (*V*), em litro. Representa-se essa grandeza escrevendo a fórmula da espécie entre colchetes. Assim, a simbologia $[Zn^{2+}] = 1{,}0$ mol/L indica que a concentração de íons Zn^{2+} é igual a 1,0 mol por litro, ou seja, existem $6{,}0 \cdot 10^{23}$ íons Zn^{2+} dissolvidos em um litro de solução.

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

ILUSTRAÇÕES: ADILSON SECCO

MODERNA

Como o potencial elétrico da placa de cobre é maior que o da placa de zinco (Fig. 7), isso explica por que existe uma tendência de os elétrons se movimentarem, no fio metálico que liga as duas placas metálicas da pilha de Daniell (com a lâmpada e sem o voltímetro), no sentido da placa de zinco para a de cobre.

A semicela de zinco, por apresentar menor potencial elétrico, atua como o polo negativo da pilha, e a semicela de cobre, que tem maior potencial elétrico, atua como polo positivo. Assim, podemos estabelecer uma comparação entre a pilha de Daniell e uma pilha comum de lanterna (Fig. 8).

Estudos mais detalhados sobre o funcionamento da pilha de Daniell (nas condições da Figura 6, isto é, com a lâmpada e sem o voltímetro) revelam que, com o passar do tempo, enquanto a pilha produz corrente elétrica no circuito, a concentração de íons cobre(II) diminui na solução da direita, a concentração de íons zinco aumenta na solução da esquerda, a placa de zinco é corroída e sobre a placa de cobre deposita-se mais cobre metálico.

Esses fatos são consistentes com a ocorrência, durante o funcionamento do dispositivo, da **oxidação do zinco metálico** e da **redução dos íons cobre(II)**.

Esses dois processos, as **semirreções da pilha**, que ocorrem simultaneamente, um em cada semicela, podem ser representados por equações químicas.

Equação da semirreação de oxidação:

$$\underset{\text{placa}}{Zn\,(s)} \rightarrow \underset{\text{vai para a solução}}{Zn^{2+}\,(aq)} + \underset{\text{vão para o fio metálico}}{2\,e^-}$$

Equação da semirreação de redução:

$$\underset{\text{solução}}{Cu^{2+}\,(aq)} + \underset{\text{vêm do fio metálico}}{2\,e^-} \rightarrow \underset{\text{deposita-se na placa}}{Cu\,(s)}$$

O aumento da concentração de Zn^{2+} (aq), em uma das soluções, tenderia a fazer com que essa solução ficasse com excesso de cargas positivas e, simultaneamente, a diminuição da concentração de Cu^{2+} (aq), na outra solução, tenderia a fazê-la ficar com excesso de cargas negativas (dos íons sulfato, SO_4^{2-}, que não participam da reação). Com isso, o funcionamento da pilha rapidamente cessaria, pois a solução de Zn^{2+} (aq) atrairia os elétrons da parte metálica do circuito, impedindo-os de deixar a placa de zinco, e a solução de Cu^{2+} (aq) repeliria os elétrons da parte metálica do circuito, impedindo-os de chegar à placa de cobre.

O acúmulo de cargas elétricas nas soluções é evitado pela **ponte salina**, um tubo de vidro recurvado preenchido com material gelatinoso e contendo alta concentração de um sal que não interfira no processo; cloreto de potássio (KCl), por exemplo. O excesso de cátions Zn^{2+} (aq) em uma das soluções é compensado pela migração de íons Cl^- (aq) (provenientes da ponte salina) para ela, e o excesso de ânions SO_4^{2-} (aq) na outra solução é compensado pela migração de íons K^+ (aq) da ponte salina para ela. A ponte salina também possibilita que ânions SO_4^{2-} (aq) migrem da semicela de cobre no sentido da semicela de zinco (Fig. 9). Assim, a presença da ponte salina permite que a pilha funcione. De fato, caso a ponte salina seja retirada, verifica-se que a lâmpada se apaga imediatamente, pois o excesso de íons acumulados nas soluções rapidamente impede o fluxo de elétrons através da parte metálica do circuito.

Perceba que **o circuito elétrico inclui o interior da pilha**, porém não é um condutor metálico que conduz a corrente dentro dela, mas sim outro tipo de condutor elétrico: soluções aquosas que contêm íons dissolvidos, denominadas **soluções eletrolíticas**, nas quais as substâncias dissolvidas são genericamente chamadas de **eletrólitos**. Lembre-se de que corrente elétrica é um movimento ordenado de cargas elétricas. No fio metálico, são os elétrons (dotados de carga elétrica negativa) que se movimentam. Nas soluções, não são elétrons que se movimentam, mas sim cátions e ânions (Fig. 9). Assim, o circuito elétrico em questão consiste de uma parte externa à pilha, formada por fios metálicos e pela lâmpada, e uma parte interna à pilha, na qual a corrente elétrica que atravessa as soluções aquosas consiste de um movimento ordenado de cátions e ânions.

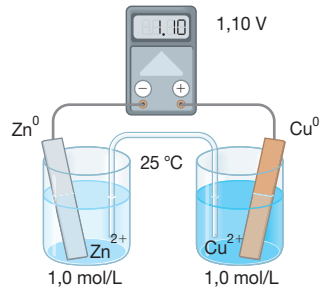


Figura 7 Substituindo-se a lâmpada da montagem da Figura 6 por um voltímetro (de comportamento ideal), verifica-se que o potencial elétrico da placa metálica de cobre é 1,10 V maior que o potencial elétrico da placa de zinco. (Representação fora de proporção; cores meramente ilustrativas.)

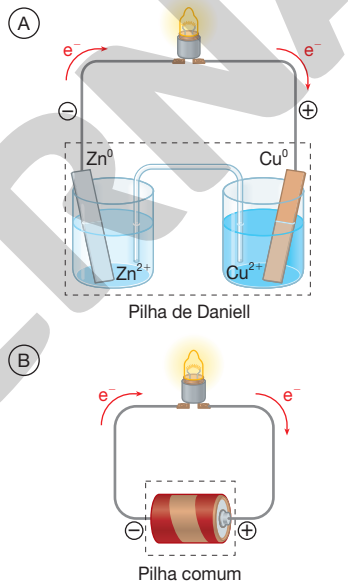


Figura 8 Comparação entre a pilha de Daniell (A) e uma pilha comum de lanterna (B) em uso para acender uma lâmpada. (Representações fora de proporção; cores meramente ilustrativas.)

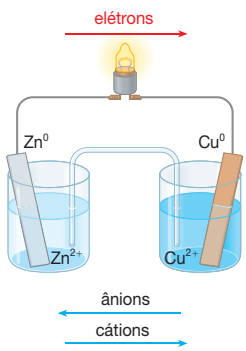


Figura 9 Indicação do sentido de movimentação das partículas dotadas de carga elétrica (elétrons no fio metálico e íons nas soluções aquosas) durante o funcionamento da pilha de Daniell. (Representação fora de proporção; cores meramente ilustrativas.)

ILUSTRAÇÕES: ADILSON SECCO

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

EM ABERTURA

4. Nomenclatura das semicelas galvânicas

Para todas as celas eletroquímicas, vale a convenção de que a semicela na qual ocorre processo de oxidação é denominada **ânodo** (palavra que também pode ser grafada como **anodo**) e a semicela na qual ocorre processo de redução é denominada **cátodo** (ou **catodo**).

Na pilha de Daniell, o ânodo é a semicela de zinco e o cátodo é a semicela de cobre. A transformação que ocorre em cada uma dessas semicelas é denominada **semirreação**, que pode ser representada por meio de uma equação química. Se somarmos as equações das semirreações anódica e catódica, obteremos a equação global da reação de oxirredução que ocorre na pilha:

Equação da semirreação de oxidação (no ânodo): $Zn(s) \rightarrow Zn^{2+}(aq) + \cancel{2e^-}$

Equação da semirreação de redução (no cátodo): $Cu^{2+}(aq) + \cancel{2e^-} \rightarrow Cu(s)$

(+)

Equação da reação global de oxirredução: $Zn(s) + Cu^{2+}(aq) \rightarrow Cu(s) + Zn^{2+}(aq)$

A União Internacional de Química Pura e Aplicada (IUPAC) propôs uma maneira esquemática para representar uma cela galvânica. Tal representação é bastante útil, pois permite descrever de modo rápido e simples esse tipo de dispositivo sem a necessidade de desenhá-lo.

Vamos exemplificar essa representação para a pilha de Daniell:

$$Zn(s) \mid Zn^{2+}(aq) \parallel Cu^{2+}(aq) \mid Cu(s)$$

A barra vertical simples (|) indica a fronteira que separa duas fases, e a barra vertical dupla (||) indica a ponte salina. Do lado esquerdo, é representada a semicela em que ocorre a oxidação (ânodo) e, do lado direito, a semicela em que ocorre a redução (cátodo). Essa interpretação está esquematizada na Figura 10.

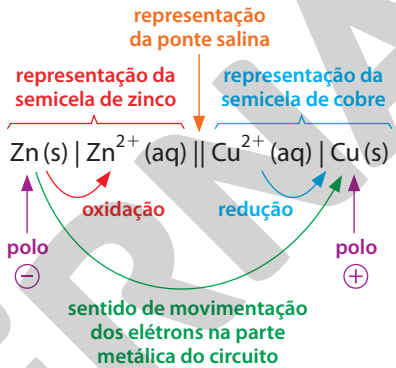


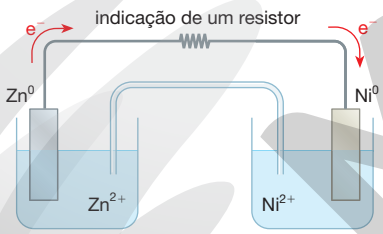
Figura 10 Interpretação da representação da IUPAC aplicada à pilha de Daniell.

Aplicando conhecimentos

Registre as respostas em seu caderno.

Veja respostas e comentários no Suplemento do Professor.

1. O esquema abaixo ilustra uma pilha em funcionamento e o sentido de movimentação dos elétrons na parte metálica do circuito externa a ela.

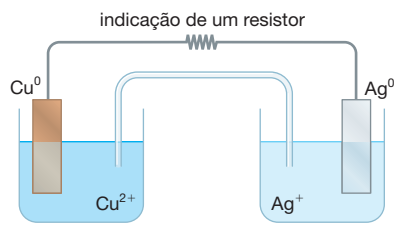


(Representação fora de proporção; cores meramente ilustrativas.)

Sobre essa pilha, responda às questões:

a) Qual semicela é o ânodo? Qual é o cátodo?
b) Qual placa é o polo negativo? E o positivo?
c) Qual é a espécie química que se oxida? E qual é a que se reduz?
d) Qual é a placa metálica em que ocorre corrosão?
e) Qual é a placa metálica em que se deposita sólido?
f) Equacione a semirreação do ânodo.
g) Equacione a semirreação do cátodo.
h) Equacione a reação global da pilha.
i) Qual é o sentido de movimentação dos íons nas soluções aquosas e na ponte salina?

2. A seguir, esquematiza-se uma pilha na qual, durante o funcionamento, ocorre corrosão da placa de cobre e depósito de metal na placa de prata.



(Representação fora de proporção; cores meramente ilustrativas.)

Com base nas informações, responda às perguntas:

a) Qual das semicelas é o ânodo? Qual é o cátodo?
b) Qual dos eletrodos é o polo negativo? E o positivo?
c) Que espécie química é oxidada e qual é reduzida?
d) Equacione a semirreação anódica.
e) Equacione a semirreação catódica.
f) Equacione a reação global da pilha.
g) Qual é o sentido de movimentação dos elétrons no fio metálico externo à cela galvânica esquematizada?
h) Qual é o sentido de movimentação dos íons nas soluções aquosas e na ponte salina?

MODERNA

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

ILUSTRAÇÕES: ADILSON SECCO

5. Potencial-padrão de semicela

No Capítulo 5, apresentamos o conceito de força eletromotriz de um gerador elétrico. As celas galvânicas são geradores elétricos e, portanto, é possível medir o valor da força eletromotriz de cada uma delas. O resultado da medida depende da composição química das semicelas, da temperatura e da pressão.

A **força eletromotriz de uma cela galvânica** medida nas **condições-padrão** (convencionadas como concentração de 1,0 mol/L para espécies em solução aquosa e pressão de 100 kPa para espécies em fase gasosa) e em uma temperatura de interesse (geralmente 25 °C) é representada por $\Delta E^{\ominus}$, em que o símbolo "$\ominus$" sobrescrito faz referência às condições-padrão. (Em algumas publicações, emprega-se o símbolo de grau, $\Delta E°$, no lugar do caractere "$\ominus$"; neste livro, utilizaremos a representação $\Delta E^{\ominus}$.) O valor de $\Delta E^{\ominus}$ é dado por:

$$\Delta E^{\ominus} = E^{\ominus}_{\text{cátodo}} - E^{\ominus}_{\text{ânodo}}$$

em que $E^{\ominus}$ representa um valor característico de cada semicela denominado **potencial-padrão de semicela**. O conhecimento desses valores é relevante para estudos de eletroquímica, pois permite realizar uma série de previsões úteis (que conheceremos mais à frente, neste capítulo e no próximo).

Medidas experimentais não fornecem os valores de $E^{\ominus}$ individualmente, mas apenas a força eletromotriz $\Delta E^{\ominus}$. Assim, tornou-se necessária a escolha de uma semicela para ser um referencial em experimentos de eletroquímica. À semicela escolhida para isso, chamada **eletrodo-padrão de hidrogênio** (Fig. 11), atribuiu-se o valor $E^{\ominus} = 0$, independentemente de atuar como cátodo ou ânodo.

A platina (Pt), metal nobre (pouco reativo) usado nessa semicela, tem a propriedade de **adsorver** o gás hidrogênio, isto é, reter em sua superfície as moléculas desse gás. Durante o uso desse dispositivo, borbulha-se continuamente gás hidrogênio, $H_2(g)$, a 25 °C e 100 kPa, o que é feito para garantir que sempre exista hidrogênio adsorvido na platina. Ao usar a semicela $H_3O^+(aq)/H_2(g)$, a placa de platina atua como condutor metálico capaz de receber elétrons vindos da parte externa do circuito ou enviar elétrons para ela. As espécies químicas que, de fato, participam do processo de oxirredução são $H_3O^+(aq)$ e $H_2(g)$. Se a semicela atuar como ânodo, a semirreação será a de oxidação de $H_2(g)$ a $H_3O^+(aq)$ e, se atuar como cátodo, será a de redução de $H_3O^+(aq)$ a $H_2(g)$.

Montando celas galvânicas, nas condições-padrão e a 25 °C, em que uma das semicelas é o eletrodo-padrão de hidrogênio, medidas de força eletromotriz revelaram, por exemplo, que uma semicela $Ag^+(aq)/Ag(s)$ tem potencial elétrico 0,80 V **maior** que o eletrodo-padrão de hidrogênio (Fig. 12.A) e que uma semicela $Zn^{2+}(aq)/Zn(s)$ tem potencial elétrico 0,76 V **menor** que o eletrodo-padrão de hidrogênio (Fig. 12.B).

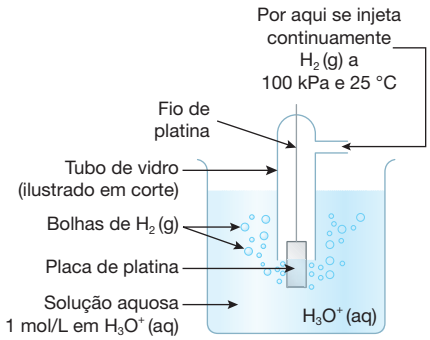


Figura 11 Eletrodo-padrão de hidrogênio, representado por $H_3O^+(aq)/H_2(g)$ ou, de modo simplificado, $H^+(aq)/H_2(g)$.
Se essa semicela (eletrodo-padrão) atuar como ânodo a semirreação será

$$H_2(g) + 2H_2O(l) \rightarrow 2H_3O^+(aq) + 2e^-,$$

também escrita simplificadamente como

$$H_2(g) \rightarrow 2H^+(aq) + 2e^-.$$

Se essa semicela (eletrodo-padrão) atuar como cátodo, a semirreação será

$$2H_3O^+(aq) + 2e^- \rightarrow H_2(g) + 2H_2O(l),$$

representada simplificadamente como

$$2H^+(aq) + 2e^- \rightarrow H_2(g).$$

(Representação fora de proporção; cores meramente ilustrativas.)

Fonte: LEVINE, I. *Physical Chemistry*. 6. ed. Nova York: McGraw-Hill, 2009.

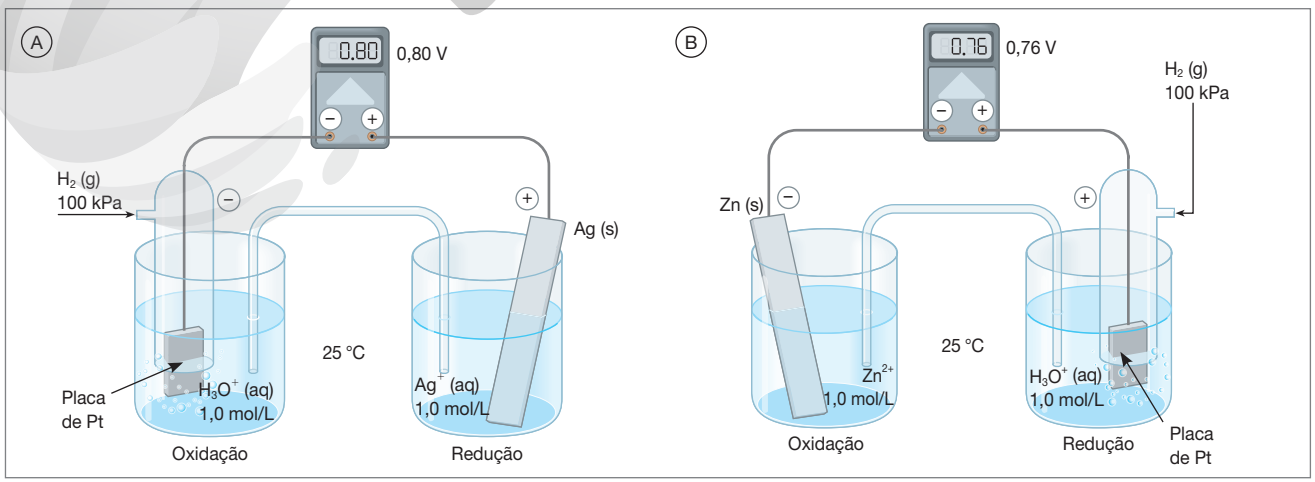


Figura 12 Exemplos de celas galvânicas em que uma das semicelas é o eletrodo-padrão de hidrogênio e a outra é a semicela (A) $Ag^+(aq)/Ag(s)$ e (B) $Zn^{2+}(aq)/Zn(s)$. (Representações fora de proporção; cores meramente ilustrativas.)

ILUSTRAÇÕES: ADILSON SECCO

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

MODELO

Esses resultados permitem deduzir qual é o valor de potencial-padrão ($E^{\ominus}$) de cada uma das duas semicelas, valores que podem ser assim representados:

$Ag^+(aq) + e^- \rightleftarrows Ag(s) \quad E^{\ominus} = +0{,}80\,V$ ou $E^{\ominus}(Ag^+(aq)/Ag(s)) = +0{,}80\,V$

$Zn^{2+}(aq) + 2e^- \rightleftarrows Zn(s) \quad E^{\ominus} = -0{,}76\,V$ ou $E^{\ominus}(Zn^{2+}(aq)/Zn(s)) = -0{,}76\,V$

O símbolo $\rightleftarrows$ indica que a semirreação pode, em princípio, ocorrer como redução ou oxidação, dependendo da outra semicela envolvida.

Por convenção, ao apresentar o valor de potencial-padrão de semicela, deve-se fazê-lo acompanhado da semirreação de redução, razão pela qual alguns autores o denominam *potencial-padrão de redução*.

A força eletromotriz da cela galvânica da Figura 12.A é dada por:

$$\Delta E^{\ominus} = E^{\ominus}_{cátodo} - E^{\ominus}_{ânodo} = E^{\ominus}(Ag^+(aq)/Ag(s)) - E^{\ominus}(H_3O^+(aq)/H_2(g))$$
$$\Delta E^{\ominus} = +0{,}80\,V - 0{,}00\,V = +0{,}80\,V$$

e a força eletromotriz da cela galvânica da Figura 12.B é dada por:

$$\Delta E^{\ominus} = E^{\ominus}_{cátodo} - E^{\ominus}_{ânodo} = E^{\ominus}(H_3O^+(aq)/H_2(g)) - E^{\ominus}(Zn^{2+}(aq)/Zn(s))$$
$$\Delta E^{\ominus} = 0{,}00\,V - (-0{,}76\,V) = +0{,}76\,V$$

Como comentamos no Item 1, os **elétrons de um fio metálico tendem a se mover espontaneamente de pontos de menor potencial elétrico para pontos de maior potencial elétrico**. Assim, quando uma cela galvânica é empregada nas condições-padrão para gerar corrente elétrica em um circuito, os elétrons se movimentam, na parte metálica desse circuito, da semicela de menor $E^{\ominus}$ para a semicela de maior $E^{\ominus}$.

Potenciais-padrão de semicela (Tabela 1) possibilitam prever, entre duas semicelas, qual atuará como cátodo e qual atuará como ânodo ao serem usadas em uma pilha nas condições-padrão. A semicela de **maior $E^{\ominus}$** tenderá a atrair elétrons pela parte metálica do circuito e a atuar como **cátodo**, pois nela ocorrerá **redução**. Ao contrário, a semicela de **menor $E^{\ominus}$** tenderá a perder elétrons para a parte metálica do circuito e a atuar como **ânodo** porque nela acontecerá **oxidação**.

Os valores de potencial-padrão de semicela também possibilitam prever a força eletromotriz de uma pilha nas condições padrão ($\Delta E^{\ominus}$). Para a pilha de Daniell nas condições-padrão (Fig. 13), usando dados da Tabela 1, temos:

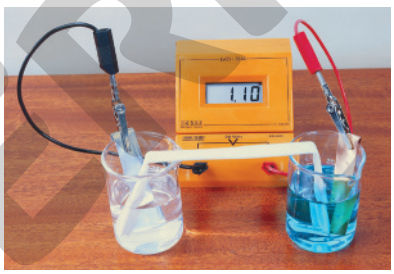
$$\Delta E^{\ominus} = E^{\ominus}_{cátodo} - E^{\ominus}_{ânodo} = E^{\ominus}(Cu^{2+}(aq)/Cu(s)) - E^{\ominus}(Zn^{2+}(aq)/Zn(s))$$
$$\Delta E^{\ominus} = 0{,}34\,V - (-0{,}76\,V) = +1{,}10\,V$$

Tabela 1 Potencial-padrão (1,0 mol/L e 100 kPa) para algumas semicelas, a 25 °C.

Equação da semirreação					$E^{\ominus}$ (V)
$Na^+(aq)$	+	e^-	$\rightleftarrows$	$Na(s)$	−2,71
$Mg^{2+}(aq)$	+	$2\,e^-$	$\rightleftarrows$	$Mg(s)$	−2,38
$Al^{3+}(aq)$	+	$3\,e^-$	$\rightleftarrows$	$Al(s)$	−1,66
$Zn^{2+}(aq)$	+	$2\,e^-$	$\rightleftarrows$	$Zn(s)$	−0,76
$Fe^{2+}(aq)$	+	$2\,e^-$	$\rightleftarrows$	$Fe(s)$	−0,45
$Sn^{2+}(aq)$	+	$2\,e^-$	$\rightleftarrows$	$Sn(s)$	−0,14
$Pb^{2+}(aq)$	+	$2\,e^-$	$\rightleftarrows$	$Pb(s)$	−0,13
$2\,H_3O^+(aq)$	+	$2\,e^-$	$\rightleftarrows$	$H_2(g) + 2\,H_2O(l)$	0,00
$Cu^{2+}(aq)$	+	$2\,e^-$	$\rightleftarrows$	$Cu(s)$	+0,34
$Ag^+(aq)$	+	e^-	$\rightleftarrows$	$Ag(s)$	+0,80
$Au^{3+}(aq)$	+	$3\,e^-$	$\rightleftarrows$	$Au(s)$	+1,50

Fonte: HAYNES, W. M. (ed.). *CRC Handbook of Chemistry and Physics*. 97. ed. Boca Raton: CRC Press, 2017.

De acordo com o Compendium of Chemical Terminology – *IUPAC Recommendations* (conhecido como *Gold Book*), publicação que contém as recomendações da União Internacional de Química Pura e Aplicada referentes ao uso da terminologia química, em uma equação química "diferentes símbolos são usados para conectar os reagentes e produtos, com os seguintes significados: = para uma relação estequiométrica; → para uma reação completa no sentido direto; ⇄ para uma reação que ocorra em ambos os sentidos; e ⇌ para uma reação em equilíbrio". (O *Gold Book* é disponibilizado em <https://goldbook.iupac.org>, acessado em: jul. 2020.) Assim, é **recomendável** usar o símbolo ⇄ em **equações de semirreações** ao tabelar valores de potencial-padrão de semicela, pois são equações de processos que podem ocorrer nos dois sentidos, direto ou inverso, dependendo da outra semicela usada na montagem da cela galvânica. Essa simbologia **não** deve ser confundida com a que indica equilíbrio químico (⇌).



ANDREW LAMBERT PHOTOGRAPHY/ SCIENCE PHOTO LIBRARY/FOTOARENA

Figura 13 Medida da força eletromotriz de uma pilha de Daniell nas condições-padrão, a 25 °C. A resistência elétrica do voltímetro usado é muito alta se comparada à resistência interna da pilha, o que permite considerá-lo como um voltímetro ideal nesse experimento.

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

MODERNA

Veja comentários sobre essa atividade no Suplemento do Professor.

Células galvânicas a combustível

As espaçonaves precisam de uma fonte de eletricidade e os astronautas precisam de água para beber e para a higiene. Como a massa de uma astronave, que é construída para decolar de planetas, deve ser a menor possível, as baterias – que normalmente fornecem energia a partir da oxidação de um metal – seriam muito pesadas. A eletricidade pode ser obtida a partir de reações de combustão que produzem calor, que, por sua vez, pode mover um gerador. Entretanto, produzir eletricidade pela queima de combustíveis é muito ineficiente, porque a energia é desperdiçada como calor.

[...] Uma célula [galvânica] a combustível gera eletricidade diretamente de uma reação química, como em uma bateria, mas usa reagentes que são fornecidos continuamente, como em um motor. Uma célula a combustível que opera com hidrogênio e oxigênio esteve instalada no ônibus espacial [programa espacial estadunidense anterior ao atual]. Uma das vantagens é que o único produto da reação da célula, a água, pode ser utilizado para o suporte da vida.

Em uma versão simplificada de célula a combustível, um combustível, como o gás hidrogênio, passa sobre um eletrodo de platina, o gás oxigênio passa por outro eletrodo semelhante e o eletrólito é uma solução de hidróxido de potássio em água. Uma membrana porosa separa os compartimentos dos dois eletrodos. Muitas variedades de células a combustível são possíveis e, em algumas, o eletrólito é uma membrana sólida de polímero ou uma cerâmica. [...]

A **célula de hidrogênio-oxigênio** usada no ônibus espacial é chamada de **célula a combustível alcalina**, porque seu eletrólito é alcalino:

Ânodo: $2H_2(g) + 4OH^-(aq) \rightarrow 4H_2O(l) + 4e^-$

Eletrólito: $KOH(aq)$

Cátodo: $O_2(g) + 4e^- + 2H_2O(l) \rightarrow 4OH^-(aq)$

Embora o preço impeça seu uso em muitas aplicações práticas, as células a combustível alcalinas são as mais usadas na indústria aeroespacial.

Se um eletrólito ácido é usado, a água é produzida somente no cátodo. Um exemplo é a **célula a combustível de ácido fosfórico**:

Ânodo: $2H_2(g) \rightarrow 4H^+(aq) + 4e^-$

Eletrólito: $H_3PO_4(aq)$

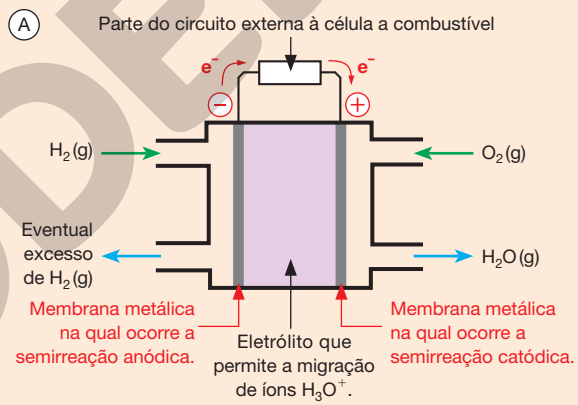
Cátodo: $O_2(g) + 4H^+(aq) + 4e^- \rightarrow 2H_2O(l)$

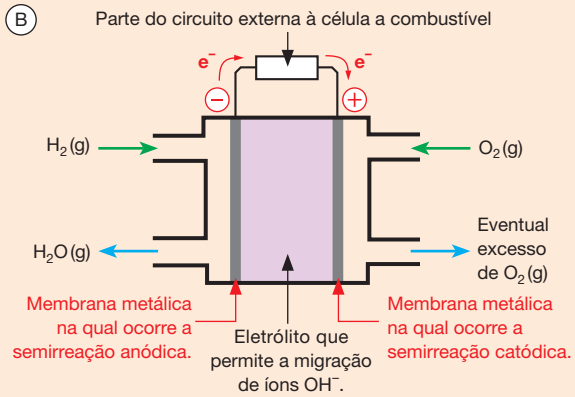
[...] Embora o gás hidrogênio seja um combustível interessante, ele tem desvantagens em aplicações móveis, pois é difícil de armazenar e de manuseio perigoso. Uma possibilidade para células a combustível portáteis é armazenar o hidrogênio em nanotubos de carbono, silício e compostos como WS_2 ou TiO_2. As moléculas de hidrogênio são facilmente adsorvidas na superfície desses materiais e os nanotubos têm área superficial muito grande. As fibras de carbono trançadas são capazes de armazenar enormes quantidades de hidrogênio e fornecem densidade de energia duas vezes igual à da gasolina. Outra opção é o uso de compostos organometálicos ou hidretos inorgânicos, como o hidreto de alumínio e sódio, $NaAlH_4$, dopado [propositalmente misturado com] com titânio.

Fonte: ATKINS, P.; JONES, L. *Princípios de Química: questionando a vida moderna e o meio ambiente*. 5. ed. Porto Alegre: Bookman, 2012. p. 552-553.

Em equipes, após a leitura e interpretação do texto, realizem as atividades a seguir.

1. Demonstrem, empregando informações apresentadas no texto, que a equação da reação global de uma célula a combustão envolvendo os gases hidrogênio e oxigênio é a mesma, independentemente de o eletrólito ser alcalino ou ácido.
2. Os seguintes desenhos representam, de forma esquemática, duas células a combustível envolvendo os gases hidrogênio e oxigênio. Analisem os esquemas e deduzam qual deles se refere ao caso de eletrólito ácido e qual se refere ao caso de eletrólito alcalino. Expliquem quais foram os critérios empregados para fazer essa associação.





(Representações fora de proporção; cores meramente ilustrativas.)

Fontes: KUMAR, N.; KUMBHAT, S. *Essentials in nanoscience and nanotechnology*. Hoboken: John Wiley, 2016; KOTZ, J. C. *et al*. *Chemistry & chemical reactivity*. 10. ed. Boston: Cengage, 2019.

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

ILUSTRAÇÕES DOS AUTORES

MODERNA

Atividade em grupo

Veja comentários sobre essa atividade no Suplemento do Professor.

Fazer **divulgação científica** é mostrar ao público não especializado aspectos das Ciências da Natureza e sua relevância.

Cada equipe deve pesquisar as informações necessárias e com elas elaborar um vídeo – com linguagem e dinâmica apropriadas para prender a atenção e mostrar a **importância da Ciência e da Tecnologia para os indivíduos e a sociedade** – divulgando a relevância das pilhas e baterias e das tecnologias associadas a elas.

Escolham um tipo comercial de pilha ou bateria e utilizem-no como exemplo central do vídeo. Falem sobre a composição desse dispositivo e as semirreações que nele acontecem quando está em uso. Caso a pilha ou bateria seja do tipo recarregável, expliquem o que acontece (quais as reações envolvidas) na recarga do dispositivo.

Não deixem de incluir no vídeo um aspecto de fundamental importância: que prejuízos à saúde humana e ao ambiente podem ser decorrentes do descarte incorreto de pilhas e baterias em geral e, em particular, da que foi escolhida pelo grupo. Investiguem recursos digitais (por exemplo, vídeos, simuladores e animações) que possam ser empregados para ilustrar esses problemas e **conscientizar a população**.

Digam quais são os componentes de pilhas e baterias que são altamente tóxicos e expliquem a razão dessa toxicidade. Proponham atitudes individuais que todo cidadão deve ter ao fazer o descarte desses produtos, bem como atitudes coletivas da sociedade para prevenir problemas causados pelo descarte incorreto. (Sugestões de uso de mídias digitais estão disponíveis no início do livro.)

Aplicando conhecimentos

Registre as respostas em seu caderno.

Veja respostas e comentários no Suplemento do Professor.

3. Considere os seguintes potenciais-padrão de semicela, a 25 °C:

$Zn^{2+}(aq) + 2\,e^- \rightarrow Zn(s) \qquad E^\ominus = -0{,}76\ V$

$Ag^+(aq) + e^- \rightarrow Ag(s) \qquad E^\ominus = +0{,}80\ V$

Uma cela galvânica foi montada com uma ponte salina adequada e essas duas semicelas, a 25 °C, nas condições-padrão.

Determine o valor da força eletromotiz dessa pilha, nas condições mencionadas ($\Delta E^\ominus$).

4. Considere que a cela da atividade anterior esteja em uso para produzir corrente elétrica em um circuito elétrico fechado.

a) Qual das semicelas atua como ânodo?

b) Qual das placas metálicas será o polo positivo?

c) Qual espécie química será oxidada e qual será reduzida?

d) Equacione as semirreações anódica e catódica.

e) Determine a equação da reação global da pilha.

f) Qual é o sentido de movimentação dos elétrons na parte metálica do circuito elétrico externa à cela galvânica?

g) Qual é o sentido de movimentação dos íons na ponte salina?

5. Considere os seguintes dados:

$E^\ominus(Al^{3+}(aq)/Al(s)) = -1{,}66\ V$

$E^\ominus(Cu^{2+}(aq)/Cu(s)) = +0{,}34\ V$

Três estudantes elaboraram as representações a seguir para a pilha que pode ser formada por essas duas semicelas, das quais apenas uma é correta. Determine qual é a representação correta, justifique sua escolha e equacione a reação global da pilha em questão.

Estudante 1: $Al(s) \mid Al^{3+}(aq) \parallel Cu^{2+}(aq) \mid Cu(s)$

Estudante 2: $Cu(s) \mid Cu^{2+}(aq) \parallel Al^{3+}(aq) \mid Al(s)$

Estudante 3: $Al(s) \mid Cu^{2+}(aq) \parallel Al^{3+}(aq) \mid Cu(s)$

6. Consultando a tabela de potenciais-padrão de semicela apresentada neste capítulo, determine a força eletromotriz, nas condições-padrão ($\Delta E^\ominus$) e a 25 °C, para uma cela galvânica cuja reação global é assim equacionada:

$2\,Al(s) + 3\,Pb^{2+}(aq) \rightarrow 2\,Al^{3+}(aq) + 3\,Pb(s)$

7. Nas pilhas comuns, usadas por exemplo em lanternas e brinquedos, as semirreações podem ser assim equacionadas:

I. $Zn(s) \rightarrow Zn^{2+}(aq) + 2\,e^-$

II. $2\,MnO_2(s) + H_2O(l) + 2\,e^- \rightarrow Mn_2O_3(s) + 2\,OH^-(aq)$

a) Cite uma espécie química cuja quantidade diminui com o funcionamento da pilha.

b) Qual das semirreações é a catódica? Por quê?

c) Qual das semirreações ocorre no polo que emite elétrons para a parte do circuito externa à pilha?

8. A bateria empregada usualmente em automóveis, também denominada acumulador de Planté – em homenagem ao físico e inventor francês Gaston Planté (1834-1889) –, é formada por uma associação de seis celas galvânicas iguais. As semicelas empregadas têm os seguintes valores de potencial-padrão, a 25 °C:

$PbSO_4(s) + 2\,e^- \rightarrow Pb(s) + SO_4^{2-}(aq) \qquad E^\ominus = -0{,}36\ V$

$PbO_2(s) + 4H^+(aq) + SO_4^{2-}(aq) + 2e^- \rightarrow PbSO_4(s) + 2H_2O(l) \qquad E^\ominus = +1{,}69\ V$

a) Represente a equação da reação global da pilha.

b) Cite uma substância consumida enquanto ela funciona.

c) Na bateria de automóvel, seis dessas celas galvânicas são conectadas em série, o que faz com que a força eletromotriz total da bateria seja seis vezes o $\Delta E^\ominus$ de cada uma dessas celas galvânicas. Determine a força eletromotriz total, considerando condições-padrão e 25 °C.

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

MODELO

Registre as respostas em seu caderno.

Veja respostas e comentários no Suplemento do Professor.

1. (Enem) Cerca de 1% do lixo urbano é constituído por resíduos sólidos contendo elementos tóxicos. Entre esses elementos estão metais pesados como o cádmio, o chumbo e o mercúrio, componentes de pilhas e baterias, que são perigosos à saúde humana e ao meio ambiente. Quando descartadas em lixos comuns, pilhas e baterias vão para aterros sanitários ou lixões a céu aberto, e o vazamento de seus componentes contamina o solo, os rios e o lençol freático, atingindo a flora e a fauna. Por serem bioacumulativos e não biodegradáveis, esses metais chegam de forma acumulada aos seres humanos, por meio da cadeia alimentar. A legislação vigente (Resolução CONAMA nº 257/1999) regulamenta o destino de pilhas e baterias após seu esgotamento energético e determina aos fabricantes e/ou importadores a quantidade máxima permitida desses metais em cada tipo de pilha/bateria, porém o problema ainda persiste.

Disponível em: <http://www.mma.gov.br>. Acesso em: 11 jul. 2009 (Adaptado).

1. e

Uma medida que poderia contribuir para acabar definitivamente com o problema da poluição ambiental por metais pesados relatado no texto seria

a) deixar de consumir aparelhos elétricos que utilizem pilha ou bateria como fonte de energia.

b) usar apenas pilhas ou baterias recarregáveis e de vida útil longa e evitar ingerir alimentos contaminados, especialmente peixes.

c) devolver pilhas e baterias, após o esgotamento da energia armazenada, à rede de assistência técnica especializada para repasse a fabricantes e/ou importadores.

d) criar nas cidades, especialmente naquelas com mais de 100 mil habitantes, pontos estratégicos de coleta de baterias e pilhas, para posterior repasse a fabricantes e/ou importadores.

e) exigir que fabricantes invistam em pesquisa para a substituição desses metais tóxicos por substâncias menos nocivas ao homem e ao ambiente, e que não sejam bioacumulativas.

2. (Acafe-SC) Existe uma técnica de utilização de energia elétrica em automóveis que é muito promissora: a célula de combustível. Esta tecnologia consiste em utilizar hidrogênio para produzir eletricidade. O hidrogênio passa por membranas de platina, onde é dividido em elétrons e íons. É gerada uma diferença de potencial, obtendo-se assim energia elétrica. Os íons reagem posteriormente com oxigênio, formando água, o único detrito do processo, conforme equação abaixo.

2. c

$$2H_2(g) + O_2(g) \rightarrow 2H_2O(l) + \text{energia}$$

Nesse sentido, assinale a alternativa correta.

a) O oxigênio é reduzido no ânodo.

b) O hidrogênio é reduzido no ânodo.

c) O hidrogênio é oxidado no ânodo.

d) O oxigênio é oxidado no cátodo.

3. (Enem) O crescimento da produção de energia elétrica ao longo do tempo tem influenciado decisivamente o progresso da humanidade, mas também tem criado uma séria preocupação: o prejuízo ao meio ambiente. Nos próximos anos, uma nova tecnologia de geração de energia elétrica deverá ganhar espaço: as células a combustível hidrogênio/oxigênio.

3. a

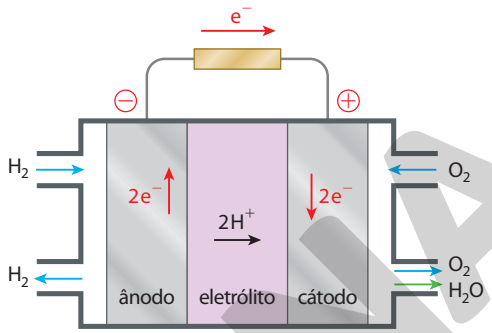


ILUSTRAÇÃO: ADILSON SECCO

VILLULLAS, H. M.; TICIANELLI, E. A.; GONZÁLEZ, E. R. *Química Nova na Escola*, n. 15, maio 2002.

Com base no texto e na figura, a produção de energia elétrica por meio da célula a combustível hidrogênio/oxigênio diferencia-se dos processos convencionais porque

a) transforma energia química em energia elétrica, sem causar danos ao meio ambiente, porque o principal subproduto formado é a água.

b) converte a energia química contida nas moléculas dos componentes em energia térmica, sem que ocorra a produção de gases poluentes nocivos ao meio ambiente.

c) transforma energia química em energia elétrica, porém, emite gases poluentes da mesma forma que a produção de energia a partir dos combustíveis fósseis.

d) converte energia elétrica proveniente dos combustíveis fósseis em energia química, retendo os gases poluentes produzidos no processo sem alterar a qualidade do meio ambiente.

e) converte a energia potencial acumulada nas moléculas de água contidas no sistema em energia química, sem que ocorra a produção de gases poluentes nocivos ao meio ambiente.

4. (PUC-RS) A pilha alcalina consiste em zinco metálico em pó imobilizado em um gel em contato com uma solução concentrada de KOH e separada de uma mistura de $MnO_2(s)$ e grafite por um tecido poroso. A pilha é selada em uma lata de aço para reduzir o risco de vazamento de KOH concentrado. Considerando que o potencial-padrão de redução de $MnO_2(s)$ a $Mn_2O_3(s)$ é $+0{,}74$ V e que o potencial-padrão de redução de $Zn^{2+}(aq)$ a $Zn^0(s)$ é $-0{,}76$ V, é correto afirmar que:

4. a

a) a força eletromotriz da pilha é 1,5 V.

b) o zinco é o cátodo.

c) os elétrons se movem do cátodo para o ânodo.

d) o potencial de redução do ânodo é maior do que o do cátodo.

e) a força eletromotriz da pilha é obtida pela soma dos potenciais de redução do cátodo e do ânodo.

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

PROIBIDA

CAPÍTULO 7

OXIDANTES E REDUTORES

FABIO COLOMBINI

Solos férteis contêm grande diversidade de seres vivos, entre eles bactérias conhecidas como nitrificantes. Algumas delas atuam na conversão de amônio (NH_4^+) em nitrito (NO_2^-), e outras promovem a transformação de nitrito em nitrato (NO_3^-). Como os íons nitrato são importantes nutrientes de plantas, bactérias nitrificantes estão envolvidas na manutenção da fertilidade de solos. (Plantação de milho, Itapetininga, SP, 2019.)

No capítulo anterior, conceituamos **reação de oxirredução** como uma transformação química em que elétrons são transferidos de uma espécie química (molécula, íon) para outra. Embora tenhamos introduzido esse conceito durante o estudo das celas galvânicas, as reações desse tipo acontecem também em diversas outras situações.

Processos de transferência de elétrons são mais comuns do que você pode imaginar e ocorrem em fenômenos cotidianos, como a combustão de substâncias e a formação de ferrugem. Além disso, acontecem em todos os seres vivos. Para citar dois exemplos, a respiração celular e a fotossíntese consistem em reações de oxirredução.

O conjunto de todas as reações químicas que ocorrem em um organismo vivo e são inerentes ao seu funcionamento recebe o nome de metabolismo. Uma parte dos processos metabólicos de todos os seres vivos envolve reações de oxirredução.

Os procariontes, seres vivos cujo organismo é constituído de uma única célula que não apresenta núcleo delimitado por membrana nem estruturas membranosas no citoplasma (organelas), apresentam uma enorme diversidade de processos metabólicos, alguns dos quais são altamente específicos e relacionados a condições ambientais particulares às quais estão adaptados.

Entre os diversos procariontes que vivem nos solos estão as bactérias nitrificantes. Para obter energia, algumas delas convertem amônio (NH_4^+) em nitrito (NO_2^-) e, simultaneamente, gás oxigênio (O_2) em água (H_2O). Outras convertem nitrito (NO_2^-) em nitrato (NO_3^-) e, ao mesmo tempo, gás oxigênio (O_2) em água (H_2O). Como podemos concluir, a partir dessas informações, que esses são processos de oxirredução? Qual reagente perde elétrons e qual os recebe? O estudo deste capítulo vai capacitá-lo não apenas a entender as respostas como o ajudará a ampliar o seu entendimento do que é transferência de elétrons.

De olho na BNCC:

- EM13CNT101
- EM13CNT105
- EM13CNT203
- EM13CNT205
- EM13CNT206
- EM13CNT302
- EM13CNT306
- EM13CNT307
- EM13CNT310

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

MODELO

1. Equacionamento de semirreações

Neste capítulo, apresentaremos dois raciocínios que possibilitam responder às perguntas do final da página anterior. Primeiramente, neste item, chegaremos a uma resposta elaborando semirreações. Depois, abordaremos o conceito de número de oxidação e, utilizando-o, mostraremos outra maneira de chegar à resposta. Na sequência, comentaremos que as duas abordagens são visões complementares, ambas importantes na compreensão do que é uma reação de oxirredução.

Como comentamos no capítulo anterior, uma **reação química de oxirredução**, **oxidorredução** ou **redox** é aquela em que ocorre transferência de elétrons entre espécies químicas (átomos, moléculas, íons). A perda de elétrons por uma espécie química é chamada de **oxidação**, e o recebimento de elétrons é denominado **redução**. A oxidação e a redução sempre acontecem simultaneamente porque **os elétrons perdidos pela espécie química que se oxida são recebidos pela espécie química que se reduz**, resultando em um processo de oxirredução.

A compreensão da transferência de elétrons nesse tipo de reação química é facilitada desmembrando-a teoricamente em duas etapas: a da oxidação e a da redução. Cada uma dessas etapas corresponde a uma **semirreação**, e pode ser representada por uma equação química (Fig. 1).

Para facilitar a elaboração da equação de uma semirreação, os cientistas empregam uma sequência estruturada de etapas que vamos exemplificar com a transformação de íon amônio (NH_4^+) em íon nitrito (NO_2^-).

Primeiramente, escrevemos as fórmulas das espécies químicas reagente e produto com uma seta entre elas, que indica que o reagente se transformou quimicamente no produto: $NH_4^+ \rightarrow NO_2^-$. Ao fazer isso, focamos nossa atenção no elemento químico presente que não seja oxigênio (O) nem hidrogênio (H), que, neste caso, é o elemento químico nitrogênio (N). Para igualar o número de átomos desse elemento nos dois lados, colocamos na frente das duas fórmulas um número apropriado, chamado **coeficiente estequiométrico** (ou, simplesmente, **coeficiente**): $1\,NH_4^+ \rightarrow 1\,NO_2^-$

Coeficientes unitários não precisam ser explicitamente indicados. Assim, ao escrever $NH_4^+ \rightarrow NO_2^-$, deixamos subentendido que os coeficientes das espécies químicas NH_4^+ e NO_2^- são "1", e o elemento nitrogênio já está balanceado, ou seja, o número de seus átomos é igual nos dois lados. Assim, temos:

$$NH_4^+ \rightarrow NO_2^-$$

A seguir, inserimos a quantidade apropriada de moléculas de água (H_2O) em um dos lados da seta (no caso, o esquerdo), a fim de balancear o elemento químico oxigênio (O):

$$NH_4^+ + 2\,H_2O \rightarrow NO_2^-$$

Para balancear o elemento químico hidrogênio (H), inserimos a quantidade apropriada de íons H^+ do lado em que for necessário (no caso, o direito):

$$NH_4^+ + 2\,H_2O \rightarrow NO_2^- + 8\,H^+$$

Com isso, os elementos químicos nitrogênio, oxigênio e hidrogênio estão balanceados. Só falta uma coisa: **os reagentes e os produtos devem apresentar a mesma carga elétrica total**, pois uma transformação química deve estar de acordo com o fato de que a carga elétrica se conserva.

Para expressar corretamente a conservação da carga elétrica, inserimos elétrons (representados por e^-) do lado apropriado (no caso, o direito):

$$NH_4^+ + 2\,H_2O \rightarrow NO_2^- + 8\,H^+ + 6\,e^-$$

Vamos conferir a carga elétrica. No primeiro membro (antes da seta), a carga elétrica total é: $+1 + 0 = +1$. No segundo membro (depois da seta), a carga elétrica total é: $-1 + 8 - 6 = +1$. O equacionamento da semirreação está concluído.

Que conclusão podemos tirar da equação obtida?

MICHAEL CLARKE

Figura 1 A bioquímica britânica Patricia Hannah Clarke (1919-2010, em foto de 2005) dedicou a carreira ao estudo do metabolismo de procariontes. Em um de seus artigos científicos, apresentou os resultados de investigações sobre a potencialidade de bactérias produzirem sulfeto de hidrogênio (H_2S) a partir de diferentes substâncias presentes no meio em que se desenvolvem. As rotas metabólicas de produção de H_2S por procariontes frequentemente envolvem reações de oxirredução, cujas semirreações podem ser equacionadas com o que se estuda neste Item 1. Clarke foi enfática defensora de iguais oportunidades para mulheres e homens na educação e no mundo do trabalho.

A IUPAC recomenda a denominação oxônio para o H_3O^+ (cf. *IUPAC Gold Book*, disponível em <https://goldbook.iupac.org>, acessado em ago. 2020, ou CONNELLY, N. G. *et al*. *Nomenclature of Inorganic Chemistry: IUPAC Recommendations 2005*. Cambridge: IUPAC/RSC Publishing, 2005). Anteriormente esse íon recebeu as denominações hidrônio e hidroxônio.

Veja comentários sobre essa atividade no Suplemento do Professor.

Dialogando com o texto

Na literatura científica, ao equacionar semirreações de reações que ocorrem em meio aquoso, é extremamente frequente a utilização da representação H^+.

Esse íon, contudo, não existe isoladamente em meio aquoso (não é estável), e se liga a uma molécula de água (H_2O), originando a espécie H_3O^+, denominada íon oxônio.

Assim, ao encontrar ou utilizar a representação H^+ em uma semirreação, lembre-se de que se trata de um reagente ou de um produto que está ligado à água, sob a forma de H_3O^+ aquoso.

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

MODERNA

Ao se transformar em um íon nitrito, um íon amônio perde 6 elétrons e, assim, concluímos que se trata de um processo de **oxidação**:

Equação da semirreação de oxidação de NH_4^+ a NO_2^-:

$$NH_4^+ + 2H_2O \rightarrow NO_2^- + 8H^+ + 6e^-$$

Vamos agora aplicar a mesma abordagem estruturada à transformação de íon nitrito (NO_2^-) em íon nitrato (NO_3^-). Primeiramente, escrevemos, já com o elemento químico nitrogênio (N) balanceado:

$$NO_2^- \rightarrow NO_3^-$$

Balanceando o elemento químico oxigênio (O) por inclusão de água:

$$NO_2^- + H_2O \rightarrow NO_3^-$$

Balanceando o elemento químico hidrogênio (H) por indicação de H^+:

$$NO_2^- + H_2O \rightarrow NO_3^- + 2H^+$$

Finalmente, considerando a conservação da carga elétrica, chegamos a:

$$NO_2^- + H_2O \rightarrow NO_3^- + 2H^+ + 2e^-$$

Concluímos que essa transformação também é uma **oxidação**.

Equação da semirreação de oxidação de NO_2^- a NO_3^-:

$$NO_2^- + H_2O \rightarrow NO_3^- + 2H^+ + 2e^-$$

Aplicando as mesmas ideias, podemos equacionar a transformação de gás oxigênio (O_2) em água. Primeiramente, temos:

$$O_2 \rightarrow H_2O$$

Note que, nesse caso, não há outro elemento químico além de oxigênio (O) e hidrogênio (H). Inserindo água, a fim de balancear o elemento químico oxigênio:

$$O_2 \rightarrow 2H_2O$$

Colocando íons H^+ para balancear o elemento químico hidrogênio (H):

$$O_2 + 4H^+ \rightarrow 2H_2O$$

Considerando a conservação da carga elétrica, obtemos:

$$O_2 + 4H^+ + 4e^- \rightarrow 2H_2O$$

Nesse caso, a equação deduzida evidencia que a transformação de gás oxigênio em água requer o recebimento de 4 elétrons, o que configura uma **redução**.

Equação da semirreação de redução de O_2 a H_2O:

$$O_2 + 4H^+ + 4e^- \rightarrow 2H_2O$$

Agora que temos essas três equações de semirreação, é possível deduzir a equação global dos processos comentados no final da página de abertura deste capítulo. Mostraremos uma dedução a seguir, e você fará a outra na atividade indicada ao lado. Como os elétrons perdidos pela espécie que se oxida são integralmente recebidos pela espécie que se reduz, multiplicamos as equações das semirreações por números adequados visando à igualdade do número de elétrons. Assim, para o caso das bactérias nitrificantes cujo metabolismo converte amônio em nitrito e, simultaneamente, gás oxigênio em água, temos:

$$2 \times [\, NH_4^+ + 2H_2O \rightarrow NO_2^- + 8H^+ + 6e^- \,]$$

$$3 \times [\, O_2 + 4H^+ + 4e^- \rightarrow 2H_2O \,]$$

Note que a multiplicação da primeira equação por 2 e da segunda por 3 faz com que, em ambas, o número de elétrons passe a ser 12. Somando-as e fazendo os necessários cancelamentos, chegamos a:

Equação da semirreação de oxidação: $2NH_4^+ + \cancel{4H_2O} \rightarrow 2NO_2^- + \underset{4}{\cancel{16}}H^+ + \cancel{12e^-}$

Equação da semirreação de redução: $3O_2 + \cancel{12H^+} + \cancel{12e^-} \rightarrow \overset{2}{\cancel{6}}H_2O$

Equação da reação global de oxirredução: $2NH_4^+ + 3O_2 \rightarrow 2NO_2^- + 4H^+ + 2H_2O$ (+)

NH_4^+ é oxidado a NO_2^-. O_2 é reduzido a H_2O.

Veja comentários sobre essa atividade no Suplemento do Professor.

Dialogando com o texto

Em equações químicas, as representações da fase de uma espécie química são as seguintes:

(s) fase sólida;
(l) fase líquida;
(g) fase gasosa;
(aq) fase aquosa.

Assim, incluindo esse tipo de indicação nas equações de semirreação desta página, temos:

$$NH_4^+(aq) + 2H_2O(l) \rightarrow$$
$$\rightarrow NO_2^-(aq) + 8H^+(aq) + 6e^-$$

$$NO_2^-(aq) + H_2O(l) \rightarrow$$
$$\rightarrow NO_3^-(aq) + 2H^+(aq) + 2e^-$$

$$O_2(g) + 4H^+(aq) + 4e^- \rightarrow H_2O(l)$$

No caso da equação da reação global do final da página, temos:

$$2NH_4^+(aq) + 3O_2(g) \rightarrow$$
$$\rightarrow 2NO_2^-(aq) + 4H^+(aq) + 2H_2O(l)$$

Neste capítulo, o foco dos equacionamentos estará no estabelecimento da ocorrência de oxidação e redução, o que incluirá determinar a quantidade de elétrons perdidos e recebidos. Na maioria das equações, não indicaremos as fases, a fim de direcionar sua atenção para os aspectos em discussão.

Veja comentários sobre essa atividade no Suplemento do Professor.

Dialogando com o texto

Falta deduzir a equação da outra reação mencionada na abertura do capítulo e, após estudar esta página, você já tem condições de fazer isso. A reação, que ocorre no metabolismo de algumas bactérias nitrificantes, converte nitrito (NO_2^-) em nitrato (NO_3^-) e, simultaneamente, gás oxigênio (O_2) em água (H_2O).

Equacione essa reação e determine qual reagente perde elétrons e qual os recebe.

Troque ideias com os colegas, se considerar necessário, e registre o desenvolvimento e as conclusões no caderno.

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

MODERNA

2. Agente oxidante e agente redutor

Na discussão do item anterior, concluímos que, na reação cuja equação é

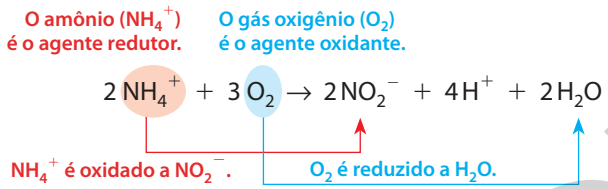
$$2\,NH_4^+ + 3\,O_2 \rightarrow 2\,NO_2^- + 4\,H^+ + 2\,H_2O,$$

o reagente NH_4^+ é oxidado e o reagente O_2 é reduzido.

Os elétrons perdidos pela espécie química que se oxida são integralmente recebidos pela espécie química que se reduz, pois elétrons se conservam durante as reações químicas. Assim, oxidação e redução sempre acontecem de modo conjunto, não sendo possível a ocorrência de uma sem a outra.

No estudo de reações de oxirredução é frequente o uso de duas expressões para denominar as espécies envolvidas na transferência de elétrons. Denominamos **agente oxidante** (ou, simplesmente, **oxidante**) a espécie química que **recebe elétrons** e que, por isso, causa a oxidação de outra espécie, aquela que cede os elétrons. Chamamos de **agente redutor** (ou, resumidamente, **redutor**) a espécie química que **perde elétrons** e que, por esse motivo, provoca a redução da outra espécie, para a qual elétrons são transferidos.

Perceba que, de acordo com as conceituações apresentadas, **oxidante é a espécie química que é reduzida** na ocorrência de determinada reação química de oxirredução, e **redutor é a espécie química que é oxidada** nessa reação. No exemplo em questão, o oxidante é o gás oxigênio e o redutor é o amônio:



Veja comentários sobre essa atividade no Suplemento do Professor.

Atividade em grupo

A respiração celular aeróbica, por meio da qual nossas células obtêm energia de nutrientes como a glicose, é um processo metabólico que ocorre em diversas etapas.

Nesta atividade, para efeito de análise da oxirredução envolvida, vamos desmembrar a respiração celular (teoricamente) em duas semirreações. Em uma delas, glicose ($C_6H_{12}O_6$) origina dióxido de carbono (CO_2). Na outra, gás oxigênio (O_2) origina água (H_2O).

Elaborem a equação das duas semirreações e indiquem qual é a de oxidação e qual é a de redução. A seguir, deduzam uma equação para representar a reação global e indiquem nela qual é o redutor e qual é o oxidante.

Elaborem um cartaz, digital ou em papel, para compartilhar com os colegas as conclusões a que chegaram.

Aplicando conhecimentos

Registre as respostas em seu caderno.

Veja respostas e comentários no Suplemento do Professor.

1. Em alguns ambientes aquáticos nos quais há íons ferro(II) dissolvidos, $Fe^{2+}(aq)$, existem procariontes oxidantes de ferro, cujo metabolismo oxida esses íons a hidróxido de ferro(III) sólido, $Fe(OH)_3(s)$, com a simultânea redução de gás oxigênio dissolvido, $O_2(aq)$, a água, H_2O.

a) Represente a semirreação de oxidação e a de redução por meio de equações químicas.

b) Fundamentado na resposta anterior, determine a equação química da reação global.

c) Qual das duas espécies químicas, $Fe^{2+}(aq)$ ou $O_2(aq)$, é o oxidante nesse processo? Por quê?

2. Algumas espécies de seres vivos procariontes conhecidas como *redutoras de sulfato* obtêm energia a partir de glicose ($C_6H_{12}O_6$) e sulfato (SO_4^{2-}) por meio de um processo que pode ser desmembrado em duas semirreações assim equacionadas:

$$C_6H_{12}O_6 + 6\,H_2O \rightarrow 6\,CO_2 + 24\,H^+ + 24\,e^-$$

$$SO_4^{2-} + 10\,H^+ + 8\,e^- \rightarrow H_2S + 4\,H_2O$$

a) Qual dessas equações representa uma oxidação e qual representa uma redução? Por quê?

b) Elabore a equação da reação global de oxirredução, mostrando como chegou a ela.

c) Quais são o oxidante e o redutor nesse processo?

3. Íons sulfito (SO_3^{2-}) reagem, em meio aquoso, com bromo molecular (Br_2). Nessa reação química, os íons sulfito são oxidados a íons sulfato (SO_4^{2-}) e o bromo molecular é reduzido a íons brometo (Br^-). Equacione as duas semirreações e a reação global, e indique quais são o oxidante e o redutor nesse processo.

4. Dois agentes oxidantes muito empregados em procedimentos de laboratório são os íons permanganato (MnO_4^-) e os íons dicromato ($Cr_2O_7^{2-}$), em solução aquosa ácida. Nas semirreações que correspondem a essa utilização, originam-se, respectivamente, íons manganês(II) (Mn^{2+}) e íons crômio(III) (Cr^{3+}). Equacione as duas semirreações mencionadas e, fundamentado nelas, explique por que os íons MnO_4^- e $Cr_2O_7^{2-}$ atuam como oxidantes.

5. Precisando obter gás cloro (Cl_2) para uso em determinado experimento, uma química misturou uma solução aquosa ácida de permanganato de potássio ($KMnO_4$) com outra de cloreto de sódio (NaCl), em recipiente apropriado e seguindo as normas corretas de segurança. Na reação, os íons MnO_4^- reagiram com íons Cl^-, oxidando-os a Cl_2.

a) Equacione a semirreação de oxidação.

b) Aproveitando parte da resposta da atividade anterior, equacione a reação global da reação.

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

MODELO

3. Número de oxidação

O **número de oxidação**, ou **estado de oxidação**, é um número associado aos átomos de um determinado elemento químico, em uma determinada espécie química, que indica carga elétrica real no caso de íons monoatômicos (formados por um só átomo, como Na^+, Ca^{2+} ou Fe^{3+}) ou uma carga parcial (nos demais casos, o que inclui as espécies químicas em que existe ligação covalente, como H_2, CO_2, H_2O, NH_4^+, NO_3^- e SO_4^{2-}) que se atribui aos átomos em função do ambiente eletrônico ao seu redor. Tradicionalmente, encara-se o número de oxidação (representado, em diferentes textos, por siglas como nox, N_{ox}, n_{ox} ou NOX) como o resultado da aplicação de regras que agilizam a determinação. Essas regras, contudo, são ideias com uma fundamentação lógica que permite que sejam compreendidas. Vamos, então, apresentar essa fundamentação.

Quando átomos de dois elementos químicos se unem por ligação iônica, essa ligação se deve à atração elétrica entre cátions (íons de carga elétrica positiva, como Na^+ e Ca^{2+}) e ânions (íons de carga elétrica negativa, como Cl^- e O^{2-}). No composto iônico formado (como cloreto de sódio, NaCl, ou óxido de cálcio, CaO), os átomos dos elementos químicos estão presentes como íons e cada um deles apresenta uma carga elétrica real. O valor dessa carga elétrica é o número de oxidação desse elemento no composto. Assim, no NaCl, constituído de íons Na^+ e Cl^-, o número de oxidação do sódio é +1 e o do cloro é –1 (Fig. 2.A). No CaO, constituído de íons Ca^{2+} e O^{2-}, o número de oxidação do cálcio é +2 e o do oxigênio é –2 (Fig. 2.B). Outros exemplos estão nas Figuras 2.C e 2.D.

A compreensão do conceito de número de oxidação em espécies químicas nas quais há ligação covalente requer o conceito de **eletronegatividade**. A atração que o núcleo atômico exerce sobre os elétrons é de origem eletrostática. Assim como o núcleo de um átomo atrai os elétrons desse átomo, em uma ligação química ele também pode atrair os elétrons de outros átomos a ele ligados. Embora essa atração se dê sobre todo o ambiente eletrônico que circunda um núcleo atômico, é de particular interesse a atração exercida sobre os elétrons das ligações químicas.

A grandeza adimensional denominada eletronegatividade indica a tendência que o átomo de determinado elemento químico apresenta para atrair os elétrons envolvidos em uma ligação química. A eletronegatividade depende de fatores como o número de prótons, pois, quanto maior for esse número, mais elevada será a atração que o núcleo exerce sobre os elétrons. Ela também é influenciada pela distância entre os elétrons mais externos. Entre as diversas escalas de eletronegatividade existentes, a mais conhecida (Fig. 3) foi elaborada pelo químico estadunidense Linus Pauling (1901-1994).

As ligações covalentes são estabelecidas por meio do compartilhamento de pares de elétrons, cada par eletrônico compartilhado entre dois átomos é considerado uma ligação covalente entre esses átomos. Uma das representações empregadas para uma espécie química em que existam uma ou mais ligações covalentes é a fórmula eletrônica, na qual são representados os símbolos dos elementos químicos cujos átomos constituem essa espécie e também os elétrons da camada de valência (última camada da eletrosfera) desses átomos (Fig. 4). Outra representação é a fórmula estrutural, em que cada ligação covalente é representada por um traço (Fig. 5).

Considere, por exemplo, uma molécula de cloreto de hidrogênio, HCl, na qual os dois átomos presentes estabelecem uma ligação covalente (Fig. 4.A). Consultando valores de eletronegatividade (Fig. 3), verificamos que o elemento químico cloro é mais eletronegativo que o elemento químico hidrogênio, o que significa que o cloro exerce maior atração sobre o par de elétrons compartilhado do que o hidrogênio. A ligação H — Cl é covalente, mas o compartilhamento eletrônico não é igualitário.

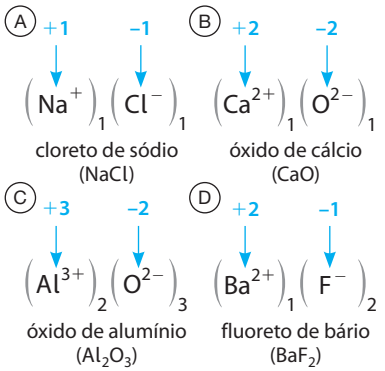


Figura 2 Exemplos de número de oxidação (indicados em azul) em compostos iônicos constituídos de dois elementos químicos.

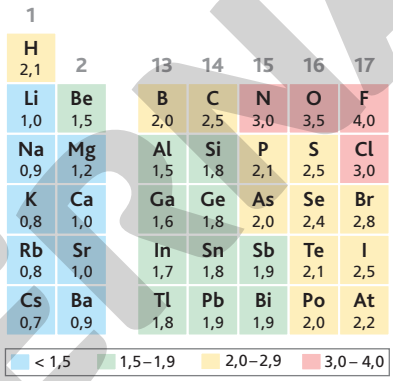


Figura 3 Eletronegatividade de alguns elementos químicos. São apresentados os valores propostos por Pauling, com pequenas correções mais recentes.

Fonte: BROWN, T. L. *et al. Chemistry: the Central Science*. 14. ed. Nova York: Pearson, 2018.

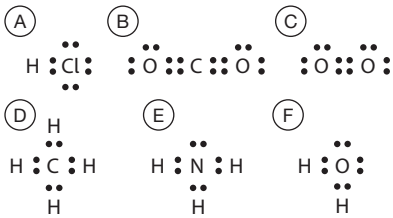


Figura 4 Fórmulas eletrônicas das substâncias (A) cloreto de hidrogênio (HCl), (B) dióxido de carbono (CO_2), (C) gás oxigênio (O_2), (D) metano (CH_4), (E) amônia (NH_3) e (F) água (H_2O). Neste livro, os elétrons serão representados na fórmula eletrônica por pequenos círculos.

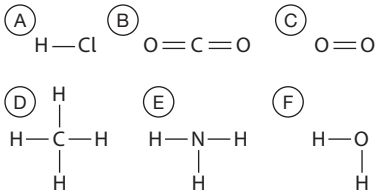


Figura 5 Fórmulas estruturais das mesmas substâncias mencionadas na legenda da figura anterior.

ILUSTRAÇÕES DOS AUTORES

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

EM MODERNA

Para determinar números de oxidação em espécies com ligações covalentes, os químicos **atribuem** (mentalmente) os elétrons compartilhados ao átomo do elemento mais eletronegativo de cada ligação e, a seguir, determinam **qual seria a carga elétrica** de cada átomo. Essa carga é o número de oxidação.

Consultando uma tabela periódica, constatamos que o cloro está no grupo 17 (cujos átomos apresentam 7 elétrons na camada de valência, se eletricamente neutros) e o hidrogênio está no grupo 1 (cujos átomos apresentam 1 elétron na camada de valência, se eletricamente neutros). No caso do HCl (Fig. 6.A), a atribuição do par eletrônico ao átomo de cloro faz com que ele fique com carga elétrica −1 e o hidrogênio com carga elétrica +1. Então, no HCl, o cloro está com número de oxidação –1 e o hidrogênio, com número de oxidação +1.

A Figura 6 apresenta outros exemplos dessa atribuição dos elétrons ao átomo do elemento mais eletronegativo e os respectivos números de oxidação decorrentes dessa atribuição. Perceba, no caso da molécula de gás oxigênio, O_2, que os dois átomos ligados são de um mesmo elemento químico (o elemento oxigênio) e, portanto, têm a mesma eletronegatividade. Assim, os elétrons das ligações são igualmente distribuídos entre eles (Fig. 6.C).

Vamos, agora, apresentar algumas ideias que os químicos usam para a determinação de números de oxidação. É importante que você tenha em mente que elas se fundamentam no que acabamos de discutir. Lembre-se de consultar a tabela periódica e os valores de eletronegatividade quando necessário.

Substâncias simples – Em uma substância simples, aquela constituída por átomos de um mesmo elemento químico, não existe diferença de eletronegatividade entre os átomos e, assim sendo, o número de oxidação do elemento é zero. Exemplos de substâncias simples são o gás oxigênio (O_2) (Fig. 6.C), o gás hidrogênio (H_2), o zinco metálico (Zn), o ferro metálico (Fe), a prata metálica (Ag), o carbono diamante (C (diam.)) e o carbono grafite (C (graf.)).

Elemento químico hidrogênio em substâncias compostas – As substâncias compostas (ou compostos químicos) são aquelas constituídas de átomos de dois ou mais elementos químicos. Quando um átomo do elemento químico hidrogênio estabelece ligação covalente com um átomo de outro elemento químico mais eletronegativo que ele, seu número de oxidação será +1 (Figs. 6.A, 6.D, 6.E e 6.F). Diferentemente, quando o elemento químico hidrogênio se combina por ligação iônica com um metal menos eletronegativo que ele (por exemplo, sódio ou cálcio), ele constitui o ânion H^-, chamado ânion hidreto, e, nesse caso, o número de oxidação desse elemento será –1 nesse tipo de composto (Fig. 7).

Elemento químico oxigênio em substâncias compostas – O elemento químico oxigênio está no grupo 16 da tabela periódica, o que indica que seus átomos têm seis elétrons na camada de valência quando eletricamente neutros. Se esse elemento estabelecer ligação iônica e constituir o íon O^{2-} (ânion óxido), o número de oxidação desse elemento será –2 (Figs. 2.B, 2.C). Se estabelecer ligações covalentes com outro(s) elemento(s), apresentará, devido à sua alta eletronegatividade, número de oxidação –2 (Figs. 6.B, 6.F). Assim, o número de oxidação do oxigênio em substâncias compostas é geralmente –2.

O elemento químico oxigênio só não é mais eletronegativo que o elemento químico flúor. Assim, no OF_2 (Fig. 8.A) o número de oxidação do oxigênio é +2. Outra situação que destoa do valor –2 é nos peróxidos. O peróxido de hidrogênio, H_2O_2, comercializado em solução aquosa com o nome de água oxigenada, é um peróxido molecular cuja fórmula eletrônica está na Figura 8.B. Por meio dela, podemos perceber que o número de oxidação do oxigênio é –1, pois o oxigênio é mais eletronegativo que o hidrogênio, mas uma de suas ligações é estabelecida com outro átomo de oxigênio. Nos peróxidos dos metais alcalinos (Fig. 8.C) e alcalinoterrosos (Fig. 8.D), existe o íon O_2^{2-} (ânion peróxido), no qual dois átomos de oxigênio têm carga –2 e, portanto, cada um deles tem número de oxidação –1.

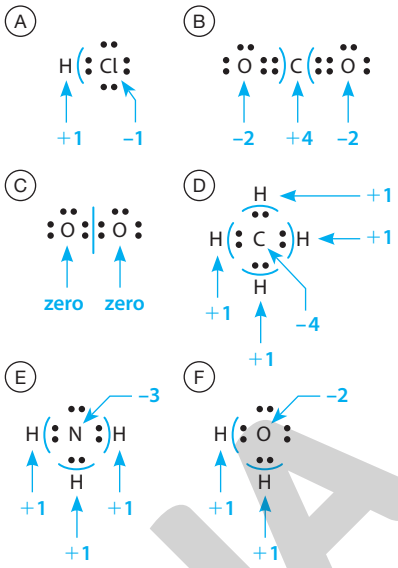


Figura 6 Determinação do número de oxidação (em azul) dos elementos químicos constituintes das substâncias mencionadas na legenda da Figura 4.

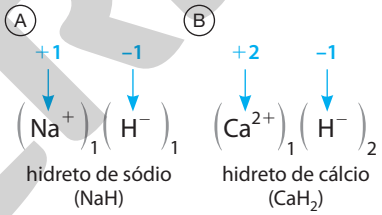


Figura 7 O número de oxidação do elemento químico hidrogênio é –1 quando ele se combina por ligação iônica com elementos menos eletronegativos que ele. Nos dois exemplos apresentados, o número de oxidação do metal também é apresentado.

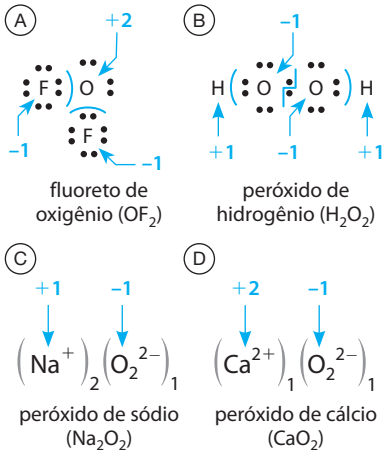


Figura 8 Existem algumas substâncias compostas em que o número de oxidação do elemento químico oxigênio não é –2, como o fluoreto de oxigênio (A), o peróxido de hidrogênio (B) e os peróxidos de metais alcalinos (C) e alcalinoterrosos (D). Os dois primeiros compostos são moleculares e os dois últimos, iônicos.

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

EM MODERNA

Elementos que frequentemente apresentam número de oxidação constante em substâncias compostas – Os metais alcalinos (grupo 1 da tabela periódica), ao se combinarem ionicamente, formam cátions com carga 1+ em decorrência da perda de seu elétron de valência, apresentando assim número de oxidação +1 (Figs. 2.A, 7.A e 8.C). Os metais alcalinoterrosos (grupo 2), ao constituírem compostos iônicos, fazem-no como cátions de carga 2+ devido à perda de seus dois elétrons de valência, apresentando, portanto, número de oxidação +2 (Figs. 2.B, 2.D, 7.B e 8.D). O elemento químico alumínio (grupo 13) perde os três elétrons da camada de valência e origina Al^{3+}, íon encontrado em compostos iônicos desse elemento, nos quais o número de oxidação do alumínio é +3 (Fig. 2.C).

Soma algébrica dos números de oxidação em uma espécie química eletricamente neutra – Uma molécula é uma espécie química eletricamente neutra, ou seja, sua carga elétrica total é zero. Ao determinar os números de oxidação dos elementos químicos cujos átomos constituem uma molécula, para cada carga positiva atribuída necessariamente será atribuída também uma carga negativa. Assim, a soma algébrica (isto é, a soma em que podem existir parcelas positivas e parcelas negativas) dos números de oxidação de todos os átomos que tomam parte de uma molécula fornece o resultado zero. Um exemplo é apresentado na Figura 9, mas você também pode verificar isso somando os números de oxidação dos átomos constituintes das demais moléculas que apresentamos como exemplos até aqui (HCl, CO_2, O_2, CH_4, NH_3, H_2O, OF_2 e H_2O_2).

Um composto iônico, embora constituído de cátions e ânions que individualmente apresentam carga elétrica, não apresenta carga elétrica em sua totalidade. Isso porque, nesse tipo de composto, o total de cargas positivas dos cátions sempre deve contrabalançar o total de cargas negativas dos ânions. Assim, outra situação em que a soma de todos os números de oxidação resulta zero é no caso de compostos iônicos. Dois exemplos são apresentados na Figura 10, mas você pode verificar isso somando todos os números de oxidação de outros compostos iônicos apresentados como exemplos (NaCl, CaO, Al_2O_3, BaF_2, NaH, CaH_2, Na_2O_2 e CaO_2).

Soma algébrica dos números de oxidação em íon poliatômico – A denominação íon poliatômico é empregada para designar um íon constituído de dois ou mais átomos ligados covalentemente, como NH_4^+, CO_3^{2-}, NO_3^- e SO_4^{2-}. A atribuição de números de oxidação (que é apenas um processo mental) não faz elétrons surgirem ou desaparecerem, pois se trata apenas de um processo de atribuir elétrons existentes na estrutura para esse ou para aquele átomo. Assim, a soma de todos os números de oxidação deve resultar a carga total da espécie. Por exemplo, a soma dos números de oxidação dos átomos dos elementos químicos hidrogênio e nitrogênio do íon amônio, NH_4^+, deve resultar +1 (Fig. 11.A) e a soma dos números de oxidação dos átomos dos elementos químicos carbono e oxigênio do íon carbonato, CO_3^{2-}, deve resultar –2 (Fig. 11.B).

Essas duas últimas ideias são úteis para determinar o número de oxidação daqueles elementos químicos cujo número de oxidação varia bastante de um composto para outro, como é o caso de nitrogênio, cloro, enxofre, carbono e fósforo. Digamos que você precise determinar o número de oxidação do enxofre no ácido sulfúrico (H_2SO_4) ou do nitrogênio no ânion nitrito (NO_2^-). Nessas espécies químicas, o número de oxidação do hidrogênio é +1 e o do oxigênio é –2. Representando por *x* o número de oxidação do enxofre no H_2SO_4, podemos obter esse valor da seguinte forma:

$$2\cdot(+1) + x + 4\cdot(-2) = 0 \quad \Rightarrow \quad x = +6$$

Representando por *y* o número de oxidação do nitrogênio no NO_2^-, é possível determinar esse valor da seguinte maneira:

$$y + 2\cdot(-2) = -1 \quad \Rightarrow \quad y = +3$$

Em caso de dúvida ao determinar um número de oxidação, o melhor a fazer é empregar a fórmula eletrônica e proceder como explicamos anteriormente.

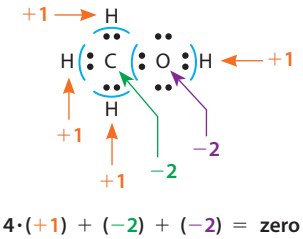


Figura 9 Exemplificação de que a soma algébrica de todos os números de oxidação em uma molécula é nula. A fórmula estrutural apresentada é da molécula de metanol (CH_3OH).

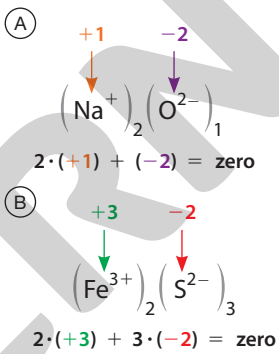


Figura 10 Exemplificação de que a soma algébrica de todos os números de oxidação em um composto iônico é nula. As duas substâncias em questão são o óxido de sódio (Na_2O) (A) e o sulfeto de ferro(III) (Fe_2S_3) (B).

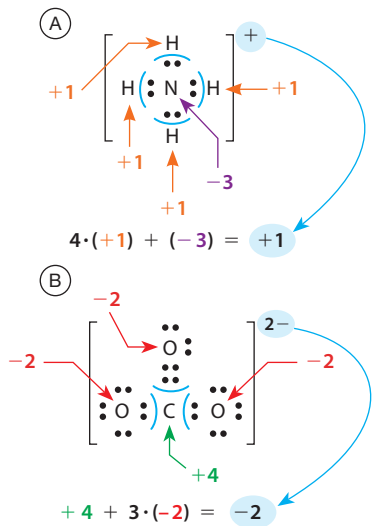


Figura 11 Exemplificação de que a soma algébrica de todos os números de oxidação em um íon poliatômico é igual à carga do íon. Os dois íons apresentados são amônio (NH_4^+) (A) e carbonato (CO_3^{2-}) (B).

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

4. Número de oxidação e oxirredução

O conceito de número de oxidação é importante em todas as áreas que envolvem oxirredução (Fig. 12). Agora que o apresentamos, podemos reinterpretar os exemplos de semirreações do Item 1. Na discussão a seguir, **representaremos por Δ o módulo do número de elétrons perdidos ou recebidos**.

Consideremos a equação da semirreação de oxidação de NH_4^+ a NO_2^-. Nesse processo, o número de oxidação do elemento químico hidrogênio não se altera, valendo +1 no NH_4^+ e no H^+. O número de oxidação do elemento químico oxigênio também não se altera, sendo –2 tanto em H_2O quanto em NO_2^-. Já o número de oxidação do elemento químico nitrogênio aumenta de –3, no NH_4^+, para +3, no NO_2^-. Essa variação de 6 unidades tem um significado: o átomo do elemento nitrogênio perde 6 elétrons ($\Delta = 6$), o que é consistente com a equação da semirreação:

$$NH_4^+ + 2\,H_2O \rightarrow NO_2^- + 8\,H^+ + 6\,e^-$$

–3 → +3: $\Delta = 6$ (oxidação); $6\,e^-$: $\Delta = 6$

Conclusão similar pode ser tirada analisando a equação da semirreação de oxidação de NO_2^- a NO_3^-, na qual o número de oxidação do elemento químico nitrogênio se altera de +3, no reagente, para +5, no produto. O átomo de nitrogênio, nesse caso, perde 2 elétrons na oxidação ($\Delta = 2$):

$$NO_2^- + H_2O \rightarrow NO_3^- + 2\,H^+ + 2\,e^-$$

+3 → +5: $\Delta = 2$ (oxidação); $2\,e^-$: $\Delta = 2$

Analisemos agora a equação da semirreação de redução de O_2 a H_2O. O número de oxidação do elemento químico hidrogênio (+1) se mantém, mas o do oxigênio diminui de zero para –2. O módulo dessa variação, que é 2, indica que cada átomo do elemento químico oxigênio recebeu 2 elétrons. Contudo, como existem dois átomos na molécula de O_2, concluímos que os dois juntos recebem 4 elétrons ($\Delta = 2 \cdot 2 = 4$), o que está de acordo com a equação da semirreação:

$$O_2 + 4\,H^+ + 4\,e^- \rightarrow 2\,H_2O$$

0 → –2: $\Delta = 2 \cdot 2 = 4$ (redução)

O conceito de número de oxidação torna mais simples perceber se determinada reação química envolve, ou não, transferência de elétrons.

Se, em uma reação química, houver **aumento do número de oxidação de certo elemento químico**, isso indica **perda de elétrons** pelos seus átomos, ou seja, **oxidação desse elemento**. Por outro lado, uma **diminuição do número de oxidação de certo elemento químico** indica que ocorreu **recebimento de elétrons** pelos seus átomos, isto é, **redução desse elemento**.

Então, uma reação química é de **oxirredução** se houver modificação do número de oxidação de um ou mais elementos químicos quando os reagentes se transformam em produtos. Além disso, das espécies químicas que reagem, aquela que **contém o elemento químico que se oxida** é o **redutor**, enquanto a que **contém o elemento que se reduz** é o **oxidante**. Como exemplo, veja o caso da oxidação de amônio pelo gás oxigênio:

Redutor: amônio (NH_4^+), pois contém o elemento que se oxida (N).

Oxidante: gás oxigênio (O_2), pois contém o elemento que se reduz (O).

$$2\,NH_4^+ + 3\,O_2 \rightarrow 2\,NO_2^- + 4\,H^+ + 2\,H_2O$$

–3 → +3: oxidação do elemento químico nitrogênio (N)

0 → –2: redução do elemento químico oxigênio (O)

COURTESY NASA GLENN RESEARCH CENTER

NASA

Figura 12 (A) A cientista e inventora porto-riquenha Olga Gonzalez-Sanabria (em foto de 2002) foi responsável pelo desenvolvimento das baterias de níquel-hidrogênio de longa duração utilizadas no sistema de energia da Estação Espacial Internacional (ISS). O conceito de número de oxidação é usado corriqueiramente em pesquisa e desenvolvimento de baterias elétricas. (B) Foto da ISS, tirada em outubro de 2018 por astronautas a bordo de uma espaçonave russa Soyuz.

Veja comentários sobre essa atividade no Suplemento do Professor.

Dialogando com o texto

A água oxigenada usada na desinfecção de pequenos esfolados da pele é uma solução aquosa de peróxido de hidrogênio (H_2O_2). A equação da decomposição que ocorre quando a solução é aplicada no ferimento é:

$$2\,H_2O_2\,(aq) \rightarrow 2\,H_2O\,(l) + O_2\,(g)$$

Essa reação é considerada uma **auto-oxirredução** porque **um mesmo elemento químico** – no caso, o oxigênio (O) – **se oxida e se reduz**. Para compreender, elabore duas semirreações: a de oxidação de H_2O_2 a O_2 e a de redução de H_2O_2 a H_2O e some as duas para chegar à equação acima.

Uma auto-oxirredução também pode ser denominada reação de **desproporcionamento**.

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

Aplicando conhecimentos

Registre as respostas em seu caderno.

Veja respostas e comentários no Suplemento do Professor.

6. Em qual das espécies químicas – CH_4, CO_2, CH_2O, CH_3OH ou HCO_2H – o elemento químico carbono está mais oxidado, isto é, com maior número de oxidação? Explique, apresentando os cálculos.

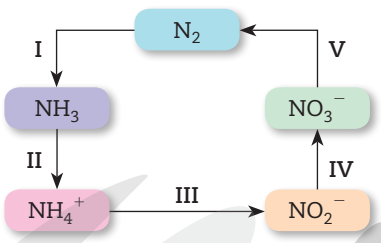
7. Substâncias contendo o elemento químico enxofre (S) estão presentes nos organismos vivos e participam de diversos processos metabólicos. Algumas espécies de procariontes utilizam a luz solar como fonte de energia para a síntese de glicose ($C_6H_{12}O_6$), mas, diferentemente do que ocorre na fotossíntese realizada por plantas e cianobactérias, empregam o sulfeto de hidrogênio (H_2S) em vez de gás oxigênio, conforme a equação química:

$$6\,CO_2(g) + 12\,H_2S(aq) \rightarrow C_6H_{12}O_6(aq) + 6\,H_2O(l) + 12\,S(s)$$

Determine qual é o elemento químico que se reduz e qual é o que se oxida nessa reação, justificando por meio do conceito de número de oxidação.

8. (Enem) A aplicação excessiva de fertilizantes nitrogenados na agricultura pode acarretar alterações no solo e na água pelo acúmulo de compostos nitrogenados, principalmente a forma mais oxidada, favorecendo a proliferação de algas e plantas aquáticas e alterando o ciclo do nitrogênio, representado no esquema.

8. e



A espécie nitrogenada mais oxidada tem sua quantidade controlada por ação de microrganismos que promovem a reação de redução dessa espécie, no processo denominado desnitrificação. O processo citado está representado na etapa

a) I. **b)** II. **c)** III. **d)** IV. **e)** V.

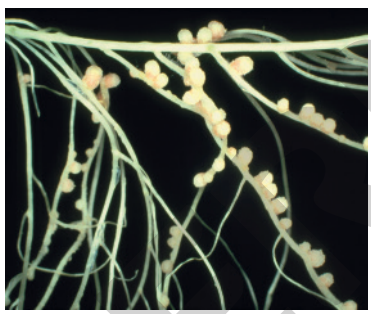
9. A pólvora foi inventada por volta do século I, na China, sendo o explosivo mais antigo conhecido pela humanidade. Ela tem muitas aplicações pacíficas, entre as quais a remoção de estruturas rochosas para abrir estradas e túneis. A pólvora consiste de uma mistura de nitrato de potássio (KNO_3), enxofre (S) e carvão (C). Diversas transformações químicas ocorrem na explosão, produzindo principalmente sulfato de potássio (K_2SO_4), dióxido de carbono (CO_2) e gás nitrogênio (N_2). Considerando apenas as substâncias mencionadas, quais dos elementos químicos presentes (potássio, nitrogênio, oxigênio, enxofre e carbono) se oxidam ou se reduzem quando a pólvora explode? Justifique, apresentando o estado de oxidação (número de oxidação) de cada elemento, nos reagentes e nos produtos.

10. Analise a equação a seguir, da reação entre carbonato de cálcio e ácido clorídrico, e explique por que essa reação **não** é de oxirredução.

$$CaCO_3(s) + 2\,HCl(aq) \rightarrow CaCl_2(aq) + H_2O(l) + CO_2(g)$$

11. As bactérias do gênero *Rhizobium* podem estabelecer uma relação associativa com raízes de plantas fabáceas (também chamadas de leguminosas, como feijão, soja, amendoim e ervilha), por meio da qual a planta e as bactérias obtêm benefícios. O metabolismo desses microrganismos transforma gás nitrogênio do ar em íons amônio, processo denominado **fixação de nitrogênio**, que favorece a fertilidade do solo. Nessa associação, as bactérias utilizam parte da glicose produzida pela planta.

DR. JEREMY BURGESS/SCIENCE PHOTO LIBRARY/FOTOARENA



Nódulos da bactéria *Rhizobium leguminosarum* associados à raiz de uma planta de ervilha, *Pisum sativum*. (Diâmetro médio dos nódulos da foto: 1,5 mm.)

A fixação de nitrogênio pode ser representada por meio de duas equações de semirreação: uma em que glicose ($C_6H_{12}O_6$) se transforma em dióxido de carbono (CO_2) e outra na qual gás nitrogênio (N_2) é convertido em íons amônio (NH_4^+).

a) Equacione as semirreações e a reação global desse processo.

b) Qual dos elementos químicos presentes nas espécies químicas mencionadas é oxidado e qual é reduzido? Justifique apresentando os números de oxidação, antes e depois de a reação ocorrer.

c) Qual dos reagentes é o oxidante e qual é o redutor? Explique como concluiu.

12. Os átomos eletricamente neutros de um elemento químico do grupo 14 da tabela periódica apresentam 4 elétrons na camada de valência, isto é, na última camada da eletrosfera, aquela envolvida no estabelecimento de ligações químicas. Como consequência, o número de oxidação do carbono, elemento químico pertencente a esse grupo, pode ter valores de -4 até $+4$.

a) Inspirado na sua resposta à atividade **6**, explique em que situação o número de oxidação do carbono é mínimo e em que situação é máximo. Exemplifique cada caso.

b) Os números de oxidação mínimo e máximo do elemento químico nitrogênio (grupo 15 da tabela periódica) são -3 e $+5$ e os do elemento químico enxofre (grupo 16) são -2 e $+6$. Dê um exemplo de espécie química que corresponde a cada um desses valores.

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

Em destaque

Veja comentários sobre essa atividade no Suplemento do Professor.

Demanda bioquímica de oxigênio (DBO)

O gás oxigênio (O_2) é uma espécie química cuja presença em meio aquoso é muito importante. Em um ambiente aquático, o gás oxigênio dissolvido é consumido rapidamente pela oxidação da matéria orgânica, que representamos na equação a seguir por $\{CH_2O\}$:

$$\{CH_2O\} + O_2 \xrightarrow{\text{microrganismos}} CO_2 + H_2O$$

A menos que a água seja novamente aerada de forma eficiente, como em um fluxo turbulento em leito raso, ela rapidamente perderá gás oxigênio dissolvido e não suportará formas de vida aquática que dele dependem.

Em adição à oxidação de matéria orgânica mediada por microrganismos, o gás oxigênio da água pode ser consumido pela bio-oxidação de material nitrogenado, por exemplo:

$$NH_4^+ + 2O_2 \rightarrow 2H^+ + NO_3^- + H_2O$$

e pela oxidação química ou bioquímica de agentes redutores inorgânicos:

$$4Fe^{2+} + O_2 + 10H_2O \rightarrow 4Fe(OH)_3(s) + 8H^+$$

$$2SO_3^{2-} + O_2 \rightarrow 2SO_4^{2-}$$

Todos esses processos contribuem para a desoxigenação da água.

O grau de consumo de gás oxigênio por oxidação microbiologicamente mediada de contaminantes na água é chamada demanda bioquímica de oxigênio (ou demanda biológica de oxigênio), DBO.

Fonte consultada: MANAHAN, S. *Environmental Chemistry*. 10. ed. Boca Raton: CRC Press, 2017. p. 145-146. (Tradução dos autores.) (Adaptado.)

A **demanda bioquímica de oxigênio (DBO)** é uma medida do material bioquimicamente oxidável presente na água expressa em termos do gás oxigênio requerido para consumi-lo. Mais precisamente, a DBO é definida como a massa em miligramas de gás oxigênio que reage com o material presente em uma amostra de 1 L mantida no escuro por cinco dias a 20 °C.

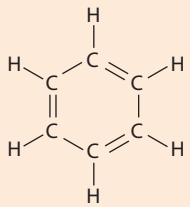
Fonte consultada: HOCKING, M. B. *Handbook of Chemical Technology and Pollution Control*. 3. ed. San Diego: Academic Press, 2005. p. 127. (Tradução dos autores.) (Adaptado.)

A solubilidade do O_2 em água é de apenas 9 mg/L (nove miligramas por litro) a 20 °C e menos ainda sob temperaturas mais elevadas. O suprimento de oxigênio pode ser renovado pelo contato com o ar, como em correntezas rápidas. Mas, em água parada ou em solos encharcados, a difusão do oxigênio com origem na atmosfera é lenta em relação à velocidade do metabolismo microbial, e o oxigênio se esgota.

Fonte: SPIRO, T. H.; STIGLIANI, W. M. *Química Ambiental*. 2. ed. São Paulo: Pearson, 2009. p. 216.

Divididos em equipes, leiam e interpretem a coletânea de textos acima e, a seguir, realizem as atividades.

1. Os valores de DBO das águas de três rios, *A*, *B* e *C*, são, respectivamente, 1 mg/L, 3 mg/L e 20 mg/L. Expliquem o que isso revela sobre a qualidade das águas de *A*, *B* e *C*. Considerando o valor de solubilidade do gás oxigênio em água, apresentado em um dos textos, que conclusão pode ser tirada sobre a possibilidade de peixes viverem em cada um desses rios? Justifiquem.
2. Jogar restos de comida na pia da cozinha e papel higiênico no vaso sanitário são atitudes incorretas. Além de poderem provocar o entupimento da tubulação, esses materiais causam impacto ambiental. Elaborem um vídeo que explique à população a razão de esses materiais serem prejudiciais ao meio aquático e que **proponha** as atitudes corretas que devem ser tomadas, **argumentando** em favor delas. (Sugestões de uso de mídias digitais estão disponíveis no início do livro.)
3. Na transformação de íons sulfito (SO_3^{2-}) em íons sulfato (SO_4^{2-}), equacionada no primeiro texto da coletânea, uma das semirreações corresponde à redução de gás oxigênio (O_2) a água (H_2O) e a outra consiste na oxidação de SO_3^{2-} a SO_4^{2-}. Equacionem essas semirreações e usem-nas para explicar por que a água não aparece como produto na equação da reação global.
4. O benzeno é uma substância extremamente tóxica presente no petróleo e na gasolina. Existem bactérias cujo metabolismo pode oxidar benzeno, na presença de gás oxigênio, formando dióxido de carbono e água. A equação global desse processo é mostrada ao lado. Primeiramente, elaborem a semirreação de oxidação de benzeno a dióxido de carbono. A seguir, determinem o número de oxidação do elemento químico carbono nessas duas substâncias e expliquem se os valores são compatíveis com o número de elétrons que aparece na semirreação elaborada.



benzeno

$$+ \frac{15}{2} O_2 \rightarrow 6CO_2 + 3H_2O$$

gás oxigênio — dióxido de carbono — água

5. Em 2019, a versão eletrônica da revista científica *Nature* publicou um estudo evidenciando que as bactérias da espécie *Paraburkholderia aromaticivorans* têm metabolismo capaz de realizar a reação química da atividade anterior em solos contaminados com benzeno. Qual poderia ser a utilidade dessas bactérias no caso de um derramamento acidental de petróleo ou gasolina em um terreno? Que cuidados, na opinião da equipe, precisariam ser tomados antes de utilizá-la com essa finalidade?

Disponível em: <https://www.nature.com/articles/s41598-018-36165-x>. Acesso em: 14 ago. 2020.

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

MODERNA

5. Força de oxidantes e redutores

No capítulo anterior, comentamos que, em uma pilha nas condições-padrão, a semicela de maior potencial-padrão ($E^\ominus$) tenderá a atrair elétrons da parte metálica do circuito e a atuar como cátodo, pois nela ocorrerá redução. Ao contrário, a semicela de menor $E^\ominus$ tenderá a perder elétrons para a parte metálica do circuito e a atuar como ânodo porque nela acontecerá oxidação. Então, a **transferência de elétrons ocorre espontaneamente da semicela de menor $E^\ominus$** (em que ocorrerá oxidação) **para a de maior $E^\ominus$** (em que ocorrerá redução).

Um oxidante e um redutor podem reagir diretamente, sem que estejam em uma pilha. Nesse caso, também podemos usar os valores de $E^\ominus$ para prever se, nas condições a que esses dados se referem, existe tendência de a reação ocorrer. Para exemplificar, considere os seguintes dados, referentes às condições-padrão e a 25 °C, extraídos da Tabela 1 do Capítulo 6:

$$Ag^+(aq) + e^- \rightleftarrows Ag(s) \qquad E^\ominus = +0{,}80\ V$$

$$Cu^{2+}(aq) + 2e^- \rightleftarrows Cu(s) \qquad E^\ominus = +0{,}34\ V$$

Analisando-os, podemos concluir que íons prata reagem com cobre metálico (Fig. 13), porque o $E^\ominus$ do par Ag^+/Ag^0 é maior que o $E^\ominus$ do par Cu^{2+}/Cu^0:

$$2\,Ag^+(aq) + Cu(s) \rightarrow 2\,Ag(s) + Cu^{2+}(aq)$$ oxirredução espontânea

Ocorre transferência espontânea de elétrons do cobre metálico para os íons prata: o elemento químico prata se **reduz**, o que é consistente com o **maior** $E^\ominus$, e o elemento químico cobre se oxida, o que está de acordo com o **menor** $E^\ominus$.

A reação inversa não é espontânea nas condições-padrão a 25 °C:

$$2\,Ag(s) + Cu^{2+}(aq) \rightarrow 2\,Ag^+(aq) + Cu(s)$$ oxirredução não espontânea

Nesse caso, a transferência de elétrons não ocorre espontaneamente porque o elemento químico prata (maior $E^\ominus$) estaria se oxidando e o elemento químico cobre (menor $E^\ominus$), se reduzindo, o que é incompatível com os valores de $E^\ominus$.

Isso que acabamos de discutir reforça o que vimos no capítulo anterior: o valor de $E^\ominus$ está associado à tendência de ocorrência de redução e, por isso, costuma também ser denominado potencial-padrão de redução.

A análise de valores de $E^\ominus$ também possibilita a comparação da **força de oxidantes e de redutores**, ou seja, da tendência que diferentes espécies químicas apresentam para se reduzir ou para se oxidar.

Consideremos as semirreações equacionadas a seguir. Todas são de redução no sentido direto e de oxidação no sentido inverso. As espécies representadas no lado esquerdo das equações (Ag^+, Cu^{2+}, Zn^{2+} e Mg^{2+}) podem atuar como oxidantes, pois se reduzem na reação direta. Já as espécies representadas no lado direito da equações (Ag^0, Cu^0, Zn^0 e Mg^0) podem atuar como redutores, pois se oxidam na reação inversa. Quanto maior for o valor de $E^\ominus$, maior a tendência de a reação direta (redução) acontecer e, portanto, maior será a força do oxidante (maior sua tendência a se reduzir). Além disso, quanto menor for o valor de $E^\ominus$, maior será a tendência de a reação inversa (oxidação) ocorrer e, consequentemente, maior será a força do redutor (maior sua tendência a se oxidar).

maior tendência à redução →

oxidante mais forte — $Ag^+(aq) + e^- \rightleftarrows Ag(s)$ — $E^\ominus = +0{,}80\ V$

$Cu^{2+}(aq) + 2e^- \rightleftarrows Cu(s)$ — $E^\ominus = +0{,}34\ V$

$Zn^{2+}(aq) + 2e^- \rightleftarrows Zn(s)$ — $E^\ominus = -0{,}76\ V$

$Mg^{2+}(aq) + 2e^- \rightleftarrows Mg(s)$ — redutor mais forte — $E^\ominus = -2{,}38\ V$

← maior tendência à oxidação

FOTOS: CHARLES D. WINTERS/SCIENCE SOURCE/FOTOARENA

Figura 13 (A) Béquer com um fio de cobre metálico, Cu (s), enrolado. Quando uma solução aquosa incolor de nitrato de prata, na qual existem íons Ag^+ (aq) e NO_3^- (aq), é acrescentada a esse recipiente, ocorre uma reação química de oxirredução em que elétrons são transferidos do cobre metálico para os íons prata. A reação é assim equacionada: $2\,Ag^+(aq) + Cu(s) \rightarrow 2\,Ag(s) + Cu^{2+}(aq)$ A foto (B) mostra o sistema cerca de dois minutos após a adição da solução e a foto (C), após algumas horas. Um dos produtos da reação, a prata metálica, Ag (s), constitui o depósito observado. O outro dos produtos, íon Cu^{2+} (aq), é responsável pela coloração azulada que a solução adquire.

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

MODERNA

6. Corrosão de metais

A **corrosão** de um metal é a oxidação, geralmente indesejada, de um elemento químico metálico existente em uma amostra sólida. A corrosão do ferro (presente, por exemplo, no aço, uma liga de ferro e carbono que pode conter também outros elementos químicos) representa um problema comum. Ela diminui a vida útil de pontes e automóveis, e a substituição do metal corroído acarreta, todos os anos, considerável gasto econômico em todo o mundo.

As equações a seguir representam o que acontece na corrosão do ferro submetido à presença de água que contenha gás oxigênio dissolvido ou ao ar úmido. Note que o ferro é inicialmente oxidado de zero a +2 e, a seguir, de +2 a +3.

$$2\,Fe(s) + O_2(g) + 2\,H_2O(l) \rightarrow 2\,Fe(OH)_2(s)$$

$$4\,Fe(OH)_2(s) + O_2(g) + 2\,H_2O(l) \rightarrow 4\,Fe(OH)_3(s)$$

O processo de corrosão do ferro é também denominado **enferrujamento**. A **ferrugem** é uma mistura de $Fe(OH)_2$ e $Fe(OH)_3$, sendo este último componente responsável pela coloração marrom-alaranjada característica (Fig. 14). Ao ser formada na superfície de uma peça, a ferrugem solta-se em flocos, deixando o metal novamente exposto e sujeito à oxidação. Na presença da água isenta de ar (ausência de gás oxigênio) ou na presença de ar seco (ausência de água), o ferro não enferruja (ausência de corrosão).

A corrosão é um processo eletroquímico, e os valores de potencial-padrão nos dão uma indicação de como pode ser prevenida. Um procedimento possível para proteger o ferro da corrosão em ambientes nos quais esteja exposto à água e ao gás oxigênio é a **galvanização**. Galvanizar o ferro (ou o aço) consiste em revesti-lo com uma camada de zinco metálico. Esse metal é escolhido por apresentar maior tendência que o ferro a se oxidar, uma vez que o Zn^{2+} tem menor potencial de redução que o Fe^{2+}:

$$Fe^{2+}(aq) + 2\,e^- \rightleftarrows Fe(s) \qquad E^\ominus = -0{,}45\ V$$

$$Zn^{2+}(aq) + 2\,e^- \rightleftarrows Zn(s) \qquad E^\ominus = -0{,}76\ V$$

O zinco reveste a superfície do ferro como se fosse uma camada de tinta e impede o contato dele com o ar úmido ou com a água que contenha gás oxigênio dissolvido. O zinco também atua, com relação ao ferro, como se fosse o ânodo de uma pilha, pois apresenta maior tendência a se oxidar que o ferro. Assim, o zinco se oxida preferencialmente, ainda que o ferro esteja exposto. Em outras palavras, se a película protetora de zinco for danificada e o ferro estiver exposto a agentes oxidantes, o zinco atuará como **metal de sacrifício**, ou seja, um metal propositalmente colocado em contato com o ferro para que seja oxidado em lugar dele, preservando-o. Nesse caso, a oxidação do zinco é desejável, pois visa à preservação do ferro.

O arame farpado, os alambrados e as calhas metálicas de chuva são geralmente feitos de ferro galvanizado. Esses produtos, quando novos, têm aspecto cinza metálico que se deve à camada externa de zinco. Depois que essa camada é prolongadamente exposta ao oxigênio e à umidade, ela é totalmente oxidada e removida, deixando o ferro sujeito à corrosão.

Cascos de embarcações feitos de aço são protegidos da corrosão mediante a soldagem de peças de zinco (Fig. 15), que se oxida mais facilmente que o ferro do casco. A técnica é denominada **proteção catódica**, pois o ferro é protegido justamente por se tornar o cátodo da cela galvânica formada por zinco e ferro. Nessas circunstâncias, o zinco é denominado **ânodo de sacrifício**, já que, atuando como o ânodo da cela galvânica, oxida-se, preservando assim o ferro. A proteção é eficiente desde que o metal do ânodo de sacrifício seja reposto periodicamente. Essa estratégia é utilizada sempre que a pintura não pode ser feita ou não oferece eficiência completa.

KARL ALLEN LUGMAYER/SHUTTERSTOCK

Figura 14 Restos do navio Dimitrios, que foi abandonado, em 1980, próximo da Grécia. O movimento da água do mar moveu a embarcação até uma praia do litoral grego, onde encalhou. Ao longo de décadas de exposição ao meio ambiente e sem cuidados de manutenção, o ferro do navio reagiu com água e gás oxigênio, produzindo ferrugem, uma mistura de dois componentes. Um deles é hidróxido de ferro(II), $Fe(OH)_2(s)$, e o outro é hidróxido de ferro(III), $Fe(OH)_3(s)$. A coloração marrom-avermelhada, bem visível nesta foto, deve-se ao $Fe(OH)_3(s)$. (Praia de Selinitsa, banhada pelo Mar Mediterrâneo, Grécia, 2019.)

PHOTOMARINE/SHUTTERSTOCK

PHOTOMARINE/SHUTTERSTOCK

Figura 15 (A) Embarcação suspensa da água para reparos. Para prevenir corrosão do casco de aço, utilizam-se ânodos de sacrifício, feitos de zinco. (B) Foto da região próxima a um dos propulsores da embarcação, em que são visíveis os ânodos de sacrifício (de cor cinza metálica) soldados à estrutura de aço (pintada de vermelho). (Porto da cidade de Alicante, Espanha, 2017.)

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

MODERNA

13. Considerando os dados a seguir, referentes às condições-padrão e a 25 °C, explique por que, nessas condições, uma solução aquosa de nitrato de cobre(II), na qual existem íons $Cu^{2+}(aq)$, não poderia ser guardada em um recipiente constituído de ferro metálico, Fe(s).

$Fe^{2+}(aq) + 2e^- \rightleftarrows Fe(s) \quad E^\ominus = -0{,}45\ V$

$Cu^{2+}(aq) + 2e^- \rightleftarrows Cu(s) \quad E^\ominus = +0{,}34\ V$

14. Os halogênios são muito empregados em processos laboratoriais de oxirredução. Considere os seguintes valores de potencial-padrão, a 25 °C:

$I_2(s) + 2e^- \rightleftarrows 2I^-(aq) \quad E^\ominus = +0{,}54\ V$

$Br_2(l) + 2e^- \rightleftarrows 2Br^-(aq) \quad E^\ominus = +1{,}09\ V$

$Cl_2(g) + 2e^- \rightleftarrows 2Cl^-(aq) \quad E^\ominus = +1{,}36\ V$

$F_2(g) + 2e^- \rightleftarrows 2F^-(aq) \quad E^\ominus = +2{,}87\ V$

Com base nos dados apresentados, considerando condições padrão e 25 °C, compare:

a) as substâncias F_2, Cl_2, Br_2 e I_2 quanto à sua força oxidante;

b) os íons F^-, Cl^-, Br^- e I^- quanto à força redutora.

15. Considere os potenciais-padrão de semicela relacionados a seguir, que se referem a 25 °C:

$Mg^{2+}(aq) + 2e^- \rightleftarrows Mg(s) \quad E^\ominus = -2{,}38\ V$

$Zn^{2+}(aq) + 2e^- \rightleftarrows Zn(s) \quad E^\ominus = -0{,}76\ V$

$Fe^{2+}(aq) + 2e^- \rightleftarrows Fe(s) \quad E^\ominus = -0{,}45\ V$

$Pb^{2+}(aq) + 2e^- \rightleftarrows Pb(s) \quad E^\ominus = -0{,}13\ V$

$2H^+(aq) + 2e^- \rightleftarrows H_2(g) \quad E^\ominus = 0{,}00\ V$

$Cu^{2+}(aq) + 2e^- \rightleftarrows Cu(s) \quad E^\ominus = +0{,}34\ V$

$Ag^+(aq) + e^- \rightleftarrows Ag(s) \quad E^\ominus = +0{,}80\ V$

$Au^{3+}(aq) + 3e^- \rightleftarrows Au(s) \quad E^\ominus = +1{,}50\ V$

Considerando condições-padrão e 25 °C, responda às perguntas a seguir.

a) Qual dos cátions metálicos que aparecem nas semirreações apresentadas é o melhor agente oxidante? Por quê?

b) Ordene os metais Mg(s), Zn(s), Fe(s), Pb(s), Cu(s), Ag(s) e Au(s) segundo a tendência crescente a se oxidarem.

c) De todos os metais mencionados no item anterior, qual deles é o melhor redutor?

d) É fato conhecido da Química que soluções aquosas de ácido clorídrico, HCl(aq), corroem alguns metais, embora não todos. Dos metais envolvidos nas semirreações apresentadas, quais são atacados (corroídos, oxidados a íons aquosos) por íons $H^+(aq)$ de uma solução de ácido clorídrico?

e) Quais são metais mais nobres que o hidrogênio, ou seja, resistem ao ataque mencionado no item anterior?

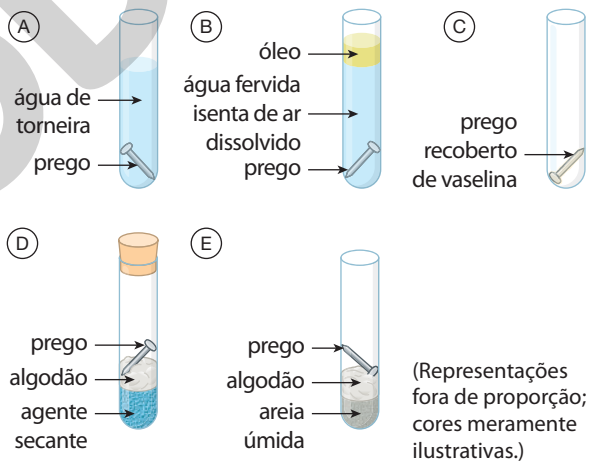
16. Um teste realizado por joalheiros para avaliar o teor de cobre presente em liga com o ouro é submeter a liga metálica de ouro e cobre a uma solução aquosa de ácido nítrico (HNO_3) e aquecer. Esse ácido oxida o cobre metálico a íons cobre(II) aquosos, $Cu^{2+}(aq)$, mas não o ouro, que permanece inalterado, pode ser separado e ter sua massa determinada. Assim, é possível comparar o valor obtido com a massa original da liga e determinar a porcentagem em massa de ouro na mistura.

a) Considerando os dados apresentados na atividade anterior e também o potencial indicado a seguir, referente às condições-padrão e a 25 °C, explique por que, nessas condições, o ácido nítrico corrói o cobre metálico, mas não o ouro.

$NO_3^-(aq) + 4H^+(aq) + 3e^- \rightleftarrows NO(g) + 2H_2O(l) \quad E^\ominus = +0{,}96\ V$

b) Suponha que um joalheiro tenha submetido uma amostra de 0,600 g de uma liga de ouro e cobre ao ataque por ácido nítrico a quente, obtendo 0,450 g de ouro ao final. Explique como ele pode determinar a porcentagem em massa de ouro na liga e realize os cálculos.

17. Um grupo de estudantes realizou, sob orientação da professora de Ciências, um experimento em que cinco pregos de ferro foram bem lixados até remover completamente a cobertura de zinco e, a seguir, colocados em um tubo de ensaio, conforme as montagens esquematizadas a seguir.



(Representações fora de proporção; cores meramente ilustrativas.)

ILUSTRAÇÕES: ADILSON SECCO

Após uma semana, observaram que, em apenas dois tubos, o prego estava recoberto por ferrugem.

a) Explique em quais tubos o prego enferrujou e argumente para sustentar sua resposta.

b) Considerando que na semirreação de oxidação do processo de enferrujamento o ferro (Fe) do prego é oxidado a $Fe(OH)_3$, deduza a equação dessa semirreação.

c) O número de elétrons cedidos na semirreação do item **b** é compatível com a variação do número de oxidação do ferro? Explique.

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

MOLEMA

Registre as respostas em seu caderno.

Veja respostas e comentários no Suplemento do Professor.

1. (UFRGS-RS) Em fogo provocado por sódio metálico, não devem ser utilizados extintores de incêndio à base de gás carbônico, pois esse gás pode reagir com o metal aquecido, conforme a equação química: $4\,Na + 3\,CO_2 \rightarrow 2\,Na_2CO_3 + C$. Determine a afirmação correta sobre essa reação e as substâncias nela envolvidas.

1. e

a) Essa é uma reação de auto-oxirredução.

b) Na reação, os átomos de sódio sofrem oxidação, enquanto a totalidade dos átomos de oxigênio sofre redução.

c) No sódio metálico, os átomos de sódio apresentam estado de oxidação +1.

d) Na reação, a totalidade dos átomos de carbono sofre redução.

e) Os átomos de carbono presentes no CO_2 apresentam o mesmo estado de oxidação que os átomos de carbono presentes no Na_2CO_3.

2. (Fuvest-SP) Na produção de combustível nuclear, o trióxido de urânio é transformado no hexafluoreto de urânio, como representado pelas equações químicas:

2. e

I. $UO_3(s) + H_2(g) \rightarrow UO_2(s) + H_2O(g)$

II. $UO_2(s) + 4\,HF(g) \rightarrow UF_4(s) + 2\,H_2O(g)$

III. $UF_4(s) + F_2(g) \rightarrow UF_6(g)$

Sobre tais transformações, pode-se afirmar, corretamente, que ocorre oxirredução apenas em

a) I. **c)** III. **e)** I e III.

b) II. **d)** I e II.

3. (Uerj) Substâncias que contêm um metal de transição podem ser oxidantes. Quanto maior o número de oxidação desse metal, maior o caráter oxidante da substância. Em um processo industrial no qual é necessário o uso de um agente oxidante, estão disponíveis apenas quatro substâncias: FeO, Cu_2O, Cr_2O_3 e $KMnO_4$. A substância que deve ser utilizada nesse processo, por apresentar maior caráter oxidante, é:

3. d

a) FeO **b)** Cu_2O **c)** Cr_2O_3 **d)** $KMnO_4$

4. (Enem) Algumas moedas utilizam cobre metálico em sua composição. Esse metal, ao ser exposto ao ar úmido, na presença de CO_2, sofre oxidação formando o zinabre, um carbonato básico de fórmula $Cu_2(OH)_2CO_3$, que é tóxico ao homem e, portanto, caracteriza-se como um poluente do meio ambiente. Com o objetivo de reduzir a contaminação com o zinabre, diminuir o custo de fabricação e aumentar a durabilidade das moedas, é comum utilizar ligas resultantes da associação do cobre com outro elemento metálico. A propriedade que o metal associado ao cobre deve apresentar para impedir a formação de zinabre nas moedas é, em relação ao cobre,

4. c

a) maior caráter ácido.

b) maior número de oxidação.

c) menor potencial de redução.

d) menor capacidade de reação.

e) menor número de elétrons na camada de valência.

5. (Enem) Para realizar o desentupimento de tubulações de esgotos residenciais, é utilizada uma mistura sólida comercial que contém hidróxido de sódio (NaOH) e outra espécie química pulverizada. Quando é adicionada água a essa mistura, ocorre uma reação que libera gás hidrogênio e energia na forma de calor, aumentando a eficiência do processo de desentupimento. Considere os potenciais padrão de redução ($E^{\ominus}$) da água e de outras espécies em meio básico, expressos no quadro.

5. a

Semirreação de redução	$E^{\ominus}$(V)
$2\,H_2O + 2\,e^- \rightarrow H_2 + 2\,OH^-$	−0,83
$Co(OH)_2 + 2\,e^- \rightarrow Co + 2\,OH^-$	−0,73
$Cu(OH)_2 + 2\,e^- \rightarrow Cu + 2\,OH^-$	−0,22
$PbO + H_2O + 2\,e^- \rightarrow Pb + 2\,OH^-$	−0,58
$Al(OH)_4^- + 3\,e^- \rightarrow Al + 4\,OH^-$	−2,33
$Fe(OH)_2 + 2\,e^- \rightarrow Fe + 2\,OH^-$	−0,88

Qual é a outra espécie que está presente na composição da mistura sólida comercial para aumentar sua eficiência?

a) Al **c)** $Cu(OH)_2$ **e)** Pb

b) Co **d)** $Fe(OH)_2$

6. (Enem) Grupos de pesquisa em todo o mundo vêm buscando soluções inovadoras, visando a produção de dispositivos para a geração de energia elétrica. Dentre eles, pode-se destacar as baterias de zinco-ar, que combinam o oxigênio atmosférico e o metal zinco em um eletrólito aquoso de caráter alcalino. O esquema de funcionamento da bateria zinco-ar está apresentado na figura.

6. e

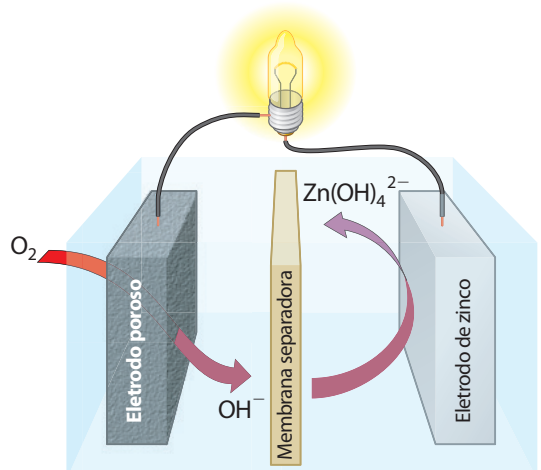


ILUSTRAÇÃO: ADILSON SECCO

LI, Y.; DAI, H. Recent Advances in Zinc–Air Batteries. *Chemical Society Reviews*, v. 43, n. 15, 2014 (adaptado).

No funcionamento da bateria, a espécie química formada no ânodo é

a) $H_2(g)$. **c)** $H_2O(l)$. **e)** $Zn(OH)_4^{2-}(aq)$.

b) $O_2(g)$. **d)** $OH^-(aq)$.

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

EXCLUSIVA

CAPÍTULO

8 ELETROMAGNETISMO

AUGUST HECKSCHER COLLECTION/BRIDGEMAN IMAGES/KEYSTONE BRASIL - TTHE HECKSCHER MUSEUM OF ART, HUNTINGTON, NY

Representação artística das caravelas de Cristóvão Colombo. *The Caravels of Columbus Sighting Land: The New World*, 1885, pintura de James Gale Tyler (1855-1931).

A bússola, equipamento inventado pelos chineses, foi largamente utilizada na época das grandes navegações, do século XV em diante, para orientação dos navegadores. De fato, por meio de uma agulha magnetizada posicionada na horizontal, é possível localizar os pontos cardeais (norte, sul, leste e oeste).

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 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.

De olho na BNCC:

- EM13CNT107
- EM13CNT301
- EM13CNT302
- EM13CNT308
- EM13CHS102
- EM13CHS106
- EM13CHS202
- EM13LGG301
- EM13LGG703
- EM13MAT101
- EM13MAT302
- EM13MAT314

1. Ímãs

As histórias e, posteriormente, os estudos da Eletricidade e do Magnetismo se desenvolveram de forma independente durante muito tempo. Entretanto, a partir de certo momento, descobriu-se uma conexão entre ambos, surgindo o Eletromagnetismo, que estuda os fenômenos magnéticos ocasionados pelas correntes elétricas.

Segundo a lenda, foi na Magnésia, região da Grécia antiga, que 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.

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

Segundo alguns autores, o nome magnetismo deriva de Magnésia, região onde foi observado o primeiro fenômeno "magnético".

Os ímãs apresentam algumas propriedades físicas interessantes: têm polos bem definidos, interagem entre si, seus polos não podem existir sozinhos, entre outras características. A seguir, vamos estudar algumas dessas propriedades.

STEVECOLEIMAGES/GETTY IMAGES

Figura 1 A limalha de ferro adere às regiões extremas do ímã em forma de barra.

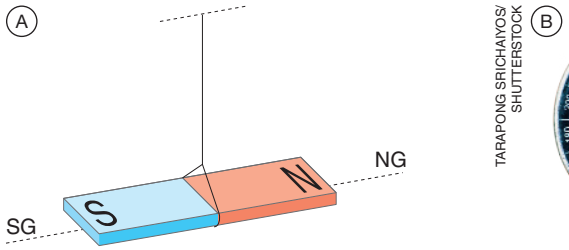
Polos de um ímã

Colocando-se um ímã em forma de barra em contato com limalha (fragmentos) de ferro, observa-se que ela adere ao ímã, principalmente nas regiões extremas (Fig. 1). Essas regiões são os **polos do ímã**.

Polo norte e polo sul de um ímã

Suspendendo um ímã pelo centro de gravidade, de modo que possa girar livremente, nota-se que ele se orienta aproximadamente na direção norte-sul geográfica do local (Fig. 2.A). O **polo norte** (N) do ímã é a região que se volta para o **norte geográfico** (NG) e o **polo sul** (S), 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 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. Hoje em dia, bússolas são encontradas facilmente em muitos estabelecimentos (Fig. 2.B).



TARAPONG SRICHAIYOS/SHUTTERSTOCK

Figura 2 (A) Um ímã suspenso pelo seu centro de gravidade se orienta aproximadamente na direção norte-sul geográfica do local; (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, repelem-se, e polos de nomes contrários, como norte e sul, atraem-se (Fig. 3).

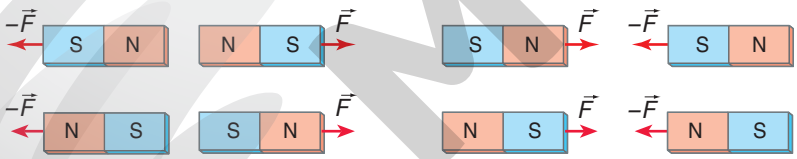


Figura 3 Polos de mesmo nome se repelem. Polos de nomes contrários se atraem. (Representação fora de proporção; cores meramente ilustrativas.)

ILUSTRAÇÕES: ADILSON SECCO

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 obtida 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.

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**.

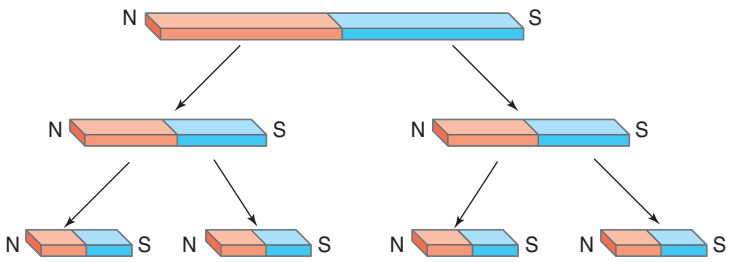


Figura 4 Inseparabilidade dos polos de um ímã. (Representação fora de proporção; cores meramente ilustrativas.)

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

MODERNA

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. 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.

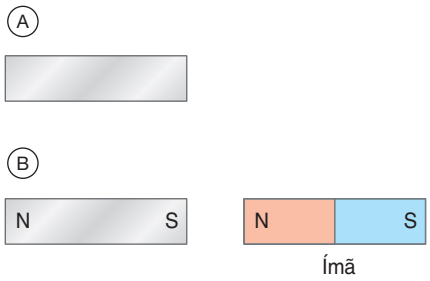


Figura 5 Ao aproximar um material ferromagnético (A) de um imã ele se magnetiza (B). (Representação fora de proporção; cores meramente ilustrativas.)

Aplicando conhecimentos

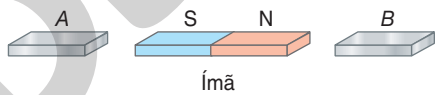
Veja respostas e comentários no Suplemento do Professor.

Registre as respostas em seu caderno.

1. 1.d 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:

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. 2.d Dois blocos de ferro não imantados são aproximados de um ímã, conforme mostra a figura.



a) O ímã atrai o bloco *B* e repele o bloco *A*.
b) O ímã repele o bloco *B* e atrai o bloco *A*.
c) O ímã repele os blocos *A* e *B*.
d) O ímã atrai os blocos *A* e *B*.
e) O ímã atrai os blocos *A* e *B*, mas eles não atraem o ímã.

ILUSTRAÇÕES: ADILSON SECCO

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 num ponto *P* de um campo magnético, uma agulha magnética assume determinada posição de equilíbrio (Fig. 6.A). 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 seu polo norte aponta (Fig. 6.B).

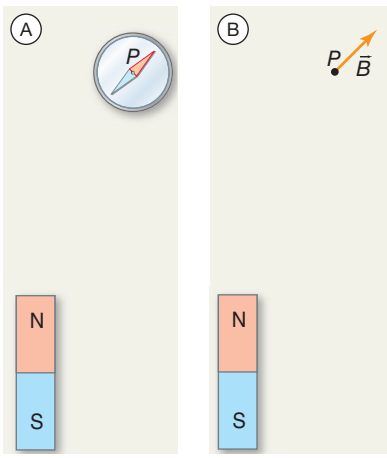


Figura 6 Representações esquemáticas: (A) agulha magnética colocada em *P*; (B) vetor $\vec{B}$ em *P*. (Representação fora de proporção; cores meramente ilustrativas.)

MODERNA

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

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).

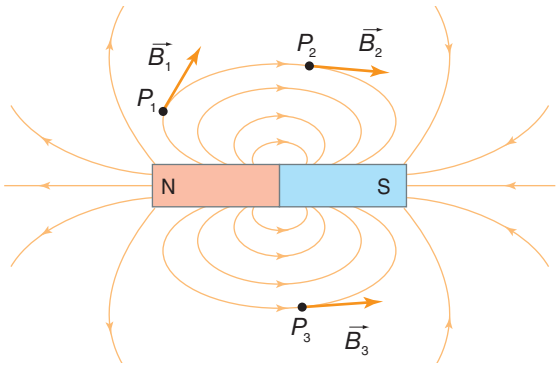


Figura 7 Esquema das linhas de indução que apresentam, em cada ponto, a direção e o sentido do vetor indução magnética. (Representação fora de proporção; cores meramente ilustrativas.)

Cada pequena agulha magnética colocada num 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 (Fig. 8).

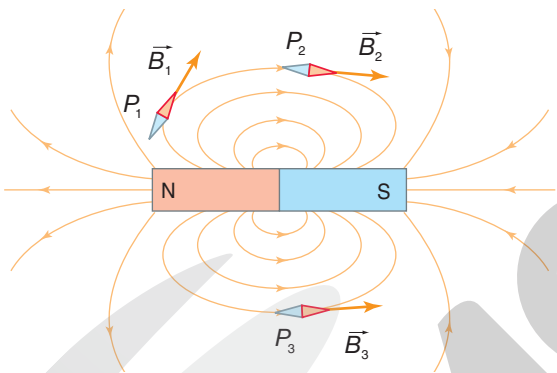


Figura 8 Cada agulha magnética se posiciona na direção do vetor campo magnético do ponto onde foi colocada e com o polo norte no sentido do vetor campo. (Representação fora de proporção; cores meramente ilustrativas.)

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 $\vec{B}$ é o mesmo em todos os pontos, isto é, tem o mesmo módulo, a mesma direção e o mesmo sentido.

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**. 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. 9).

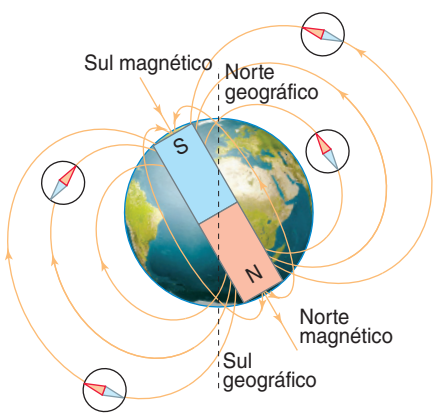


Figura 9 Representação esquemática do campo magnético terrestre. (Representação fora de proporção; cores meramente ilustrativas.)

Veja comentários sobre essa atividade no Suplemento do Professor.

Atividade em grupo

A bússola desempenhou um papel fundamental nas navegações, inclusive nas que resultaram no descobrimento das 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.

ILUSTRAÇÕES: ADILSON SECCO

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

MODERNA

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. 10).

Aplicando um campo magnético $\vec{B}$ na barra de ferro, seus ímãs elementares se ordenam, dispondo-se na direção do campo e a barra se magnetiza (Fig. 11).

Observe, na figura 12, como uma barra de ferro se magnetiza quando é aproximada de um ímã: o campo magnético originado pelo ímã ordena seus ímãs elementares. Esse tipo de magnetização é chamado de **indução magnética**.

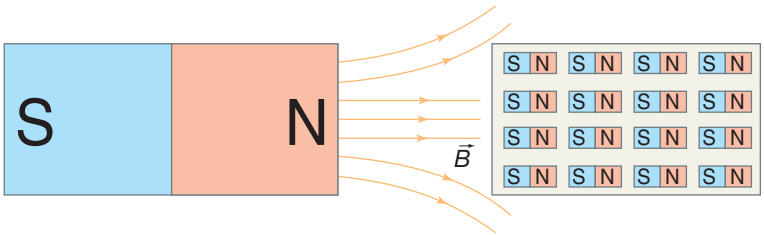


Figura 12 Representação esquemática de magnetização por indução. (Representação fora de proporção; cores meramente ilustrativas.)

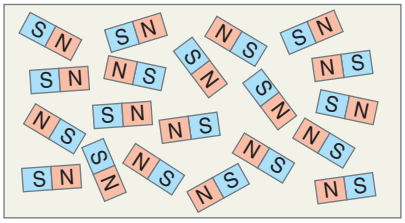


Figura 10 Representação esquemática de ímãs elementares distribuídos caoticamente. (Representação fora de proporção; cores meramente ilustrativas.)

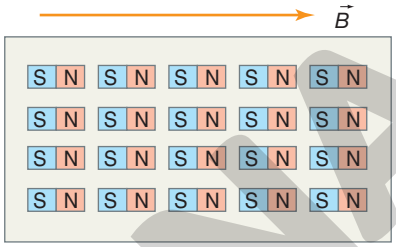
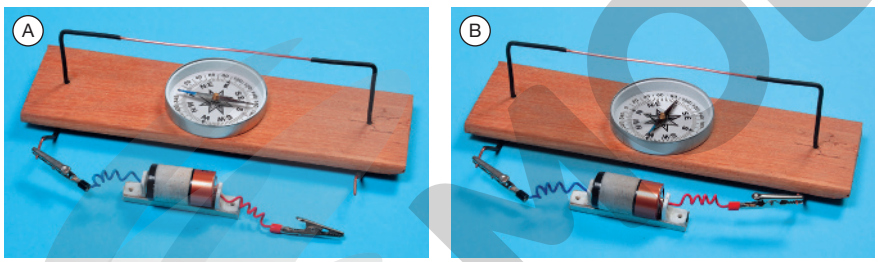


Figura 11 Representação esquemática de ímãs elementares ordenados. (Representação fora de proporção; cores meramente ilustrativas.)

3. Campo magnético das correntes elétricas

As propriedades dos ímãs foram estudadas durante muito tempo, sem que fosse estabelecida qualquer relação entre os fenômenos magnéticos e os fenômenos elétricos. Entretanto, em 1820, o físico dinamarquês Hans Christian Oersted constatou que, ao aproximar uma bússola de um fio percorrido por corrente elétrica, sua agulha sofria um desvio (Fig. 13). Oersted concluiu, então, que, assim como os ímãs, as correntes elétricas geram um campo magnético no espaço que as envolve.



FOTOS: EDUARDO SANTALIESTRA

Figura 13 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.

É possível que existam 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.

Regra da mão direita

Essa é uma regra muito útil para determinar o sentido do vetor indução magnética $\vec{B}$ num ponto do campo gerado por uma corrente elétrica.

Observe a figura 14. O polegar está indicando o sentido da corrente elétrica que atravessa o fio, e os demais dedos estão semidobrados envolvendo o condutor na região em que a bússola está. Esses dedos indicam o sentido em que aponta o polo norte da agulha.

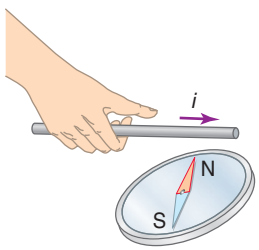


Figura 14 Polegar no sentido de *i*; demais dedos semidobrados envolvem o condutor. (Representação fora de proporção; cores meramente ilustrativas.)

ILUSTRAÇÕES: ADILSON SECCO

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

MODELO

Esse sentido é o mesmo do vetor indução magnética $\vec{B}$ gerado pela corrente elétrica. Essa é a **regra da mão direita** e é utilizada para determinar o sentido do vetor indução magnética $\vec{B}$ num ponto *P* do campo gerado por uma corrente elétrica.

O polegar da mão direita, disposto no sentido da corrente elétrica, e os demais dedos, semidobrados e envolvendo o condutor, fornecem o sentido de $\vec{B}$ num ponto *P* (Fig. 15).

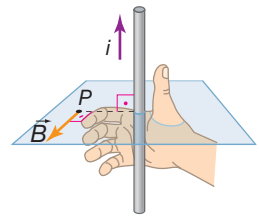


Figura 15 Representação da regra da mão direita. (Representação fora de proporção; cores meramente ilustrativas.)

Sendo *d* a distância de *P* ao condutor, a intensidade do vetor indução magnética em *P* é dada por $B = \frac{\mu \cdot i}{2\pi d}$, em que μ é uma grandeza que depende do meio onde o condutor está. Essa grandeza é denominada **permeabilidade magnética do meio**. No Sistema Internacional de Unidades (SI), a unidade de $\vec{B}$ é o tesla (T).

Considere agora uma espira circular, isto é, um fio condutor com a forma de uma circunferência e *i* a intensidade da corrente elétrica que percorre a espira.

O vetor indução magnética $\vec{B}$ no centro da espira tem direção perpendicular ao plano da espira e sentido dado pela regra da mão direita (Fig. 16).

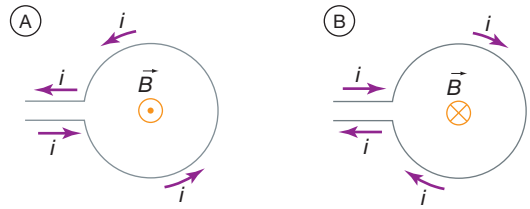


Figura 16 (A) Espira percorrida por corrente elétrica no sentido anti-horário: o campo $\vec{B}$ e as linhas de indução estão saindo perpendicularmente ao plano do papel; (B) espira percorrida por corrente elétrica no sentido horário: o campo $\vec{B}$ e as linhas de indução estão entrando perpendicularmente no plano do papel.

Sendo *R* o raio da espira, a intensidade do vetor indução magnética no centro da espira é dada por $B = \frac{\mu \cdot i}{2R}$.

A exemplo de um ímã, uma espira também tem dois polos:

- Polo norte, face da espira de onde partem as linhas de indução, caso em que um observador "vê" a corrente *i* no sentido anti-horário (Fig. 17).

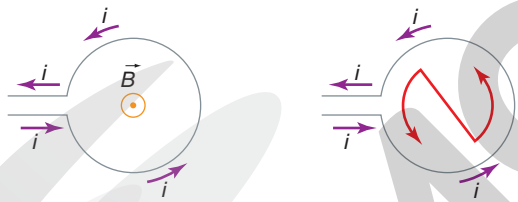


Figura 17 Representação esquemática da corrente elétrica no sentido anti-horário: polo norte.

- Polo sul, face da espira onde chegam as linhas de indução, caso em que um observador "vê" a corrente *i* no sentido horário (Fig. 18).

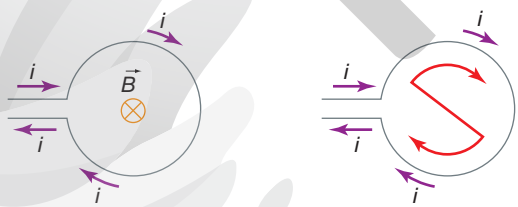


Figura 18 Representação esquemática da corrente elétrica no sentido horário: polo sul.

Outro dispositivo importante no estudo do eletromagnetismo é o solenoide. O solenoide, ou bobina longa, é um fio condutor enrolado em espiras iguais, uma ao lado da outra e igualmente espaçadas (Fig. 19).

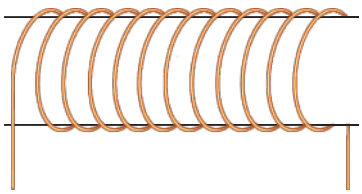


Figura 19 Representação de uma bobina longa. (Representação fora de proporção; cores meramente ilustrativas.)

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

MODENA

ILUSTRAÇÕES: ADILSON SECCO

Ao ser percorrida por corrente elétrica, a bobina longa gera um campo magnético análogo ao de um ímã reto. A bobina também tem dois polos, que são determinados pela regra da mão direita (Fig. 20).

O campo magnético no interior do solenoide é uniforme, e sua intensidade é dada por $B = \mu \cdot \frac{n}{L} \cdot i$, em que n é o número de espiras existentes num comprimento L do solenoide.

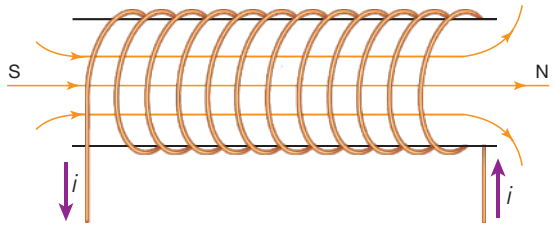


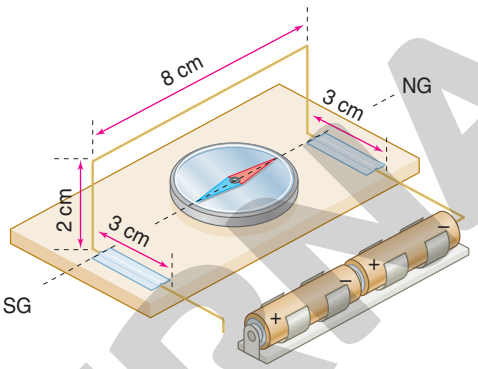
Figura 20 Polo norte: extremidade do solenoide de onde saem as linhas de indução; polo sul: extremidade do solenoide por onde entram as linhas de indução. (Representação fora de proporção; cores meramente ilustrativas.)

Atividade prática

Veja comentários sobre essa atividade no Suplemento do Professor.

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;
- fita adesiva;
- base de madeira de 6 cm × 10 cm.



Procedimento

Dobre o fio de cobre e prenda-o com a fita adesiva ao suporte de madeira, como indica a figura.

Coloque a bússola sobre o suporte de madeira de modo que a agulha fique paralela ao fio de cobre e abaixo dele. Em seguida, feche o circuito.

Conclusões

O que aconteceu com a agulha magnética? O que ocorreu ao abrir o circuito?

Inverta a posição dos fios de ligação, para inverter o sentido da corrente. Ao fechar o circuito, o que ocorre com a agulha magnética? 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.

Aplicando conhecimentos

Veja respostas e comentários no Suplemento do Professor.

Registre as respostas em seu caderno.

3. 3.c A intensidade do vetor indução magnética, no centro da espira da figura A, é B. A intensidade do vetor indução magnética, no centro da espira da figura B, é B'. Tem-se:

a) $B' = B$

b) $B' = 1{,}2 \cdot B$

c) $B' = 1{,}5 \cdot B$

d) $B' = 2 \cdot B$

e) $B' = 3 \cdot B$

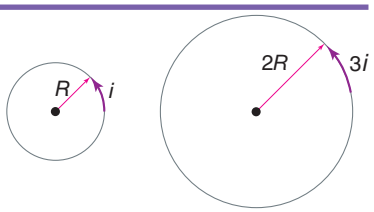


Figura A Figura B

Imantação por corrente elétrica: o eletroímã

Podemos fabricar um ímã utilizando uma pilha, um prego e um fio condutor. Para isso, enrolamos um fio de cobre no prego, formando uma bobina. O prego é chamado de núcleo da bobina. Ligando os extremos do fio de cobre aos terminais da pilha, notamos que o prego passa a atrair limalha de ferro. Isso significa que ele se magnetiza: o campo magnético que se estabelece no interior da bobina orienta os ímãs elementares do prego de ferro (Fig. 21).

Abrindo o circuito, isto é, desligando o fio da pilha, o prego de ferro comum se desmagnetiza e a limalha de ferro se desprende (Fig. 22). Construímos, assim, um **eletroímã**.

FOTOS: EDUARDO SANTALIESTRA

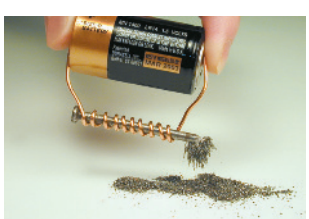


Figura 21 O campo magnético no interior da bobina magnetiza o prego.

Figura 22 Abrindo o circuito, o prego de ferro comum se desmagnetiza.

ILUSTRAÇÕES: ADILSON SECCO

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

MODERNA

Atividade em grupo Veja comentários sobre essa atividade no Suplemento do Professor.

Os trens *maglev* (do inglês *magnetic levitation*, levitação magnética), de alta velocidade, utilizam o magnetismo para flutuar sobre as vias. O Japão e a Alemanha são os países que detêm as principais tecnologias para esse tipo de veículo. Em grupo, pesquisem de que maneira os trens *maglev* conseguem atingir velocidades elevadas. O resultado dessa pesquisa pode ser apresentado à turma utilizando um *blog*, vídeo ou *podcast*.

4. Força magnética

Força magnética sobre partículas eletrizadas lançadas num campo magnético

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. 23).

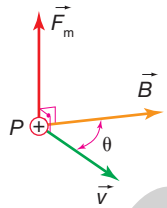


Figura 23 $\vec{F}_m$ tem direção da reta perpendicular a $\vec{v}$ e a $\vec{B}$.

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. 24), o dedo indicador é colocado no sentido de $\vec{B}$ e o dedo médio no sentido de $\vec{v}$. O dedo polegar indica o sentido de $\vec{F}_m$.

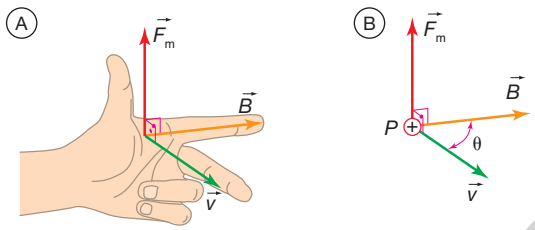


Figura 24
(A) Regra da mão esquerda; (B) $\vec{F}_m$ é perpendicular ao plano definido por $\vec{B}$ e $\vec{v}$.

Se a carga elétrica for negativa (Fig. 25), o sentido da força magnética será oposto ao dado pela regra da mão esquerda.

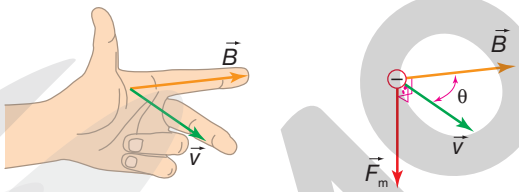


Figura 25 Para $q < 0$, o sentido de $\vec{F}_m$ é oposto ao dado pela regra da mão esquerda.

A intensidade da força magnética á dada por:

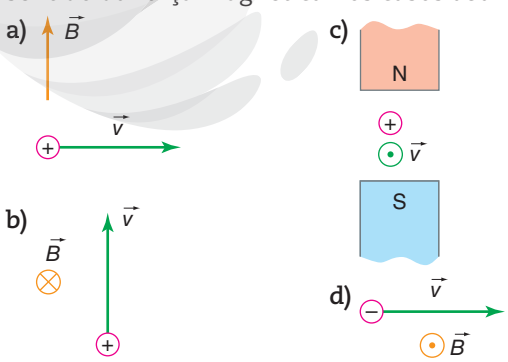
$$F_m = |q| \cdot v \cdot B \cdot \text{sen}\,\theta$$

Aplicando conhecimentos

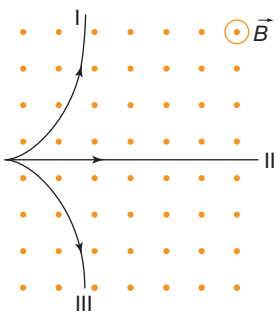
Veja respostas e comentários no Suplemento do Professor.

Registre as respostas em seu caderno.

4. Aplicando a regra da mão esquerda, determine o sentido da força magnética nos casos abaixo.



5. Um feixe de partículas constituído de elétrons, nêutrons e pósitrons (elétrons com carga positiva) penetra numa região onde existe um campo magnético uniforme $\vec{B}$. Determine quais partículas do feixe descrevem as trajetórias I, II e III. Considere que todas as partículas penetram no campo com a mesma velocidade.



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

ILUSTRAÇÕES: ADILSON SECCO

MODERNA

Força magnética sobre um condutor percorrido por corrente elétrica

Vimos que uma partícula eletrizada, lançada convenientemente num campo magnético, fica sujeita a uma força de origem magnética. Um condutor percorrido por corrente elétrica de intensidade i e imerso num 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.

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 26. O dedo indicador é colocado no sentido de $\vec{B}$, e o dedo médio no sentido da corrente i; o polegar fornece o sentido da força magnética.

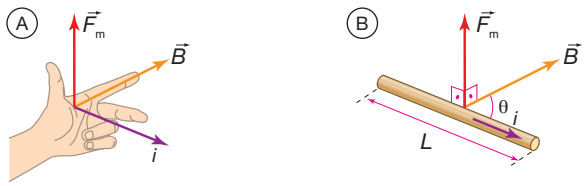


Figura 26 (A) Representação da regra da mão esquerda; (B) $\vec{F}_m$ é perpendicular ao condutor e ao campo magnético $\vec{B}$.

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:

$$F_m = B \cdot i \cdot L \cdot \operatorname{sen} \theta$$

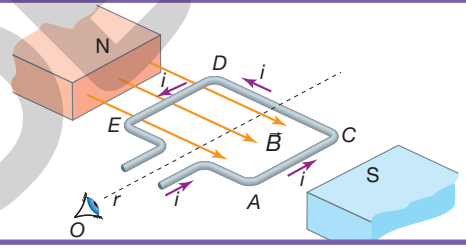
em que θ é o ângulo que o sentido da corrente i faz com o campo magnético $\vec{B}$.

Aplicando conhecimentos

Veja respostas e comentários no Suplemento do Professor.

Registre as respostas em seu caderno.

6. Uma espira retangular $ACDE$ está imersa num campo magnético uniforme produzido pelos polos de dois ímãs, conforme a figura. O plano da espira está disposto perpendicularmente às faces dos ímãs. Determine o sentido de rotação da espira em relação ao observador O.



5. Fenômeno da indução eletromagnética

Vimos que uma espira gira em torno de um eixo, quando percorrida por corrente elétrica e imersa num campo magnético. Será que o fenômeno inverso ocorre, isto é, ao girarmos a espira imersa num campo magnético surgirá nela uma corrente elétrica? A resposta é sim, e o fenômeno em questão, estudado pelo físico inglês Michael Faraday, é denominado **indução eletromagnética**. A corrente que surge na espira é chamada de **corrente induzida**.

É interessante observar que, à medida que a espira gira, varia o número de linhas de indução que atravessam sua superfície. Em outras palavras, dizemos que o **fluxo magnético** varia através da superfície da espira (Fig. 27).

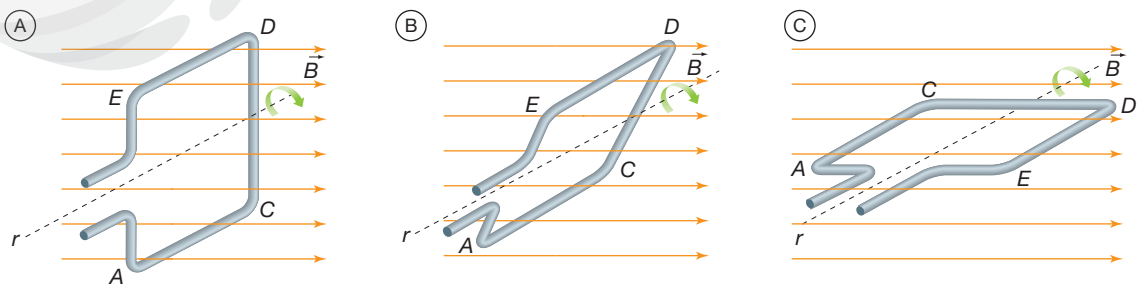


Figura 27 À medida que a espira gira, varia o número de linhas de indução que atravessam sua superfície.

ILUSTRAÇÕES: ADILSON SECCO

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

Podemos, nessas condições, enunciar o fenômeno da indução eletromagnética:

> Quando o fluxo magnético varia na superfície de uma espira, surge na espira uma corrente elétrica, denominada **corrente elétrica induzida**.

Como podemos variar o fluxo magnético, isto é, a quantidade de linhas de indução que atravessam uma espira?

Na figura 27, variamos o fluxo magnético girando a espira. Podemos também variar o fluxo magnético aproximando ou afastando um ímã da espira mantida fixa (Fig. 28). Podemos manter o ímã fixo e aproximar ou afastar a espira.

Outra maneira de variar o fluxo magnético é mudando a área *A* da espira. Considere uma espira constituída de um condutor metálico *MNOP* e de outro *CD*, que se desloca apoiado nos lados *MN* e *OP* (Fig. 29). A área *A* da espira aumenta quando o condutor *CD* se desloca para a direita e diminui quando ele se desloca para a esquerda.

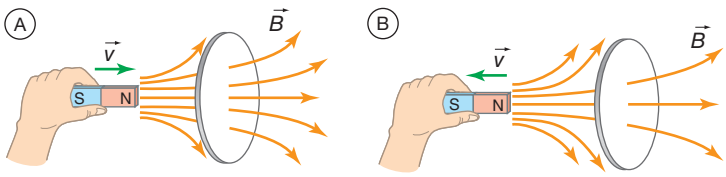


Figura 28 Variação do fluxo magnético aproximando ou afastando o ímã da espira mantida fixa. (Representação fora de proporção; cores meramente ilustrativas.)

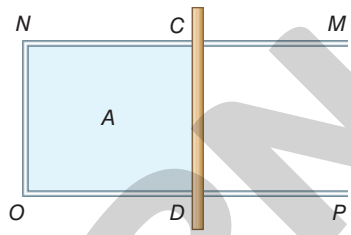


Figura 29 Variação do fluxo magnético devido à variação da área *A*.

O 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 induzida:

> O sentido da corrente induzida é tal que, por seus efeitos, opõe-se à causa que lhe deu origem.

Para entender a lei exposta acima, considere um exemplo em que o polo norte de um ímã é aproximado de uma espira (Fig. 30.A). Durante essa aproximação, ocorre variação do fluxo magnético na superfície da espira, ou seja, o número de linhas de campo magnético que atravessa essa região não é constante; como consequência, surge uma corrente induzida na espira (Fig. 30.B). Em relação ao observador *O*, a corrente induzida tem sentido anti-horário.

Afastando o ímã da espira, surge, na face da espira voltada para o ímã, um polo sul, opondo-se ao afastamento do polo norte do ímã (Fig. 31). Em relação ao observador *O*, a corrente induzida tem sentido horário.

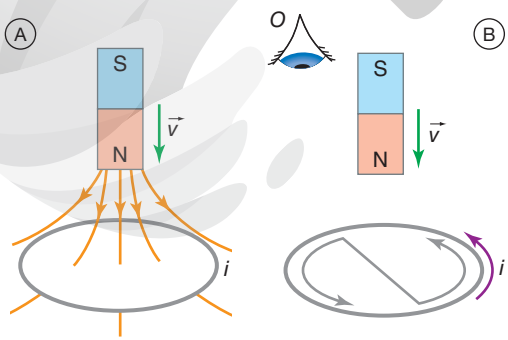


Figura 30 (A) Ao aproximarmos o polo norte do ímã da espira, surge uma corrente induzida na espira; (B) a corrente induzida é tal que na face da espira temos um polo norte. A corrente induzida tem sentido anti-horário, relativamente ao observador *O*.

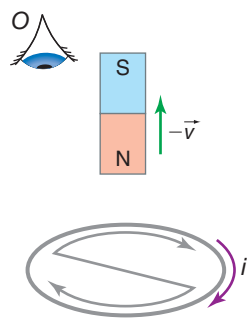


Figura 31 Afastando o polo norte do ímã da espira, a corrente induzida é tal que na face da espira temos um polo sul. A corrente induzida tem sentido horário, relativamente ao observador *O*.

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

ILUSTRAÇÕES: ADILSON SECCO

6. O transformador

O transformador é um aparelho que modifica uma tensão alternada, aumentando-a ou diminuindo-a, de acordo com a necessidade. É composto de duas bobinas independentes, enroladas num núcleo de ferro. 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) (Fig. 32).

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**.

O fluxo magnético variável no núcleo de ferro também gera no ferro correntes induzidas parasitas, chamadas **correntes de Foucault**. Com isso, o núcleo se aquece, pois há dissipação de grandes quantidades de energia. Para minimizar as perdas devidas às correntes de Foucault, o núcleo é laminado e as lâminas são isoladas entre si.

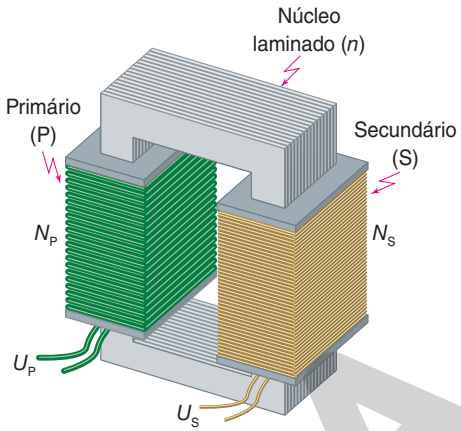


Figura 32 Representação de um transformador.

7. A 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 (Fig. 33). As cordas da guitarra são metálicas e feitas de material magnetizável. O trecho da corda acima do ímã magnetiza-se. 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 uma corrente elétrica. A corrente induzida na bobina oscila com a mesma frequência com que a corda vibra. O sinal elétrico é amplificado e transmitido a um alto-falante.

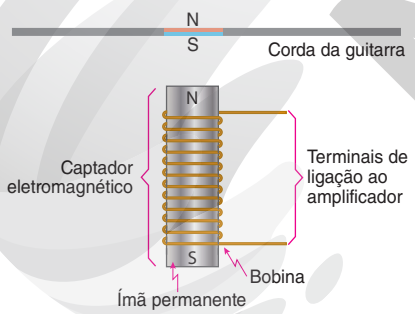


Figura 33 Captador eletromagnético de uma guitarra elétrica. (Representação fora de proporção; cores meramente ilustrativas.)

Atividade em grupo Veja comentários sobre essa atividade no Suplemento do Professor.

O fenômeno da indução eletromagnética tem inúmeras aplicações. A turma deve ser dividida em grupos, e cada grupo fica responsável por um dos temas: 1º) Microfone de indução; 2º) Cartão magnético; 3º) Detector de metais e 4º) Alternador (gerador de corrente alternada). 5º) Geração, transmissão e distribuição da energia elétrica gerada numa usina hidrelétrica.

Cada grupo pode preparar um painel com figuras, fotos e textos explicativos e apresentar oralmente para a turma, de acordo com a ordem definida pelo professor.

MODERNA

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

ILUSTRAÇÕES: ADILSON SECCO

Registre as respostas em seu caderno.

Veja respostas e comentários no Suplemento do Professor.

1. Indique no caderno a afirmativa correta:

1.d **a)** Polo norte da agulha magnética de uma bússola é a extremidade da agulha que aponta, aproximadamente, para o polo sul geográfico da Terra.

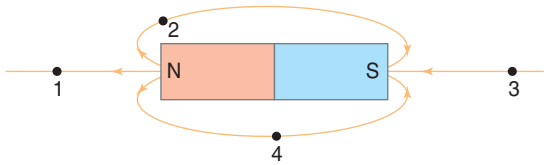
b) O polo norte de um ímã atrai o polo norte de outro ímã.

c) Se serrarmos transversalmente um ímã, cada parte obtida será constituída de um polo somente.

d) Polo sul da agulha magnética de uma bússola é a extremidade da agulha que aponta, aproximadamente, para o polo sul geográfico da Terra.

e) Ao aproximarmos um ímã de um prego de ferro, o prego não se magnetiza e, portanto, não é atraído pelo ímã.

2. Na figura abaixo, apresentamos algumas linhas de indução do campo magnético criado por um ímã.

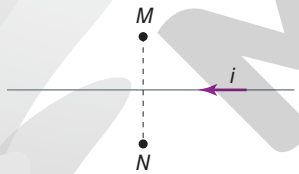


Reproduza em seu caderno a figura dada e:

a) represente os vetores indução magnética $\vec{B}_1$, $\vec{B}_2$, $\vec{B}_3$ e $\vec{B}_4$, existentes nos pontos 1, 2, 3 e 4 da figura;

b) represente como se disporiam pequenas agulhas magnéticas colocadas nesses pontos.

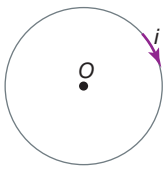
3. A figura mostra um fio reto e longo percorrido por uma corrente i e dois pontos M e N, próximos ao fio, todos no mesmo plano do papel.



Copie a figura acima em seu caderno e represente o vetor campo magnético criado pela corrente nos pontos M e N.

4. Uma espira circular, contida no plano desta folha,

4.b é percorrida por uma corrente elétrica contínua, como indica a figura.



O vetor indução magnética $\vec{B}$, no centro O da espira, é representado por:

a) ⊙

b) ⊗

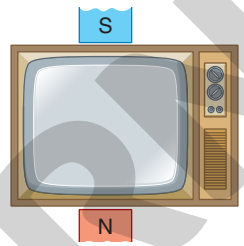
c) →

d) ←

e) ↓

5. Considere a tela de um televisor que recebe uma

5.a descarga de elétrons formando a imagem. Aproximam-se dois ímãs da tela do televisor, conforme mostra a figura.



A imagem se distorce com desvio para:

a) a direita.

b) a esquerda.

c) cima.

d) baixo.

6. (Enem) O manual de funcionamento de um cap-

6.c tador de guitarra elétrica apresenta o seguinte texto:

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 era feita 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.

ILUSTRAÇÕES: ADILSON SECCO

MODERNA

CAPÍTULO 9

ELETRÓLISE

BLOOMBERG/GETTY IMAGES

Automóveis movidos a celas a combustível geralmente são abastecidos com o gás hidrogênio. A produção industrial desse gás pode ser realizada por meio da eletrólise da água.

A eletrólise pode ser considerada o processo eletroquímico inverso ao de uma pilha, pois utiliza a energia elétrica para proporcionar a ocorrência de uma reação química não espontânea. Esse processo apresenta diversas aplicações e possibilita a obtenção de substâncias de interesse comercial, como o alumínio metálico e o hipoclorito de sódio aquoso. A eletrólise também está presente em nosso cotidiano e ocorre, por exemplo, ao recarregarmos a bateria de um celular. Nesse processo de recarga da bateria, ocorrem no interior dela reações químicas não espontâneas provocadas pela passagem de corrente elétrica. Depois de recarregada, a bateria volta a produzir energia elétrica por meio de uma reação espontânea de oxirredução (Capítulo 6).

Uma das aplicações tecnológicas relevantes da eletrólise é na produção de gás hidrogênio. Esse gás tem sido amplamente aplicado no processamento de alguns componentes do petróleo e como combustível em foguetes e celas a combustível (Capítulo 6). Sua obtenção em quantidades significativas exige processos químicos industriais, sendo a eletrólise da água um deles. Eletrolisar a água é um processo vantajoso, pois, entre outros fatores, gera amostras de gás hidrogênio com elevada pureza, de até 99,999% em volume. Na eletrólise da água, os gases hidrogênio, H_2, e oxigênio, O_2, são os produtos de uma transformação química de oxirredução na qual a água é o reagente. A reação é promovida pela passagem de uma corrente elétrica contínua através do líquido.

A eletrólise da água é um dos métodos mais simples e promissores de produção do gás hidrogênio em larga escala. No entanto, o seu elevado custo de operação (especialmente em função do preço da energia elétrica utilizada) dificulta sua disseminação ao redor do mundo. Como ele é obtido a partir da água, que é um recurso renovável, atualmente várias pesquisas vêm sendo realizadas com o objetivo de tornar esse processo mais viável economicamente.

Neste capítulo você conhecerá a eletrólise, seus tipos e algumas das suas aplicações.

De olho na BNCC:

- **EM13CNT101**
- **EM13CNT104**
- **EM13CNT105**
- **EM13CNT106**
- **EM13CNT107**
- **EM13CNT203**
- **EM13CNT205**
- **EM13CNT206**
- **EM13CNT301**
- **EM13CNT303**
- **EM13CNT307**
- **EM13CNT308**
- **EM13CHS302**

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

MODERNA

1. Conceito de eletrólise

No Capítulo 6, comentamos que a eletroquímica estuda a relação entre a corrente elétrica e as reações químicas. Existem dois temas de grande interesse nessa área científica. Um deles são as pilhas (celas galvânicas), que estudamos naquele capítulo. O outro é o assunto deste capítulo: o uso da corrente elétrica (gerada, por exemplo, por uma cela galvânica) para forçar a ocorrência de uma reação química que não ocorreria espontaneamente.

Uma reação química não espontânea que acontece de modo forçado devido à passagem de corrente elétrica é denominada **eletrólise**, e os dispositivos em que esse tipo de processo ocorre são as **celas eletrolíticas**.

Considere a aparelhagem experimental esquematizada nas Figuras 1 e 2. Se o que está dentro do recipiente esquematizado fosse cloreto de sódio sólido, NaCl(s), não haveria passagem de corrente elétrica, pois, quando essa substância está em fase sólida, os íons que a constituem (Na^+ e Cl^-) não estão livres, não têm mobilidade para estabelecer uma corrente elétrica. Para possibilitar a passagem de corrente elétrica através do NaCl, é necessário que os íons Na^+ e Cl^- sejam liberados e passem a ter mobilidade. Isso pode ser conseguido de duas maneiras: aquecendo o composto até ocorrer sua fusão (Figura 1) ou, então, adicionando-se água para dissolvê-lo e provocar sua dissociação iônica, ou seja, a separação de seus íons em fase aquosa (Figura 2).

Como estudaremos na sequência, durante a passagem de corrente elétrica pelo cloreto de sódio, esteja ele líquido ou em solução aquosa, ocorrem reações químicas na superfície das placas metálicas representadas nas Figuras 1 e 2. Denominamos **eletrólise ígnea** uma reação química provocada pela passagem de corrente elétrica através de um composto iônico fundido e **eletrólise aquosa** uma reação química cuja ocorrência se deve à passagem de corrente elétrica através de uma solução aquosa de eletrólito.

Em uma cela eletrolítica, as duas placas de material condutor elétrico imersas no líquido podem ser chamadas de eletrodos. Um deles, aquele conectado ao terminal positivo do gerador elétrico, é o polo positivo (ou eletrodo positivo) da cela eletrolítica. O outro eletrodo, ligado ao terminal negativo do gerador, é o polo negativo (ou eletrodo negativo) da cela eletrolítica.

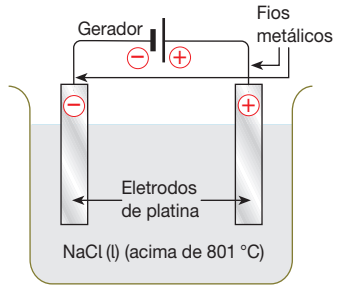


Figura 1 A temperatura de fusão do cloreto de sódio (NaCl), a 1 atm, é 801 °C. Durante a passagem de corrente elétrica por NaCl fundido, acontece uma reação química na superfície das placas metálicas (eletrodos) de platina. O processo é uma eletrólise ígnea. A platina é escolhida por ser um eletrodo inerte (isto é, que não reage) nesse processo. (Representação fora de proporção; cores meramente ilustrativas.)

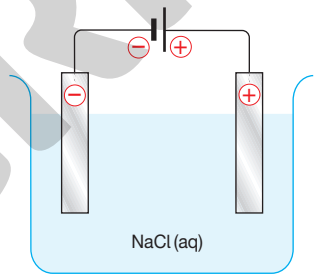


Figura 2 Durante a passagem de corrente elétrica por uma solução aquosa de cloreto de sódio (NaCl), ocorre uma reação química na superfície dos eletrodos inertes de platina. O processo, que pode ser realizado à temperatura ambiente, é uma eletrólise aquosa. (Representação fora de proporção; cores meramente ilustrativas.)

2. Eletrólise ígnea

Quando se efetua a eletrólise ígnea do NaCl usando eletrodos inertes (isto é, que não reagem quimicamente durante esse processo), verifica-se que ocorre a transformação química desse composto em duas substâncias. Uma delas, produzida no polo positivo, é um gás nas condições ambientes (25 ° e 1 atm), de cor amarelo-esverdeada, tóxico e de cheiro irritante. A outra, produzida no polo negativo, é um metal sólido nas condições ambientes, de cor cinza, que reage violentamente com a água. Uma análise química permite identificar esses produtos, respectivamente, como gás cloro (Cl_2) e sódio metálico (Na).

O esquema da Figura 3 mostra a atuação do gerador nesse processo. Ele estabelece uma corrente elétrica no circuito. Em um dos fios metálicos desse circuito, elétrons se movimentam do polo negativo do gerador em direção ao eletrodo negativo. Na superfície desse eletrodo (polo negativo da célula eletrolítica), elétrons são recebidos por íons sódio (Na^+), provocando sua redução a sódio metálico (Na^0). A equação dessa semirreação é: $Na^+ + e^- \rightarrow Na^0$.

No outro fio metálico, elétrons se movimentam do eletrodo em direção ao polo positivo do gerador. Esses elétrons provêm da oxidação de íons cloreto (Cl^-) a gás cloro (Cl_2), que ocorre na superfície do eletrodo positivo (polo positivo da célula eletrolítica). A equação dessa semirreação é: $2\,Cl^- \rightarrow Cl_2 + 2\,e^-$.

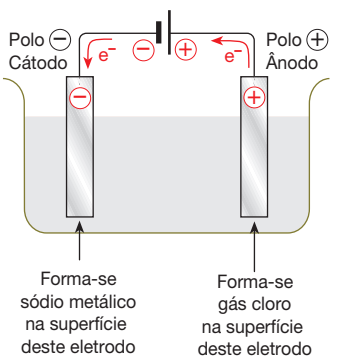


Figura 3 Esquema do sentido de movimentação de elétrons nos fios metálicos durante a eletrólise ígnea do NaCl com eletrodos inertes de platina. (Representação fora de proporção; cores meramente ilustrativas.)

ILUSTRAÇÕES: ADILSON SECCO

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

MODERNA

Assim, no tocante às semirreações que ocorrem nos eletrodos da cela eletrolítica, tudo se passa como se a atuação do gerador fosse a de forçar a transferência de elétrons dos íons Cl^- para os íons Na^+, através da parte metálica do circuito.

Conforme comentamos no Capítulo 6, em todas as celas eletroquímicas (sejam galvânicas ou eletrolíticas) vale a seguinte convenção: o eletrodo no qual ocorre a semirreação de **oxidação** é chamado de **ânodo** e o eletrodo em que acontece a semirreação de **redução** é denominado **cátodo**.

A eletrólise é um fenômeno de oxirredução. A equação da reação global pode ser obtida pela soma das equações das semirreações multiplicadas por números adequados para igualar o número de elétrons recebidos na redução com o número de elétrons perdidos na oxidação. No exemplo em questão, multiplicando a equação da semirreação de redução do elemento químico sódio por 2 e somando-a à de oxidação do elemento químico cloro, temos:

Equação da semirreação de redução (no cátodo, polo negativo da eletrólise):
$$2\,Na^+ + \cancel{2e^-} \rightarrow 2\,Na^0$$

Equação da semirreação de oxidação (no ânodo, polo positivo da eletrólise):
$$2\,Cl^- \rightarrow Cl_2 + \cancel{2e^-}$$

(+)

Equação da reação global da eletrólise:
$$2\,Na^+ + 2\,Cl^- \rightarrow 2\,Na^0 + Cl_2$$

Ao estudar pilhas (Capítulo 6), mostramos que elas permitem estabelecer corrente elétrica devido à ocorrência de uma reação química de oxirredução. A reação que ocorre nas pilhas é espontânea. Considerando condições-padrão e temperatura de 25 °C, isso equivale a dizer que elétrons são transferidos de um par de oxirredução que apresenta $E^\ominus$ (potencial-padrão de semicela) menor para outro que apresenta $E^\ominus$ maior (Capítulo 7).

Diferentemente do que acontece em uma pilha, a eletrólise é uma reação química de oxirredução *provocada* pela corrente elétrica. Dizemos que essa reação é *provocada* porque **não ocorreria espontaneamente**. Para ilustrar esse fato, consideremos os potenciais-padrão do par de oxirredução Na^+/Na^0, que é $E^\ominus = -2{,}71$ V, e do par Cl^-/Cl_2, que é $E^\ominus = +1{,}36$ V. Nas condições a que se referem esses potenciais, elétrons não se transfeririam espontaneamente do Cl^- (maior $E^\ominus$) para o Na^+ (menor $E^\ominus$). É por isso que a eletrólise requer a utilização de um gerador elétrico adequado, que estabeleça entre os dois eletrodos da cela eletrolítica uma tensão elétrica suficientemente elevada para provocar a reação química não espontânea de oxirredução.

BOYER/ROGER VIOLLET/GETTY IMAGES

Figura 4 A física polonesa Marie Sklodowska Curie (1867-1934), em foto de 1903, descobridora dos elementos rádio e polônio. Foi a primeira mulher a ser laureada com o Prêmio Nobel e a primeira pessoa a receber duas vezes esse prêmio: o de Física (junto com Henri Becquerel e Pierre Curie), em 1903, e o de Química, em 1911. Embora a descoberta do rádio tenha sido realizada em 1898, a obtenção de uma amostra de rádio metálico (substância simples constituída do elemento químico rádio) só foi possível em 1902, quando Marie realizou a eletrólise ígnea de uma amostra de cloreto de rádio.

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

Aplicando conhecimentos

Registre as respostas em seu caderno.

Veja respostas e comentários no Suplemento do Professor.

1. A aparelhagem esquematicamente representada a seguir é usada para a eletrólise ígnea do fluoreto de potássio (KF, constituído de íons K^+ e F^-), realizada industrialmente para produzir gás flúor.

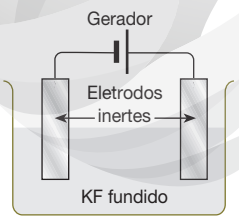


ILUSTRAÇÃO: ADILSON SECCO

(Representação fora de proporção; cores meramente ilustrativas.)

Reproduza esse desenho no caderno e indique nele:

a) os polos positivo e negativo da cela eletrolítica;

b) o cátodo e o ânodo da cela eletrolítica;

c) o sentido de movimentação de elétrons nos fios;

d) o sentido de movimentação dos cátions e dos ânions no líquido, durante a eletrólise.

2. Equacione as semirreações e a reação global da eletrólise da atividade anterior.

3. O alumínio é um dos metais mais importantes para a sociedade, com diversas aplicações cotidianas. É produzido por eletrólise ígnea do óxido de alumínio, Al_2O_3, no qual existem íons Al^{3+} e O^{2-}.

a) Admitindo que a eletrólise seja feita com eletrodos inertes, quais são as substâncias produzidas no cátodo e no ânodo?

b) Equacione as duas semirreações envolvidas.

4. Conforme a legenda da Figura 4, a substância simples rádio metálico foi obtida pela primeira vez pela cientista Marie Curie, em um experimento no qual realizou a eletrólise ígnea do cloreto de rádio ($RaCl_2$, constituído de íons Ra^{2+} e Cl^-). Equacione as semirreações dessa eletrólise, indicando qual delas é a catódica e qual é a anódica.

3. Eletrólise aquosa

Conforme já comentamos, eletrólise aquosa é uma reação química provocada pela passagem de corrente elétrica através de uma solução aquosa de um eletrólito. Para facilitar o entendimento, consideremos, como ponto de partida, os resultados experimentais listados na Tabela 1, obtidos na eletrólise de algumas soluções aquosas com eletrodos inertes.

Como se pode notar pela análise da tabela, em alguns dos casos relacionados, ocorre produção de gás hidrogênio, $H_2(g)$, no cátodo e/ou de gás oxigênio, $O_2(g)$, no ânodo. Esses gases são produtos das semirreações em que a água é o reagente envolvido na redução (no cátodo) ou na oxidação (no ânodo).

Equação da semirreação de redução da água no cátodo:

$$2\,H_2O(l) + 2\,e^- \rightarrow H_2(g) + 2\,OH^-(aq)$$

Equação da semirreação de oxidação da água no ânodo:

$$2\,H_2O(l) \rightarrow O_2(g) + 4\,H^+(aq) + 4\,e^-$$

Quem tem maior tendência para reagir no cátodo: a água ou o cátion do eletrólito dissolvido em água? E no ânodo: a água ou o ânion do eletrólito? Os resultados de muitos experimentos possibilitaram aos cientistas comparar, em diferentes condições experimentais, a tendência que os diversos íons apresentam para reagir nos eletrodos. Para experimentos realizados nas condições-padrão (definidas no Capítulo 6) e a 25 °C, os resultados experimentais permitiram a elaboração de filas indicativas da tendência de reagir em comparação com a água (Fig. 5), instrumentos de consulta com os quais podemos prever quais serão as reações catódica e anódica de uma eletrólise aquosa. Para exemplificar, vamos considerar as quatro eletrólises aquosas cujos resultados estão na Tabela 1. Acompanhe os exemplos consultando a Figura 5.

- **Eletrólise aquosa de cloreto de estanho(II), $SnCl_2(aq)$.** Tanto os cátions (Sn^{2+}) quanto os ânions (Cl^-) presentes nessa solução têm tendência maior que a água para reagir nos eletrodos. Os produtos da eletrólise são, portanto, estanho metálico (Sn) no cátodo e gás cloro (Cl_2) no ânodo (Fig. 6).

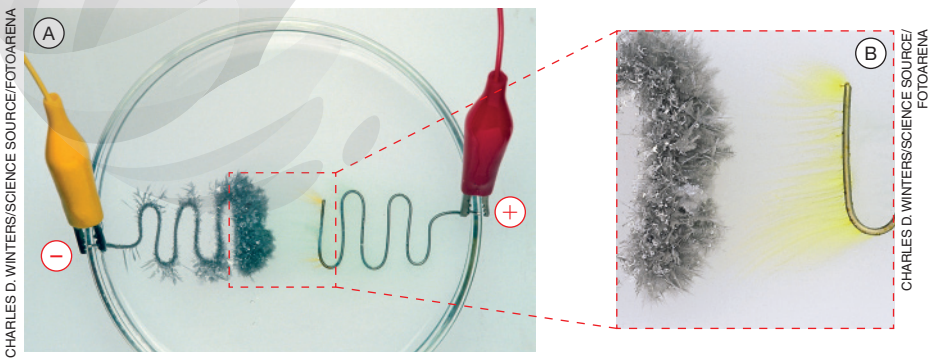
  Equação da semirreação do cátodo: $Sn^{2+}(aq) + 2\,e^- \rightarrow Sn(s)$

  Equação da semirreação do ânodo: $2\,Cl^-(aq) \rightarrow Cl_2(g) + 2\,e^-$

- **Eletrólise aquosa de nitrato de prata, $AgNO_3(aq)$.** Os cátions presentes nessa solução (Ag^+) têm tendência maior que a água para reagir, mas os ânions (NO_3^-), não. Então, nesse caso, a água reage no ânodo e essa eletrólise produz prata metálica (Ag) no cátodo e gás oxigênio (O_2) no ânodo.

  Equação da semirreação do cátodo: $Ag^+(aq) + e^- \rightarrow Ag(s)$

  Equação da semirreação do ânodo: $2\,H_2O(l) \rightarrow O_2(g) + 4\,H^+(aq) + 4\,e^-$



CHARLES D. WINTERS/SCIENCE SOURCE/FOTOARENA

CHARLES D. WINTERS/SCIENCE SOURCE/FOTOARENA

Figura 6 (A) Eletrólise de solução aquosa de cloreto de estanho(II) ($SnCl_2$) realizada em uma placa de Petri. No cátodo (polo negativo), depositam-se cristais de estanho metálico (Sn). No ânodo (polo positivo), forma-se cloro molecular (Cl_2), que dá coloração amarelada à solução nessa região, como se pode ver na foto ampliada (B).

Tabela 1 Substâncias produzidas no cátodo (polo negativo) e no ânodo (polo positivo) na eletrólise de soluções aquosas de diferentes solutos, com eletrodos inertes, nas condições-padrão e a 25 °C.

Soluto da solução eletrolisada	Substância produzida no cátodo	Substância produzida no ânodo
$SnCl_2(aq)$	Sn (s)	$Cl_2(g)$
$AgNO_3(aq)$	Ag (s)	$O_2(g)$
KI (aq)	$H_2(g)$	$I_2(s)$
$Na_2SO_4(aq)$	$H_2(g)$	$O_2(g)$

Fontes consultadas: WHITTEN, K. W. *et al*. *Chemistry*. 10. ed. Belmont: Brooks/Cole, 2014; SILBERBERG, M. S.; AMATEIS, P. *Chemistry: the molecular nature of matter and change*. 8. ed. Nova York: McGraw-Hill, 2018; KOTZ, J. C. *et al*. *Chemistry & Chemical Reactivity*. 10. ed. Boston: Cengage, 2019.

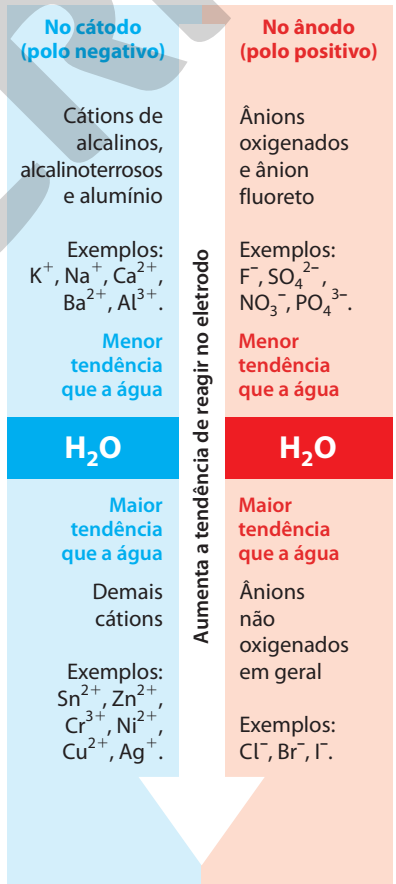


Figura 5 Esquema comparativo da tendência de um íon reagir no cátodo (parte esquerda do esquema) ou no ânodo (parte direita do esquema) em relação à água, para eletrólise aquosa, nas condições-padrão e a 25 °C.

Fonte consultada: SILBERBERG, M. S.; AMATEIS, P. *Chemistry: the molecular nature of matter and change*. 8. ed. Nova York: McGraw-Hill, 2018.

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

MODERNA

- **Eletrólise aquosa de iodeto de potássio, KI(aq).** Nesse caso, os ânions presentes na solução (I^-) têm tendência maior que a água para reagir, mas os cátions (K^+), não. Então, nesse caso, a água reage no cátodo, havendo produção de gás hidrogênio (H_2) no cátodo e iodo molecular (I_2) no ânodo (Fig. 7).

  Equação da semirreação do cátodo: $2\,H_2O(l) + 2\,e^- \rightarrow H_2(g) + 2\,OH^-(aq)$

  Equação da semirreação do ânodo: $2\,I^-(aq) \rightarrow I_2(s) + 2\,e^-$

- **Eletrólise aquosa de sulfato de sódio, Na_2SO_4(aq).** Nem os cátions (Na^+) nem os ânions (SO_4^{2-}) presentes nessa solução têm tendência maior que a da água para reagir. Então, a água reage nos dois eletrodos e os produtos da eletrólise são os gases hidrogênio (H_2) e oxigênio (O_2) (Fig. 8).

  Equação da semirreação do cátodo: $2\,H_2O(l) + 2\,e^- \rightarrow H_2(g) + 2\,OH^-(aq)$

  Equação da semirreação do ânodo: $2\,H_2O(l) \rightarrow O_2(g) + 4\,H^+(aq) + 4\,e^-$

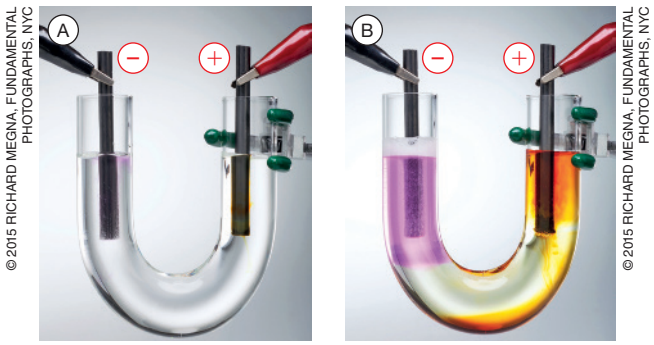


Figura 7 Eletrólise de solução aquosa de iodeto de potássio (KI), em tubo de vidro em forma de U, com eletrodos de grafite (inertes nesse processo). A solução também contém um pouco de fenolftaleína, indicador ácido-base que é incolor em meio ácido ou neutro, e rosa em meio básico. Inicialmente, o meio é neutro e a fenolftaleína está incolor. A foto (A) foi tirada poucos segundos após o início da passagem de corrente elétrica e a foto (B), após 10 minutos. No cátodo (polo negativo), ocorre redução da água com liberação de gás hidrogênio (H_2) e produção de íons hidróxido (OH^-). Estes últimos deixam o meio básico próximo ao eletrodo e fazem a fenolftaleína ficar rósea nessa região. No ânodo (polo positivo), forma-se iodo (I_2), que é pouco solúvel em água e responsável pela coloração castanha vista na foto.

Figura 8 Eletrólise de uma solução aquosa de Na_2SO_4, que produz gás hidrogênio (H_2) no cátodo e gás oxigênio no ânodo (O_2). Na foto, os gases são coletados em tubos de ensaio que estavam, inicialmente, cheios com a solução aquosa. O gás hidrogênio é recolhido no tubo de ensaio à esquerda e o gás oxigênio, no tubo à direita.

Aplicando conhecimentos

Registre as respostas em seu caderno.

Veja respostas e comentários no Suplemento do Professor.

5. No texto do Item 3, há quatro exemplos de eletrólises aquosas.

a) Considerando as informações apresentadas, deduza a equação que representa a reação global que ocorre em cada um desses exemplos.

b) Determine qual é o elemento químico que se oxida e qual é o elemento químico que se reduz, em cada um desses processos.

6. Quando, em uma eletrólise aquosa, a água é o reagente tanto no cátodo quanto no ânodo (Fig. 8), dizemos que está ocorrendo eletrólise da água. Para esse processo ocorrer, deve-se dissolver na água um eletrólito adequado, substância cuja solução aquosa seja condutora de corrente elétrica.

Quais das substâncias representadas pelas fórmulas LiCl, KBr, NaOH, H_2SO_4, HCl, KNO_3 e $CuSO_4$ podem ser dissolvidas na água a fim de possibilitar a eletrólise da água? Explique, argumentando com base em informações apresentadas no texto ou nas figuras deste capítulo.

7. O sódio, o potássio, o magnésio e o alumínio são exemplos de metais obtidos industrialmente por meios eletrolíticos. A obtenção, contudo, deve ser realizada por eletrólise ígnea e não aquosa. Por quê?

8. A eletrólise de uma solução aquosa de cloreto de sódio é o método empregado na produção de algumas substâncias de importância industrial. A respeito dessa eletrólise aquosa, responda às perguntas.

a) Qual é o gás produzido no ânodo? Equacione a semirreação.

b) Qual é o gás produzido no cátodo? Equacione a semirreação.

c) Ambas as substâncias produzidas nos eletrodos podem reagir entre si, sob condições apropriadas, produzindo uma substância muito comum em laboratórios de Química. Que substância é essa?

d) À medida que a eletrólise prossegue, restam em solução cátions e ânions que tomam parte na composição de uma importante base inorgânica (hidróxido inorgânico). Que base é essa?

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

MODELO

4. Aplicações da eletrólise

Galvanoplastia

A **galvanoplastia** consiste em revestir a superfície de uma peça metálica com uma fina camada de outro metal, por meio de eletrólise aquosa de seu sal. A peça atuará como cátodo, e o sal deve conter o íon do metal que se deseja depositar. Os exemplos mais conhecidos são o revestimento por crômio (metal também chamado de cromo), a **cromação** (Fig. 9), ou por níquel, a **niquelação**.

O nome galvanoplastia é uma homenagem ao cientista italiano Luigi Galvani (1737-1798). Esse processo é muito utilizado para revestir anéis, brincos, pulseiras, correntes, relógios e faqueiros com uma fina camada (que tem espessura de aproximadamente $2{,}0 \cdot 10^{-3}$ cm) de prata ou de ouro. A produção de ferro galvanizado, que consiste no ferro que recebeu uma camada superficial de zinco (reveja a finalidade desse revestimento no Item 6 do Capítulo 7), também pode ser feita por eletrólise.

A Figura 10 ilustra o revestimento de um garfo de metal com uma camada de cobre metálico. O garfo é empregado como cátodo na eletrólise de uma solução aquosa de sulfato de cobre(II). Os íons Cu^{2+} (aq) presentes na solução migram para o cátodo, onde são reduzidos a cobre metálico, depositando-se no objeto.

Anodização

Uma forma de resguardar certos metais contra a corrosão é a formação de uma camada protetora superficial de um óxido do próprio metal. Tal proteção pode ser feita por meio de um processo eletrolítico, que, nesse caso, é denominado **anodização**. Um exemplo de anodização bastante conhecido envolve o alumínio. A peça de alumínio a ser protegida é usada como ânodo (polo positivo) durante uma eletrólise de uma solução aquosa diluída de H_2SO_4. Nesse eletrodo ocorre a liberação de oxigênio gasoso, produzido na semirreação de oxidação da água:

$$2\,H_2O(l) \rightarrow O_2(g) + 4\,H^+(aq) + 4\,e^-$$

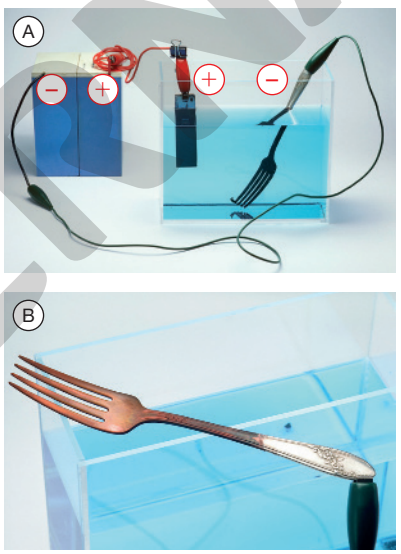
O gás oxigênio reage com o alumínio metálico constituinte do ânodo, formando óxido de alumínio (Al_2O_3):

$$3\,O_2(g) + 4\,Al(s) \rightarrow 2\,Al_2O_3(s)$$

A camada de Al_2O_3 é muito fina e incolor, atuando como uma película protetora (Fig. 11.A). Essa camada é relativamente porosa, permitindo que após a anodização sejam aplicados corantes, que penetram nesses poros. Em seguida, os poros são selados mantendo-se a peça mergulhada por algum tempo em água quente. Uma peça metálica submetida a esse processo estará protegida contra a corrosão e vistosa para ser comercializada (Fig. 11.B). São exemplos dessas peças anodizadas: janelas, grades, portões e tampas de panela de alumínio em cores.

TOPSELLER/SHUTTERSTOCK

Figura 9 Detalhes metálicos cromados são usados há tempos pelas indústrias automobilísticas. Eles são obtidos por eletrodeposição de crômio metálico, técnica que é um exemplo de galvanoplastia.



© 1988 CHIP CLARK, FUNDAMENTAL PHOTOGRAPHS, NYC

© 1988 CHIP CLARK, FUNDAMENTAL PHOTOGRAPHS, NYC

Figura 10 (A) Um garfo metálico é empregado como cátodo na eletrólise de uma solução aquosa de sulfato de cobre(II), durante a qual os cátions Cu^{2+} (aq) são reduzidos a cobre metálico e se depositam sobre a peça (B). Essa técnica, a galvanoplastia, possibilita o revestimento de objetos metálicos com uma camada de outro metal.

HOMYDESIGN/SHUTTERSTOCK

FFOLAS/SHUTTERSTOCK

Figura 11 (A) Caixa para transportar ferramentas feita de alumínio anodizado. (B) Patinete de alumínio contendo partes de alumínio que, após a anodização, tiveram corante azul incorporado à camada protetora de óxido de alumínio.

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

MODERNA

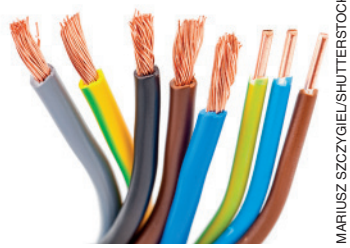
O refino eletrolítico do cobre

Quando obtido a partir do minério, o cobre metálico contém cerca de 99% de pureza. Ferro, zinco, prata, ouro e platina são suas principais impurezas. Essas impurezas diminuem a condutividade elétrica do cobre de tal modo que mesmo o metal com 99% de pureza deve passar por um processo de refino até que seja atingido um grau de pureza mais elevado para que possa ser usado na confecção de fios elétricos (Fig. 12) e circuitos eletrônicos.

O procedimento para a obtenção do cobre com 99,9% de pureza envolve uma eletrólise e é denominado **refino eletrolítico** do cobre metálico. O cobre a ser refinado (cobre impuro ou cobre metalúrgico) é usado como ânodo em uma célula eletrolítica (polo positivo) contendo solução aquosa de $CuSO_4$. O cátodo da célula pode ser constituído por uma folha fina de cobre de elevada pureza.

Durante a eletrólise, quando a aparelhagem é operada com a voltagem adequada entre os eletrodos, somente o cobre e outros metais que se oxidam mais facilmente que ele (ferro e zinco, por exemplo) são oxidados a cátions no ânodo. Os metais mais nobres que o cobre (aqueles com $E^{\ominus}$ maior que o dele) não se oxidam no ânodo. Eles se desprendem do eletrodo à medida que este é corroído e acumulam-se no fundo do recipiente, constituindo um depósito denominado lama anódica.

No cátodo, ocorre a redução dos íons Cu^{2+} a cobre metálico. Íons como Fe^{2+} e Zn^{2+} têm menor tendência a se reduzir que o Cu^{2+} (pois têm $E^{\ominus}$ menor que o dele) e permanecem em solução. Isso garante a alta pureza do cobre depositado no cátodo (Fig. 13). Ao final, a lama anódica — constituída de prata, ouro e platina — é removida da célula e vendida, o que auxilia no custeio da energia elétrica exigida na eletrólise.



MARIUSZ SZCZYGIEL/SHUTTERSTOCK

Figura 12 O cobre usado em fiações elétricas deve ter elevada pureza, que é conseguida por refino eletrolítico.

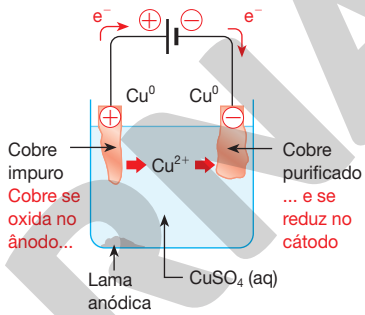


Figura 13 Esquema do refino eletrolítico do cobre. Nesse processo, o ânodo é um eletrodo ativo, ou seja, ele toma parte na reação. A equação da semirreação anódica é:

$$\underset{\text{do eletrodo de cobre impuro}}{Cu\,(s)} \rightarrow 2\,e^- + \underset{\text{solução}}{Cu^{2+}\,(aq)}$$

No cátodo, ocorre redução dos íons cobre(II), depositando-se cobre metálico com elevado grau de pureza. A equação da semirreação catódica é:

$$\underset{\text{solução}}{Cu^{2+}\,(aq)} + 2\,e^- \rightarrow \underset{\text{depósito de cobre purificado}}{Cu\,(s)}$$

(Representação fora de proporção; cores meramente ilustrativas.)

Fonte consultada: McMURRY, J. E. *et al.* *Chemistry*. 7. ed. Upper Saddle River: Pearson, 2016.

ILUSTRAÇÃO: ADILSON SECCO

Obtenção de substâncias de interesse

Por meio da eletrólise, são obtidas industrialmente várias substâncias de interesse. Entre elas há substâncias simples, como gás hidrogênio (H_2), gás flúor (F_2), gás cloro (Cl_2), metais alcalinos, metais alcalinoterrosos e alumínio, e substâncias compostas, como hidróxido de sódio (NaOH), hipoclorito de sódio (NaClO) e ácido clorídrico (HCl).

A produção do gás flúor envolve a eletrólise ígnea do fluoreto de potássio (KF), na qual a equação da semirreação anódica é: $2\,F^-\,(aq) \rightarrow F_2\,(g) + 2\,e^-$. A obtenção de metais alcalinos, alcalinoterrosos e alumínio, também realizada por meio da eletrólise ígnea, é comentada mais à frente. A produção industrial de hidróxido de sódio, cloro, hidrogênio, ácido clorídrico e hipoclorito de sódio envolve a eletrólise aquosa de uma solução de cloreto de sódio.

Equação da semirreação do cátodo: $2\,H_2O\,(l) + 2\,e^- \rightarrow H_2\,(g) + 2\,OH^-\,(aq)$

Equação da semirreação do ânodo: $2\,Cl^-\,(aq) \rightarrow Cl_2\,(g) + 2\,e^-$

Há produção de gás hidrogênio no cátodo e de gás cloro no ânodo. Restam, na solução aquosa, cátions sódio (Na^+) e ânions hidróxido (OH^-). A subsequente evaporação da água dessa solução fornece hidróxido de sódio sólido, NaOH (s), composto também conhecido como soda cáustica, matéria-prima para fabricar sabão e papel. O gás cloro é usado na produção do plástico PVC, do ácido clorídrico e do hipoclorito de sódio. Para fabricação do ácido clorídrico, reage-se o gás cloro (obtido no ânodo) com gás hidrogênio (obtido no cátodo), o que produz HCl gasoso (cloreto de hidrogênio), que, em seguida, é borbulhado em água, originando o ácido clorídrico, nome dado ao HCl em meio aquoso. Para a fabricação de hipoclorito de sódio (NaClO), borbulha-se gás cloro em solução de hidróxido de sódio:

$$Cl_2\,(g) + 2\,NaOH\,(aq) \rightarrow NaCl\,(aq) + NaClO\,(aq) + H_2O\,(l)$$

O hipoclorito de sódio é usado como desinfetante e alvejante, sendo o componente ativo da água sanitária. A desinfecção da água para torná-la potável pode ser feita por adição de quantidade apropriada de solução aquosa de NaClO.

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

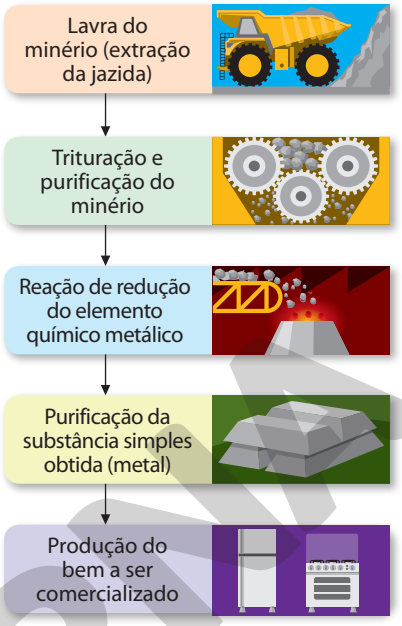
MODERNA

5. Metalurgia

Na crosta terrestre existe grande diversidade de substâncias formadas, ao longo de milhões de anos, em processos geológicos. Essas substâncias são denominadas **minerais**, e muitos deles contêm metais em sua composição química. Dependendo da constituição e da abundância do mineral, é possível obter o metal constituinte sob a forma de substância simples.

Chamamos de **minério** um mineral a partir do qual seja economicamente viável a obtenção de uma substância de interesse. A **metalurgia** é a sequência de processos executados com a finalidade de obter uma substância simples metálica a partir do minério adequado (Fig. 14). Os átomos da maioria dos elementos químicos metálicos são encontrados nos minérios como cátions, por exemplo, Zn^{2+}, Cr^{3+}, Pb^{2+} e Fe^{3+}. Assim, para que seja possível obter a substância simples metálica, é necessário realizar a redução do metal.

Para obter, por exemplo, a substância simples ferro metálico (Fe^0) a partir do óxido de ferro(III) (Fe_2O_3), encontrado naturalmente em um minério chamado hematita, é preciso que o elemento químico ferro seja reduzido do número de oxidação +3 (no Fe^{3+}) ao número de oxidação zero (no Fe^0). Note que se trata do oposto do que ocorre no enferrujamento (Item 6 do Capítulo 7), processo corrosivo que tende a oxidar Fe^0 a Fe^{3+}.



ILUSTRAÇÕES: ADILSON SECCO

Figura 14 Esquematização das principais etapas da metalurgia. (Representações fora de proporção; cores meramente ilustrativas.)

Metalurgia e potenciais-padrão de semicela

Consultando potenciais-padrão de semicela ($E^\ominus$), é possível explicar por que alguns metais, como ouro, platina, prata e cobre, podem ocorrer na natureza como substâncias simples, enquanto outros são encontrados apenas como substâncias compostas (combinados com outros elementos químicos). Os metais cujo cátion se reduz facilmente à substância simples metálica (por apresentarem altos valores de $E^\ominus$) são aqueles que podem existir como substâncias simples, ou, ainda que ocorram em substâncias compostas, são facilmente reduzidos em processos industriais. Já a obtenção dos metais cujos cátions não tendem a se reduzir facilmente (baixos valores de $E^\ominus$) apresenta um maior grau de dificuldade (Tabela 2). Estudaremos alguns casos importantes a seguir.

Tabela 2 Potenciais-padrão de semicela ($E^\ominus$), a 25 °C, referentes à semirreação de redução de alguns cátions metálicos presentes em estudos de metalurgia.

Equação da semirreação		$E^\ominus$ (V)
$Li^+ + e^- \rightleftarrows Li^0$	Obtidos por meio de redução em processo de eletrólise ígnea.	−3,04
$K^+ + e^- \rightleftarrows K^0$		−2,93
$Ca^{2+} + 2e^- \rightleftarrows Ca^0$		−2,87
$Na^+ + e^- \rightleftarrows Na^0$		−2,71
$Mg^{2+} + 2e^- \rightleftarrows Mg^0$		−2,38
$Al^{3+} + 3e^- \rightleftarrows Al^0$		−1,66
$Zn^{2+} + 2e^- \rightleftarrows Zn^0$	Obtidos por meio da redução do minério utilizando C, CO ou Al^0 como agente redutor.	−0,76
$Cr^{3+} + 3e^- \rightleftarrows Cr^0$		−0,74
$Pb^{2+} + 2e^- \rightleftarrows Pb^0$		−0,13
$Fe^{3+} + 3e^- \rightleftarrows Fe^0$		−0,04
$Sn^{4+} + 4e^- \rightleftarrows Sn^0$		+0,01
$Mn^{4+} + 4e^- \rightleftarrows Mn^0$		+0,02
$Cu^+ + e^- \rightleftarrows Cu^0$	Encontrados não combinados ou, então, facilmente obtidos a partir dos minérios.	+0,52
$Ag^+ + e^- \rightleftarrows Ag^0$		+0,80
$Pt^{2+} + 2e^- \rightleftarrows Pt^0$		+1,18
$Au^{3+} + 3e^- \rightleftarrows Au^0$		+1,50

Aumenta a tendência de o íon se reduzir

Aumenta a nobreza do metal

Aumenta o potencial-padrão ($E^\ominus$)

Fonte consultada: HAYNES, W. M. (ed.). *CRC Handbook of Chemistry and Physics*. 97. ed. Boca Raton: CRC Press, 2017.

Veja comentários sobre essa atividade no Suplemento do Professor.

Atividade em grupo

A mineração é uma atividade de exploração de recursos naturais não renováveis que, se realizada de maneira inadequada, pode acarretar diversos problemas, afetando a saúde de pessoas e causando danos ao meio ambiente e aos seres vivos.

Existem métodos apropriados, com fundamentação em princípios científicos, que possibilitam a realização da atividade mineradora minimizando impactos ambientais.

Pesquisem exemplos de problemas acarretados pela mineração e quais deveriam ser as práticas executadas para que esses problemas não acontecessem ou fossem minorados. Elaborem um vídeo que apresente os problemas pesquisados e que proponha as soluções, usando argumentos éticos, legais e científicos. Procurem pesquisar e incluir no vídeo recursos digitais (simuladores, animações, infografias) que ilustrem as ideias apresentadas e tornem a apresentação mais atraente. (Sugestões de uso de mídias digitais estão disponíveis no início do livro.)

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

MOURA

Ouro, platina, prata, cobre e mercúrio

Esses são metais nobres, isto é, com baixa tendência a se oxidar. Ouro, platina e, em menor grau, prata e cobre são encontrados na natureza como substâncias simples, ou seja, não combinados com outros elementos químicos. Nesse caso, a redução não é necessária, executando-se apenas a purificação para remover as impurezas que porventura acompanhem o metal.

Prata e cobre, além de serem eventualmente encontrados na crosta terrestre como substâncias simples, ocorrem principalmente combinados, em compostos como o sulfeto de prata (Ag_2S) e o sulfeto de cobre(I) (Cu_2S), presentes, respectivamente, nos minérios argentita e calcosita. O mercúrio ocorre naturalmente na forma de sulfeto de mercúrio(II) (HgS), que constitui o minério cinábrio. Nesse caso, a obtenção das substâncias simples é relativamente fácil de ser realizada por meio da **ustulação** desses minérios, que consiste no aquecimento do sulfeto em presença de gás oxigênio (O_2). As reações envolvidas são assim equacionadas:

$$Ag_2S(s) + O_2(g) \rightarrow 2\,Ag(s) + SO_2(g)$$
$$Cu_2S(s) + O_2(g) \rightarrow 2\,Cu(s) + SO_2(g)$$
$$HgS(s) + O_2(g) \rightarrow Hg(l) + SO_2(g)$$

O mercúrio metálico é uma substância líquida nas condições ambientes, que evapora com relativa facilidade, e cujos vapores são muito tóxicos. Ele foi utilizado em termômetros domésticos, aplicação atualmente proibida devido ao risco de contaminar pessoas no caso de quebra do invólucro. Compostos de mercúrio se acumulam no organismo, se ingeridos, absorvidos através da pele ou inalados, e apresentam elevada toxicidade.

Ouro, prata e cobre são usados na confecção de joias, pois apresentam baixa tendência a se oxidar, sobretudo o ouro (Fig. 15). Fios elétricos são fabricados com cobre, por se tratar de um bom condutor de corrente elétrica.

VENUS ANGEL/SHUTTERSTOCK

Figura 15 O ouro é um metal nobre usado em joalheria devido à baixa tendência de se oxidar. Na foto, antigos braceletes de ouro da cultura tailandesa.

Ferro, estanho, zinco e chumbo

Esses metais não são nobres como os anteriores e, por essa razão, é necessário utilizar um agente redutor apropriado para obtê-los a partir de seus minérios. O monóxido de carbono (CO) gasoso é o agente redutor geralmente empregado. Carvão também é utilizado. Na obtenção do ferro a partir do óxido de ferro(III) (Fe_2O_3), presente no minério hematita, a reação pode ser equacionada do seguinte modo:

$$Fe_2O_3(s) + 3\,CO(g) \rightarrow 2\,Fe(s) + 3\,CO_2(g)$$

Denomina-se **siderurgia** o ramo da indústria metalúrgica que visa à obtenção de ferro metálico a partir de seus minérios. A reação é executada nos altos-fornos siderúrgicos, nome que se deve à altura do forno (Fig. 16). Neles é despejada uma mistura de coque (carvão com alto teor de carbono), minério de ferro e calcário (constituído principalmente de carbonato de cálcio, $CaCO_3$).

A combustão do coque produz CO, que reduz o minério de ferro. A temperatura na parte inferior de um alto-forno é da ordem de 1.700 °C. Nessas condições, o ferro está em fase líquida, escorre e se acumula na base do forno. O calcário se decompõe termicamente, produzindo óxido de cálcio (CaO), que reage com as impurezas do minério, sendo que o produto dessa reação flutua no ferro fundido. O ferro líquido, que é escoado para fora do forno a intervalos regulares, chama-se **ferro-gusa** ou **ferro fundido** (Fig. 17), e mesmo depois de solidificado mantém esse nome. Contém cerca de 5% de carbono, sendo muito quebradiço. Após passar por um processo de purificação, pode chegar até cerca de 0,2% de carbono e recebe o nome de **ferro doce** ou **aço doce**.

O ferro com até cerca de 1,5% de carbono é chamado de **aço**. Trata-se da liga metálica (mistura sólida em que predominam metais) mais usada pela nossa civilização. Adequando-se o teor de carbono do aço e adicionando outros metais a ele, são obtidos diversos tipos de aço, destinados a aplicações específicas.

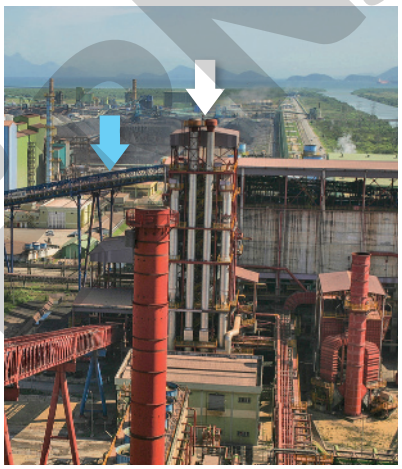

OSCAR CABRAL/TYBA

Figura 16 Indústria siderúrgica, na qual o alto-forno se situa na estrutura indicada pela seta branca. O sistema de trilhos indicado pela seta azul é percorrido por vagões automatizados que alimentam o forno continuamente com minério de ferro, coque e calcário. (Rio de Janeiro, RJ, 2012.)

SAFAKCAKIR/SHUTTERSTOCK

Figura 17 Ferro líquido recém-produzido, incandescente devido à alta temperatura, sendo despejado em molde.

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

EM MODERNA

A produção do estanho é realizada a partir do óxido de estanho(IV) (SnO_2), presente no minério cassiterita, e é similar à do ferro: envolve a redução do SnO_2 com CO. Já a obtenção do zinco, cuja matéria-prima é o sulfeto de zinco (ZnS), extraído do minério denominado blenda, é feita pela ustulação do minério seguida da redução do óxido com CO:

$$ZnS(s) + \frac{3}{2}O_2(g) \rightarrow ZnO(s) + SO_2(g)$$

$$ZnO(s) + CO(g) \rightarrow Zn(s) + CO_2(g)$$

O chumbo é produzido a partir do sulfeto de chumbo(II) (PbS), do minério galena, de modo similar: ustulação seguida de redução com monóxido de carbono.

O ferro é o metal mais utilizado pela nossa civilização, possuindo inúmeras aplicações, sobretudo na forma de aço, em ferramentas, utensílios, motores, chapas, construção civil etc. O estanho é utilizado como folha de flandres ou lata (chapa de ferro revestida de estanho) ou bronze (liga de estanho e cobre). O zinco forma uma liga com cobre chamada de latão (Fig. 18). É também empregado no revestimento do ferro (galvanização), protegendo-o da corrosão. Baterias de automóvel são fabricadas com chumbo. A solda usada em eletrônica é uma mistura de chumbo e estanho.

VITALII BORKOVSKYI/SHUTTERSTOCK

TAPHAT WANGSEREEKUL/SHUTTERSTOCK

Figura 18 O latão é uma liga de cobre e zinco usada, por exemplo, para fazer conexões hidráulicas (A) e fechos do tipo zíper (B) para roupas.

Crômio e manganês

Esses dois metais se assemelham muito aos quatro anteriores no que diz respeito ao fato de não serem nobres e de ser necessário um agente redutor para sua obtenção. Podem ser obtidos, de seus óxidos, por redução com C ou CO. No entanto, de modo indesejável, ficam contaminados com altos teores do carbono proveniente do carvão utilizado no processo. Caso a intenção seja produzir o metal isento de carbono, a operação de purificação pode tornar a obtenção desses metais muito cara.

Uma alternativa para obtê-los isentos de carbono é por meio da chamada **aluminotermia** ou **reação aluminotérmica** (do grego *thermos*, "calor"), que consiste na redução do metal, a partir de seu óxido, utilizando-se alumínio metálico (Al) como redutor. A reação libera muita energia, nas formas de luz e calor. O crômio é obtido por aluminotermia usando como matéria-prima o óxido de crômio(III) (Cr_2O_3), obtido do minério cromita:

$$Cr_2O_3(s) + 2Al(s) \rightarrow 2Cr(s) + Al_2O_3(s)$$

O manganês é fabricado a partir do óxido de manganês(IV) (MnO_2), proveniente do minério pirolusita, por um processo similar: o alumínio se oxida a Al_2O_3 e o MnO_2 se reduz a manganês metálico (Mn). Muitos aços especiais contêm crômio (Fig. 19). Entre eles, o mais conhecido é o aço inox (aço inoxidável). O manganês, em mistura com o aço, torna-o duro e resistente ao desgaste, sendo apropriado à fabricação de ferramentas, trituradoras, colheitadeiras e trilhos de trem.

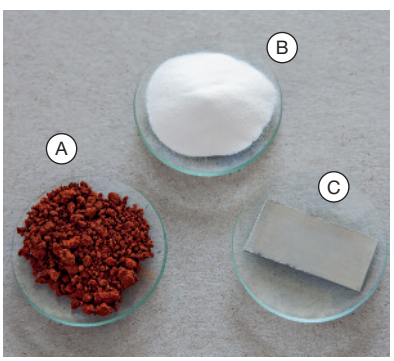
CHANAWIT/SHUTTERSTOCK

Figura 19 Instrumentos cirúrgicos de aço inox, material no qual estão presentes, além de ferro e carbono (aço), níquel e cromo.

Alcalinos, alcalinoterrosos e alumínio

Metais como sódio (alcalino), magnésio (alcalinoterroso) e alumínio possuem baixos potenciais-padrão de semicela, ou seja, não são facilmente reduzidos do respectivo íon para a forma metálica. Não há um agente redutor barato que provoque a redução dos íons Na^+, Mg^{2+} e Al^{3+}. O meio mais econômico de obtê-los é pela redução utilizando corrente elétrica, em uma eletrólise ígnea.

É necessário que as eletrólises sejam ígneas, pois, em meio aquoso, a água é reduzida mais facilmente que os íons Na^+, Mg^{2+} e Al^{3+}. Sódio e magnésio são obtidos por eletrólise ígnea, respectivamente, de cloreto de sódio (NaCl) e de cloreto de magnésio ($MgCl_2$), provenientes da água do mar. O alumínio é produzido por eletrólise ígnea do óxido de alumínio (Al_2O_3), ou alumina, extraído do minério bauxita (Fig. 20). Ligas de magnésio e alumínio são leves e resistentes, sendo usadas na fabricação de aeronaves e rodas para automóveis. O alumínio pode ser empregado na fabricação de panelas, portões, janelas e boxes para banheiro.



DOTTA2

Figura 20 Amostras de bauxita (A), alumina (B) e alumínio (C).

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

MODERNA

Aplicando conhecimentos

Registre as respostas em seu caderno.

Veja respostas e comentários no Suplemento do Professor.

9. Podemos dividir os metais (elementos químicos metálicos) em três grupos, usando como critério a tendência para se oxidar, propriedade relacionada à dificuldade para que se possa obter a respectiva substância simples a partir de minérios.

Considere os metais cujos símbolos estão relacionados a seguir.

Ag, Al, Au, Cr, Cu, Fe, Hg, K, Mg, Mn, Na, Pb, Pt, Sn, Zn

Consulte a tabela periódica, caso considere necessário, para saber o nome desses elementos.

Classifique cada metal da lista apresentada em um dos seguintes grupos:

a) Metais com baixa tendência a se oxidar. Ocorrem naturalmente como substância simples ou são obtidos a partir de minérios por redução relativamente fácil, por exemplo por ustulação do sulfeto.

b) Metais com alta tendência a se oxidar, obtidos por redução do cátion por eletrólise ígnea.

c) Metais com caráter razoavelmente intermediário entre os dos dois grupos anteriores. Sua obtenção é feita pela redução de minérios com redutores apropriados, tais como monóxido de carbono, carvão ou alumínio.

10. Consulte no texto do capítulo as equações químicas da ustulação de sulfetos para obter as substâncias simples metálicas prata, cobre e mercúrio. Transcreva-as no caderno e, empregando o conceito de número de oxidação, determine quais são os elementos que se oxidam e quais são os que se reduzem em cada reação.

11. A reação equacionada a seguir permite a obtenção de ferro em alto-forno de indústria siderúrgica:

$$Fe_2O_3(s) + 3\,CO(g) \rightarrow 2\,Fe(s) + 3\,CO_2(g)$$

a) Que elemento químico se reduz? Justifique, argumentando com base em números de oxidação.

b) Que substância é o redutor (ou agente redutor) nesse processo? Explique também levando em conta números de oxidação.

12. A obtenção de zinco a partir do sulfeto de zinco extraído do minério blenda ocorre por meio de duas reações químicas assim equacionadas:

I. $ZnS(s) + \frac{3}{2}O_2(g) \rightarrow ZnO(s) + SO_2(g)$

II. $ZnO(s) + CO(g) \rightarrow Zn(s) + CO_2(g)$

a) Na etapa I, o elemento químico zinco se oxida ou se reduz? Justifique.

b) Na etapa II, o elemento químico zinco se oxida ou se reduz? Explique.

c) Como se chama o material constituído de ferro revestido de zinco?

d) A liga metálica cujos componentes são o zinco e o cobre é usada, entre outras finalidades, para fabricação de torneiras e de instrumentos musicais. Como é denominada essa liga?

13. A obtenção industrial de estanho metálico, Sn(s), é feita por redução do óxido de estanho(IV), $SnO_2(s)$, presente no minério cassiterita, utilizando monóxido de carbono, CO(g), como redutor.

a) Equacione a reação química envolvida.

b) Qual é o nome dado à liga de estanho e cobre?

14. Quando o óxido de ferro(III), $Fe_2O_3(s)$, e o alumínio metálico, Al(s), reagem, é liberada grande quantidade de energia e a temperatura pode chegar a 3.000 °C. É uma reação aluminotérmica conhecida como *reação termite*, similar à empregada na obtenção de crômio metálico. Esse processo não é utilizado industrialmente para obter ferro metálico, mas é empregado para soldar trilhos de trem em locais em que não há disponibilidade de energia elétrica. Equacione a reação termite.

15. Embora o alumínio metálico tenha sido obtido pela primeira vez na década em 1820, somente em 1886 foi desenvolvido um processo econômico para sua produção. Antes de esse processo ser concebido, o alumínio metálico era mais caro que o ouro.

O grande problema para a obtenção industrial consiste na elevada temperatura de fusão da alumina, $Al_2O_3(s)$, acima de 2.000°C, difícil de atingir e manter em condições industriais controladas a fim de realizar a eletrólise ígnea.

Trabalhando independentemente, o francês Paul Héroult (1863-1914) e o estadunidense Charles Hall (1863-1914) solucionaram o problema em 1886. (Você não leu errado; eles nasceram em um mesmo ano, descobriram independentemente como obter alumínio metálico em um mesmo ano e também morreram em um mesmo ano.)

Héroult e Hall descobriram que a mistura, em proporções adequadas, de alumina e criolita, $Na_3AlF_6(s)$, funde a cerca de 1.000 °C, temperatura possível de atingir e manter durante a eletrólise. (Criolita vem do grego *kryos*, "gelo", e *lithos*, "rocha", isto é, "rocha com aspecto de gelo".)

No método, que hoje é conhecido como **processo Héroult-Hall**, a eletrólise é feita com eletrodos de carbono grafite, sendo que o $O_2(g)$ liberado no ânodo reage com o carbono do eletrodo formando dióxido de carbono gasoso, $CO_2(g)$. Para se obter 1 t de alumínio necessita-se por volta de 2 t de alumina (a partir de 4 t a 5 t de bauxita) e 0,6 t de grafite para os eletrodos.

Considerando as informações dadas e seus conhecimentos sobre eletrólise, faça o que se pede.

a) Equacione a semirreação de redução de íons Al^{3+} a alumínio metálico, que ocorre no cátodo.

b) O carbono grafite usado no ânodo precisa ser reposto periodicamente. Explique por quê.

c) Justifique a razão de ser muito mais barato obter alumínio por meio da reciclagem de objetos desse metal do que a partir da bauxita.

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

PROVA

1. (Uerj) A eletrólise da ureia, substância encontrada na urina, está sendo proposta como forma de obtenção de hidrogênio, gás que pode ser utilizado como combustível.

Observe as equações das semirreações da célula eletrolítica empregada nesse processo, realizado com 100% de rendimento:

- equação da semirreação anódica:

$$CO(NH_2)_2 + 6\,OH^- \rightarrow N_2 + 5\,H_2O + CO_2 + 6\,e^-$$

- equação da semirreação catódica:

$$6\,H_2O + 6\,e^- \rightarrow 3\,H_2 + 6\,OH^-$$

Considere as seguintes informações:

1. A ureia tem fórmula química $CO(NH_2)_2$ e sua concentração na urina é de 20 $g \cdot L^{-1}$.
2. Um ônibus movido a hidrogênio percorre 1 km com 100 g desse combustível.

Apresente a reação global da eletrólise da ureia. Em seguida, calcule a distância, em quilômetros, percorrida por um ônibus utilizando o combustível gerado na eletrólise de dez mil litros de urina.

2. (Enem) Eu também podia decompor a água, se fosse salgada ou acidulada, usando a pilha de Daniell como fonte de força. Lembro o prazer extraordinário que sentia ao decompor um pouco de água em uma taça para ovos quentes, vendo-a separar-se em seus elementos, o oxigênio em um eletrodo, o hidrogênio no outro. A eletricidade de uma pilha de 1 volt parecia tão fraca, e no entanto podia ser suficiente para desfazer um composto químico, a água.

SACKS, O. *Tio Tungstênio*: memórias de uma infância química. São Paulo: Cia. das Letras, 2002.

O fragmento do romance de Oliver Sacks relata a separação dos elementos que compõem a água. O princípio do método apresentado é utilizado industrialmente na

a) obtenção de ouro a partir de pepitas.
b) obtenção de calcário a partir de rochas.
c) obtenção de alumínio a partir de bauxita.
d) obtenção de ferro a partir de seus óxidos.
e) obtenção de amônia a partir de hidrogênio e nitrogênio.

3. (Enem) O alumínio é um metal bastante versátil, pois, a partir dele, podem-se confeccionar materiais amplamente utilizados pela sociedade. A obtenção do alumínio ocorre a partir da bauxita, que é purificada e dissolvida em criolita fundida (Na_3AlF_6) e eletrolisada a cerca de 1.000 °C. Há liberação do gás dióxido de carbono (CO_2), formado a partir da reação de um dos produtos da eletrólise com o material presente nos eletrodos. O ânodo é formado por barras de grafita submergidas na mistura fundida. O cátodo é uma caixa de ferro coberta de grafita. A reação global do processo é:

$$2\,Al_2O_3(l) + 3\,C(s) \rightarrow 4\,Al(l) + 3\,CO_2(g)$$

Na etapa de obtenção do alumínio líquido, as reações que ocorrem no cátodo e ânodo são:

a) cátodo: $Al^{3+} + 3\,e^- \rightarrow Al$
ânodo $\begin{cases} 2\,O^{2-} \rightarrow O_2 + 4\,e^- \\ C + O_2 \rightarrow CO_2 \end{cases}$

b) cátodo $\begin{cases} 2\,O^{2-} \rightarrow O_2 + 4\,e^- \\ C + O_2 \rightarrow CO_2 \end{cases}$
ânodo: $Al^{3+} + 3\,e^- \rightarrow Al$

c) cátodo $\begin{cases} Al^{3+} + 3\,e^- \rightarrow Al \\ 2\,O^{2-} \rightarrow O_2 + 4\,e^- \end{cases}$
ânodo: $C + O_2 \rightarrow CO_2$

d) cátodo $\begin{cases} Al^{3+} + 3\,e^- \rightarrow Al \\ C + O_2 \rightarrow CO_2 \end{cases}$
ânodo: $2\,O^{2-} \rightarrow O_2 + 4\,e^-$

e) cátodo: $2\,O^{2-} \rightarrow O_2 + 4\,e^-$
ânodo $\begin{cases} Al^{3+} + 3\,e^- \rightarrow Al \\ C + O_2 \rightarrow CO_2 \end{cases}$

4. (Enem) Alimentos em conserva são frequentemente armazenados em latas metálicas seladas, fabricadas com um material chamado folha de flandres, que consiste de uma chapa de aço revestida com uma fina camada de estanho, metal brilhante e de difícil oxidação. É comum que a superfície interna seja ainda revestida por uma camada de verniz à base de epóxi, embora também existam latas sem esse revestimento, apresentando uma camada de estanho mais espessa.

SANTANA, V. M. A leitura e a química das substâncias. *Cadernos PDE*. Ivaiporã: Secretaria de Estado de Educação do Paraná (SEED); Universidade Estadual de Londrina, 2010 (adaptado).

Comprar uma lata de conserva amassada no supermercado é desaconselhável porque o amassado pode

a) alterar a pressão no interior da lata, promovendo a degradação acelerada do alimento.
b) romper a camada de estanho, permitindo a corrosão do ferro e alteração do alimento.
c) prejudicar o apelo visual da embalagem, apesar de não afetar as propriedades do alimento.
d) romper a camada de verniz, fazendo com que o metal tóxico estanho contamine o alimento.
e) desprender camadas de verniz, que se dissolverão no meio aquoso, contaminando o alimento.

5. (Unicamp-SP-adaptada) Na reciclagem de embalagens de alumínio, usa-se apenas uma pequena fração da energia despendida na sua fabricação (que é de $3{,}6 \cdot 10^6$ joules por latinha), além do fato de que a bauxita contém (em média) 55% do óxido de alumínio (alumina) e 45% de resíduos sólidos.

Calcule o número de banhos que poderiam ser tomados com a energia necessária para produzir apenas uma latinha de alumínio, estimando em 10 minutos o tempo de duração do banho, em um chuveiro cuja potência é de 3.000 W.

Dado: $W = J \cdot s^{-1}$.

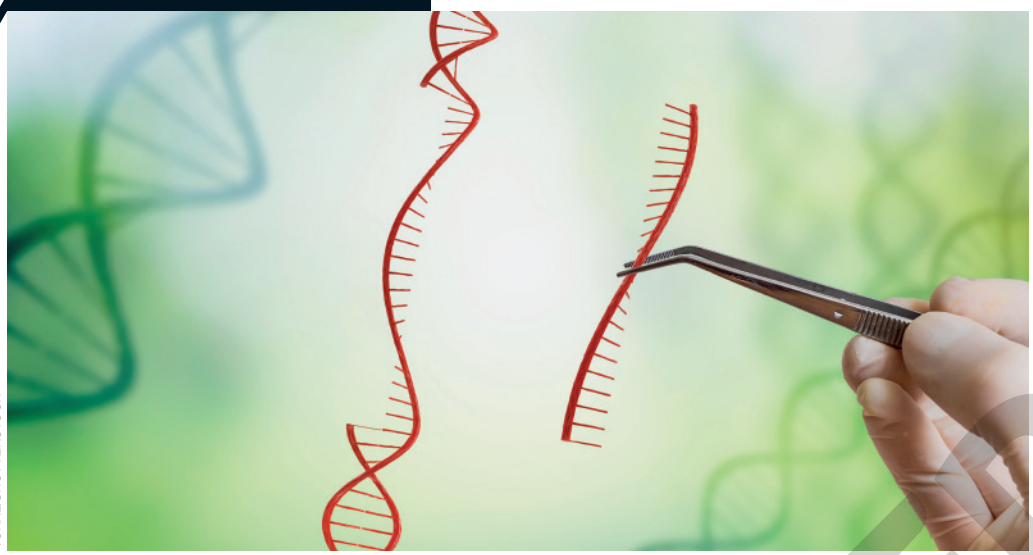
2. c
3. a
4. b

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

MODENA

CAPÍTULO 10

GENÉTICA E BIOTECNOLOGIA NA ATUALIDADE



VCHAL/SHUTTERSTOCK

A fotografia ilustra o princípio de funcionamento da tecnologia do DNA recombinante, popularmente chamada de Engenharia Genética. Ela reúne um conjunto de técnicas bioquímicas que possibilitam aos cientistas, entre outras coisas, inserir informações genéticas humanas em outros seres vivos, os quais se tornam capazes de produzir substâncias genuinamente humanas.

Informações genéticas já podem ser "editadas" como se fossem palavras, em um sofisticado editor de texto molecular. Os avanços na Genética têm incorporado ciência no melhoramento de espécies domésticas, praticado há muito tempo pela humanidade. A Engenharia Genética, ou tecnologia do DNA recombinante, é uma área muito promissora da Biologia e tem possibilitado utilizar bactérias como microfábricas de substâncias genuinamente humanas. Tecnologias advindas do Projeto Genoma Humano tentam adequar tratamentos de saúde ao genoma que a pessoa apresenta. O que nos reserva o futuro?

Em fevereiro de 2001, duas importantes revistas científicas, a inglesa *Nature* e a estadunidense *Science*, publicaram o sequenciamento do genoma humano, isto é, a sequência completa de bases nitrogenadas das moléculas de DNA dos 24 tipos de cromossomo de nossa espécie.

O Projeto Genoma Humano, iniciado formalmente em outubro de 1990, propiciou o desenvolvimento de tecnologias que resultaram em métodos mais eficientes e baratos de análise dos genomas. Hoje, inúmeras espécies tiveram seu genoma sequenciado, abrindo caminho para progressos na Genética e para a aplicação dos novos conhecimentos a tecnologias úteis à humanidade.

Frequentemente jornais, revistas e *sites* de notícias trazem relatos sobre organismos transgênicos, sobre clonagem de animais e sobre identificação molecular de pessoas, temas que, há alguns anos, não passavam de ficção científica. Hoje é possível, por exemplo, transferir genes de pessoas para plantas, de modo que vegetais passem a produzir proteínas genuinamente humanas. Com a implantação de genes humanos em vacas e ovelhas, esses animais passam a secretar no leite proteínas humanas de interesse comercial. Genes selecionados são introduzidos em bactérias, cuja alta capacidade reprodutiva as transforma em verdadeiras fábricas de proteínas, que são utilizadas em pesquisa científica e na produção de medicamentos. Alguns genes de porcos têm sido substituídos por genes humanos com o objetivo de gerar linhagens de suínos capazes de fornecer órgãos para transplantes em pessoas, com menor risco de rejeição. Os avanços têm sido fantásticos e muito mais está por vir.

Os conhecimentos genéticos desenvolvidos nas primeiras décadas do século passado permitiram o desenvolvimento do melhoramento genético de animais e de plantas, com aumento da produtividade agrícola e maior disponibilidade de alimento para as populações. O desenvolvimento da Genética Molecular nas últimas décadas do século XX foi rapidamente aplicado ao desenvolvimento de tecnologias de manipulação do DNA, inaugurando a era da Engenharia Genética.

De olho na BNCC:

- EM13CNT202
- EM13CNT205
- EM13CNT301
- EM13CNT302
- EM13CNT303
- EM13CNT304
- EM13CHS302
- EM13LGG303

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

EM MODERNA

Neste capítulo apresentamos os princípios da manipulação genética executada há séculos por meio de cruzamentos dirigidos entre organismos, o que se convencionou chamar de "melhoramento" genético, além de princípios empregados em algumas técnicas de manipulação do DNA. Comentamos, também, como os conhecimentos na área de Genética têm gerado novas tecnologias, cuja aplicação tem provocado acirrados debates na sociedade, como é o caso dos organismos geneticamente modificados, ou OGMs. Essa e outras aplicações do conhecimento genético, como a identificação de pessoas pelo DNA, envolvem discussões éticas e políticas; para participar conscientemente delas, é necessário dispor das informações corretas. Acompanhe-nos neste capítulo e descubra como a Genética impacta a sociedade contemporânea.

1. Melhoramento genético

A maioria das plantas, animais e demais organismos que compõem a alimentação básica da humanidade foi domesticada e vem sendo "melhorada" em diferentes regiões do mundo, há milhares de anos, muito antes, portanto, das descobertas científicas sobre os mecanismos da herança biológica. Hoje o melhoramento é feito com base no conhecimento científico advindo da Genética.

O **melhoramento genético** consiste em selecionar e aprimorar as qualidades das espécies tendo em vista sua utilização pelos seres humanos. Inicialmente, esse melhoramento era feito apenas de forma intuitiva. Para obter espigas de milho com mais grãos, por exemplo, os agricultores selecionavam para o plantio apenas sementes obtidas de espigas com grande número de grãos. Para aumentar o peso médio das galinhas, empregavam-se como reprodutores os galos e as galinhas maiores e mais pesados.

Os conhecimentos genéticos permitiram o desenvolvimento de novas técnicas, que tornaram possível racionalizar e aperfeiçoar a seleção. A partir das primeiras décadas do século XX, o melhoramento das espécies passou a se basear em métodos científicos.

Ao mostrar que quase todas as qualidades de valor econômico, como a fertilidade de animais e plantas, o tamanho e a quantidade dos grãos, a produção de carne, de leite e de ovos, a resistência a doenças etc., são condicionadas por genes que interagem significativamente com fatores ambientais, a Genética deu importante contribuição para a agricultura e para a pecuária. O conhecimento genético tornou possível desenvolver técnicas mais eficientes para a seleção e o melhoramento de características de animais e plantas com importância econômica (Fig. 1).

Veja comentários sobre essa atividade no Suplemento do Professor.

Atividade em grupo

O trigo e o arroz são alimentos tão importantes para a humanidade e não podem estar sujeitos ao clima ou a pragas. Desafios como fungos, secas ou excesso de chuva são uma constante ameaça para essas lavouras. As pesquisas a partir da manipulação de genes que definem características adaptativas de uma planta podem melhorar sua adaptação aos sistemas de produção e aos estresses bióticos. Tendo isso em vista, pesquise com um grupo de colegas a seguinte questão: "O melhoramento do trigo, do arroz e de outras espécies tem propiciado aumento da produção e barateamento dos insumos agrícolas e pecuários?". O grupo deve resumir a pesquisa em um texto de no máximo uma página, se possível apresentando também dados expressos em forma de tabelas, gráficos etc.

DORA ZETT/SHUTTERSTOCK

Figura 1 Diversas raças de cães foram obtidas por criadores de animais que realizavam cruzamentos seletivos com o objetivo de aprimorar e/ou obter características que pudessem ter relevância comercial.

Problemas decorrentes do melhoramento genético

Um dos problemas decorrentes do melhoramento genético é a produção de linhagens com pouca variabilidade gênica, ou seja, com poucas diferenças genéticas entre os indivíduos. Isso pode reduzir as chances de essas linhagens se adaptarem a eventuais alterações ambientais. Os antigos agricultores, mesmo antes do desenvolvimento da Genética, já conheciam esse problema.

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

MODERNA

No cultivo de trigo, por exemplo, era comum o plantio de diversas variedades, o que aumentava a chance de preservar ao menos parte da lavoura em caso de seca, enchente ou pragas. Essa técnica milenar tem sido negligenciada atualmente; hoje predominam as lavouras de monocultura, em que grandes áreas são ocupadas com uma única variedade da espécie. Apesar de as monoculturas produzirem lucros maiores em curto prazo, há o risco de uma praga dizimar completamente uma plantação sem encontrar indivíduos resistentes, já que todas as plantas são geneticamente muito semelhantes.

Um exemplo histórico de desastre com uma monocultura ocorreu em meados do século XIX, na Irlanda, onde se cultivava uma única variedade de batata, um dos principais alimentos da população na época. Uma doença causada por microrganismos dizimou, em curtíssimo prazo, praticamente todas as plantações de batata do país. O resultado foi catastrófico, levando milhões de pessoas à morte por causa da fome.

Em 1970, uma doença provocada por um fungo atacou as culturas de milho híbrido no sul dos Estados Unidos, reduzindo à metade a safra prevista. Estudos realizados pelo governo estadunidense mostraram que as culturas de milho eram geneticamente uniformes e muito vulneráveis a doenças. Essas culturas foram recuperadas com a introdução de um alelo para resistência ao fungo causador da doença, obtido em uma variedade de milho proveniente da agricultura de pequeno porte na Colômbia.

Heterose, ou vigor híbrido

Em 1909 o geneticista estadunidense George H. Shull (1874-1954) percebeu que o cruzamento entre duas variedades de milho produzia plantas mais vigorosas, mais resistentes a doenças e com espigas maiores e mais uniformes do que as variedades parentais. Essas plantas foram denominadas **híbridas**, termo utilizado para designar o produto do cruzamento entre linhagens diferentes de uma mesma espécie. No milho, plantas híbridas geralmente apresentam qualidade superior em relação às linhagens puras. Isso se explica porque, diferentemente das linhagens puras, que são altamente homozigóticas, as linhagens híbridas apresentam diversos genes em condição heterozigótica. Esse fenômeno recebe o nome de **heterose**, ou vigor híbrido.

Conhecer a base genética do vigor híbrido no milho permitiu aos agricultores a produção de duplos-híbridos, isto é, híbridos obtidos de quatro linhagens homozigóticas parentais. Esse tipo de cruzamento teve tanto sucesso que hoje a maior parte do milho consumido no mundo é duplo-híbrido. O fenômeno da heterose não se restringe ao milho, ocorrendo também em outras plantas, como o morango, o tomate, o algodão e a cebola, e em espécies animais, como a galinha doméstica, por exemplo (Fig. 2).

2. Engenharia Genética

Engenharia Genética, ou tecnologia do DNA recombinante, refere-se a um conjunto de técnicas de manipulação do DNA que permitem isolar e multiplicar genes, além de possibilitar transferências de material genético de um indivíduo para outro, mesmo entre espécies distintas. Os principais organismos experimentais que propiciaram o desenvolvimento da Engenharia Genética foram as bactérias e os vírus. Graças à sua relativa simplicidade, esses organismos foram e ainda são os materiais biológicos mais adequados aos experimentos que têm melhorado nossa compreensão sobre o mecanismo básico de funcionamento dos genes.

Veja comentários sobre essa atividade no Suplemento do Professor.

Dialogando com o texto

O desafio nesta atividade é obter informações em diversas fontes de pesquisa, inclusive professores de História, sobre a grande fome da Irlanda que ocorreu por volta das décadas de 1840 e 1850. Além do aspecto biológico (a falta de variabilidade da batata e o suposto ataque de um fungo), houve também componentes de rivalidade entre irlandeses e ingleses. Escreva um texto a respeito do assunto que contenha diversos tipos de informação, em formato de documentário, que possa ser lido como em noticiários de rádio e TV. As locuções dos textos podem ser gravadas na forma de vídeos ou *podcasts* e divulgadas para os colegas de classe e da escola. (Sugestões de uso de mídias digitais estão disponíveis no início do livro.)

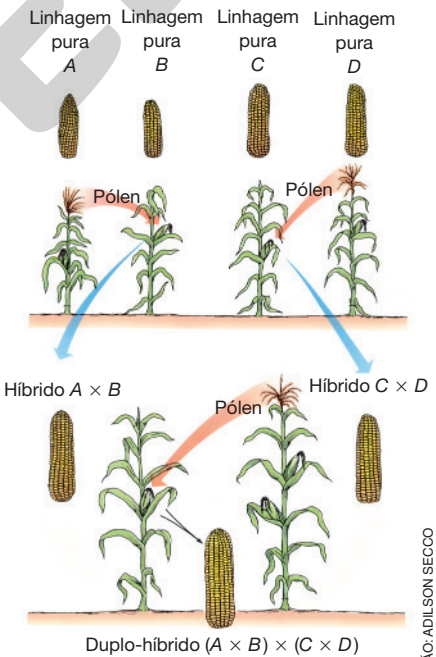


Figura 2 Representação esquemática dos cruzamentos utilizados para a obtenção do milho duplo-híbrido a partir de quatro linhagens puras parentais. (Representação fora de proporção; cores meramente ilustrativas.)

Fonte: ilustração dos autores.

ILUSTRAÇÃO: ADILSON SECCO

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

MODELO

Em condições ideais, uma bactéria é capaz de se duplicar a cada 30 minutos, ou menos. Em um dia poderia ocorrer, teoricamente, cerca de 48 duplicações. Calculando quantos descendentes haveria no dia seguinte, usando a fórmula 2^n (*n* é o número de duplicações), chegamos ao resultado de 281.474.976.710.656 novas bactérias. Se não ocorrerem mutações em alguns indivíduos, todos os descendentes de uma única bactéria inicial serão geneticamente idênticos, constituindo o que os cientistas chamam de **clone**. Esse termo (do grego *klón*, "broto") se refere a um conjunto de indivíduos originados a partir de um único genitor por meio de reprodução assexuada.

Recentemente, o significado dos termos "clone" e "clonagem" foi transportado para a vida cotidiana, falando-se em clonagem de telefones celulares e de cartões de crédito. No âmbito da Genética Molecular, clonar é realizar uma ou várias cópias de genes ou de células de um organismo. Por extensão, clonar telefones celulares ou cartões de crédito consiste em se apoderar dos códigos únicos utilizados por esses dispositivos. Note como a aplicação de conhecimentos e de tecnologias faz com que as pessoas se apropriem de conceitos antes restritos aos laboratórios de pesquisa.

"Tesouras" moleculares: enzimas de restrição

No início dos anos 1970 descobriu-se que certas enzimas bacterianas eram capazes de cortar moléculas de DNA em pontos específicos. Essas enzimas, denominadas **endonucleases de restrição**, são consideradas defesas desenvolvidas por bactérias contra vírus bacteriófagos, ao longo de sua evolução.

As endonucleases de restrição agem como "tesouras" moleculares, reconhecendo sequências específicas de bases em moléculas de DNA e cortando-as exatamente nesses pontos. Há vários tipos de endonuclease de restrição, todas elas altamente específicas: cada uma reconhece e corta o DNA apenas onde houver uma sequência específica de nucleotídios, em geral constituída por 4 ou 6 pares de bases nitrogenadas (Fig. 3).

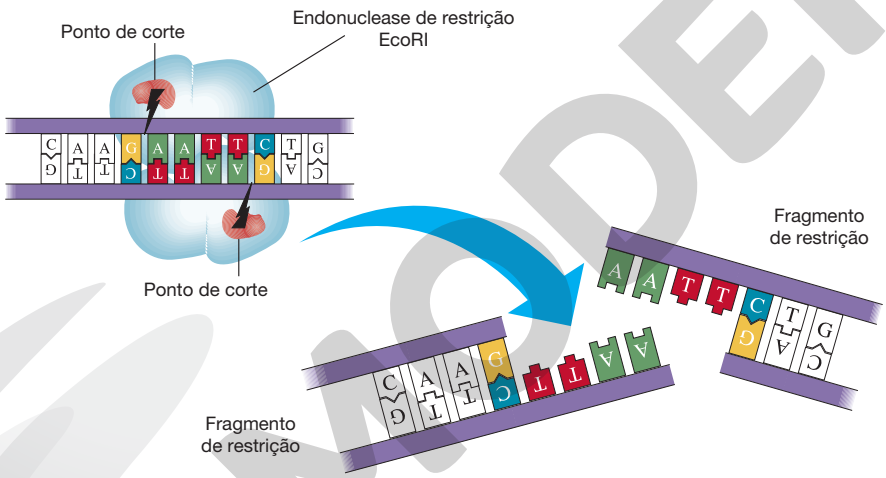


ILUSTRAÇÃO: ADILSON SECCO

Figura 3 Representação esquemática do modo de ação da endonuclease de restrição EcoRI (lê-se "eco erre um"). As sequências de corte onde atua a EcoRI estão destacadas em cor na ilustração. A ação dessa enzima corta o DNA em dois pedaços, denominados fragmentos de restrição. (Representação fora de proporção; cores meramente ilustrativas.)

Fonte: ilustração dos autores.

A descoberta das endonucleases de restrição trouxe grandes avanços à Genética. Os cientistas logo passaram a utilizar essas enzimas para cortar moléculas de DNA de forma controlada e previsível, o que possibilitou análises detalhadas do material genético.

Por exemplo, um conjunto de moléculas idênticas de DNA submetidas a determinada endonuclease de restrição resulta em fragmentos de tamanhos iguais, uma vez que todas as moléculas de DNA da amostra foram cortadas nos mesmos pontos.

Em contrapartida, um conjunto de moléculas de DNA com diferentes sequências de nucleotídios, quando cortadas por determinada endonuclease de restrição, originam fragmentos de restrição de diferentes tamanhos. A análise dos fragmentos obtidos a partir dos diferentes tipos de moléculas cortadas revela um padrão típico para cada DNA analisado. Isso permite identificar a procedência de determinado DNA, o que tem sido aplicado em situações como a solução de crimes e a identificação da paternidade duvidosa.

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

MODERNA

3. Clonagem de DNA e Engenharia Genética

Plasmídios como vetores da clonagem

Plasmídios são pequenas moléculas circulares de DNA geralmente presentes no citoplasma de bactérias; apesar de não serem essenciais à vida, os plamídios podem conferir vantagens à bactéria que os contêm. O DNA plasmidial pode conter genes responsáveis pela destruição de substâncias tóxicas, como antibióticos por exemplo.

Os plasmídios podem estar presentes em uma ou mais cópias em uma bactéria, e apresentam a capacidade de se multiplicar independentemente do cromossomo bacteriano. Os plasmídios são transmitidos às bactérias-filhas quando a célula-mãe se duplica. No início da década de 1970, os pesquisadores estadunidenses Stanley Norman Cohen (1935-) e Herbert Boyer (1936-) cortaram plasmídios bacterianos em um ponto específico e inseriram, no DNA plasmidial, um pedaço de DNA de outro organismo. Os cortes foram realizados com endonucleases de restrição, e as emendas do DNA do plasmídio com o DNA enxertado com uma enzima bacteriana denominada **ligase do DNA**.

O resultado dessa engenharia molecular foi um **plasmídio recombinante**, que continha o DNA enxertado. Esse plasmídio foi incorporado por bactérias vivas que, ao se multiplicarem normalmente, transmitiram o plasmídio recombinante às bactérias-filhas. A partir de uma única célula bacteriana que contém plasmídios recombinantes foi obtido um clone, constituído por bilhões de bactérias idênticas, cada uma com uma ou mais cópias do plasmídio recombinante incorporado.

O conjunto de moléculas oriundas da multiplicação de um DNA recombinante, gerado pela multiplicação bacteriana, constituem um clone molecular. Por isso, a metodologia utilizada para multiplicar DNA dessa maneira é denominada **clonagem molecular** (Fig. 4).

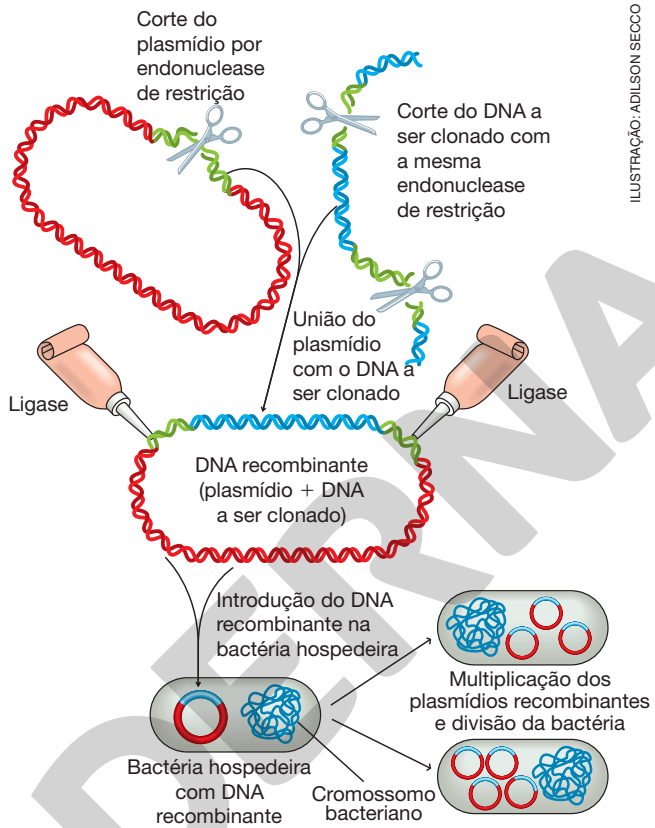


ILUSTRAÇÃO: ADILSON SECCO

Figura 4 Representação esquemática da técnica de clonagem molecular em um plasmídio bacteriano.
A bactéria hospedeira multiplica-se, originando um clone com diversas cópias do DNA enxertado. (Representação fora de proporção; cores meramente ilustrativas.)

Fonte: ilustração dos autores.

Vírus bacteriófagos como vetores da clonagem de DNA

A clonagem de DNA também pode ser realizada por meio de vírus que se multiplicam em bactérias, os bacteriófagos, ou fagos. O fago apresenta um envoltório de proteína constituído por duas peças principais, a "cabeça" e a "cauda". No interior da cabeça, encontra-se o cromossomo do fago, constituído por uma longa molécula de DNA de cadeia dupla altamente compactada.

Ao encontrar uma bactéria que lhe sirva de hospedeira, o fago adere à parede bacteriana por meio da cauda. Em seguida, perfura a parede da bactéria e injeta seu DNA no citoplasma bacteriano; a cabeça e a cauda do fago não penetram na célula. No interior da célula bacteriana, o DNA do fago inicia sua multiplicação, produzindo dezenas de cópias idênticas de si mesmo. Ao mesmo tempo, genes do DNA invasor comandam a síntese das proteínas virais. Após algum tempo, às vezes menos de 20 minutos, a bactéria infectada arrebenta e libera dezenas de novos fagos.

O vírus mais utilizado como vetor de clonagem molecular é o **fago lambda**, um dos bacteriófagos mais bem conhecidos do ponto de vista genético. Todos os genes desse fago estão mapeados em seu cromossomo e sabe-se a sequência exata em que cada um deles entra em atividade depois de penetrar na bactéria.

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

O fago lambda tem genes essenciais, indispensáveis à sua multiplicação, e genes não essenciais, cuja presença não é essencial para a reprodução viral. Os genes essenciais, localizados nas pontas do cromossomo do vírus, são responsáveis pela produção das proteínas do envoltório viral, das enzimas que atuam na duplicação do DNA viral, das enzimas de empacotamento do DNA e de algumas outras proteínas importantes. Os genes não essenciais localizam-se na região mediana do cromossomo viral e se relacionam à recombinação entre moléculas de DNA viral, não interferindo na multiplicação do vírus.

Esse conhecimento possibilitou o uso do fago lambda como vetor de clonagem molecular. A região mediana do cromossomo viral, na qual se localizam os genes não essenciais, pode ser cortada por endonucleases e removida; em seu lugar, pode ser enxertado um segmento de DNA de qualquer outro organismo. O DNA recombinante assim formado origina uma partícula viral capaz de infectar e se multiplicar em bactérias hospedeiras. Desse modo, a partir de uma única partícula viral, é possível obter bilhões de partículas idênticas, cada uma delas contendo uma cópia do fragmento de DNA enxertado no cromossomo do vírus (Fig. 5).

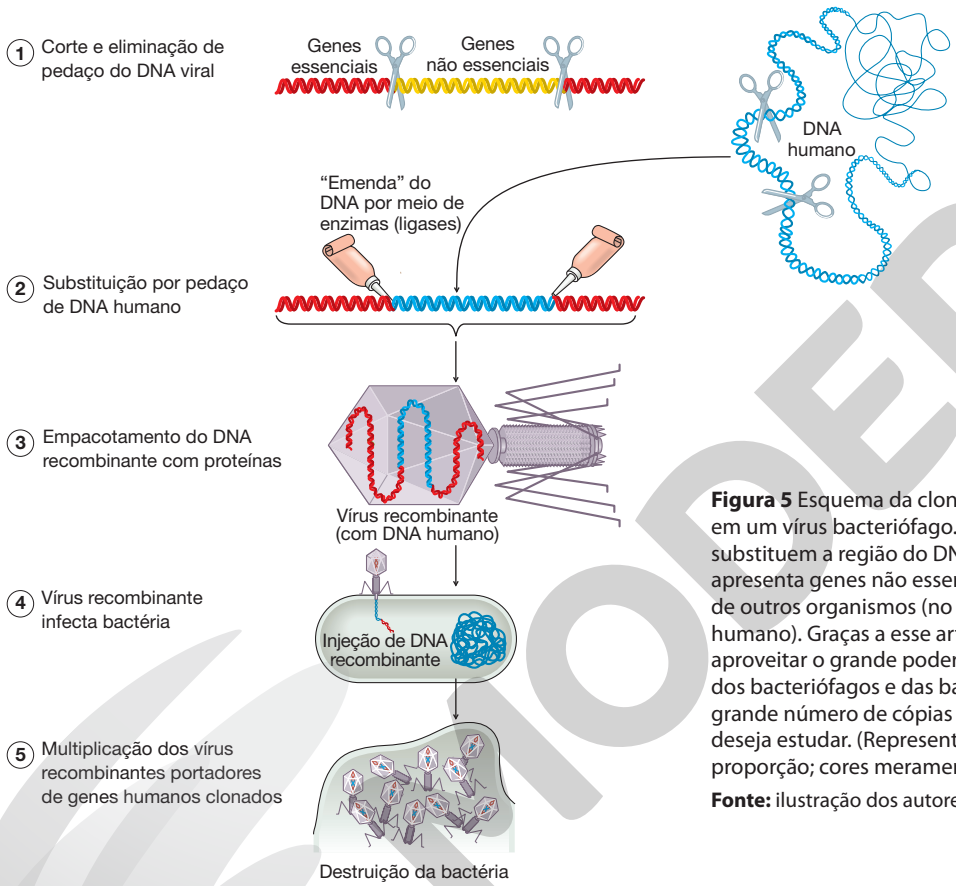


ILUSTRAÇÃO: ADILSON SECCO

Figura 5 Esquema da clonagem molecular em um vírus bacteriófago. Os cientistas substituem a região do DNA viral que apresenta genes não essenciais por DNA de outros organismos (no esquema, DNA humano). Graças a esse artifício, é possível aproveitar o grande poder de multiplicação dos bacteriófagos e das bactérias para obter grande número de cópias do DNA que se deseja estudar. (Representação fora de proporção; cores meramente ilustrativas.)

Fonte: ilustração dos autores.

Bactérias como "fábricas" de proteínas humanas

O desenvolvimento da clonagem molecular tornou possível isolar genes codificadores de proteínas humanas, enxertá-los em plasmídios bacterianos e introduzi-los em bactérias, transformando-as em verdadeiras fábricas de proteínas genuinamente humanas, embora sintetizadas pelo metabolismo bacteriano.

Em 1977 a empresa de biotecnologia Genentech, criada pelo bioquímico estadunidense Herbert Boyer (1936-) e pelo empresário também estadunidense Robert Swanson (1947-1999), conseguiu produzir pela primeira vez, em bactérias, o hormônio humano **somatostatina**. Trata-se de um hormônio proteico formado por 14 aminoácidos e que desempenha diversas funções no organismo humano, como modular a produção de hormônios pancreáticos, inibir a produção de certos hormônios pela hipófise, atuar como anti-hemorrágico etc., apresentando grande interesse farmacêutico. Nesse experimento pioneiro, um segmento de DNA com 60 pares de nucleotídios de comprimento, no qual havia a codificação para os 14 aminoácidos da somatostatina, foi enxertado em um plasmídio e introduzido em bactérias. A partir dessas bactérias, foram obtidos clones bacterianos que produziam o hormônio.

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

MODERNA

No ano seguinte foi clonado o gene codificador da **insulina** humana, hormônio cuja deficiência no organismo está associada ao diabetes melito. Essa foi a segunda proteína humana a ser produzida em bactérias e teve sua comercialização para uso terapêutico aprovada em 1982. Até então, o tratamento de diabéticos era feito com hormônio extraído de pâncreas de bois e de porcos obtidos em matadouros. Apesar de a insulina desses animais ser muito semelhante à humana, ela pode desencadear problemas alérgicos. A insulina produzida em bactérias transformadas pelos plasmídios recombinantes, por sua vez, é idêntica à humana e não provoca alergia, tendo substituído quase completamente a insulina de origem não humana. Hoje diversas proteínas humanas comercializadas como medicamentos são produzidas por bactérias geneticamente modificadas (Fig. 6).

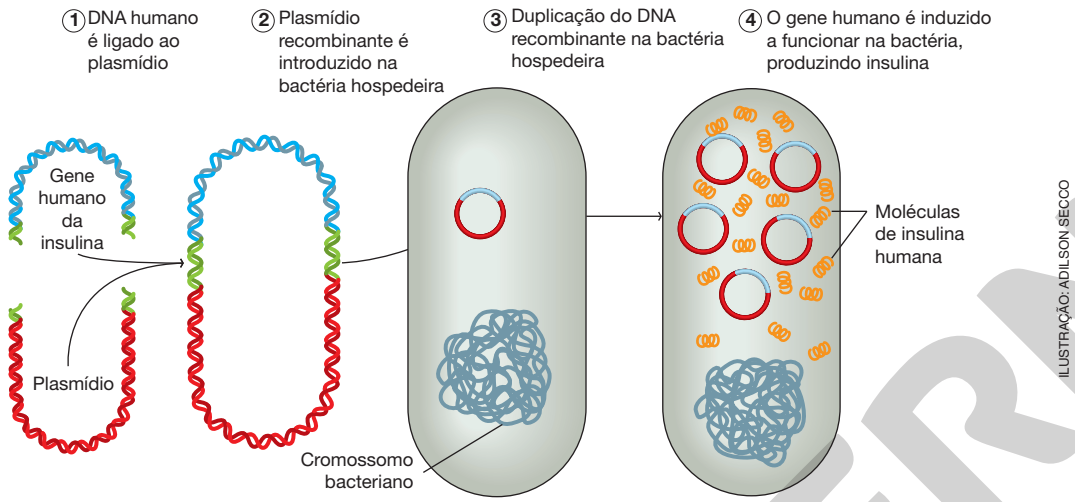


ILUSTRAÇÃO: ADILSON SECCO

Figura 6 Representação esquemática da clonagem do gene da insulina humana. Segmentos de DNA que codificam a produção da insulina humana são enxertados em plasmídios e introduzidos em bactérias, de modo que estas passam a produzir moléculas de insulina genuinamente humana. (Representação fora de proporção; cores meramente ilustrativas.)

Fonte: ilustração dos autores.

Aplicando conhecimentos

Registre as respostas em seu caderno.

1. Como é denominado o conjunto de técnicas que visam à seleção e ao aprimoramento das qualidades dos organismos úteis à nossa espécie?

1. c

a) Clonagem.
b) Engenharia Genética.
c) Melhoramento genético.
d) Vigor híbrido ou heterose.

2. O que é Engenharia Genética?

2. a

a) Conjunto de procedimentos empregados na manipulação do DNA.
b) Processo por meio do qual os genes produzem proteínas.
c) Ramo da Biologia que estuda os genes humanos.
d) Ramo especializado na produção de equipamentos científicos.

4. Misturando genes entre espécies: transgênicos

Organismos portadores de DNA de espécies diferentes da sua, como as bactérias utilizadas na produção de proteínas humanas, são chamados de **transgênicos**, pois apresentam material genético de duas (ou mais) espécies.

As modernas técnicas de manipulação do DNA possibilitam também a transferência de genes entre organismos eucarióticos, como animais e plantas. Nesse contexto, popularizou-se a expressão **organismo geneticamente modificado** (OGM) como sinônimo de transgênico.

Os organismos transgênicos são atualmente indispensáveis em diversos estudos acadêmicos que visam compreender melhor a estrutura e o funcionamento dos seres vivos. Eles têm sido também uma importante ferramenta na área de melhoramento genético, permitindo a geração de novas linhagens de animais e de plantas potencialmente mais lucrativas, como linhagens de soja resistentes a herbicidas e milho e algodão resistentes a pragas.

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

Como são produzidos os animais transgênicos?

O primeiro transplante bem-sucedido de genes entre animais foi realizado em 1981. Fragmentos de DNA de coelho contendo um gene codificador da hemoglobina foram injetados em zigotos de camundongo.

Como resultado, alguns dos camundongos originados desses zigotos apresentavam hemoglobina de coelho em suas hemácias. Isso mostrou que o DNA de coelho injetado no ovo de camundongo incorporou-se a um cromossomo, tendo sido transmitido ao longo das gerações celulares pelas mitoses ocorridas ao longo do desenvolvimento. Quando os camundongos transgênicos foram cruzados entre si, o gene de coelho incorporado ao seu genoma foi transmitido aos descendentes e, a partir daí, passou a ocorrer transmissão de geração em geração, segundo as leis básicas da herança genética.

Na produção de transgênicos de mamíferos são utilizados células-ovo originados por fecundação *in vitro,* processo em que óvulos retirados das fêmeas são colocados em um líquido apropriado contendo espermatozoides.

O processo da fecundação é acompanhado ao microscópio e segmentos do DNA que se deseja incorporar são injetados no zigoto recém-formado com uma finíssima agulha de vidro, acoplada a uma aparelhagem de micromanipulação. Os embriões originados dos zigotos injetados são implantados nos úteros de fêmeas, onde se desenvolvem.

Em geral, uma ou mais moléculas do DNA injetado incorporam-se aos cromossomos do zigoto e são transmitidas às células-filhas nas mitoses que se sucedem ao longo do desenvolvimento embrionário; assim, todas as células do indivíduo conterão o DNA transplantado. Quando o organismo transgênico se reproduz, os genes incorporados são transmitidos à descendência como qualquer outro gene. (Fig. 7).

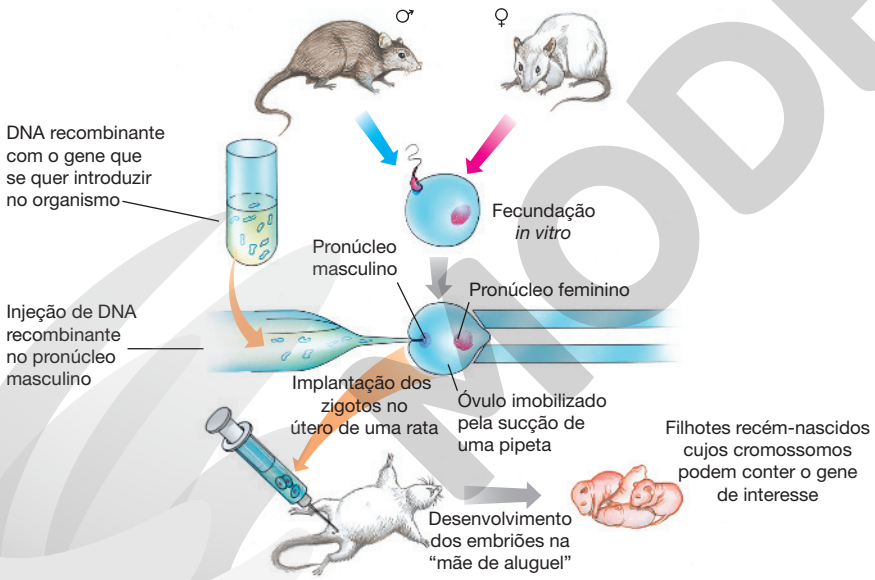


ILUSTRAÇÃO: JURANDIR RIBEIRO

Figura 7 Representação esquemática das etapas de produção de ratos transgênicos. O DNA injetado no óvulo está contido no núcleo do espermatozoide, o pronúcleo masculino. No interior do óvulo ocorre fusão do pronúcleo masculino com o núcleo do óvulo, o pronúcleo feminino, originando o zigoto, que dá origem ao embrião. (Representação fora de proporção; cores meramente ilustrativas.)

Fonte: ilustração dos autores.

Veja comentários sobre essa atividade no Suplemento do Professor.

Atividade em grupo

Nesta atividade, a sugestão é que você forme um grupo com colegas para dividir as funções de pesquisar, na internet o tema "o emprego de organismos geneticamente modificados na alimentação humana". É possível encontrar tanto opiniões favoráveis quanto contrárias a esse emprego. Procure se informar a respeito das opiniões favoráveis e contrárias sobre o tema, discutindo com os membros de seu grupo. O grupo poderia escolher relator, que ficaria encarregado de redigir, com a ajudas dos colegas, um texto em estilo argumentativo defendendo ou condenando a utilização de transgênicos na alimentação humana.

Transgênicos entre animais e plantas

A manipulação genética de plantas é relativamente mais fácil que a de animais, em certos casos sendo possível obter uma planta completa a partir de uma única célula vegetal geneticamente transformada. O plasmídio da bactéria *Agrobacterium tumefaciens*, por exemplo, é capaz de se integrar com facilidade a cromossomos de plantas e tem sido muito utilizado como vetor de clonagem.

Outra técnica empregada para a introdução de DNA em células vegetais é a **biobalística**, que consiste no bombardeamento de células da planta com micropartículas de tungstênio recobertas por DNA contendo o gene de interesse. As micropartículas penetram na célula vegetal, onde o DNA se liberta e migra para o

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

MODERNA

núcleo, incorporando-se aos cromossomos. A colocação de hormônios nas culturas induz as células vegetais a se multiplicar, originando novas plantas; as que incorporaram o DNA introduzido geram plantas transgênicas.

Um experimento interessante de transgenia em vegetais foi a introdução de um gene do inseto vaga-lume em uma planta de tabaco. O gene inserido na planta tinha informação para a síntese da luciferase, enzima que catalisa a reação química produtora de luz (bioluminescência), que os vaga-lumes utilizam para atrair parceiros na fase de acasalamento.

O gene da luciferase do vaga-lume foi introduzido em um plasmídio e clonado em bactérias. Desse modo, obteve-se grande quantidade de cópias do gene, que, depois de purificado, foi injetado em células da planta do tabaco. Graças às técnicas de cultura de tecidos vegetais, bem conhecida dos botânicos, obteve-se uma planta completa a partir de uma única célula transformada. O gene da luciferase do vaga-lume havia se incorporado a um dos cromossomos da planta e foi transmitido a todas as suas células. A coroação do experimento veio com o resultado: ao ser regada com luciferina, enzima que age sobre a luciferase provocando a liberação de luz, todas as partes da planta de tabaco transgênico passaram a emitir uma tênue luz esverdeada (Fig. 8).

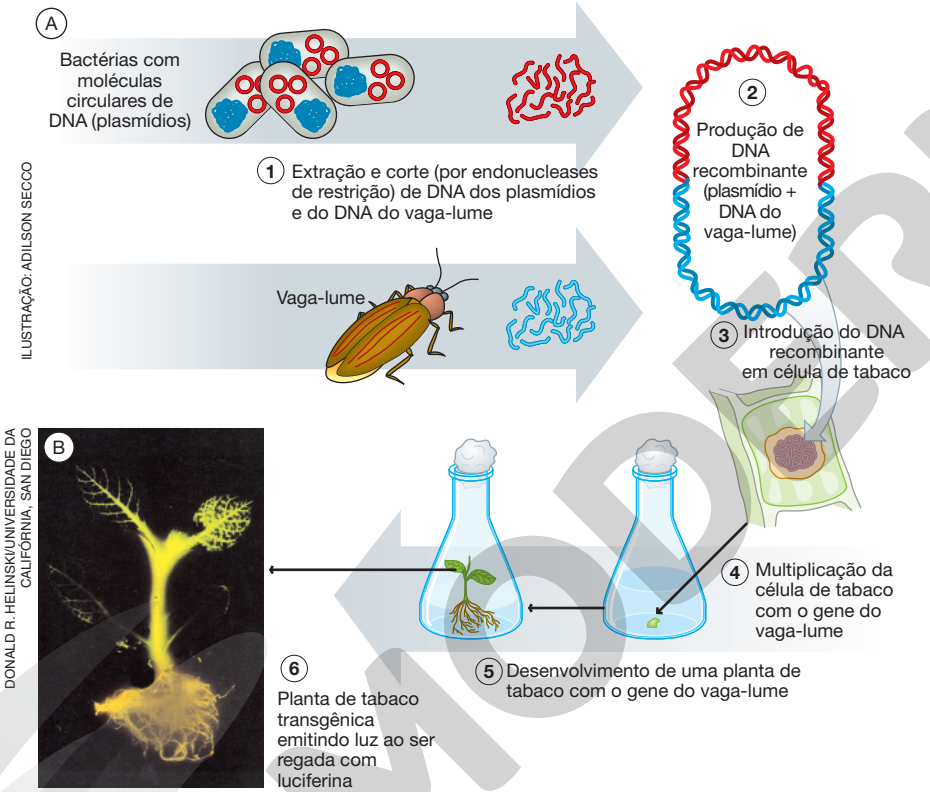


ILUSTRAÇÃO: ADILSON SECCO

DONALD R. HELINSKI/UNIVERSIDADE DA CALIFÓRNIA, SAN DIEGO

Figura 8
(A) Representação esquemática da produção de uma planta de tabaco (*Nicotiana tabacum*) transgênica, bioluminescente em razão da introdução de um gene de vaga-lume. (Representações fora de proporção; cores meramente ilustrativas.) (B) Fotografia tirada no escuro após a planta transgênica ser regada com solução de luciferina. A fluorescência da planta mostrou que o gene da luciferase estava ativo e produzindo a enzima responsável pela bioluminescência.
Fonte: ilustração dos autores.

Nos últimos anos, organismos transgênicos vegetais tornaram-se amplamente conhecidos por parte da população, principalmente devido a polêmicas sobre o plantio de certa variedade transgênica de soja. As plantas transgênicas de soja recebem um gene bacteriano que confere resistência a determinadas substâncias herbicidas, utilizadas para matar ervas daninhas que crescem nos campos de cultivo. Cultivar soja resistente a herbicidas possibilita o emprego dessas substâncias para eliminar a maioria das outras plantas, menos a soja transgênica, o que diminui o trabalho de limpeza do campo de cultivo; além disso, sem as plantas competidoras, a produtividade da lavoura de soja aumenta.

Outra planta transgênica muito comercializada atualmente é a variedade de milho Bt, que tem incorporado em seu genoma um gene da bactéria *Bacillus thuringiensis*, utilizada na agricultura como pesticida biológico. Com a incorporação desse gene, as células do milho produzem uma substância tóxica para os insetos, porém inofensiva para os animais vertebrados, nosso caso, e de animais domésticos alimentados com milho. O cultivo da variedade Bt permite drástica redução no uso de defensivos agrícolas para o combate de insetos-praga.

A comercialização de derivados de organismos transgênicos só é liberada após diversos testes para comprovar sua segurança, tanto no que se refere à saúde de pessoas e de animais quanto em relação ao ambiente. No Brasil, as atividades e os projetos que envolvem OGM e seus derivados são regulados pela Comissão Técnica Nacional de Biossegurança (CTNBio), criada pela Lei n. 11.105, de 24 de março de 2005.

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

A CTNBio já aprovou o plantio comercial de diversas plantas transgênicas, entre elas a soja, o milho e o algodão, cujas áreas cultivadas aumentam ano a ano. Cerca de 80% da soja produzida no Brasil, em 2011, era transgênica. Nesse mesmo ano, o país alcançou o segundo lugar no cultivo de plantas transgênicas no *ranking* mundial dos 29 países produtores, ficando atrás apenas dos Estados Unidos. Entretanto, em 2019 os Estados Unidos foram ultrapassados pelo Brasil no cultivo de soja transgênica.

Aplicando conhecimentos

Registre as respostas em seu caderno.

3. A que se refere o termo clonagem molecular?

3. d **a)** À duplicação normal do cromossomo bacteriano.

b) A um mecanismo de defesa das bactérias contra vírus bacteriófagos.

c) A um processo utilizado para atenuar vírus letais.

d) A uma técnica para multiplicar segmentos específicos de DNA.

4. Uma ovelha gerada na Inglaterra, Tracy, tinha incorporado em um de seus cromossomos o gene para a enzima antitripsina humana; tratava-se, portanto, de um

4. d **a)** clone.

b) híbrido.

c) plasmídio.

d) transgênico.

5. Desvendando o genoma humano

Como vimos nos itens anteriores, graças a metodologias que permitem cortar moléculas de DNA em pedaços definidos e separá-los uns dos outros, os cientistas têm conseguido induzir a multiplicação dos fragmentos de DNA isolados de modo a obter uma infinidade de cópias de cada um deles. Hoje se sabe como unir pedaços de DNA de origens diferentes, produzindo as chamadas "moléculas-quimeras", que podem ser inseridas em células vivas modificando seu funcionamento e ser transmitidas para as gerações seguintes.

As tecnologias de manipulação do DNA abrem novas e promissoras possibilidades para a **geneterapia**, ou terapia gênica, em que genes normais podem ser injetados em células doentes para transformá-las em células sadias. A geneterapia provavelmente poderá, futuramente, tratar e até curar doenças hereditárias humanas hoje incuráveis.

O desenvolvimento das pesquisas sobre DNA tornou possível o Projeto Genoma Humano, ambiciosa empreitada científica voltada a conhecer e caracterizar todo o material genético de nossa espécie, mapeando-o nos cromossomos e determinando seu modo de funcionamento. Trata-se de um enorme desafio, tendo em vista que os primeiros resultados do projeto já revelaram que o sistema biológico é bem mais complexo do que se imaginava; pelo visto, ainda será necessário muito estudo para compreendermos os fundamentos da vida.

O Projeto Genoma Humano

O **Projeto Genoma Humano** começou oficialmente em outubro de 1990, com a publicação de um projeto de pesquisa cujo objetivo principal era determinar a sequência de todos os nucleotídios dos 24 tipos de cromossomos constituintes do genoma humano (os 22 autossomos e os cromossomos sexuais X e Y). Outro objetivo do projeto era a identificação de todos os genes humanos.

O projeto foi iniciado por duas agências governamentais estadunidenses, o Departamento de Energia e o Instituto Nacional de Saúde (em inglês, NIH), com a participação de universidades e institutos de pesquisa de diversos países.

Em maio de 1998 uma empresa privada estadunidense entrou na disputa pela pesquisa sobre o sequenciamento do genoma humano, prometendo completá-lo em apenas três anos, quatro a menos do previsto pelo consórcio governamental. A principal diferença entre os dois projetos era o método empregado para a determinação das sequências de nucleotídios. Outra diferença é que a empresa privada não pretendia tornar públicos os dados obtidos, e sim patenteá-los e comercializá-los.

Veja comentários sobre essa atividade no Suplemento do Professor.

Dialogando com o texto

Nesta atividade é proposta uma pesquisa, em livros, consultando os professores de História e *sites* confiáveis na internet, sobre o que foi e quando viveu o personagem mitológico Quimera. Escreva um texto curto a respeito, correlacionando esse ser às "moléculas-quimera" mencionadas no texto.

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

MODERNA

Diante da possibilidade de uma corporação particular tornar-se proprietária exclusiva de um patrimônio da humanidade – o genoma humano –, o consórcio público redobrou os esforços para concluir o projeto em menor tempo.

Finalmente, em 26 de junho de 2000, os pesquisadores estadunidenses Francis Collins (1950-) (líder do consórcio público) e Craig Venter (1946-) (presidente da empresa privada) anunciaram a conclusão de um esboço geral do genoma humano. Os trabalhos foram apresentados em fevereiro de 2001, na revista científica *Science*, que publicou a parte realizada pela corporação particular, e na revista *Nature*, que publicou a parte realizada pelo consórcio público. O projeto foi considerado concluído em 2003, mas as análises dos dados obtidos têm continuado e ainda prosseguirão por muitos anos.

Graças ao Projeto Genoma Humano sabemos que, em nossa espécie, o genoma é constituído por 3 bilhões e 164,7 milhões de pares de nucleotídios. Para ter ideia do que isso representa, se escrevêssemos em caracteres bem pequenos a sequência de iniciais das bases – A, T, C e G – de apenas uma das cadeias de DNA dos 24 tipos de cromossomos humanos, preencheríamos mais de 200 volumes equivalentes a grossas enciclopédias. Quase toda a sequência de bases do genoma humano, 99,9%, é exatamente a mesma em todas as pessoas. O 0,1% restante é responsável por toda a variabilidade genética dentro de nossa espécie.

Dos cerca de 3 bilhões de pares de bases do genoma humano, apenas 2% correspondem a genes; cerca de 98% são sequências não codificantes, que não são transcritas em moléculas de RNA. O número total de genes humanos foi estimado entre 20 mil e 25 mil, bem inferior à previsão de 100 mil, anterior ao sequenciamento. O tamanho médio de um gene humano é de cerca de 3 mil pares de bases. O maior gene humano conhecido, que codifica a proteína distrofina, tem 2,4 milhões de pares de bases. Quanto ao número de genes, estamos em pé de igualdade com os camundongos e um pouco acima das moscas, cujo genoma apresenta cerca de 13 mil genes.

Entretanto, não devemos nos esquecer de que são as proteínas que desempenham a maioria das funções celulares e definem sua estrutura. Pesquisas têm revelado que apresentamos mais tipos de proteína do que de genes. Uma das razões para isso é que um gene humano, assim como os de outros organismos eucarióticos, pode gerar mais de um tipo de RNA mensageiro, dependendo de como o RNA transcrito é cortado e emendado antes de sair do núcleo para o citoplasma, onde será traduzido em proteína.

Em 2012, um consórcio mundial de cientistas descobriu que grande parte do DNA não codificante humano (aproximadamente 80% do genoma) participa da regulação da síntese de proteínas, por meio de mecanismos ainda não totalmente compreendidos. Descobriu-se que sequências de nucleotídios que pareciam não ter nenhuma função atuam, na realidade, como "interruptores" de circuitos genéticos, controlando a ativação ou a desativação de genes (Fig. 9).

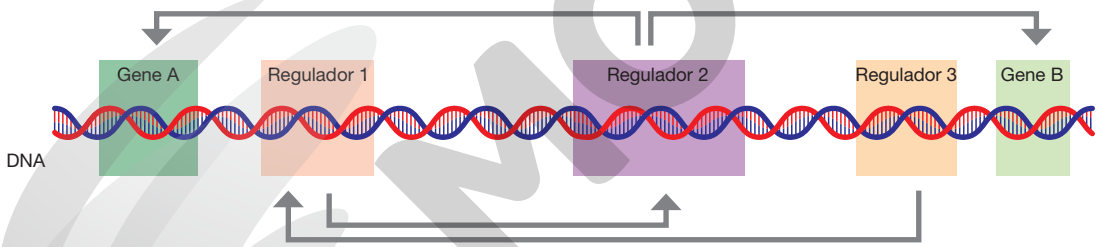


ILUSTRAÇÃO: ADILSON SECCO

Figura 9 Representação esquemática da ação reguladora de regiões não codificantes do genoma. Os genes A e B são sequências de nucleotídios que codificam proteínas (DNA codificante); os reguladores são sequências que não codificam proteínas, mas interagem com os genes ou entre si, afetando a transcrição em outros locais do genoma. (Representação fora de proporção; cores meramente ilustrativas.)

Fonte: adaptada de GRIFFITHS, A. J. F. *et al. Introdução à Genética*. 11. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2016.

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. Veja respostas e comentários no Suplemento do Professor.

1. (UEM-PR) A terapia gênica consiste na inserção de genes normais humanos em células humanas. Alguns atletas se utilizam dessa técnica para inserir em suas células genes que codificam fenótipos atléticos, gerando vantagens esportivas. Essa técnica é considerada *doping* e denominada *doping* genético. Com base nessas informações e em assuntos correlatos, escolha o que for correto.

Apenas a alternativa 16 está incorreta.

(01) Para se atingir o fenótipo atlético desejado, além da inserção do gene, é necessário o envolvimento de fatores adequados, tais como treinos físicos e nutrição.

(02) Para se atingir o fenótipo atlético desejado, além da inserção do gene, é necessário que ocorra a expressão dos genes inseridos.

(04) Para se atingir o fenótipo atlético desejado, é necessário inserir no genoma do atleta sequências de DNA que codifiquem RNA. Estes serão sintetizados pela enzima RNA polimerase e traduzidos pelos ribossomos.

(08) O *doping* genético altera tanto o genótipo como o fenótipo do atleta dopado.

(16) O processo descrito no comando da questão também pode ser definido como transgênese.

2. (Unesp) A vacina de DNA é composta por um plasmídeo que carrega um gene de interesse que codifica um antígeno. A administração da vacina pode ser com seringa, via intramuscular, ou pelo sistema *gene gun*, que consiste no disparo sobre a pele de microesferas metálicas recobertas com os plasmídeos modificados. Uma vez na célula, o gene é expresso no plasmídeo.

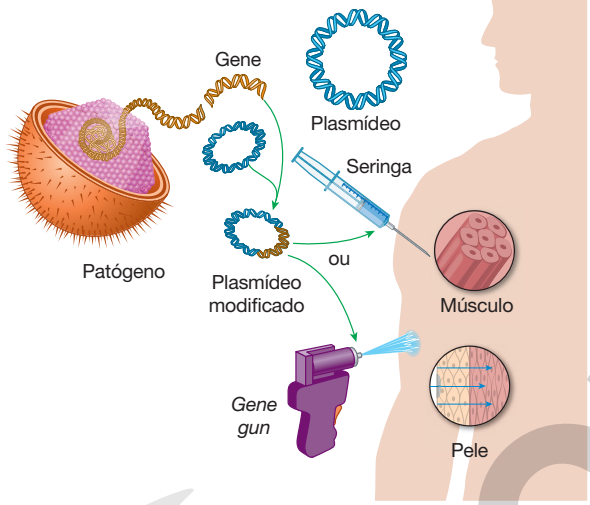


ILUSTRAÇÃO: ADILSON SECCO

Disponível em: <https://pontobiologia.com.br/>. Adaptado.

a) De quais organismos os plasmídeos são obtidos? Que moléculas biológicas são empregadas no corte dos plasmídeos para a inserção do gene de interesse?

b) Por que é necessário que o plasmídeo modificado entre no núcleo da célula para que a vacina funcione e promova a resposta imunológica?

3. (PUC-Campinas-SP) Leia atentamente a afirmação a seguir, sobre produtos transgênicos: "Alimentos transgênicos são alimentos geneticamente modificados com alteração do código genético." A afirmação é

3. d

a) correta, pois os organismos transgênicos possuem o código genético alterado para serem mais produtivos.

b) correta, pois a alteração do código genético faz com que os organismos sintetizem novas proteínas.

c) correta, e por isso só são criados em laboratórios especializados que possuem tecnologia para modificar o código genético.

d) incorreta, pois tanto organismos transgênicos como não transgênicos possuem o mesmo código genético.

e) incorreta, pois o código genético dos organismos transgênicos é alterado apenas em algumas partes do genoma.

4. (UPE) Observe a charge a seguir:

4. b

JEAN GALVÃO/FOLHAPRESS

O objetivo principal do Projeto Genoma Humano (PGH) é compreender como os genes funcionam nos estados de normalidade e doença.

Sobre isso, leia com atenção as afirmativas a seguir:

I. A constituição genética humana é a expressão de um programa genético escrito na química do DNA, pois o genótipo é dinâmico e surge da interação do fenótipo com o infinitamente complexo ambiente.

II. Muitas mutações deletérias podem não ser determinantes por si sós de uma patologia. Outros fatores, como interação gênica, epigenética e ambiental, podem modular a expressão dos genes.

III. O mapeamento que mostra as predisposições genéticas de um indivíduo adquirir doenças não deve se tornar de domínio público, para evitar que a discriminação feita com base no genoma chegue ao mercado de trabalho.

IV. O mapeamento genético para a detecção de doenças é suficiente para prever as consequências sociais, pois diagnóstico e técnicas terapêuticas estão sempre ajustados.

V. Os seres humanos de qualquer região do planeta são idênticos geneticamente, no entanto a adaptação de longo prazo aos mais diversos ambientes criou perfis variados de resistência ou suscetibilidade a doenças.

Estão corretas apenas

a) I, II e III.

b) II e III.

c) II, III, IV e V.

d) III, IV e V.

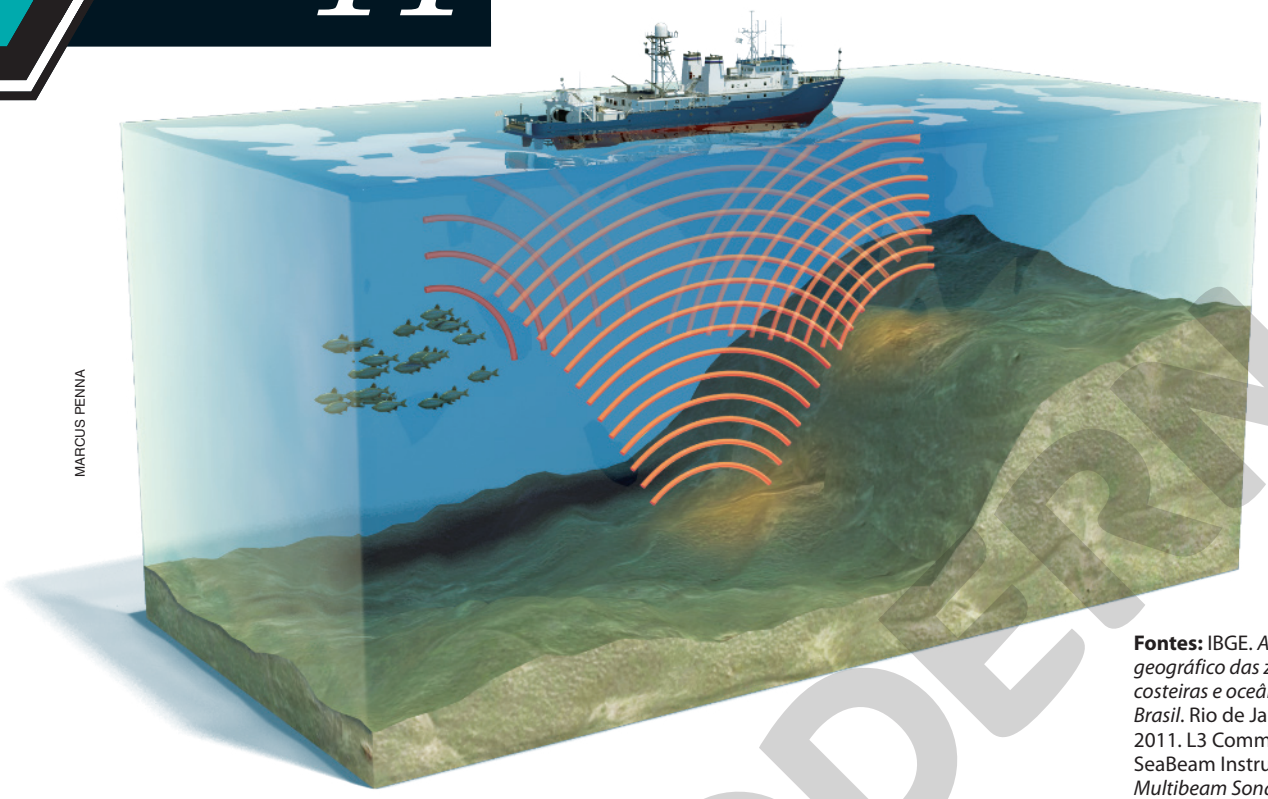
e) IV e V.

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

MODERNA

CAPÍTULO

11 ACÚSTICA



MARCUS PENNA

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 Woods Hole Coastal and Marine Science Center. Disponível em: <https://www.usgs.gov/centers/whcmsc>. Acesso em 27 ago. 2020.

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 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, bi 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 para a propagação do som no ar.

De olho na BNCC:

- EM13CNT101
- EM13CNT205
- EM13CNT301
- EM13CNT306
- EM13CHS106
- EM13LGG301
- EM13LGG703
- EM13MAT302
- EM13MAT305
- EM13MAT314

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.

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

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.

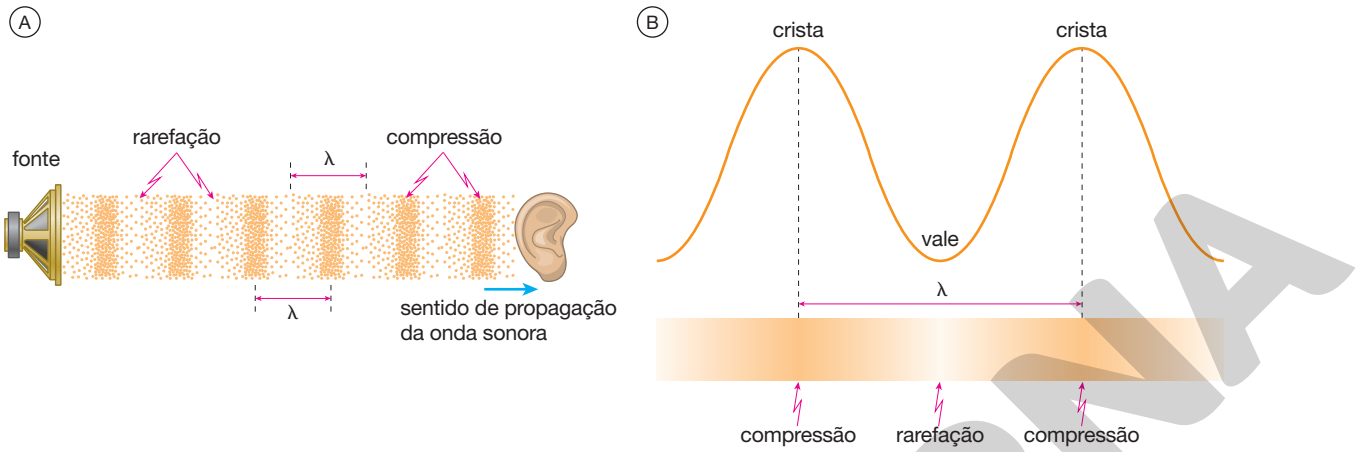


Figura 1 (A) As ondas sonoras são longitudinais, formadas por regiões de compressão e rarefação; (B) analogia esquemática entre uma onda transversal e uma longitudinal. As regiões de compressão são as cristas; as regiões de rarefação são os vales. (Representação fora de proporção; cores meramente ilustrativas.)

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 de uma pessoa para outra, e para uma mesma pessoa, ao longo da vida. 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 são inaudíveis para o ser humano. A figura 2 mostra os domínios das ondas sonoras audíveis (sons) e inaudíveis (infrassons e ultrassons).

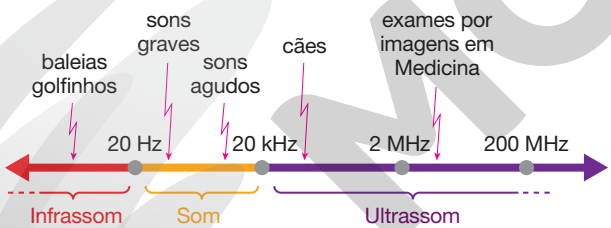


Figura 2 Espectro acústico audível e inaudível tendo como referência o ser humano. (Representação fora de proporção; cores meramente ilustrativas.)

O estudo das ondas sonoras com frequências entre 1 mHz e 15 Hz, denominadas infrassônicas, tem aplicações no monitoramento de terremotos e de populações marinhas, entre outras. 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).

Há aplicações de ondas infrassônicas e ultrassônicas na Engenharia e na indústria. A tabela 1 mostra algumas frequências de infrassons, sons e ultrassons.

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

ILUSTRAÇÕES: ADILSON SECCO

Tabela 1 - Frequências de alguns infrassons, sons e ultrassons	
	Frequências
Limiar mínimo de atividade vulcânica	10 mHz (milihertz)
Limiar mínimo de audição dos elefantes	16 Hz
Limiar auditivo humano	20 Hz
Nota mais grave em um piano	27,5 Hz
Nota musical lá (referência)	440 Hz
Nota mais aguda em um piano	4.186 Hz
Higiene dental ultrassônica	25.000 Hz
Sensor de estacionamento	40.000 Hz
Limiar máximo de audição de um cão	60.000 Hz
Ecolocalização de um morcego	80.000 Hz
Limiar máximo de audição de uma baleia	123.000 Hz
Ultrassonografia obstétrica	15.000.000 (15 MHz)
Microscópio ultrassônico	8.000.000.000 (8 GHz)

Fonte: GOLDSMITH, Mike. *Sound*: A Very Short Introduction. Oxford: Oxford University Press, 2015.

Animais como morcegos, corujas, baleias, golfinhos, peixes e alguns insetos são dotados de um tipo de biossonar e utilizam ondas ultrassônicas para localizar suas presas, detectar obstáculos e para se comunicar. Esse processo é denominado **ecolocalização**.

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.

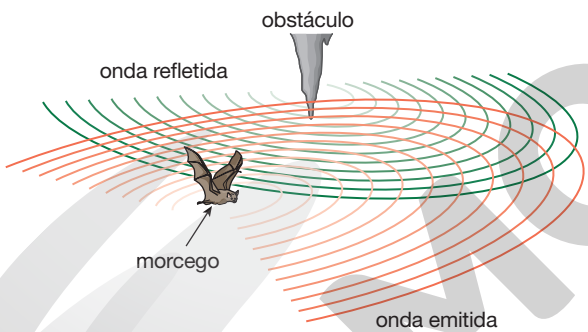


ILUSTRAÇÃO: ADILSON SECCO

Figura 3 Modelo representativo da ecolocalização de um morcego. (Representação fora de proporção; cores meramente ilustrativas.)

2. Características da propagação sonora

A propagação das ondas sonoras apresenta algumas características que englobam todos os tipos de onda, como indicado no conceito exposto a seguir.

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.

Veja comentários sobre esta atividade no Suplemento do Professor.

Atividade em grupo

Na abertura deste capítulo, vimos como os sensores de ondas sonoras são utilizados, ao emitir ondas capazes de se propagar por centenas de quilômetros na água, para estudar o fundo do mar.

A sondagem batimétrica é feita por um barco equipado com um alto-falante (projetor), emissor de pulsos sonoros, e um microfone especial (hidrofone), composto de vários microfones equidistantes. A bordo, um computador controla o envio dos pulsos sonoros e interpreta os dados dos pulsos que retornam ao hidrofone. Esse sistema é denominado sonar.

Em grupo, façam uma pesquisa sobre a batimetria e como essa técnica é usada para mapeamento do fundo do mar. Exponham à turma o resultado das pesquisas utilizando *slides*, textos, fotos, figuras e vídeos. Mostre quais são os principais fenômenos ondulatórios envolvidos nessa técnica e a importância de mapear o fundo do oceano.

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

MODERNA

Num gás de massa molar $\mathcal{M}$, que está a uma temperatura absoluta T, essa velocidade é obtida pela expressão:

$$v = \sqrt{\gamma \cdot \frac{R}{\mathcal{M}} \cdot T}$$

sendo R a constante universal dos gases perfeitos e γ um fator adimensional que depende da natureza do gás e de sua temperatura. Portanto, mantida constante a temperatura do gás, a velocidade de propagação das ondas sonoras nessa massa gasosa será constante, independentemente da frequência da onda. A tabela 2, a seguir, mostra valores da velocidade de propagação do som em alguns sólidos, líquidos e gases.

Tabela 2 - Valores da velocidade de propagação do som em alguns sólidos, líquidos e gases

Sólidos		Líquidos		Gases	
Material	***v* (m/s)**	**Material**	***v* (m/s)**	**Material**	***v* (m/s)**
Aço	6.100	Álcool etílico (25 °C)	1.144	Ar (0 °C,1 atm)	331,0
Ferro	5.130	Água (0 °C)	1.402	Ar (20 °C,1 atm)	343,0
Vidro	3.962	Água (20 °C)	1.482	Nitrogênio (29 °C,1 atm)	354,4
Vidro pirex	5.640	Água do mar (5 °C)	1.470	Hidrogênio (20 °C)	1.290
Concreto	3.400	Água do mar (20 °C)	1.522	Vapor de água (100 °C)	477,5
Madeira	3.600	Mercúrio (25 °C)	1.450	Hélio (20 °C)	972

Fontes: <https://www.engineeringtoolbox.com/air-speed-sound-d_603.html>; <https://www.engineeringtoolbox.com/sound-speed-water-d_598.html>; <https://www.engineeringtoolbox.com/sound-speed-solids-d_713.html>. Acessos em: 15 jun. 2020.

Atividade prática

Veja comentários sobre essa atividade no Suplemento do Professor.

Neste experimento, você poderá "visualizar" as ondas sonoras. Para realizá-lo, vai precisar de:

Material

- uma lata vazia de leite em pó ou outra semelhante;
- abridor de latas;
- uma bexiga;
- um pequeno espelho plano (5 cm × 5 cm);
- uma lanterna ou apontador *laser*;
- barbante;
- tesoura com pontas arredondadas;
- cola;
- fita adesiva.

Atenção: Cuidado para não se cortar com as rebarbas do fundo da lata!

Procedimento

Use o abridor de latas para retirar o fundo da lata.

Com a tesoura, corte uma das laterais da bexiga. Retire a tampa da lata, estique bem o recorte da bexiga sobre a borda superior da lata e prenda-a firmemente com o barbante, criando uma espécie de "tambor".

Com a cola, fixe o espelho plano no centro da membrana de bexiga. Deixe a superfície refletora do espelho voltada para fora. Espere a cola secar.

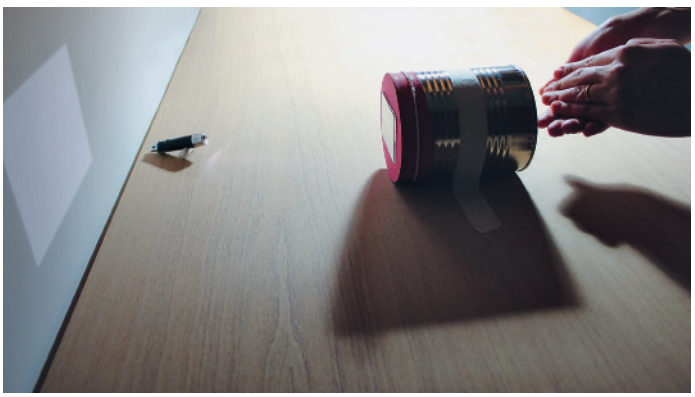
Com a fita adesiva, fixe a lata deitada sobre uma mesa num local pouco iluminado e direcione o feixe de luz da lanterna contra o espelho de modo que o feixe refletido ilumine uma parede próxima, como mostrado na foto a seguir.

Posicione-se diante da extremidade aberta da lata e bata palmas ou coloque um rádio ligado na frente da abertura.

Conclusões

O que acontece com o feixe de luz que ilumina a parede? Com base nessa observação, explique a correlação entre os três tipos de ondas envolvidos neste experimento. Faça um relatório sobre o experimento em que constem os seguintes itens:

- objetivo;
- material utilizado;
- procedimento experimental adotado;
- conclusão.



FABRICIO NASCIMENTO

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

MODERNA

No exemplo a seguir, vamos determinar os comprimentos das ondas sonoras audíveis para o ser humano.

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, e f e λ são inversamente proporcionais entre si. Assim:

$v = \lambda_{máx} \cdot f_{mín} \Rightarrow 340 = \lambda_{máx} \cdot 20 \therefore \lambda_{máx} = 17 \text{ m}$

$v = \lambda_{mín} \cdot f_{máx} \Rightarrow 340 = \lambda_{mín} \cdot 20 \cdot 10^3 \therefore \lambda_{máx} = 17 \cdot 10^{-3} \text{ m} = 17 \text{ mm}$

Aplicando conhecimentos

Veja respostas e comentários no Suplemento do Professor.

Registre as respostas em seu caderno.

1. 1. b 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:

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. 2. a Seja c a velocidade de propagação de uma onda luminosa e v a velocidade de propagação de uma onda sonora, ambas no ar. Para que essa onda sonora tenha comprimento de onda igual ao da onda luminosa, a razão entre as frequências da onda sonora e da onda eletromagnética deve ser:

a) $\frac{v}{c}$ b) $\frac{c}{v}$ c) $1 + \frac{c}{v}$ d) $1 + \frac{v}{c}$

3. 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, medem os intervalos de tempo para o som ir de uma extremidade a outra do trilho, pelo ar e pelo aço, após uma delas 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.

3. Qualidades fisiológicas do som

Nosso sistema auditivo é capaz de perceber características das ondas sonoras que nos permitem distinguir sons entre si. Em geral, sabemos se é uma mulher ou um homem que está falando, ou se uma nota musical foi emitida por um piano ou por um violão, ou ainda se a intensidade (ou "volume") do som da TV está em um nível elevado ou não, dada a fisiologia do nosso sistema auditivo, representado na figura 4.

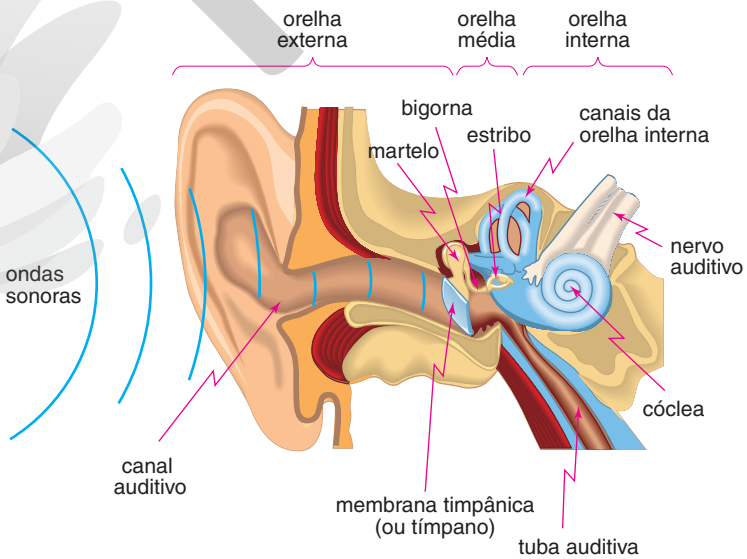


Figura 4 Estrutura interna da orelha humana. (Representação fora de proporção; cores meramente ilustrativas.)

Fonte: adaptada de Como funciona o corpo humano? Disponível em: <https://www2.ibb.unesp.br/Museu_Escola/2_qualidade_vida_humana/Museu2_qualidade_corpo_sensorial_audicao1.htm>. Acesso em: set. 2020.

ILUSTRAÇÃO: ADILSON SECCO

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

MODERNA

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, como indica a figura 5.A, e seis ondas completas, como indica a figura 5.B. 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*.

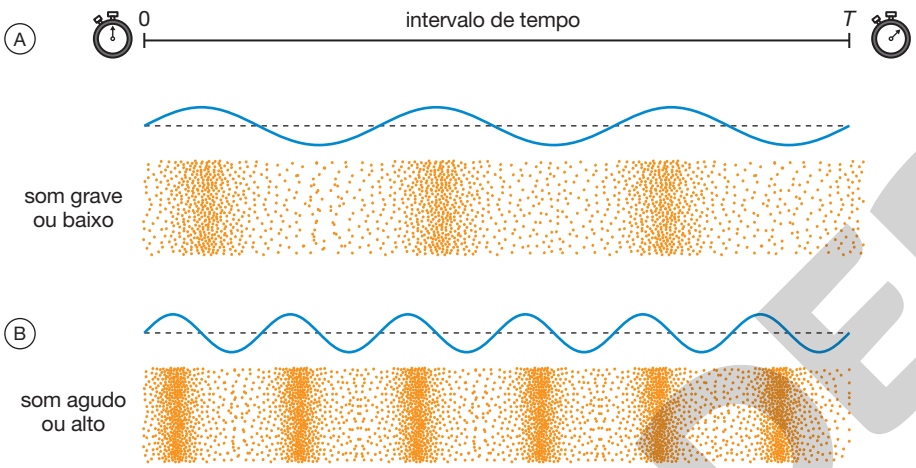


ILUSTRAÇÃO: ADILSON SECCO

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.)

Timbre

Quando ouvimos uma nota musical emitida por um instrumento, o som que ouvimos 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.

Na figura 6, um osciloscópio é utilizado para comparar a forma da onda sonora de uma mesma nota musical emitida por fontes diferentes. A frequência e o período da onda emitida pelo diapasão e pelo instrumento musical são os mesmos para as duas ondas.

FOTOS: ALEXLMX/SHUTTERSTOCK

Figura 6 Osciloscópio mostrando uma nota musical emitida por: (A) um diapasão (som puro); (B) instrumento musical (som composto).

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

MODENA

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, porém os harmônicos sobrepostos são diferentes. Ao conjunto de harmônicos que compõem determinada nota emitida por um instrumento musical damos o nome de **timbre sonoro**. O timbre é como se fosse 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.

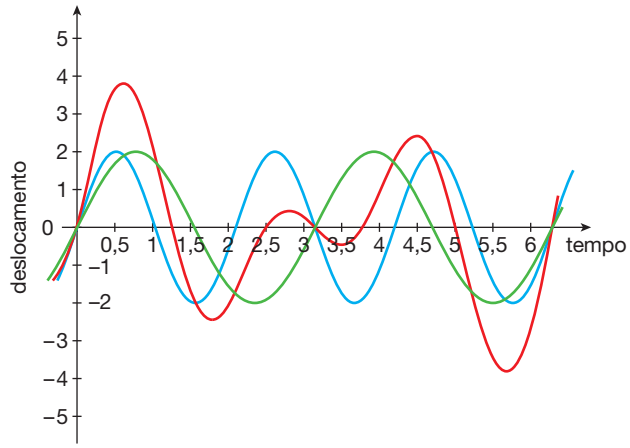


ILUSTRAÇÃO: ADILSON SECCO

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. Ao conjunto de ondas sonoras simples que compõem uma onda sonora complexa damos o nome de timbre sonoro.

Intensidade sonora e nível de intensidade sonora

Quando estamos muito distantes de uma fonte de ondas sonoras, ouvimos o som por ela emitido 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 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**.

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:

$$I = \frac{\left(\frac{\Delta E}{\Delta t}\right)}{A}$$

ou

$$I = \frac{P}{A}$$

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.

Fontes sonoras e luminosas de pequenas dimensões são exemplos de ondas 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.

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

MODERNA

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 $I_0 = 1{,}0 \cdot 10^{-12}\ \text{W/m}^2$, 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.

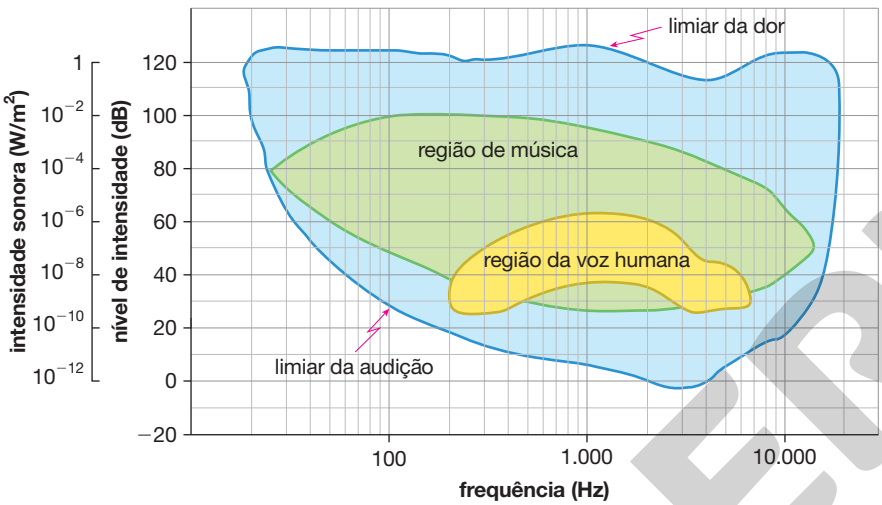


Figura 8 Escala de intensidades sonoras e escala de Weber para o espectro de frequências audíveis para o ser humano. Audiograma.

Fonte: adaptado de DULL, Charles E.; METCALFE, Clark; BROOKS, William O. *Modern Physics*. Nova York: Henry Holt, 1955.

Já a figura 9 mostra níveis sonoros associados a diversos ambientes, situações e atividades, classificando-os quanto ao perigo de perda de audição.

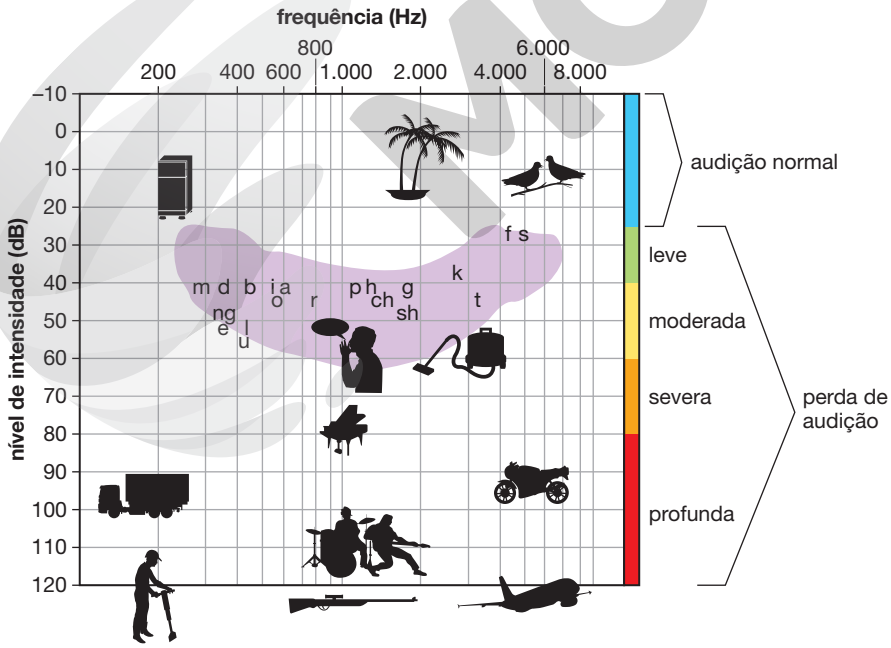


Figura 9 A região colorida do gráfico corresponde às diferentes vogais e consoantes da fala humana, pronunciadas com frequências e nível sonoros diferentes.

Fonte: adaptada de Centro auditivo Phonak.

Vamos aplicar esses conceitos em um exemplo prático.

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

MODERNA

ILUSTRAÇÕES: ERICSON GUILHERME LUCIANO

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) 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:

$$N_2 - N_1 = 10 \cdot \log\left(\frac{I_2}{I_1}\right) \Rightarrow N_2 - 90 = 10 \cdot \log\left(\frac{2I_1}{I_1}\right) \Rightarrow$$

$$\Rightarrow N_2 - 90 = 10 \cdot \log(2) \Rightarrow N_2 - 90 = 10 \cdot 0{,}3 \Rightarrow$$

$$\Rightarrow N_2 - 90 = 3\ \therefore\ N_2 = 93\ dB$$

Ao dobrar a intensidade da fonte sonora, o nível sonoro aumenta 3 dB.

Aplicando conhecimentos

Veja respostas e comentários no Suplemento do Professor.

Registre as respostas em seu caderno.

O enunciado a seguir refere-se aos exercícios 4 e 5.

A uma distância d de um pequeno alto-falante, uma pessoa ouve um som com intensidade I e nível sonoro $N = 80$ dB.

4. 4. e Se a pessoa ficar a uma distância $\frac{d}{2}$ dessa fonte, a nova intensidade sonora I' será:

a) $I' = \frac{1}{4}I$ **b)** $I' = \frac{1}{2}I$ **c)** $I' = I$ **d)** $I' = 2I$ **e)** $I' = 4I$

5. 5. c Adotando $\log 4 \simeq 0{,}6$ para a nova posição da pessoa em relação à fonte, o nível sonoro N' passará a ser:

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

6. 6. c Um motor elétrico é ligado em velocidade máxima em um teste na fábrica. Nessa situação, medem-se 70 dB para o ruído por ele emitido a um metro de distância. Se ligarmos outros nove desses motores em condições idênticas ao primeiro, ficando os dez motores a um metro de um decibelímetro (medidor de nível sonoro), esse medidor indicará:

(Dado: log 10 =1.)

a) 700 dB.
b) 630 dB.
c) 80 dB.
d) 79 dB.
e) 76 dB.

4. Efeito Doppler-Fizeau

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 frequência são observadas. Esse fenômeno ondulatório é denominado **efeito Doppler-Fizeau**.

Para os nossos sentidos, esse efeito é mais notável com ondas sonoras, porém 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. 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.

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

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, isto é, no caso em que o observador e a fonte se deslocam na mesma direção, como mostrado na figura 10.

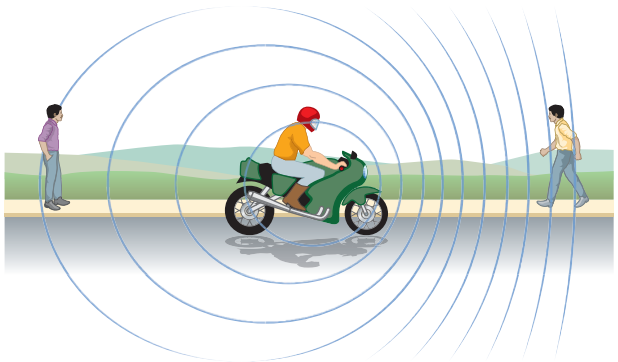


Figura 10 Efeito Doppler longitudinal. Observadores e fonte alinhados. (Representação fora de proporção; cores meramente ilustrativas.)

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 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):

$$f_O < f_F$$

A frequência observada (f_O) e a frequência da fonte das ondas (f_F) estão relacionadas pela expressão:

$$\frac{f_O}{v \pm v_O} = \frac{f_F}{v \pm v_F}$$

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**, como se vê na figura 11.

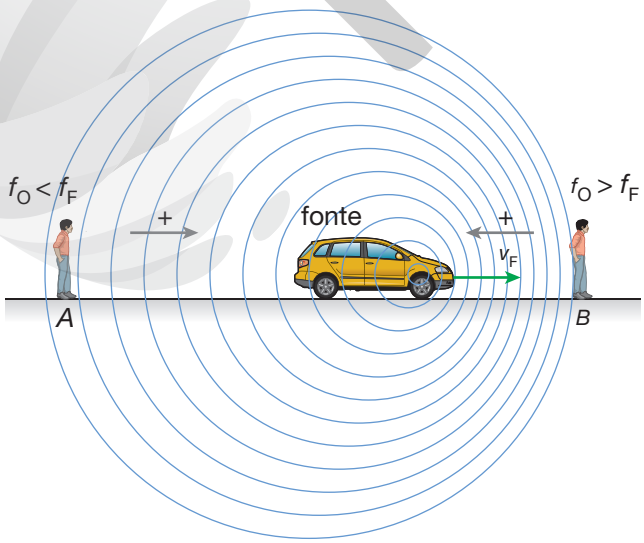


Figura 11 O observador *A* percebe um som de menor frequência e maior comprimento de onda que aquele emitido pela fonte. O observador *B* percebe um som de maior frequência e menor comprimento de onda que aquele emitido pela fonte. Sempre consideraremos positivo o sentido que vai do observador para a fonte. (Representação fora de proporção; cores meramente ilustrativas.)

ILUSTRAÇÕES: ADILSON SECCO

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

MODERNA

Uma aplicação numérica vai ilustrar melhor esse conceito.

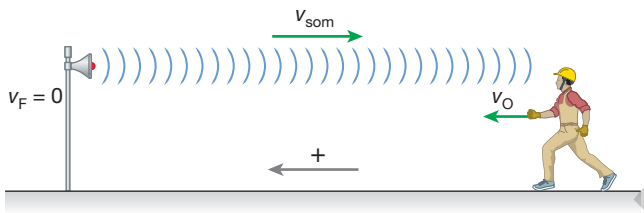
A sirene de uma pedreira emite um som com frequência de 510 Hz para avisar que ocorrerá uma detonação. Considerando que a velocidade do som no ar seja igual a 340 m/s:

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.

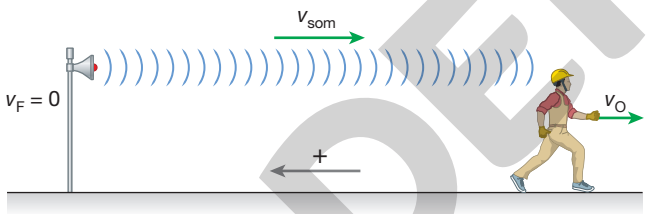
Resolução:

a) Com os valores fornecidos e o referencial adotado, temos:



$$\frac{f_O}{v \pm v_O} = \frac{f_F}{v \pm v_F} \Rightarrow \frac{f_O}{340 + 10} = \frac{510}{340 + 0} \therefore f_O = 525 \text{ Hz}$$

b) Nesse caso, com o novo referencial adotado, temos:



$$\frac{f_O}{v \pm v_O} = \frac{f_F}{v \pm v_F} \Rightarrow \frac{f_O}{340 - 10} = \frac{510}{340 + 0} \therefore f_O = 495 \text{ Hz}$$

ILUSTRAÇÕES: ADILSON SECCO

Aplicando conhecimentos

Veja respostas e comentários no Suplemento do Professor.

Registre as respostas em seu caderno.

O enunciado a seguir refere-se aos exercícios 7 e 8.

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.

7. Quando a boia se move ao encontro da fonte, segundo a reta que passa por ela e a 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:

7. b

a) 0,5.
b) 1,0.
c) 1,5.
d) 2,0.
e) 3,0.

8. 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:

8. d

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

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

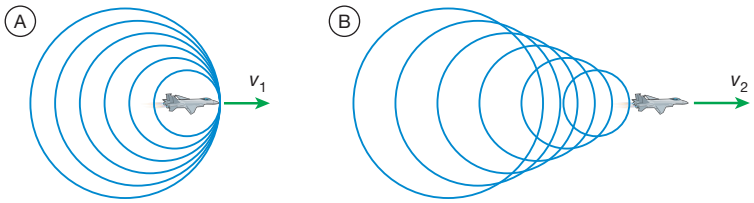
MODERNA

9. As figuras A e B a seguir mostram frentes de ondas sonoras emitidas por dois jatos.

9. b

Analise as figuras e compare as velocidades v_1 e v_2 dos jatos com a velocidade do som (v_{som}) e determine a opção correta.

a) $v_1 = v_2 = v_{som}$
b) $v_1 = v_{som} < v_2$
c) $v_1 < v_{som} < v_2$
d) $v_1 < v_2 < v_{som}$
e) $v_1 = v_{som} > v_2$



Atividades finais

Registre as respostas em seu caderno. Veja respostas e comentários no Suplemento do Professor.

1. Leia as afirmações a seguir, classifique cada uma em verdadeira ou falsa e indique no caderno 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.
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.

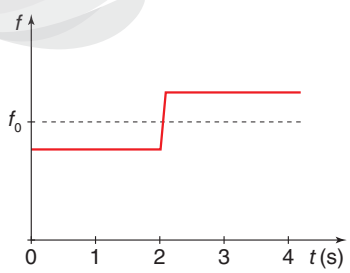
2. As ondas denominadas som, infrassom e ultrassom não podem ser transmitidas de um ponto a outro:

2. e

a) no ar.
b) na água.
c) nos metais.
d) através de uma parede de tijolos.
e) na superfície da Lua.

3. Você está parado em um ponto de uma pista reta sobre a qual se move uma fonte sonora, que inicia seu movimento em t = 0, emitindo um som de frequência f_0. O gráfico abaixo mostra a variação da frequência do som ouvido por você durante um intervalo de tempo de 4 segundos. Em qual das opções adiante há a descrição correta do movimento da fonte em relação a você nesses 4 segundos?

3. d



a) A fonte está se movendo da esquerda para a direita e, em t = 2 s, passa por você.
b) A fonte está se movendo da direita para a esquerda e, em t = 2 s, passa por você.
c) A fonte está se aproximando, não passa por você, inverte o seu movimento em t = 2 s e começa a se afastar de você.
d) A fonte está se afastando de você, inverte o seu movimento em t = 2 s e começa a se aproximar de você, mas não passa por você.

4. 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) velocidade de propagação do som no ar local, em m/s;
b) a frequência f_S do som emitido pela sirene, em Hz.

5. A expressão utilizada para o efeito Doppler com ondas sonoras não se aplica às ondas eletromagnéticas. Para ondas dessa natureza, a frequência observada, ou aparente, é dada por:

$$f_O = \left(\sqrt{\frac{c \pm v}{c \mp v}}\right) \cdot f_F$$

sendo c o valor da velocidade da luz no vácuo, v a velocidade da fonte das ondas eletromagnéticas e f_F a frequência da radiação emitida pela fonte. Quando a fonte das ondas eletromagnéticas se aproxima do observador, usamos (+) no numerador e (−) no denominador, e assim temos $f_O > f_F$. Quando a fonte se afasta, usamos (−) no numerador e (+) no denominador, obtendo $f_O < f_F$.

Considere uma galáxia afastando-se radialmente da Terra com uma velocidade de módulo $v = 0{,}6 \cdot c$ (c é a velocidade de propagação da luz no vácuo). Uma determinada radiação eletromagnética emitida por essa galáxia é recebida aqui na Terra com a frequência $f_R = f$. Determine a frequência f_E dessa radiação ao ser emitida pela galáxia.

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

ILUSTRAÇÕES: ADILSON SECCO

MODERNA

CAPÍTULO 12

NANOTECNOLOGIA

MARTIN WITTE/ALAMY/FOTOARENA

Como a nanotecnologia, que trabalha com a estruturação de materiais em dimensões que geralmente estão entre um bilionésimo de metro e cem bilionésimos de metro possibilitaria economizar combustível na navegação de um navio cargueiro como o da foto (o maior do mundo), de comprimento 397 metros e massa 156 toneladas? (Cargueiro dinamarquês Emma, transportando contêineres, fotografado próximo ao porto de Cuxhaven, Alemanha, 2017.)

Cracas no casco! Não é um trava-língua, mas um pesadelo para a navegação comercial. As cracas são crustáceos marinhos que, na fase adulta, vivem fixados em rochas à beira-mar. Se você nunca viu uma, dê uma busca de fotos na internet e conheça esses interessantes animais. Quando fixados a uma superfície, secretam um material contendo carbonato de cálcio ($CaCO_3$), que constitui um exoesqueleto (esqueleto externo) composto de placas rígidas que lembram cones com uma abertura superior.

As cracas normalmente fixam-se em substratos rochosos, mas podem fixar-se também ao casco de embarcações, onde causam estragos. São de difícil remoção e podem até provocar o emperramento de hélices de motores ou a obstrução de propulsores. Quando cracas aderem aos cascos de navios que transportam mercadorias, provocam grande aumento no atrito do casco com a água. Para superá-lo, é necessário gastar mais combustível, o que eleva o custo do transporte.

Como você estudará neste capítulo, a nanotecnologia busca a preparação, o estudo das propriedades e a aplicação prática dos materiais em uma escala de tamanho muito pequena, muitíssimo menor que um navio cargueiro ou uma craca.

As pesquisas em nanotecnologia têm possibilitado a criação de materiais com propriedades úteis. Exemplo disso é o desenvolvimento de revestimentos que podem ser aplicados a superfícies a fim de torná-las muito lisas e pouco aderentes. Um revestimento desse tipo, adequadamente aplicado ao casco de um navio, inviabiliza a fixação das cracas e resolve o problema.

Neste capítulo, você conhecerá outros exemplos de progressos decorrentes das pesquisas em nanotecnologia e conhecerá também algumas aplicações promissoras. Também perceberá que existe a necessidade de contínua atenção da sociedade a respeito da introdução de certas inovações, pois a segurança dos indivíduos e a sanidade ambiental devem ser sempre uma prioridade quando se projetam e comercializam novos produtos.

De olho na BNCC:

- **EM13CNT104**
- **EM13CNT107**
- **EM13CNT206**
- **EM13CNT301**
- **EM13CNT303**
- **EM13CNT304**
- **EM13CNT307**
- **EM13CNT308**
- **EM13CNT309**

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

MODERNA

1. O que é nanotecnologia

Nossas percepções sobre tudo aquilo que é constituído de matéria em nosso cotidiano estão relacionadas ao mundo macroscópico (do grego *makrós*, "grande") em que vivemos. Na escala de tamanho das coisas que podemos ver ou perceber pelo tato, os objetos, por menores que possam parecer, são constituídos de uma quantidade inimaginavelmente grande de átomos. Para você ter uma ideia, imagine que um balde de brinquedo contenha 1 kg de areia pura, que consideraremos ser constituída de pequeninos cristais de dióxido de silício, SiO_2 (s), de massa 1 mg. No balde, existe um milhão desses cristais, valor que descobrimos dividindo a massa total (1.000 g) pela massa de um grão (0,001 g). Cada um desses minúsculos cristais, que está próximo ao nosso limite de acuidade visual (isto é, daquilo que o ser humano é capaz de distinguir visualmente), é constituído por cerca de 10.000.000.000.000.000.000 átomos, ou seja, 10 quintilhões de átomos.

Quando a matéria está em fase sólida – como o dióxido de silício de um grão de areia, o cloreto de sódio do sal de cozinha, a sacarose do açúcar de cana ou o cobre de um fio elétrico – ou em fase líquida – como a água que flui quando abrimos uma torneira ou o etanol usado como combustível –, as partículas que a constituem (sejam átomos, moléculas ou íons) estão bastante próximas umas das outras. Por esse motivo, as fases sólida e líquida são coletivamente denominadas **fases condensadas** da matéria. Essa é uma situação bem diferente da que ocorre em fase gasosa; no gás oxigênio a 25 °C e 1 atm, a distância média entre duas moléculas é cerca de 18 vezes o tamanho de cada uma delas.

Muitas substâncias em fases condensadas já tiveram propriedades como cor, densidade e condutividade elétrica determinadas em estudos químicos e físicos. Por exemplo, a substância simples metálica ouro (Au), a 25 °C e 1 atm, é um sólido que reflete bem a luz e apresenta coloração amarela. O composto químico benzeno (C_6H_6), nas mesmas condições, é líquido, incolor e isolante elétrico. Contudo as propriedades típicas da coletividade de átomos, íons ou moléculas nas fases condensadas podem ser bem distintas daquelas apresentadas se uma amostra for fragmentada em porções de dimensões nanométricas. O **nanômetro** (nm) é uma unidade de medida de comprimento que equivale à bilionésima parte do metro:

$$1 \text{ nanômetro} = 1 \text{ nm} = \frac{1}{10^9} \text{ m} = 10^{-9} \text{ m}$$

Se o ouro metálico estiver sob a forma de partículas com algumas dezenas de nanômetros de diâmetro, sua cor não será amarela, mas vermelha (Fig. 1). Outro exemplo interessante é citado pelo pesquisador brasileiro Henrique Toma em um de seus livros sobre nanotecnologia: embora uma amostra macroscópica de benzeno se comporte como isolante elétrico, uma única molécula dessa substância, se fosse posicionada entre dois eletrodos nanométricos, possibilitaria a passagem de corrente elétrica.

Neste capítulo, ao falar em **dimensões nanométricas**, estaremos nos referindo a comprimentos compreendidos aproximadamente na faixa de 1 nm a 100 nm. Os **materiais nanométricos** são aqueles que têm pelo menos uma dimensão nessa faixa. Por exemplo, um cubo de material sólido com aresta de 10 nm tem as três dimensões nessa faixa, a altura, a largura e a profundidade. Uma camada de espessura 10 nm constituída de determinada substância depositada sobre um objeto macroscópico tem uma dimensão nanométrica, a espessura (Fig. 2).

Podemos chamar de **nanociência** toda a atividade de pesquisadores de áreas relativas às Ciências da Natureza sobre propriedades de materiais nanométricos. A associação a áreas como Engenharia, Medicina e Tecnologia da informação possibilita diversificadas aplicações práticas que constituem a **nanotecnologia**. Este capítulo fornecerá noções sobre essa importante e promissora área, a respeito da qual todo cidadão bem informado deve ter conhecimentos básicos.

Comente com os estudantes que este capítulo não se constitui em uma narrativa histórica do desenvolvimento da nanotecnologia, tampouco em uma cobertura abrangente de todas as possibilidades exploradas nessa vasta área de atuação científica, mas em uma sequência de ideias selecionadas e organizadas com interesse didático.

NIGEL JARVIS/SHUTTERSTOCK

Figura 1 Vitral medieval em que o vermelho se deve à presença de nanopartículas de ouro misturadas ao vidro. (Semur-en-Auxois, Cote d'Or, França, 2014.)

ALFRED EISENSTAEDT/THE LIFE PICTURE COLLECTION/GETTY IMAGES

Figura 2 A física, química e inventora estadunidense Katharine Burr Blodgett (1898-1979), em foto de 1948. Foi a primeira mulher a obter o grau de doutora (Ph. D.) em Física na Universidade de Cambridge. Especializou-se na química de superfícies e desenvolveu técnicas para recobrir vidros ou metais com camadas nanométricas de outras substâncias. Empregando esses métodos, inventou o vidro antirreflexo, usado em óculos e máquinas fotográficas.

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

2. Área superficial de nanomateriais

O que há de especial com as dimensões nanométricas?

Primeiramente, vamos tentar contextualizar essa dimensão. O diâmetro de um átomo do elemento químico hidrogênio (H) é de aproximadamente 0,1 nm. Se fosse possível enfileirarmos dez desses átomos, lado a lado, a sequência teria 1 nm de comprimento. Um dos átomos de maior tamanho, o do elemento químico césio (Cs), tem diâmetro de 0,69 nm. Quando falamos em dimensões de até 100 nm, estamos falando de um comprimento que equivaleria a, no máximo, 145 átomos de césio enfileirados.

Se os seus cabelos crescem 1 cm por mês, eles crescem quase 4 nm a cada segundo da sua vida.

Os vírus têm tamanho ao redor de 100 nm e têm em sua constituição dezenas de bilhões de átomos. Uma bactéria em forma de bastão (bacilo) com comprimento de 3.000 nm, bem mais complexa que um vírus, é formada por cerca de cem bilhões de átomos, que constituem todas as moléculas e íons nela existentes e que viabilizam o metabolismo que a mantém viva.

Em 1959, o físico estadunidense Richard Feynman (Fig. 3) proferiu uma palestra cujo título, traduzido livremente para o português, seria equivalente a "Está cheio de espaço lá no fundo". Nela, o cientista anteviu que, com o avanço tecnológico, seria possível manipular a matéria em escala atômico-molecular, criando estruturas organizadas destinadas a finalidades práticas como o armazenamento de muitas informações em pouco espaço. A previsão de Feynman está atualmente em andamento.

As indústrias da área de nanoeletrônica conseguem produzir circuitos eletrônicos cujos menores detalhes podem chegar a poucos nanômetros, menores que as bactérias e a maioria dos vírus. Miniaturizações como essa têm contribuído para que possamos armazenar muita informação em pouco espaço. Um dispositivo (Fig. 4) cujo tamanho é equiparável ao da ponta do dedo polegar pode, hoje, armazenar toda a informação que, há pouco mais de uma década, demandaria 365 CDs. E os CDs já eram uma invenção que permitia grande armazenamento de informação, pois cada um deles comporta informação comparável a mais de 600 mil páginas com 1.200 caracteres cada.

Algumas pessoas consideram a palestra de Feynman como um marco na história da nanotecnologia. O termo *nanotecnologia*, contudo, foi criado pelo professor e pesquisador japonês Norio Taniguchi (1912-1999), em 1974, para se referir a processos referentes à fabricação de *chips* de silício para computadores.

Um dos fatores que fazem com que a matéria condensada exiba comportamento diferenciado em dimensões nanométricas é a elevada área superficial em relação ao volume. Imagine um cubo de metal sólido de aresta 1 cm (Fig. 5.A). A área total das faces desse cubo é 6 cm^2. Se ele for dividido em cubos de aresta 0,5 cm (Fig. 5.B), a área superficial do material todo aumentará para 12 cm^2. Se o cubo original fosse dividido em cubos de aresta 1 mm, seriam obtidos mil cubos que, considerados conjuntamente, teriam área superficial de 60 cm^2. Se pudéssemos dividir o cubo original em cubos de aresta 10 nm, obteríamos 1 quintilhão de cubos, cuja área total seria 600 m^2, praticamente a mesma da grande área de um campo oficial de futebol.

No cubo de metal original, uma fração muito pequena dos átomos está na superfície. Contudo, ao subdividi-lo em cubos cada vez menores, cada vez mais átomos passam a estar na superfície. Se ele for dividido em cubos com aresta 10 nm, cerca de 25% dos átomos estarão na superfície.

Como as interações de um material com outros ocorrem na superfície, todas as suas propriedades que estejam relacionadas a essas interações serão grandemente afetadas pelo fracionamento de uma amostra em pedaços de dimensões nanométricas.

JOE MUNROE/ARCHIVE PHOTOS/GETTY IMAGES

Figura 3 O físico estadunidense Richard Philips Feynman (1918-1988), em foto de 1959. Recebeu o Prêmio Nobel de Física em 1965 por seus trabalhos na área denominada eletrodinâmica quântica. É também lembrado por diversas outras características, como a de ter sido um professor inspirador e por ter antevisto as imensas possibilidades hoje exploradas em nanotecnologia.

RIPITYA/SHUTTERSTOCK

Figura 4 Existem dispositivos de armazenamento USB de tamanho similar ao mostrado na foto cuja capacidade de armazenamento é 256 GB (gibabytes), que equivale aproximadamente à de 365 CDs.

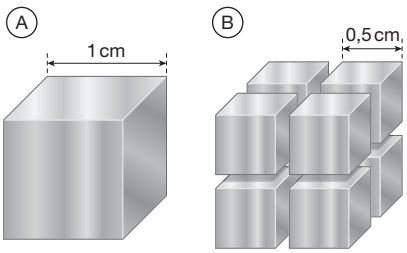


ILUSTRAÇÃO: ADILSON SECCO

Figura 5 (A) Um cubo metálico de aresta 1 cm tem área de 6 cm^2. (B) Se ele for dividido em cubos iguais de aresta 0,5 cm, a área total dos oito cubos resultantes será 12 cm^2. (Cores meramente ilustrativas.)

Fonte consultada: SANDERS, W. C. *Basic principles of nanotechnology*. Boca Raton: CRC Press, 2019.

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

MODERNA

3. Pontos quânticos

Quando elétrons estão confinados em uma pequena região do espaço, eles só podem existir em determinados estados de energia, fenômeno conhecido como **quantização** da energia. Esse fenômeno foi observado primeiramente em átomos, por volta do final do século XIX, e, posteriormente, em outros sistemas.

Existe uma tendência natural de os elétrons de uma amostra de matéria ocuparem os níveis mais baixos de energia disponíveis. Se um elétron absorve quantidade adequada de energia, seu estado energético se altera para um nível quântico de maior energia, processo denominado excitação eletrônica. Um elétron excitado pode emitir energia – como luz visível, ultravioleta ou infravermelho – e retornar ao estado inicial de energia mais baixa. Caso a energia seja emitida como luz visível, a amostra apresentará luminosidade colorida observável.

Um fator que determina as propriedades ópticas de alguns nanomateriais é que, nos domínios nanométricos, os níveis de energia dos elétrons são influenciados pelo tamanho da partícula de material. A alteração do tamanho de uma nanopartícula pode modificar a diferença de energia entre os estados quânticos eletrônicos e modificar a energia liberada quando um elétron excitado retorna à situação de menor energia, modificando, consequentemente, a cor da luz emitida.

A dependência dos níveis eletrônicos de energia com o tamanho da nanopartícula é observável em uma faixa de tamanho de alguns poucos nanômetros com algumas substâncias semicondutoras. As nanopartículas desses materiais que emitem luz visível no retorno dos elétrons excitados são conhecidas como **pontos quânticos**, também denominados pelo termo inglês ***quantum dots*** (Fig. 6). Exemplos de substâncias que podem formar pontos quânticos são sulfeto de cádmio (CdS), seleneto de cádmio (CdSe), sulfeto de zinco (ZnS), sulfeto de chumbo (PbS), fosfeto de índio (InP) e arseneto de índio (InAs).

Existem muitas pesquisas em andamento sobre pontos quânticos (Fig. 7), e essas nanopartículas já existem em produtos comercializados. Um exemplo é o dos televisores e monitores de computador com tela de nanocristais (também designada pela expressão em inglês *quantum dot display*) (Fig. 8), em que os *pixels* (pontinhos emissores de luz existentes na tela) são produzidos com nanopartículas de CdSe em três tamanhos diferentes, especialmente escolhidos para que sejam pontos quânticos emissores de luzes vermelha, verde e azul, com as quais todas as demais cores vistas na tela podem ser compostas.

Outro exemplo de aplicação dessas nanopartículas é em sensores de luz ambiente para sistemas que acendem lâmpadas automaticamente ao anoitecer e as apagam ao amanhecer. Essas partículas apresentam condutividade elétrica que varia em função da luz nelas incidente. Nos sensores, existe um circuito elétrico que, em parte, é constituído de cristais de CdS. Quando amanhece e o ambiente está bem iluminado, a condutividade elétrica da substância aumenta e isso é detectado pelo equipamento, que desliga as lâmpadas. O inverso ocorre ao anoitecer.

FIZKES/SHUTTERSTOCK

SCIENCE PHOTO LIBRARY/ FOTOARENA

Figura 6 Dispersões aquosas de pontos quânticos de seleneto de cádmio (CdSe) com diferentes tamanhos, desde 5 nm (no frasco à esquerda) até 0,7 nm (no frasco à direita). As amostras estão submetidas à luz ultravioleta, que provoca excitação de elétrons das nanopartículas. No retorno desses elétrons excitados, a luz emitida é de cores diferentes porque a diferença energética entre o estado quântico excitado e o estado quântico de energia mais baixa depende da dimensão do ponto quântico.

DUKE UNIVERSITY

Figura 7 A engenheira elétrica estadunidense Adrienne Stiff-Roberts (nascida em 1976), em foto de 2018, pesquisadora de nanotecnologia. Entre outras áreas de atuação investiga aplicações de pontos quânticos em dispositivos de utilidade prática, como detectores de infravermelho que podem ser usados para realizar medições de temperatura a distância.

Figura 8 *Notebook* com monitor fabricado com pontos quânticos. Na tela, existem *pixels* que emitem luz vermelha, verde ou azul. Essa emissão luminosa é conseguida usando pontos quânticos de três tamanhos diferentes, cada um apropriado à emissão de luz de uma cor desejada. Esse tipo de monitor usa pouca energia em seu funcionamento, contribuindo para que a carga da bateria dure mais tempo.

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

MODERNA

4. Microscopia e nanocaracterização

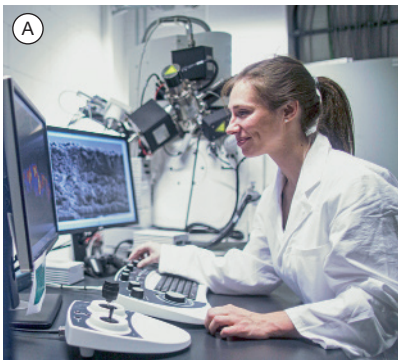
O fato de a matéria apresentar propriedades bastante peculiares quando as observações envolvem amostras de dimensões nanométricas é algo compreendido pelos cientistas a partir de ideias (da área chamada mecânica quântica) desenvolvidas a partir da década de 1920. Porém, foram necessários avanços tecnológicos para poder investigar e caracterizar a matéria nesse nível de detalhamento. Vejamos um breve panorama de alguns eventos referentes a isso.

Em 1931, uma equipe comandada pelo físico alemão Ernst Ruska (1906--1988) apresentou o primeiro microscópio eletrônico de transmissão. Até essa época, era possível visualizar detalhes no máximo da ordem de 200 nm usando os melhores microscópios de luz. Para visualizar detalhes não acessíveis até então, a nova técnica passou a utilizar feixes de elétrons em movimento em vez de luz. Alguns anos mais tarde, em 1938, a equipe do engenheiro alemão Max Knoll (1897-1969) construiu o primeiro microscópio eletrônico de varredura, que permitiu a visualização da superfície de amostras espessas (Fig. 9). Em pouco mais de uma década, novos avanços na tecnologia dos microscópios eletrônicos conduziram à visualização de detalhes com tamanho aproximado de 10 nm.

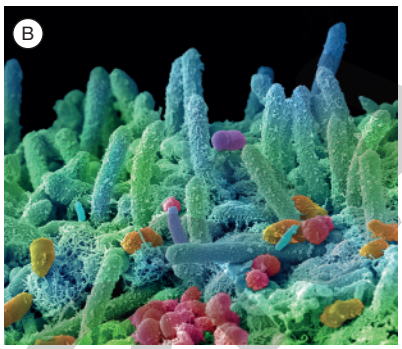
No início da década de 1980, a equipe do físico suíço Heinrich Rohrer (1933-2013) e do físico alemão Gerd Binnig (nascido em 1947) desenvolveu o microscópio de tunelamento. Ao contrário dos microscópios inventados até então, que sondam imagens usando luz ou feixes de elétrons, o microscópio de tunelamento emprega uma finíssima agulha de metal que é posicionada muito perto da superfície do material estudado e movimentada paralelamente a ela. Durante essa varredura, ocorrem interações elétricas entre a extremidade da agulha metálica e os elétrons da superfície do material que fornecem sinais elétricos registrados pelo equipamento e convertidos em imagens da superfície sondada. Pela primeira vez, tornou-se possível visualizar átomos, ainda que essa visualização seja de uma imagem computadorizada elaborada a partir de medidas elétricas realizadas pelo equipamento (Fig. 10).

Em 1986, uma versão modificada desse equipamento foi concebida, o microscópio de força atômica, que possibilita não apenas obter imagens de superfícies como também movimentar um único átomo e posicioná-lo onde desejado. Em 1989, a equipe do físico estadunidense Don Eigler (nascido em 1953) posicionou 35 átomos do elemento químico xenônio sobre uma superfície de níquel metálico e registrou a imagem. Ainda no século passado, atingiu-se a possibilidade de visualizar alguns detalhes da ordem de 0,1 nm.

Essas técnicas de microscopia têm sido continuamente aperfeiçoadas e são hoje rotineiramente utilizadas na **nanocaracterização** de materiais, ou seja, na determinação dos aspectos de sua estrutura que sejam de interesse para pesquisas e aplicações nanotecnológicas (Fig. 11).

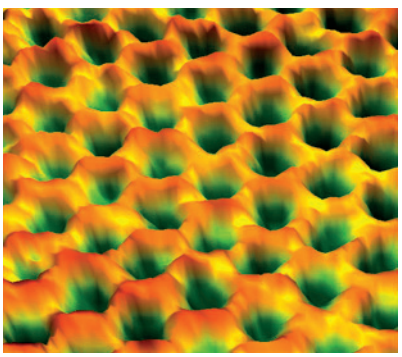


SIGRID GOMBERT/CULTURA/GETTY IMAGES



STEVE GSCHMEISSNER/SCIENCE PHOTO LIBRARY/FOTOARENA

Figura 9 (A) Pesquisadora operando microscópio eletrônico de varredura. (Laboratório de pesquisas em Freiburg, Alemanha, 2016.) (B) Imagem de seres procariontes presentes normalmente na boca humana, obtida ao microscópio eletrônico de varredura. (Ampliação aproximada de 5.100 vezes; cores meramente ilustrativas.)



IBM RESEARCH/SCIENCE PHOTO LIBRARY/FOTOARENA

Figura 10 Imagem de grafeno ao microscópio de tunelamento. Essa macromolécula de estrutura planar é constituída exclusivamente de átomos de carbono, um posicionado em cada vértice dos hexágonos vistos na imagem. A distância entre os núcleos de dois átomos adjacentes é de 0,14 nm. Imagem feita em 2013. (Ampliação aproximada de 45 milhões de vezes; cores meramente ilustrativas.)

JAVIER LARREA/AGEFOTOSTOCK/ALAMY/FOTOARENA

JAVIER LARREA/AGEFOTOSTOCK/ALAMY/FOTOARENA

Figura 11 (A) Pesquisadora de nanotecnologia inserindo amostra em microscópio de força atômica para realizar nanocaracterização. (B) Visão frontal do equipamento. (Centro de Física de Materiais, Espanha, 2010.)

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

EM MODERAÇÃO

5. Aplicações da nanotecnologia

A nanotecnologia é um campo interdisciplinar que apresenta muitas áreas de atuação, entre as quais três de grande destaque, que se completam e frequentemente se sobrepõem: nanomateriais, nanobiotecnologia e nanoeletrônica.

Nanomateriais

A utilização de nanomateriais pela humanidade não é um fato novo. O que é recente é a compreensão de como a composição química e a estrutura desses materiais condicionam suas propriedades. Por exemplo, artistas da Idade Média empregavam nanopartículas de ouro para colorir vitrais de vermelho (Fig. 1). Faziam isso seguindo procedimentos descobertos por meio de repetidas tentativas seguidas da avaliação dos resultados, mas sem o conhecimento do que se passava em nível atômico-molecular. O aço de algumas espadas fabricadas na Índia, no século XVIII, tem alta resistência aliada a uma flexibilidade incomum. Estudos recentes revelaram a presença, em meio a esse aço, de estruturas cilíndricas constituídas de átomos de carbono, similares ao que hoje denominamos nanotubos de carbono (Fig. 12). Também nesse caso, os ferreiros que produziram essas lâminas empregaram procedimentos aprimorados empiricamente ao longo de séculos, que envolviam a produção do aço com determinado tipo de carvão a elevadas temperaturas, resultando na formação das estruturas nanométricas que conferiram alta resistência e flexibilidade à liga.

Os atuais conhecimentos científicos e a disponibilidade de técnicas de microscopia para nanocaracterização propiciaram avanços na área de nanomateriais. Grande variedade deles já foi projetada, testada e utilizada. Plásticos e resinas sólidas podem ter sua resistência aumentada pela incorporação de nanopartículas ou nanofibras. Assim são produzidas armações para óculos, raquetes de tênis, varas de pescar, capacetes para motociclistas e coletes protetores para seguranças e policiais. Nanofibras também podem ser empregadas em mistura com o concreto, para aumentar sua resistência à tração e à deformação. Os materiais que são reforçados pela incorporação de nanomateriais, como os plásticos e o concreto mencionados, são genericamente denominados **nanocompósitos** (Fig. 13).

Certos materiais com elevada área superficial podem ser usados para reter em sua superfície moléculas de substâncias tóxicas. Assim, podem ser usadas em processos de purificação de água ou em máscaras para bombeiros e equipes de resgate que atuam em acidentes com vapores ou gases tóxicos. Exemplos desse tipo de material são as diversas variedades de carvão ativado (ou carvão ativo) produzidas por técnicas desenvolvidas em nanociência. Alguns nanomateriais absorventes podem ser empregados no tratamento de efluentes industriais e na despoluição de lagos.

Superfícies recobertas com nanopartículas de prata têm efeito bactericida (matam bactérias ao contato). Existem produtos constituídos de soro fisiológico (solução aquosa com 0,9% em massa de cloreto de sódio) que são destinados à limpeza e ao descongestionamento nasal. Nanopartículas de prata são usadas no revestimento interno da válvula que borrifa o produto, impedindo a contaminação do produto por bactérias e aumentando a segurança para o usuário.

Um revestimento de espessura nanométrica com partículas apropriadas de dióxido de titânio (TiO_2) pode ser incorporado a pisos, paredes e vidros. Após absorverem luz solar ultravioleta, essas partículas aceleram a oxidação de determinados poluentes gasosos, que os converte em substâncias não tóxicas. Vidros revestidos com essas mesmas nanopartículas são considerados autolimpantes, pois, na presença de ultravioleta, elas atuam na decomposição de determinadas moléculas de sujeira. Além disso, a aderência de materiais a essa superfície é baixa, o que ajuda a manter o vidro limpo (Fig. 14).

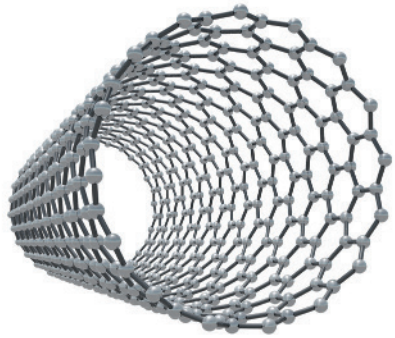

EVANNOVOSTRO/SHUTTERSTOCK

Figura 12 Modelo molecular de um nanotubo de carbono. Já foram sintetizados diversos tipos de estruturas similares, com diâmetros variados, paredes duplas ou triplas e também com uma ou duas extremidades fechadas. O diâmetro de um nanotubo como o desse modelo é da ordem de 1 nm. O comprimento é variável, geralmente milimétrico, mas pode chegar a alguns centímetros. Nanotubos podem ser usados para reforçar plásticos e aço, para atuarem com condutores ou semicondutores em nanodispositivos e como suportes para proteínas ou outras moléculas em nanossensores, que são equipamentos miniaturizados para medir grandezas ou detectar fenômenos em escala nanométrica. (Representação fora de proporção; cores meramente ilustrativas.)

SOFIKOS/SHUTTERSTOCK

Figura 13 Muitas restaurações dentárias são feitas com nanocompósitos constituídos de resinas contendo nanopartículas de sílica, SiO_2 (s), com diâmetro médio de 40 nm.

ALEKK PIRES/SHUTTERSTOCK

Figura 14 Vidros revestidos com nanopartículas de dióxido de titânio (TiO_2) retêm menos sujeira que vidros convencionais. (Rio de Janeiro, RJ.)

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

MODELO

Nanobiotecnologia

Esse é um campo extenso e promissor. Comecemos com aplicações na área de farmacologia, que estuda as substâncias de ação medicamentosa e os mecanismos de sua atuação no organismo. Quando alguém toma um medicamento por via oral, está ingerindo uma mistura de diversas substâncias, entre as quais pelo menos uma é o **princípio ativo**, ou seja, a substância realmente responsável pelo efeito terapêutico. As demais substâncias presentes têm outras finalidades, como proporcionar sabor agradável ou atuar na aglomeração dos diversos componentes. O princípio ativo não pode ser destruído pelo meio ácido existente no estômago nem pelo meio ligeiramente alcalino do duodeno (parte inicial do intestino), onde normalmente será absorvido e passará para a corrente sanguínea. Uma vez no sangue, o princípio ativo será distribuído pela circulação a diversas partes do organismo, entre elas as células onde deverá efetivamente atuar, o alvo do fármaco, gerando os efeitos biológicos desejados. Nesse processo, o princípio ativo atinge outras células que não são o alvo pretendido e pode produzir reações indesejadas, os efeitos colaterais.

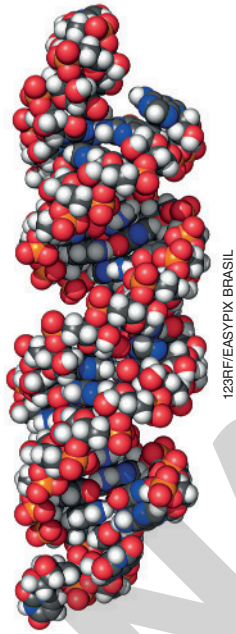
Na técnica que usa **nanopartículas para a entrega de fármacos** diretamente no seu alvo, o princípio ativo pode ser envolvido com lipídios similares aos existentes na membrana plasmática. A seguir, ligam-se a essa camada moléculas capazes de interagir de modo específico com substâncias existentes na membrana plasmática das células-alvo. As nanopartículas assim obtidas são injetadas na corrente sanguínea e interagirão especificamente com as células desejadas, que absorvem o princípio ativo ou engolfam a nanopartícula (por um processo chamado endocitose) com posterior liberação do princípio ativo em seu interior. Essa técnica permite mais segurança no tratamento, uso de doses menores e minimização de efeitos colaterais. Diversas variações dessa técnica já foram desenvolvidas, como o encapsulamento do fármaco por proteínas gelatinosas, polissacarídios ou polímeros artificiais biodegradáveis.

O uso de nanopartículas também vem sendo testado para o tratamento do câncer. Quando substâncias são administradas em um paciente para matar células cancerosas, procedimento denominado quimioterapia do câncer, a toxicidade dessas substâncias pode provocar a morte de células saudáveis, originando diversos efeitos colaterais como queda de cabelo, náuseas, diarreia e feridas na boca. Para evitar esses efeitos, as nanopartículas que encapsulam o fármaco quimioterápico podem conter em sua superfície substâncias (denominadas antígenos) que interagem especificamente com proteínas existentes somente nas células cancerosas (oncoproteínas), o que direciona o fármaco para essas células.

Nanopartículas podem ser usadas no tratamento de doenças causadas pela expressão indesejada de certos genes. Nesse caso, as nanopartículas são empregadas para introduzir nas células pequenos trechos de RNA chamados **RNA interferente pequeno** (Fig. 15) designados pela sigla siRNA (do inglês *small interfering RNA*). Este se liga ao RNA mensageiro (Capítulo 3) e impede a síntese da proteína correspondente, evitando os efeitos indesejados de sua produção.

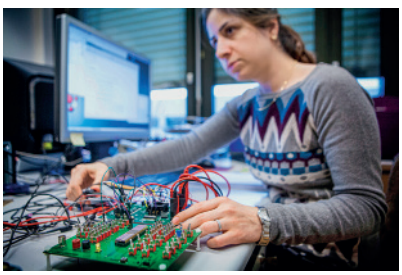
As aplicações biológicas da nanotecnologia abrangem outros casos além do tratamento de doenças. Na agricultura, o rendimento das lavouras pode ser melhorado empregando-se, próximo às raízes, materiais nanoporosos que absorvem água, nutrientes e/ou praguicidas e os liberam gradualmente.

Outra frente de atuação é o desenvolvimento de **nanobiossensores**, dispositivos de tamanho nanométrico que possibilitam receber informações do interior de sistemas biológicos e convertê-las em sinais elétricos transmitidos por nanofios a computadores para monitorar propriedades como acidez, presença de contaminantes ou concentração de íons ou de moléculas atuantes no metabolismo. O uso de nanobiossensores na agricultura é promissor no acompanhamento das condições do solo e do desenvolvimento das plantas. Na medicina, permitirá o monitoramento em tempo real da condição de saúde dos pacientes (Fig. 16).



123RF/EASYPIX BRASIL

Figura 15 Modelo molecular de um RNA interferente pequeno, no qual átomos estão representados por esferas (as cores correspondem aos seguintes elementos químicos: branco – hidrogênio; preto – carbono; azul – nitrogênio; vermelho – oxigênio; laranja – fósforo). Esse tipo de molécula tem comprimento geralmente entre 6,8 nm e 8,5 nm e consiste de duas fitas de RNA com total de aproximadamente 20 a 25 pares de bases. Dentro da célula, passa por uma série de eventos que incluem a separação das duas fitas e a união de uma delas a um trecho de RNA mensageiro que lhe seja complementar, o que impede que esse RNA mensageiro atue na síntese da proteína correspondente. (Representação fora de proporção; cores meramente ilustrativas.)



AMELIE-BENOIST/BSIP/ALLAMY/FOTOARENA

Figura 16 Pesquisadora da área de nanoeletrônica atuando no desenvolvimento de dispositivo contendo nanossensores usado para monitorar *pH* e concentração de substâncias, como glicose e colesterol, e transmitir os resultados via *bluetooth* para uma central receptora. O local do implante no organismo pode variar de acordo com a doença que o paciente tem. (Escola Politécnica de Lausanne, Suíça, 2014.)

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

EM PRODUÇÃO

Nanoeletrônica

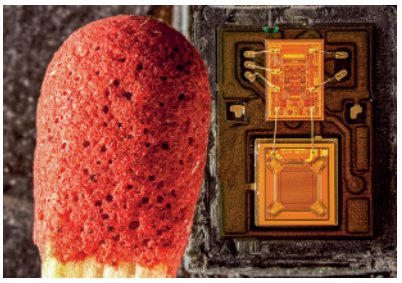
Os *chips* eletrônicos utilizados em computadores, *tablets* e telefones celulares são pequenas lâminas que apresentam circuitos eletrônicos em tamanho muito reduzido e que incluem componentes miniaturizados chamados transistores, constituídos de materiais semicondutores, que controlam seletivamente a passagem de corrente elétrica.

A progressiva miniaturização desses dispositivos tem sido marcante nas últimas décadas (Fig. 17). A continuidade dos progressos nessa área depende de técnicas desenvolvidas pela nanotecnologia. Uma das mais significativas é a **nanolitografia** (do grego *líthos*, "rocha", e *grápho*, "escrever" ou "registrar").

Primeiramente, uma lâmina de silício, chamada de *wafer* (lê-se "uêifer"), é recoberta com uma camada de um material fotossensível apropriado que, quando exposto ao ultravioleta, torna-se solúvel em um solvente adequado. A seguir, utiliza-se uma máscara que contém áreas opacas e áreas transparentes para projetar raios ultravioleta no *wafer*. Da mesma maneira como um projetor de cinema permite projetar uma imagem ampliada do filme na tela usando luz visível, um equipamento apropriado projeta uma imagem deduzida dessa máscara no *wafer* usando radiação ultravioleta. Algumas áreas da cobertura do *wafer* recebem ultravioleta e outras não. As que receberam são removidas quando o *wafer* é mergulhado em um solvente adequado. Assim, essa peça agora conterá áreas em que o silício está exposto e áreas em que ele continua revestido pela camada protetora.

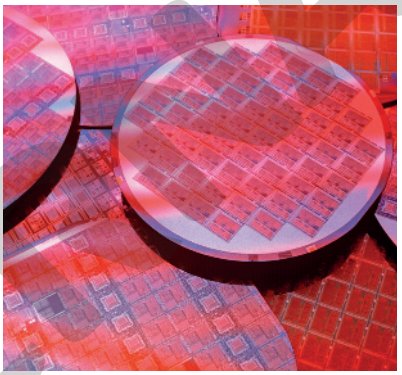
Nesse ponto do processo, é possível depositar metal nas partes expostas ou **dopar** o silício, isto é, impurificá-lo propositalmente com pequenas quantidades de outros elementos químicos, chamados de **dopantes** nesse contexto. A seguir, a camada protetora é removida e esse procedimento é repetido diversas vezes (Fig. 18), incorporando ao *wafer* novos itens de metal ou dopante. Ao final, estará pronto o circuito eletrônico miniaturizado (Fig.19), que incluirá transistores nanométricos constituídos de silício e dopantes apropriados.

Atualmente, processadores usados em computadores pessoais podem conter cerca de 5 bilhões de transistores, e já existem técnicas que possibilitam inserir em *chips* detalhes com dimensões de 5 nm. Esse progresso é decorrente dos esforços colaborativos de muitos pesquisadores em várias partes do mundo, envolvendo estudos sobre as propriedades eletrônicas dos materiais (Fig. 20) e suas diversas aplicações práticas.



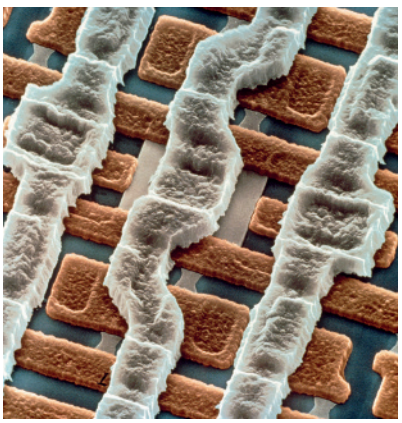
GERD GUENTHER/SCIENCE PHOTO LIBRARY/FOTOARENA

Figura 17 Fotografia ampliada de dois *chips* que constituem o microfone de um telefone celular. A cabeça de um palito de fósforo (à esquerda) foi incluída na foto para comparação de tamanho. (Imagem obtida por microfotografia de luz; ampliação aproximada de 15 vezes.)



PHIL DEGGINGER/ALAMY/FOTOARENA

Figura 18 *Wafers* de silício contendo vários *chips* iguais entre si, que serão separados e comercializados. Um *wafer* de silício passa às vezes por 50 ciclos de nanolitografia, cada um deles incorporando novos detalhes aos circuitos miniaturizados. (O *wafer* circular que aparece por inteiro nessa foto tem diâmetro de 10 cm e nele existem 60 *chips*.)



DAVID SCHARF/SCIENCE PHOTO LIBRARY/FOTOARENA

Figura 19 Imagem ampliada de um *chip* eletrônico usado em memória de computador mostrando detalhes do circuito que são criados durante a produção. (Imagem ao microscópio eletrônico de varredura com ampliação aproximada de 2.000 vezes; cores meramente ilustrativas.)

MICHELINE PELLETIER/GAMMA-RAPHO/GETTY IMAGES

Figura 20 A física estadunidense, professora e pesquisadora de nanotecnologia Mildred Spiewak Dresselhaus (1930-2017), em foto de 2006. Pesquisou as propriedades eletrônicas dos materiais e suas aplicações, inclusive de grafite, grafeno e nanotubos de carbono. Em seus 57 anos de carreira, preocupou-se também com a necessidade de proporcionar oportunidades igualitárias para as mulheres nas áreas de Ciências da Natureza e Engenharia.

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

MODELO

6. Segurança e nanotecnologia

Este capítulo forneceu uma breve introdução à nanotecnologia. Muitos outros exemplos poderiam ter sido explorados, entre eles aplicações relacionadas a nanomateriais bactericidas para acondicionamento de alimentos, nanossensores para monitoramento de poluição, catalisadores mais eficientes para reduzir a poluição automotiva, nanomembranas para purificação de água, placas com nanobiossensores e nanocircuitos eletrônicos para realizar diversos exames clínicos simultaneamente (Fig. 21), nanomateriais para células fotovoltaicas (que convertem energia luminosa em energia elétrica), para armazenamento de energia elétrica em pilhas e baterias (incluindo células a combustível) e para produção e estocagem segura de gás hidrogênio.

Produtos decorrentes da nanotecnologia são fonte de grande esperança porque podem ajudar no tratamento de diversas doenças, na redução das emissões de poluentes, na recuperação de áreas contaminadas, na melhoria da produção e estocagem de alimentos, na otimização da geração e aproveitamento da energia elétrica, no aumento da eficiência de dispositivos eletrônicos e no desenvolvimento da tecnologia da informação.

Por outro lado, grande quantidade de nanopartículas é produzida anualmente e incorporada a itens de varejo, como produtos de higiene, cosméticos, fibras têxteis, plásticos e equipamentos eletrônicos. Alguns desses produtos, após utilização, vão parar no esgoto, como é o caso de cremes dentais, xampus, cremes para limpeza da pele e produtos de maquiagem. Quando isso ocorre, as nanopartículas neles presentes serão conduzidas ao ambiente aquático. Os bens duráveis, como produtos eletrônicos, deverão ser corretamente encaminhados para reciclagem quando chegarem ao final de seu ciclo de uso. Contudo, nem sempre isso acontece. O descarte inapropriado e mesmo o desgaste do produto durante sua utilização regular podem liberar no ambiente as nanopartículas que existem neles, acarretando seu espalhamento no ar, na água e no solo.

Que efeitos a introdução dessas nanopartículas no ambiente terá sobre nós, os demais seres vivos e o meio ambiente? Há muitas pesquisas para responder a essa pergunta. A **nanotoxicologia** é uma área recente que estuda os efeitos das nanopartículas sobre os organismos. Já existem evidências de que algumas delas podem ser absorvidas pelos pulmões, quando inaladas, através da pele, quando em contato com ela, e pelo tubo digestório, se ingeridas. Uma vez na circulação, elas podem ser rapidamente distribuídas pelo corpo e acarretar efeitos diversos. Existem, contudo, grandes dificuldades para estabelecer a toxicidade de nanopartículas, pois ela pode variar significativamente quando outras substâncias as estão recobrindo.

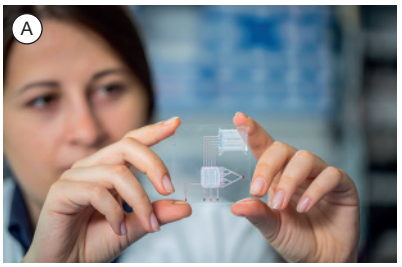
Como as nanopartículas têm grande área superficial em relação à sua massa ou ao seu volume (Item 2 deste capítulo), isso potencializa suas interações com as estruturas que constituem os organismos. Que problemas poderão surgir ou se agravar por causa disso?

Se, por um lado, há inúmeras aplicações potencialmente benéficas da nanotecnologia, existe, por outro, a possibilidade de descobrirmos no futuro que algumas dessas inovações acarretam problemas às pessoas ou ao ambiente.

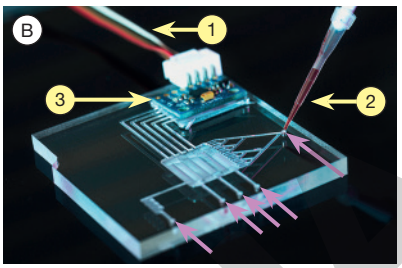
Quem decide sobre essas questões? Que voz ativa os cidadãos têm sobre esses problemas? Em uma sociedade democrática, que mecanismos a população tem para expressar suas opiniões e se fazer ouvir?

A atividade ao lado permitirá que você, atuando em equipe, reflita sobre essas e outras questões referentes à segurança dos avanços nanotecnológicos.

É fundamental que todo cidadão procure se informar continuamente a respeito dos desdobramentos ligados aos temas científicos para atuar ativamente nas decisões acerca desses e outros aspectos que sejam de seu interesse e da sociedade como um todo.



WLADIMIR BULGAR/SCIENCE PHOTO LIBRARY/FOTOARENA



WLADIMIR BULGAR/SCIENCE PHOTO LIBRARY/FOTOARENA

Figura 21 (A) Placa com biossensores e circuitos eletrônicos para realizar diversos exames clínicos simultaneamente, conhecida como sistema microanalítico total, dispositivo de microfluidos ou LOC (sigla do inglês *lab-on-a-chip*, "laboratório em uma placa"). (B) A placa é conectada a um computador por meio de fios (1). Com micropipetas (como 2), colocam-se amostras líquidas (sangue, urina, saliva) em locais determinados (indicados pelas setas roxas) na placa. Esses fluidos escoam por um trajeto em que existem reagentes apropriados, chegando à região (3) onde há nanobiossensores e *nanochips*, que enviam sinais elétricos ao computador para interpretação.

Veja comentários sobre essa atividade no Suplemento do Professor.

Atividade em grupo

Todo produto lançado no mercado deve estar de acordo com as normas legais. Que órgãos estabelecem esses regulamentos?

Quem decide sobre a aprovação de novos produtos ligados à saúde ou à alimentação? E sobre dispositivos eletrônicos?

Que dificuldades existem em regulamentar áreas em que a inovação é muito rápida, como a da nanotecnologia?

Pesquisem e elaborem um vídeo de divulgação à comunidade que responda a essas perguntas e também àquelas feitas no texto ao lado. (Sugestões de uso de mídias digitais estão disponíveis no início do livro.) Apresentem **argumentos** legais e éticos que embasem suas opiniões e **proponham** sugestões de como os mecanismos envolvidos poderiam ser melhorados.

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

EM MODERNA

1. Neste capítulo, afirmou-se que, se os fios de cabelo de um indivíduo crescem 1 cm por mês, então cada fio cresce quase 4 nm por segundo.

a) Demostre essa afirmação, calculando quantos segundos há em um mês de 30 dias e, a seguir, dividindo 1 cm pelo número obtido. (Sugestão: trabalhe com potências de dez e em notação científica para facilitar os cálculos.)

b) Estime quantos nanômetros as unhas dos dedos da mão crescem por segundo. Deixe claro que considerações você fez para chegar ao resultado.

2. Pode parecer estranho, mas desenvolver aplicações no plano nanométrico partindo do conhecimento químico dos sistemas condensados (*bulk*) não é trivial e requer uma educação tipicamente nanotecnológica.

Fonte: TOMA, H. E. Interfaces e organização da pesquisa no Brasil: da Química à nanotecnologia. *Química Nova*, v. 28, p. S48-S51, 2005.

Consultando um dicionário inglês-português, verifica-se que, entre os significados da palavra *bulk*, estão: tamanho, magnitude, parte principal, parte maior, monte, pilha, estatura. Assim, *bulk* é uma expressão, às vezes usada sem tradução, para denotar sistemas macroscópicos. Um exemplo de propriedade referente a sistemas desse tipo é

a) a densidade de uma pepita de ouro.
b) o diâmetro de um átomo de hélio.
c) a cor de um ponto quântico.
d) o número de elétrons de um átomo.
e) o ângulo entre as duas ligações H—O em uma molécula de água.

2. a

3. Nanomateriais podem ser nanopartículas, que têm as três dimensões em nanoescala; nanobastões e nanotubos, em que duas dimensões estão no domínio nanométrico; e nanorrevestimentos e nanofolhas, em que apenas uma dimensão está em nanoescala.

Fonte: CHAUDHRY, Q. *et al. Nanotechnologies in food*. 2. ed. Londres: Royal Society of Chemistry, 2017. (Tradução dos autores.)

Seguindo as ideias apresentadas no texto, um exemplo de nanomaterial é

a) uma gota de chuva.
b) a cabeça de um alfinete.
c) uma folha de papel-alumínio.
d) um transistor de *chip* processador de celular.
e) os menores grãos de areia que podem ser vistos.

3. d

4. Para a Medicina e as Ciências Biológicas, a miniaturização representa uma oportunidade para interferir na interação de moléculas com tecidos e células. Essa noção traduz-se na descoberta de fármacos com ação terapêutica aperfeiçoada e com menores efeitos colaterais.

Fonte: KESERVANI, R. K. *et al.* (ed.). *Drug delivery approaches and nanosystems*. Oakville: Apple Academic Press, 2018. v. 1. (Tradução dos autores.)

Como exemplo do que é expresso na última frase do texto apresentado, é possível mencionar o

a) uso de comprimidos e pílulas em vez de injeção.
b) desenvolvimento de novos tipos de bisturi.
c) uso de nanopartículas para entrega de fármacos.
d) emprego de microscópios eletrônicos para visualizar células em estudos de laboratório.
e) aperfeiçoamento da nutrição esportiva.

4. c

5. Leia a coletânea de textos referentes ao elemento químico cádmio (Cd) e responda às perguntas.

O cádmio pode ser absorvido e acumulado ao longo de cadeias alimentares. Entre seus efeitos tóxicos no ser humano estão falência dos rins, elevação da pressão arterial e danos pulmonares.

Fonte: OSMAN, K. T. *Management of soil problems*. Cham: Springer, 2018. (Tradução dos autores.) (Adaptado.)

Tanto o cádmio metálico quanto os compostos desse elemento são carcinogênicos. A inalação representa parte da possibilidade de contaminação. Já os níveis ambientais são relevantes para a deposição nos solos e, consequentemente, para a ingestão em alimentos.

Fonte: POULOPOULOS, S. G.; INGLEZAKIS, V. J. (ed.). *Environment and development*. Oxford: Elsevier, 2016. (Tradução dos autores.)

O cádmio tem efeito venenoso e acumulativo em muitos animais, substituindo o zinco em enzimas e destruindo sua atividade enzimática.

Fonte: SHRIVER, D. *et al. Inorganic Chemistry*. 6. ed. Nova York: Freeman, 2014. (Tradução dos autores.)

Nos termos da PNRS [Política Nacional de Resíduos Sólidos], a responsabilidade compartilhada pelo ciclo de vida dos produtos é o "conjunto de atribuições individualizadas e encadeadas dos fabricantes, importadores, distribuidores e comerciantes, dos consumidores e dos titulares dos serviços públicos de limpeza urbana e de manejo dos resíduos sólidos, para minimizar o volume de resíduos sólidos e rejeitos gerados, bem como para reduzir os impactos causados à saúde humana e à qualidade ambiental decorrentes do ciclo de vida dos produtos, nos termos desta Lei".

Fonte: MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. Disponível em: <https://www.mma.gov.br/cidades-sustentaveis/residuos-perigosos/logistica-reversa>. Acesso em: ago. 2020.

a) Explique por que o cádmio facilmente substitui o zinco nas enzimas das quais este toma parte.
b) Que responsabilidade os produtores de dispositivos eletrônicos com telas de pontos quânticos com cádmio em sua composição deveriam ter ao final do ciclo de vida do produto? Por quê?
c) O consumidor desses produtos deve ter alguma responsabilidade? Justifique sua opinião.
d) Como o governo e a sociedade devem agir para que essas responsabilidades se transformem em ações práticas que deem resultados?

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

MODERNA

Ampliando os conhecimentos

CAPÍTULO 1

Internet

Mendel e a ervilha. National Geographic Channel.
Os três vídeos buscam recriar a vida e os trabalhos de Gregor Mendel, conhecido como "pai da Genética".
Parte 1: A estranha ervilha na vagem. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=tfjDJE4kWhM>.
Parte 2: A simples ervilha. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=VVlr37xPkk0>.
Parte 3: Minha hora chegará. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=hEdc96wxyZ8>.
Acessos em: jul. 2020.

CAPÍTULO 2

Internet

Você consegue enrolar a língua? *Pesquisa Fapesp*.
Algumas pessoas conseguem enrolar a língua como um tubo; para outras, isso é impossível. Pode haver variação nessa característica mesmo entre gêmeos idênticos. Disponível em: <https://revistapesquisa.fapesp.br/voc%C3%AA-consegue-enrolar-a-l%C3%ADngua/>. Acesso em: jul. 2020.

CAPÍTULO 3

Internet

Alimentos sob nova visão da Ciência, de Rejane de Sousa Ferreira. *Ciência Hoje*.
Artigo que mostra reflexões e informações sobre a relação entre genética, expressão gênica e alimentação. Disponível em: <https://cienciahoje.org.br/artigo/alimentos-sob-nova-visao-da-ciencia/>. Acesso em: jul. 2020.

CAPÍTULO 4

Impresso

Eletricidade: história e aplicações, de Nicolau Gilberto Ferraro. São Paulo: Moderna, 1997. (Coleção Desafios.)
Nesse livro, o leitor acompanha a evolução histórica da Eletricidade e as aplicações tecnológicas que fizeram nossa sociedade dependente dos aparelhos elétricos.

Os fundamentos experimentais e históricos da eletricidade, de André Koch Torres de Assis. São Paulo: Livraria da Física, 2011.
Esse 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 também experiências lúdicas e curiosas que estimulam a criatividade, o pensamento crítico e o senso de brincadeira na ciência.

Relâmpagos, de Osmar Pinto Júnior e Iara de Almeida Pinto. São Paulo: Brasiliense, 1996. (Coleção Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais.)
De maneira clara, o texto apresenta as descobertas sobre as descargas atmosféricas.

CAPÍTULO 5

Impresso

Edison e a lâmpada elétrica, de Steve Parker. 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.

Eletricidade e eletrodomésticos, de Santiago Pey Estramy. São Paulo: Hemus, 2004.
O livro traz 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 também experiências lúdicas e curiosas que estimulam a criatividade, o pensamento crítico e o senso de brincadeira na ciência.

Guia mangá de eletricidade, de Kazuhiro Fujitaki. São Paulo: Novatec, 2010.
A partir de análise de aparelhos elétricos comuns, a obra aborda conceitos de potencial, corrente, resistência, condutividade e força eletrostática.

Internet

Lei de Ohm, da Universidade do Colorado (EU).
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. O aplicativo calcula, em cada caso, a intensidade da corrente elétrica que atravessa o circuito. Disponível em: <https://phet.colorado.edu/pt_BR/simulation/ohms-law>. Acesso em: jun. 2020.

CAPÍTULO 6

Impresso

Pilhas e baterias: funcionamento e impacto ambiental, de Nerilso Bocchi, Luiz Carlos Ferracin e Sonia Regina Biaggio. *Química Nova na Escola*, n. 11, 2000. p. 3-9.
Além de comentar o funcionamento das pilhas e baterias mais significativas, esse 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.

O bicentenário da invenção da pilha elétrica, de Mario Tolentino e Romeu C. Rocha-Filho. *Química Nova na Escola*, n. 11, 2000. p. 35-39.
Os autores contextualizam historicamente a invenção desse dispositivo, que se mostrou de considerável utilidade ao ser humano.

Células a combustível: energia limpa a partir de fontes renováveis, de H. Mercedes Villullas, Edson A. Ticianelli e Ernesto R. González. *Química Nova na Escola*, n. 15, 2002. p. 28-34.
O artigo discute os princípios que determinam o funcionamento de células a combustível e comenta alguns de seus tipos.

CAPÍTULO 7

Impresso

Corrosão: um exemplo usual de fenômeno químico, de Fábio Merçon, Pedro Ivo Canesso Guimarães e Fernando Benedito Mainier. *Química Nova na Escola*, n. 19, 2004. p. 11-14.
Aborda os principais aspectos da corrosão, não apenas em materiais metálicos, e alguns métodos de prevenção.

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

MODERNA

Oxidação de metais, de Maria Helena Cunha Palma e Vera Aparecida de Oliveira Tiera. *Química Nova na Escola*, n. 18, 2003. p. 52-54.
Relata experimento simples para ilustrar a oxidação de substâncias metálicas, permitindo, inclusive, comparar as diferentes tendências à oxidação de alguns diferentes metais presentes no cotidiano.

CAPÍTULO 8

Impresso

Do *Big Bang* à eletricidade, de Jeunesse Gallimard. São Paulo: Melhoramentos, 1995.
O livro explica como a energia muda de forma e faz o mundo se movimentar. Analisa o que ocorreu do *Big Bang* até os dias de hoje. Destaca as invenções propiciadas pela descoberta do eletromagnetismo, como os geradores de eletricidade.

Os 400 anos do *De magnete*, de Alberto Passos Guimarães. *Ciência Hoje*, v. 28, n. 167, dez. 2000.
Nesse artigo, o autor analisa uma obra científica importante: o livro *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 9

Impresso

A eletricidade e a Química, de Maria da Conceição Marinho Oki. *Química Nova na Escola*, n. 12, 2000. p. 34-37.
A autora apresenta a trajetória que levou à compreensão da eletricidade, ao seu emprego na descoberta de novos elementos químicos e a sua contribuição para maior aproximação entre Física e Química.

Tio Tungstênio: memórias de uma infância química, de Oliver Sacks. São Paulo: Companhia das Letras, 2002.
O autor desse romance relata lembranças de sua infância impregnada pelo contato com os metais e suas propriedades. O título é uma alusão ao tio, que fabricava lâmpadas de tungstênio.

CAPÍTULO 10

Impresso

Clonagem: da ovelha Dolly às células-tronco, de Lygia da Veiga Pereira. São Paulo: Moderna, 2005.
O livro procura explicar o que é clonagem e quais seus objetivos. Além disso, levanta uma série de questões científicas e éticas sobre novas tecnologias, diferenciando a clonagem reprodutiva da clonagem terapêutica.

CAPÍTULO 11

Impresso

Acústica musical e organologia, de José Vasconcelos. 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.

Ciência e mágica com som, de Chris Oxlade. São Paulo: Nobel, 1995.
Por meio de truques de mágica, esse livro apresenta princípios básicos de Acústica. Materiais do dia a dia podem ser usados para realizar os diversos truques.

Nas ondas do som, de Valdir Montanari e Paulo Cunha. São Paulo: Moderna, 1996.
A audição desempenha um papel importante na comunicação. A observação desse fato 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, das qualidades fisiológicas dos sons e faz uma análise dos instrumentos musicais.

Internet

Ondas sonoras, da Universidade do Colorado (EU).
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. Disponível em: <https://phet.colorado.edu/pt/simulation/sound>. Acesso em: jun. 2020.

CAPÍTULO 12

Impresso

Os fulerenos e sua espantosa geometria molecular, de Romeu C. Rocha-Filho. *Química Nova na Escola*, n. 4, 1996. p. 7-11.
O artigo conta um pouco da história da descoberta dos fulerenos e faz algumas considerações geométricas acerca de suas estruturas.

A nanotecnologia das moléculas, de Henrique E. Toma. *Química Nova na Escola*, n. 21, 2005. p. 3-90.
Artigo que aborda a atuação da Química no desenvolvimento da nanotecnologia, apresenta os conceitos de máquinas moleculares e fornece exemplos de nanomateriais.

Nanotecnologia molecular – materiais e dispositivos, de Henrique E. Toma. São Paulo: Blucher, 2016. (Coleção de Química conceitual. v. 6.)
Livro que apresenta muitos exemplos de aplicações da nanotecnologia. Embora muitos deles envolvam complexos conceitos científicos, a linguagem usada e as ilustrações tornam o tema atraente.

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

MODERNA

Tabela periódica dos elementos (IUPAC)

1 ← Numeração dos grupos de acordo com a União Internacional de Química Pura e Aplicada (IUPAC)

A tabela periódica da IUPAC não destaca os elementos em diferentes cores. Nesta página, para efeito didático, utilizaram-se as cores da tabela periódica da Sociedade Brasileira de Química (SBQ), que não usa a classificação semimetal:

- hidrogênio (não metal), metais e transurânicos ($Z > 92$, artificiais);
- não metais;
- gases nobres de ocorrência natural.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
1 hidrogênio **H** 1,0																	2 hélio **He** 4,0
3 lítio **Li** 6,9	4 berílio **Be** 9,0											5 boro **B** 10,8	6 carbono **C** 12,0	7 nitrogênio **N** 14,0	8 oxigênio **O** 16,0	9 flúor **F** 19,0	10 neônio **Ne** 20,2
11 sódio **Na** 23,0	12 magnésio **Mg** 24,3											13 alumínio **Al** 27,0	14 silício **Si** 28,1	15 fósforo **P** 31,0	16 enxofre **S** 32,1	17 cloro **Cl** 35,5	18 argônio **Ar** 39,9
19 potássio **K** 39,1	20 cálcio **Ca** 40,1	21 escândio **Sc** 45,0	22 titânio **Ti** 47,9	23 vanádio **V** 50,9	24 crômio **Cr** 52,0	25 manganês **Mn** 54,9	26 ferro **Fe** 55,8	27 cobalto **Co** 58,9	28 níquel **Ni** 58,7	29 cobre **Cu** 63,5	30 zinco **Zn** 65,4	31 gálio **Ga** 69,7	32 germânio **Ge** 72,6	33 arsênio **As** 74,9	34 selênio **Se** 79,0	35 bromo **Br** 79,9	36 criptônio **Kr** 83,8
37 rubídio **Rb** 85,5	38 estrôncio **Sr** 87,6	39 ítrio **Y** 88,9	40 zircônio **Zr** 91,2	41 nióbio **Nb** 92,9	42 molibdênio **Mo** 95,9	43 tecnécio **Tc**	44 rutênio **Ru** 101,1	45 ródio **Rh** 102,9	46 paládio **Pd** 106,4	47 prata **Ag** 107,9	48 cádmio **Cd** 112,4	49 índio **In** 114,8	50 estanho **Sn** 118,7	51 antimônio **Sb** 121,8	52 telúrio **Te** 127,6	53 iodo **I** 126,9	54 xenônio **Xe** 131,3
55 césio **Cs** 132,9	56 bário **Ba** 137,3	57-71	72 háfnio **Hf** 178,5	73 tântalo **Ta** 180,9	74 tungstênio **W** 183,8	75 rênio **Re** 186,2	76 ósmio **Os** 190,2	77 irídio **Ir** 192,2	78 platina **Pt** 195,1	79 ouro **Au** 197,0	80 mercúrio **Hg** 200,6	81 tálio **Tl** 204,4	82 chumbo **Pb** 207,2	83 bismuto **Bi** 209,0	84 polônio **Po**	85 astato **At**	86 radônio **Rn**
87 frâncio **Fr**	88 rádio **Ra**	89-103	104 rutherfórdio **Rf**	105 dúbnio **Db**	106 seabórgio **Sg**	107 bóhrio **Bh**	108 hássio **Hs**	109 meitnério **Mt**	110 darmstádtio **Ds**	111 roentgênio **Rg**	112 copernício **Cn**	113 nihônio **Nh**	114 fleróvio **Fl**	115 moscóvio **Mc**	116 livermório **Lv**	117 tenesso **Ts**	118 oganessônio **Og**

57 lantânio **La** 138,9	58 cério **Ce** 140,1	59 praseodímio **Pr** 140,9	60 neodímio **Nd** 144,2	61 promécio **Pm**	62 samário **Sm** 150,4	63 európio **Eu** 152,0	64 gadolínio **Gd** 157,3	65 térbio **Tb** 158,9	66 disprósio **Dy** 162,5	67 hólmio **Ho** 164,9	68 érbio **Er** 167,3	69 túlio **Tm** 168,9	70 itérbio **Yb** 173,0	71 lutécio **Lu** 175,0
89 actínio **Ac**	90 tório **Th** 232,0	91 protactínio **Pa** 231,0	92 urânio **U** 238,0	93 netúnio **Np**	94 plutônio **Pu**	95 amerício **Am**	96 cúrio **Cm**	97 berquélio **Bk**	98 califórnio **Cf**	99 einstênio **Es**	100 férmio **Fm**	101 mendelévio **Md**	102 nobélio **No**	103 laurêncio **Lr**

Número atômico

Nome **Símbolo**

Massa atômica

ADILSON SECCO

Tabela periódica da IUPAC (União Internacional de Química Pura e Aplicada), com as massas atômicas aqui apresentadas com um algarismo após a vírgula.
A massa atômica não está apresentada no caso de elementos que não têm isótopos estáveis. Os dados são provenientes de <https://iupac.org/what-we-do/periodic-table-of-elements/> (acesso em: maio 2020), onde atualizações são periodicamente disponibilizadas.

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

Referências bibliográficas

ALBERTS, B.; JOHNSON, A.; LEWIS, J.; RAFF, M.; ROBERTS, K.; WALTER, P. *Biologia molecular da célula*. 5. ed. Porto Alegre: Artmed, 2010.

Material com diversas informações sobre Biologia Celular e Molecular.

ASIMOV, I. *Asimov's biographical encyclopedia of science and technology*. Garden City: Doubleday, 1982.

Este livro mostra a evolução do pensamento científico ao longo do tempo e as relações entre cientistas e estudiosos, fazendo uma exposição completa de ciência e tecnologia em meados do século XX.

ATKINS, P. W. *et al*. *Physical Chemistry*. 11. ed. Oxford: Oxford University Press, 2018.

Livro consultado sobre aspectos conceituais da Eletroquímica.

BAIRD, C.; CANN, M. *Environmental Chemistry*. 5. ed. Nova York: Freeman, 2012.

Obra de referência para reações químicas de oxirredução em fenômenos ambientais.

BHUSHAN, B. (ed.). *Springer handbook of nanotechnology*. 4. ed. Berlin: Springer, 2017.

Obra de referência para consulta de terminologias, conceitos, técnicas e progressos em nanociência.

BLOOMFIELD, L. A. *How things work*: the Physics of everyday life. Hoboken: John Wiley & Sons, 2010.

Este livro fornece ao estudante uma introdução acessível à Física utilizando objetos do cotidiano para explicar os conceitos mais essenciais da física do dia a dia.

BROWN, T. L. *et al*. *Chemistry: the central science*. 14. ed. Nova York: Pearson, 2018.

Referência sobre aspectos conceituais da determinação do número de oxidação.

BURDGE, J. *Chemistry*. 5. ed. Nova York: McGraw-Hill, 2020.

Obra que trata de temas da Química geral, incluindo aspectos conceituais de celas galvânicas e celas eletrolíticas.

CARLSON, E. A. *The gene*: a critical history. Philadelphia: W. B. Saunders Co., 1966.

A obra aborda aspectos históricos e filosóficos da evolução do conceito de gene.

COOPER, G. M. *The Cell*: A Molecular Approach. 4. ed. Sunderland (MA): Sinauer, 2006.

Livro usado como referência para estudo de aspectos moleculares da Citologia.

DAVIS, B. D. *The genetic revolution*. Baltimore: The John Hopkins University Press, 1991.

Este livro contém diversas informações sobre o desenvolvimento da Genética.

EBBING, D. D.; GAMMON, S. D. *General Chemistry*. 11. ed. Boston: Cengage Learning, 2017.

Livro de Química geral usado como referência para o tema número de oxidação.

FIGOVSKY, O.; BEILIN, D. *Green nanotechnology*. Singapura: Pan Stanford Publishing, 2017.

Livro empregado para referenciar aplicações da nanotecnologia à agricultura e à fabricação de superfícies com propriedades antimicrobiais.

FOLMER-JOHNSON, T. N. O. *Elementos de corrente elétrica*. São Paulo: Nobel, 1965.

Este livro apresenta um estudo introdutório completo e abrangente sobre conceitos relacionados a eletricidade e corrente elétrica.

FOLMER-JOHNSON, T. N. O. *Elementos de eletrostática*. São Paulo: Nobel, 1965.

Este livro apresenta um estudo introdutório completo e abrangente sobre conceitos relacionados à eletrostática.

FULEKAR, M. H.; PATHAK, B. *Environmental nanotechnology*. Boca Raton: CRC Press, 2018.

Obra que apresenta diversos exemplos da aplicação da nanotecnologia, com ênfase em aspectos voltados ao saneamento ambiental.

GRIFFITHS, A. J. F.; GELBART, W. M.; MILLER, J. H.; LEWONTIN, R. C. *Modern Genetics Analysis*. Nova York: W. H. Freeman, 1998.

Livro usado como fonte para o estudo de Genética.

GRIFFITHS, A. J. F.; WESSLER, S. R.; LEWONTIN, R. C.; CARROLL, S. B. *Introdução à Genética*. 9. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2009.

Livro usado como fonte para o estudo de Genética.

HAUSMANN, R. *História da Biologia Molecular*. Ribeirão Preto: Sociedade Brasileira de Genética, 1997.

Este material traz diversos aspectos históricos do desenvolvimento da Genética.

HAYNES, W. M. (ed.). *CRC Handbook of Chemistry and Physics*. 97. ed. Boca Raton: CRC Press, 2017.

Obra de referência para potenciais-padrão de semicela.

HEWITT, P. G. *Física conceitual*. São Paulo: Bookman, 2011.

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.

INAMUDDIN; ASIRI, A. M. (ed.). *Applications of nanotechnology for green synthesis*. Cham: Springer, 2020.

Referência sobre utilização de nanomateriais em química verde.

KESERVANI, R. K.; SHARMA, A. K.; KESHARWANI, R. K. (ed.). *Drug delivery approaches and nanosystems*. Oakville: Apple Academic Press, 2018. 2 v.

Obra em dois volumes consultada sobre utilização de materiais nanoestruturados para a entrega de fármacos.

KOTZ, J. C.; TREICHEL, P. M.; TOWNSEND, J. R.; TREICHEL, D. A. *Chemistry & chemical reactivity*. 10. ed. Boston: Cengage Learning, 2019.

Referência de Química geral que inclui informações sobre pilhas e baterias, corrosão e eletrólise.

KUMAR, N.; KUMBHAT, S. *Essentials in nanoscience and nanotechnology*. Hoboken: John Wiley, 2016.

Obra consultada sobre toxicidade e aspectos ambientais referentes a nanopartículas.

LEVINE, I. *Physical Chemistry*. 6. ed. Nova York: McGraw-Hill, 2009.

Obra de referência para aspectos conceituais referentes às celas galvânicas e às celas eletrolíticas.

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

MODERNA

LOURTIOZ, J. M.; LAHMANI, M.; DUPAS-HAEBERLIN, C.; HESTO, P. (ed.). *Nanosciences and nanotechnology*: evolution or revolution? Cham: Springer, 2016.

Referência que apresenta uma visão abrangente da nanotecnologia e seus métodos.

MADIGAN, M. T.; BENDER, K. S.; BUCKLEY, D. H.; SATTLEY, W. M.; STAHL, D. A. *Brock Biology of microorganisms*. 15. ed. Harlow: Pearson, 2019.

Obra com informações a respeito de procariontes, consultada sobre processos metabólicos de oxirredução.

MANAHAN, S. *Environmental Chemistry*. 10. ed. Nova York: CRC Press, 2017.

Livro consultado sobre processos de oxirredução que ocorrem no meio ambiente.

MORTIMER, R. G. *Physical Chemistry*. 3. ed. Burlington: Elsevier, 2008.

Obra empregada no estudo das celas galvânicas.

NEWMAN, J.; THOMAS-ALYEA, K. E. *Electrochemical systems*. 3. ed. Hoboken: John Wiley, 2004.

Obra a respeito de aspectos teóricos da Eletroquímica.

OGRIS, M.; SAMI, H. (ed.). *Nanotechnology for nucleic acid delivery*: methods and protocols. 2. ed. Nova York: Springer, 2019.

Livro consultado sobre utilização da nanotecnologia para entrega de ácidos nucleicos.

OHTSUKA, T.; NISHIKATA, A.; SAKAIRI, M.; FUSHIMI, K. *Electrochemistry for corrosion fundamentals*. Singapura: Springer, 2018.

Livro com informações sobre corrosão de metais e sua prevenção.

OLBY, R. *Origins of Mendelism*. 2. ed. Chicago: The University of Chicago Press, 1985.

Livro que aborda aspectos históricos do surgimento da Genética.

OREL, V. *Gregor Mendel*: the first geneticist. Oxford: Oxford University Press, 1996.

Esta obra trata de aspectos relacionados a Mendel e suas pesquisas.

PETRUCCI, R. H.; HERRING, F. G.; MADURA, J. D.; BISSONNETTE, C. *General Chemistry: principles and moderns applications*. 11. ed. Toronto: Pearson, 2017.

Livro de Química geral usado como referência para pilhas e baterias, corrosão de metais e aplicações da eletrólise.

RAMDANI, N. *Nanotechnology in aerospace and structural mechanics*. Hershey: IGI Global, 2019.

Obra empregada como referência sobre nanomateriais e suas propriedades.

RAMSDEN, J. J. *Nanotechnology*: an introduction. 2. ed. Oxford: Elsevier, 2016.

Referência sobre aspectos gerais da nanotecnologia e dos nanomateriais.

RAZA, H. *Freshman lectures on nanotechnology*. Cham: Springer, 2019.

Livro que, além de uma visão geral da nanotecnologia, aborda nanoeletrônica, nanofabricação e nanocaracterização.

ROSENBERG, E.; DELONG, E. F.; LORY, S.; STACKEBRANDT, E.; THOMPSON, F. (ed.). *The prokaryotes*: prokaryotic physiology and biochemistry. 4. ed. Nova York: 2013.

Referência empregada na pesquisa de processos de oxirredução no metabolismo de seres unicelulares.

ROY, S.; GHOSH, C. K.; SARKAR, C. K. (ed.) *Nanotechnology: syntesis to applications*. Boca Raton: CRC Press, 2018.

Publicação empregada no estudo de aplicações de nanomateriais em dispositivos eletrônicos.

SANDERS, W. C. *Basic principles of nanotechnology*. Boca Raton: CRC Press, 2019.

Livro introdutório a aspectos moleculares em nanotecnologia.

SHARON, M. (ed.) *History of nanotechnology*: from prehistoric to modern times. Hoboken: John Wiley, 2019.

Livro que fornece panorama histórico da nanotecnologia.

SILBERBERG, M. S.; AMATEIS, P. *Chemistry: the molecular nature of matter and change*. 8. ed. Nova York: McGraw-Hill, 2018.

Referência empregada para obter informações sobre a facilidade de reação de diferentes íons em relação à água em processos em eletrólise aquosa.

STUMM, W.; MORGAN, J. J. *Aquatic Chemistry*: chemical equilibria and rates in natural waters. 3. ed. Nova York: John Wiley, 1996.

Obra de referência para processos de oxirredução em fenômenos ambientais.

TICIANELLI, E. A.; GONZALEZ, E. R. *Eletroquímica: princípios e aplicações*. 2. ed. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 2005.

Livro consultado sobre células a combustível e aplicações práticas da eletrólise.

TOMA, H. E. *Nanotecnologia molecular* materiais e dispositivos. São Paulo: Blucher, 2016.

Obra que apresenta diversos conceitos da área nanotecnológica e ilustra com muitos exemplos práticos.

TOMA, H. E.; DA SILVA, D. G.; ULISSES, C. *Nanotecnologia experimental*. São Paulo: Blucher, 2016.

Livro usado como referência para exemplos em nanotecnologia.

WHITE, D.; DRUMMOND, J.; FUQUA, C. *The physiology and biochemistry of prokaryotes*. 4. ed. Oxford: Oxford University Press, 2012.

Referência empregada na pesquisa de processos de oxirredução biológicos envolvidos no metabolismo de seres procariontes.

MODELNA

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

MODERNA

ISBN 978-65-5779-327-5

MODERNA