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:
0198P21203138

MODERNA PLUS

CIÊNCIAS DA NATUREZA E SUAS TECNOLOGIAS

MANUAL DO PROFESSOR

UNIVERSO E EVOLUÇÃO

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

UNIVERSO E EVOLUÇÃO

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, 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, 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: Palavra Certa, ReCriar Editorial

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

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 XLII

Capítulo 6 XLIX

Capítulo 7 LIV

Capítulo 8 LXIV

Capítulo 9 LXVIII

Capítulo 10 LXX

Capítulo 11 LXXIII

Capítulo 12 LXXXI

Resoluções das Atividades Finais LXXXVI

Referências bibliográficas complementares do volume XCII

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.

REPRODUÇÃO

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.

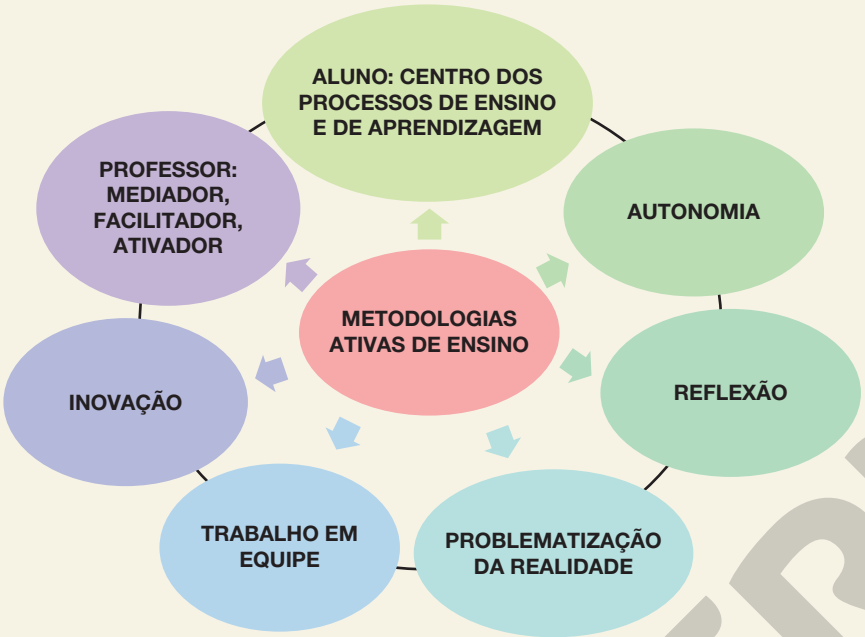
A diversidade de estratégias didáticas

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.

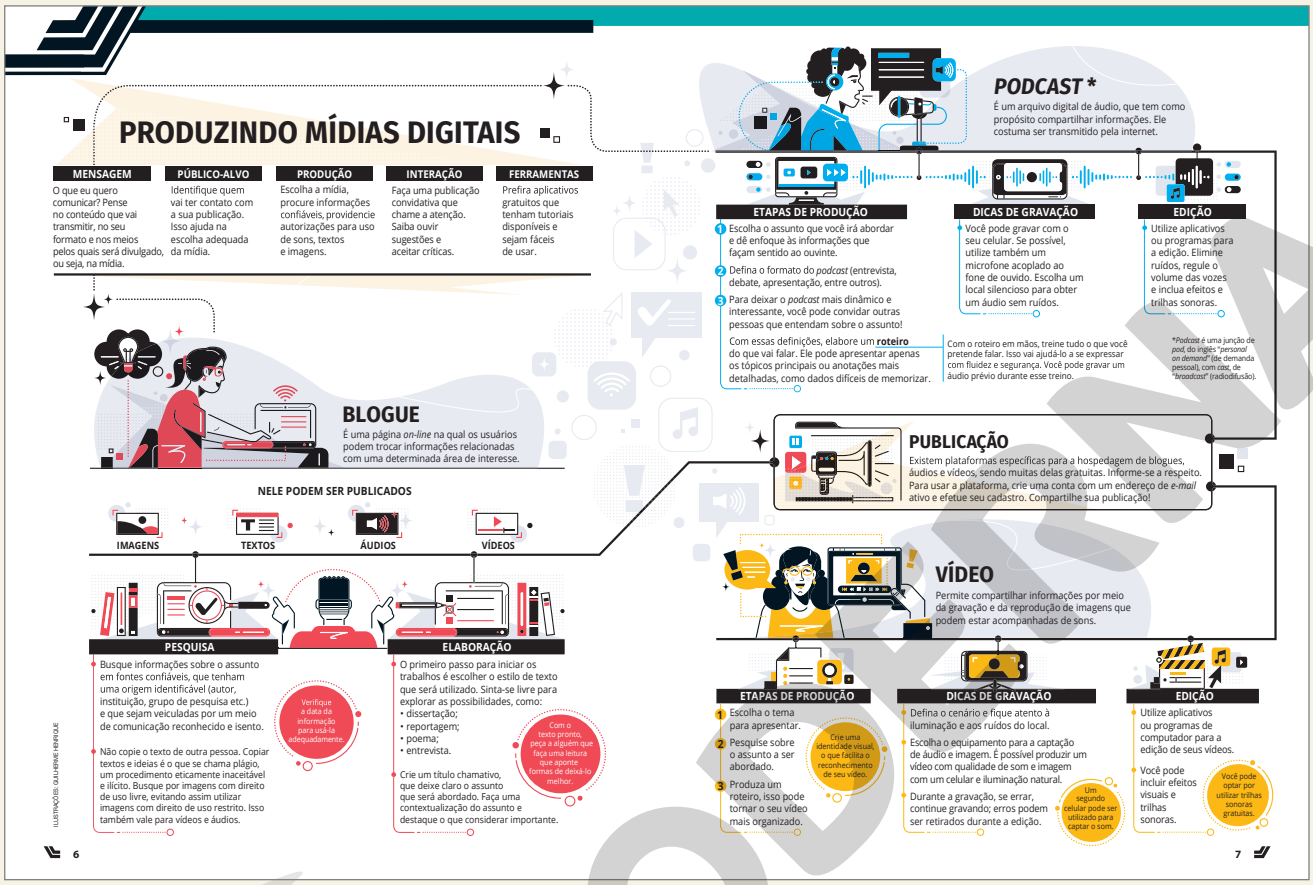
As práticas e todo o processo educativo devem ser objetos de reflexão, de modo que tecnologias digitais de informação e de comunicação (TDIC) passem a integrar as estratégias metodológicas de maneira transversal, sem entrar em atrito com as metodologias que vinham sendo aplicadas. Assim, é preciso incorporar 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 Origens do Universo, do Sistema Solar e da vida na Terra

Metas do capítulo

- Conhecer, em linhas gerais, ideias científicas recentes sobre as origens do Universo, do Sistema Solar e da Terra.
- Conhecer, em linhas gerais, as condições supostamente reinantes na Terra primitiva antes do surgimento da vida.
- Conhecer os principais passos que teriam levado à origem dos primeiros seres vivos: formação de substâncias orgânicas precursoras, organização dessas substâncias em sistemas isolados e surgimento da reprodução.
- Comparar as hipóteses heterotrófica e autotrófica para a origem da vida e justificar a tendência atual de aceitar a hipótese autotrófica.
- Conhecer uma polêmica histórica entre os defensores da abiogênese e os defensores da biogênese, reconhecendo a importância do debate de ideias para o desenvolvimento da cultura e das tecnologias.

Sugestões didáticas e comentários

A **abertura do capítulo** tem por objetivo despertar a curiosidade dos estudantes a respeito das origens do Universo e da vida na Terra. Apesar dos avanços científicos, esses temas ainda são intensamente debatidos pelos estudiosos e não há consenso sobre o assunto. Pelos conteúdos abordados neste capítulo, sugerimos que seja trabalhado pelo professor com formação em Biologia.

Atividade em grupo

Esta atividade propõe que os estudantes se organizem em grupos para pesquisar diferentes explicações religiosas sobre a origem do Universo, de nosso planeta e dos seres vivos. A atividade possibilita integração com as disciplinas de História e de Sociologia. Se possível, combine com os professores dessas disciplinas algum tipo de acompanhamento nas pesquisas e eventualmente uma apresentação conjunta dos trabalhos dos estudantes. Um mito criacionista interessante é descrito na *Teogonia* (lit. *o nascimento dos deuses*), poema épico atribuído ao poeta grego Hesíodo, datado do século VIII a.C. Segundo ele, no princípio reinava Caos, o deus primordial, imerso nas águas e sozinho nas trevas. Um dia, cansado da solidão, Caos resolveu criar o mundo, representado por diversos deuses: Gaia, a Terra; Eros, o amor; Tártaro, o mundo inferior; Érebo, a escuridão do espaço; e Nix, a noite. Gaia gerou sozinha três filhos: Urano, o firmamento; Ponto, as águas; e Óreas, as montanhas. Mais tarde, Gaia casou-se com Urano e um de seus filhos – Cronos, o tempo – tornou-se um dos deuses mais poderosos antes do reinado de Zeus, a divindade suprema para os gregos.

Mitos egípcios antigos relatam que, no começo, o mundo não passava de um imenso rio de águas turvas em borbulhante caos, representado pelo deus ancestral Nun. Nas profundezas das águas, a partir do caos primordial de Nun, nasceu Aton. Ao surgir das águas Aton manifestou-se na forma de uma flor de lótus, do interior da qual emergiu Rá, o deus-Sol. Este gerou dois filhos: Shu, deus do ar, e Tefnut, representação da divindade relacionada à umidade e às águas. Juntos, esses dois filhos criaram Geb, a Terra, e Nut, o Céu.

Uma das versões bíblicas da criação do mundo conta que no início havia apenas escuridão sobre uma infinita extensão de água, sobre a qual pairava o espírito de Deus. Ao soprar a superfície líquida Deus criou a luz, que passou a iluminar as trevas. Isso teria ocorrido no primeiro dia de criação. No segundo dia Deus criou o céu; no terceiro, a fertilidade do solo e as plantas, inclusive as frutíferas. No quarto dia foram criados o Sol, a Lua e as estrelas, que Deus distribuiu em seus devidos lugares no firmamento. No quinto dia foram criados os peixes na água e as aves no céu. No sexto dia Deus povoou a Terra com todas as espécies de animais e criou o homem, à sua imagem e semelhança. No sétimo dia Deus finalmente descansou.

A civilização inca, que floresceu nos Andes antes da chegada dos europeus, acreditava que o Sol e a Lua eram ancestrais diretos dos seres humanos. Os antigos povos vikings atribuíam a Odin, um de seus muitos deuses, a criação do primeiro homem e da primeira mulher a partir de dois troncos de árvores encontrados pelo deus quando caminhava na praia.

De olho na BNCC

- **EM13CNT302**
- **EM13LGG201**
- **Competências gerais 3 e 4**

A atividade possibilita desenvolver a habilidade **EM13CNT302**, ao solicitar que os estudantes apresentem e discutam os resultados de suas pesquisas com os demais colegas de classe ou por meio de ferramentas digitais. Também trabalha a habilidade da área de Linguagens e suas Tecnologias **EM13LGG201**, na medida em que a apresentação da atividade permite utilizar diferentes linguagens, como cartazes, fotos, infográficos, explanações verbais, mesa de debates etc.

A atividade também possibilita trabalhar a **competência geral 3**, ao propor pesquisas sobre as diferentes explicações para a origem da humanidade, o que estimula o conhecimento, a compreensão e o respeito por diferentes manifestações culturais; a **competência geral 4** pode ser exercitada quando os estudantes apresentam os resultados de suas pesquisas, desafiados pelo professor a empregar diferentes linguagens para expressar informações.

MODERNA

1. A origem do Universo e do Sistema Solar

Este item traz uma breve apresentação da teoria da grande explosão (*big bang*) e comenta brevemente as teorias científicas atualmente aceitas para a origem do Universo, das estrelas, do Sistema Solar e da Terra.

É interessante conversar com os estudantes sobre escalas de tempo da ordem de bilhões e milhões de anos, tão distantes da escala temporal da vida humana que são mesmo difíceis de imaginar. Uma estratégia que pode ajudar nessa discussão é convidar os estudantes a escrever, na lousa e em seus cadernos, os números de anos que expressam essas ordens de grandeza. Por exemplo, 1 bilhão corresponde a 1.000 milhões. E assim por diante.

Outra maneira de abordar as grandes escalas do tempo universal é consultar o calendário cósmico elaborado pelo cientista norte-americano Carl Sagan (1934-1996) com o objetivo didático de resumir, em um ano, toda a história do Universo, desde o *big bang* até os dias atuais. Uma breve explicação sobre o calendário cósmico de Carl Sagan pode ser vista no endereço eletrônico: <http://www.espacociencia.pe.gov.br/?p=15574&utm_source=rss&utm_medium=rss&utm_campaign=calendario-cosmico>. Acesso em: 14 ago. 2020.

Sugestão de atividade

A proposta desta atividade é que, tendo por base o calendário cósmico de Carl Sagan, os estudantes desenhem uma "linha do tempo", de preferência em papéis de tamanho grande, na qual serão representados, em escala, alguns dos eventos importantes ocorridos desde o *big bang* até os dias de hoje. Por exemplo, poderia ser utilizada uma folha grande de papel quadriculado ou milimetrado, ou uma folha de cartolina e uma régua, marcando as divisões do tempo geológico. Desenhe uma linha horizontal e marque, na extremidade à esquerda, "15 bilhões de anos atrás". Na extremidade à direita da linha, marque "zero", que corresponde ao tempo atual. Divida a linha em 15 partes, cada uma delas correspondendo a 1 bilhão de anos. Veja, a seguir, a época aproximada em que teriam ocorrido os seguintes eventos:

a) *big bang* (grande explosão) = 13,8 bilhões de anos
b) origem do elemento hidrogênio = 13,8 bilhões de anos
c) origem das primeiras estrelas = 13,3 bilhões de anos
d) origem do Sistema Solar = 4,6 bilhões de anos
e) origem da Terra = 4,5 bilhões de anos
f) surgimento dos primeiros oceanos = 3,6 bilhões de anos
g) surgimento dos primeiros seres vivos = 3,5 bilhões de anos

Marque esses eventos em sua linha do tempo.

As origens do Universo e do Sistema Solar, apresentadas brevemente no capítulo, poderiam ser desenvolvidas em conjunto com a Física. Tente combinar com os professores dessa disciplina e, eventualmente, também com professores de Química alguma maneira de desenvolver uma abordagem conjunta, em que os estudantes fossem orientados a pesquisar as características e as condições reinantes nos diferentes planetas do Sistema Solar. Essas pesquisas mostrariam por que a Terra é provavelmente o único planeta de nosso Sistema Solar que reúne, no momento, condições favoráveis à existência de vida.

No início do Universo os elementos químicos predominantes eram o hidrogênio e o hélio. O hidrogênio é o elemento químico mais abundante no Universo e também o de menor densidade. Seu número atômico é 1, constituindo-se apenas de um próton e de um elétron. A formação dos elementos químicos, denominada nucleossíntese, ocorre no interior de estrelas que se encontram em processos de fusão e de fissão de núcleos atômicos.

O hélio, cujo número atômico é 4, constitui-se de dois prótons e dois elétrons. Esse elemento químico foi assim nomeado em homenagem ao deus Sol da mitologia grega, *Helius*, por tratar-se do elemento químico mais abundante nessa estrela.

De olho na BNCC

- **EM13CNT209**

Este item, ao abordar a formação do Universo, do Sistema Solar e da Terra, possibilita o desenvolvimento da habilidade **EM13CNT209**, que trata dos modelos de origem e distribuição dos elementos químicos no Universo e do surgimento de sistemas solares.

2. A origem da vida na Terra

A origem da vida na Terra ainda é um assunto envolto em especulações e polêmicas. Praticamente não restaram vestígios de uma época tão antiga – mais de 3,5 bilhões de anos atrás – que nos forneçam pistas de quando e como a vida surgiu. Além disso, até o momento não foram descobertos seres vivos fora de nosso planeta. Seria a vida um fenômeno exclusivamente terrestre?

O pensamento evolucionista para a origem da vida admite-a como um processo natural e compatível com a evolução do Universo. A temática possibilita discutir com os estudantes os poderes e as limitações da ciência, que se aplica apenas ao mundo natural e não se propõe a resolver questões de ordem espiritual, religiosa ou moral, embora possa eventualmente contribuir para essas reflexões. A polêmica sobre a origem da vida costuma despertar o interesse dos estudantes; aproveitar esse interesse pode ser importante para mudar eventuais concepções dogmáticas e equivocadas sobre a infalibilidade da ciência.

Recentemente um grupo de cientistas ligados às pesquisas espaciais sugeriu a possibilidade de que o bombardeio da Terra por grandes corpos celestes devia ser muito intenso nos primórdios do planeta; segundo essa hipótese a maior parte da água e dos gases atmosféricos teria sido trazida para a Terra por cometas e asteroides, que também poderiam ter trazido substâncias orgânicas precursoras da vida. O tema permite explorar a essência do processo científico, que não trabalha com verdades imutáveis, reconhecendo que o conhecimento

MODERNA

está em contínua construção. Esse aspecto temático permite desenvolver a habilidade **EM13CNT205**, que trata dos limites explicativos das ciências.

Aplicando conhecimentos

1 Alternativa D. Aproveite a oportunidade para trabalhar também com as demais alternativas, pedindo que os estudantes respondam quais eventos podem ser associados com as datas descritas.

2 Alternativa C. Esse experimento foi a base para as teorias que postulam que a vida surgiu a partir de reações químicas, um processo abiogênico.

De olho na BNCC

- **EM13CNT201**
- **EM13CNT205**

Este item possibilita o desenvolvimento das seguintes habilidades: **EM13CNT201**, ao tratar da origem da vida sob uma perspectiva histórica e **EM13CNT205**, ao discutir sobre os limites explicativos da ciência.

3. Um pouco de história: abiogênese *versus* biogênese

Este item apresenta aspectos históricos do debate entre os partidários das hipóteses da abiogênese e da biogênese, permitindo mostrar aos estudantes como a busca pelo conhecimento científico pode levar a descobertas importantes para a humanidade. As polêmicas e as pesquisas sobre a origem dos microrganismos levaram à tecnologia de preservação de alimentos pelo francês Nicolas Appert (1749-1841), que assim inaugurou a indústria de alimentos enlatados.

Atividade prática

Esta atividade reproduz a experiência de Redi e, embora simples, possibilita que os estudantes lidem com problemas práticos da experimentação, da observação e da elaboração de relatórios da experiência. Leve os estudantes a refletir sobre o pioneirismo das experiências de Redi, Spallanzani e Pasteur e sobre as tecnologias que daí surgiram, sem falar das descobertas dos microrganismos como agentes causadores de diversas doenças.

Respostas:

a) No experimento está sendo testada a hipótese de que a vida só surge a partir de outro ser vivo.

b) Os resultados do experimento realizado por Redi e replicados na atividade prática demonstram que as larvas só surgiram no frasco destampado, que possibilitava a entrada de moscas, o que demonstra que as larvas não surgem espontaneamente, e sim por meio da reprodução das moscas.

A atividade possibilita desenvolver as habilidades **EM13CNT301**, ao sugerir que os estudantes repliquem um experimento clássico e elaborem um relatório nos moldes de um trabalho científico, e **EM13CNT302**, ao propor que os estudantes apresentem os resultados de seus experimentos.

Aplicando conhecimentos

3 Alternativa E. Ao trabalhar com a atividade, relembre com os estudantes como ocorre a quimiossíntese.

4 Alternativa A. Aproveite a oportunidade para pedir aos estudantes que relembrem a estrutura básica de uma célula.

5 Alternativa C. Ao trabalhar com a atividade, reforce para os estudantes que a vida a que os cientistas se referem é a vida microscópica, ou seja, de microrganismos.

6 Alternativa B. A hipótese autotrófica postula que os primeiros seres vivos seriam semelhantes aos seres quimiolitoautotróficos atuais.

7 Alternativa F. Segundo a teoria da evolução molecular, compostos inorgânicos reagiram entre si originando moléculas orgânicas relativamente simples, como aminoácidos, pequenos açúcares, bases nitrogenadas, ácidos graxos etc., que em condições adequadas se combinaram, formando moléculas mais complexas.

8 Alternativa D. Essa hipótese não é amplamente aceita pela comunidade científica porque há cientistas que argumentam que não haveria matéria orgânica suficiente para os primeiros seres vivos se alimentarem.

Dialogando com o texto

Esta atividade propõe a comparação de duas maneiras de preservação do leite para consumo humano, o processo UHT e a pasteurização. A proposta destaca a ideia de que microrganismos presentes no ar são os principais responsáveis pela deterioração dos alimentos. Estimule os estudantes nas pesquisas e questione-os sobre por que a refrigeração dos alimentos inibe a atividade microbiana e prolonga sua vida útil. Sugira uma pesquisa sobre as dificuldades para conservar alimentos antes das tecnologias de refrigeração. Leve os estudantes a refletir, também, sobre por que alimentos submetidos ao processo de salga (como charque ou bacalhau) ficam preservados por mais tempo; a salga remove parte da água presente nesses alimentos e cria um meio altamente hipertônico, inóspito à proliferação de microrganismos.

De olho na BNCC

- **EM13CNT201**
- **EM13CNT301**
- **EM13CNT302**
- **EM13CNT303**

Este item possibilita o desenvolvimento das seguintes habilidades: **EM13CNT201**, ao abordar a origem da vida sob uma perspectiva histórica; **EM13CNT301**, ao propor aos estudantes a realização de um experimento prático e a elaboração de um relatório nos moldes de um trabalho científico; **EM13CNT302**, ao estimular os estudantes a apresentar para os colegas os resultados de seus experimentos; e **EM13CNT303**, ao pesquisar em diferentes textos como as pesquisas sobre geração espontânea levaram a novas tecnologias de preservação dos alimentos, como o proposto na atividade *Dialogando com o texto*.

EM ABERTA

CAPÍTULO 2 Ondas eletromagnéticas e tecnologia das telecomunicações

Metas do capítulo

- Conhecer as características das ondas que constituem o espectro eletromagnético e os fenômenos relacionados.
- Utilizar os conhecimentos de radiações e suas origens para avaliar as potencialidades e os riscos de sua aplicação no cotidiano, na indústria, no ambiente, na saúde, na tecnologia espacial, na pesquisa por vida extraterrestre, entre outros.
- Reconhecer os benefícios e os riscos à saúde e ao ambiente, considerando a intensidade e a natureza das ondas eletromagnéticas.
- Conhecer e analisar como as descobertas nos ramos da eletricidade e do magnetismo impulsionaram o desenvolvimento tecnológico nos séculos XIX e XX.
- Ter ciência de como as tecnologias das comunicações impactaram a vida econômica, política e cultural das sociedades modernas.

Sugestões didáticas e comentários

A abertura do capítulo destaca a busca por indícios de vida extraterrestre; entretanto, uma das condições para que exista vida em outros lugares do Universo, da forma como a conhecemos, exige, pelo menos, água líquida, elementos químicos associados à vida (como carbono, oxigênio e nitrogênio) e moléculas orgânicas. A identificação desses elementos químicos ou moléculas é realizada por diferentes telescópicos e seus instrumentos de detecção de distintos comprimentos de onda. As diversas ondas eletromagnéticas possuem diferentes poderes de penetração, dependendo de como elas são geradas. A previsão teórica da existência dessas radiações e a posterior detecção experimental delas constituíram um longo processo histórico. A aplicação do Eletromagnetismo às necessidades da sociedade da época gerou diversas invenções, como a emissão e a recepção de mensagens sem fio, que influenciaram as tecnologias atuais de comunicação. Ao longo deste capítulo serão abordados conceitos importantes, como as características das ondas eletromagnéticas, o espectro eletromagnético e a tecnologia das comunicações. É importante que você, professor, resolva com os estudantes os exercícios propostos e discuta com eles as atividades sugeridas apontando a importância de cada uma delas para que possam aplicar e utilizar corretamente os conceitos estudados no capítulo de forma significativa. Pelos conteúdos abordados neste capítulo, sugerimos que seja trabalhado pelo professor com formação em Física.

De olho na BNCC

- **EM13CHS102**
- **Competência geral 1**

Este capítulo proporciona o desenvolvimento parcial da habilidade **EM13CHS102**, da área de Ciências Humanas e Sociais Aplicadas, ao identificar, analisar e discutir as circunstâncias históricas, geográficas, políticas, econômicas, sociais, ambientais e culturais de matrizes conceituais, avaliando criticamente seu significado histórico.

A **competência geral 1** também é evidenciada no decorrer do capítulo, na medida em que valoriza e utiliza os conhecimentos historicamente construídos sobre o mundo físico, social, cultural e digital para entender e explicar a realidade.

1. Introdução

Neste capítulo, além da conceituação das ondas eletromagnéticas, faz-se uma contextualização do tema com a tecnologia das telecomunicações, mostrando algumas aplicações presentes no cotidiano dos estudantes. Nesta seção, é apresentada uma breve introdução histórica do desenvolvimento do Eletromagnetismo, em que são apontadas as descobertas das radiações ultravioleta e infravermelho, além da unificação da eletricidade e do magnetismo com as equações de Maxwell.

Sugerimos aproveitar esse momento para destacar que a construção da ciência se dá historicamente e corresponde às necessidades e aos anseios de cada época – note que, entre a previsão teórica de James C. Maxwell e a detecção experimental dessas radiações, há um período de quase 60 anos. Para aprofundar seus conhecimentos e/ou trabalhar o tema sob a perspectiva da história das ciências, sugerimos a leitura do artigo "A metodologia de J. C. Maxwell e o desenvolvimento da teoria eletromagnética", de Paulo C. C. Abrantes, disponível em: <http://www.periodicos.ufsc.br/index.php/fisica/article/view/10075/9300> (acesso em: 11 ago. 2020). Com essa leitura, é possível propor aos estudantes um debate sobre o desenvolvimento da teoria eletromagnética.

É importante destacar que as ondas eletromagnéticas foram confirmadas experimentalmente por Hertz. Entretanto, foram inventores como Nikola Tesla e Guglielmo Marconi que empregaram as descobertas de Hertz para enviar mensagens sem o uso de fios entre receptor e transmissor. Portanto, uma das consequências das equações de Maxwell foi a previsão das ondas eletromagnéticas, que hoje são amplamente empregadas em ciência e tecnologia.

Uma forma de abordagem inicial é levantar as concepções prévias dos estudantes acerca do tema questionando-os:

- O que vocês entendem por espectro eletromagnético?
- Quais são as características comuns das radiações eletromagnéticas?
- Os raios X fazem mal à saúde?

MODERNA

- Ao nos comunicarmos com pessoas de outros países pela internet, de que forma as informações são transferidas?
- Existe algo em comum entre as imagens de televisão e a comunicação por telefonia celular?
- Como os alto-falantes inteligentes podem captar nossas ordens com apenas o som da fala?
- Como os radiotelescópios ou telescópios infravermelho, vistos na abertura do capítulo, conseguem identificar elementos químicos ou compostos orgânicos essenciais à vida?

De acordo com seu contexto e ambiente escolar, outras perguntas podem ser acrescentadas à lista. Solicite aos estudantes que registrem suas respostas e revisitem essas questões ao final do capítulo para verificar sua aprendizagem.

2. Características das ondas eletromagnéticas

É importante destacar que uma onda eletromagnética é originada por cargas elétricas oscilantes. Deve-se ressaltar o fato de que o tipo de carga e a frequência com que essas cargas elétricas oscilam definem a onda gerada. Para ilustrar uma onda eletromagnética plano-polarizada que se propaga segundo o eixo *x* no sentido positivo, sugerimos o endereço: <http://www.walter-fendt.de/html5/phpt/electromagneticwave_pt.htm> (acesso em: 11 ago. 2020).

Convém esclarecer aos estudantes que uma das características das ondas eletromagnéticas é transmitir energia em quantidade diretamente proporcional à sua frequência (lei de Planck), assim como seu poder de penetração diretamente proporcional à frequência (ou inversamente proporcional ao comprimento de onda). Desse modo, eles poderão compreender melhor o uso de determinado tipo de onda em cada aplicação prática e desenvolver de forma significativa a habilidade **EM13CNT103**. Aponte que, no capítulo 11 deste volume, vamos aprofundar a lei de Planck e o comportamento dual da luz.

Apresente as características das ondas eletromagnéticas, principalmente sua velocidade de propagação no vácuo, a orientação espacial relativa dos vetores campo elétrico, campo magnético e velocidade de propagação, bem como a relação entre as suas intensidades $\left(\frac{E}{B} = v\right)$. Um ponto importante é evidenciar que as ondas eletromagnéticas não necessitam de um meio material para se propagar, propagando-se no vácuo com velocidade constante e igual à velocidade da luz no vácuo. Após a constatação, no início do século XIX, de que a luz era uma onda, os cientistas acreditavam que deveria existir um meio que desse suporte à propagação da luz. Um meio elástico e tênue, que foi denominado "éter". Foi a Teoria Eletromagnética de Maxwell que propôs a existência de ondas que se propagariam no vácuo com velocidade igual à da luz. Após diversos experimentos, como o do interferômetro de Michelson-Morley, ficou estabelecida a não existência do éter e a não necessidade da existência de um meio "material" para que as ondas eletromagnéticas pudessem se propagar. Portanto, essas ondas podem se propagar no vácuo.

Aproveite o exemplo proposto para aplicar os conhecimentos obtidos até aqui e desenvolver a habilidade **EM13CNT301**, pelo levantamento de hipóteses e conclusões a respeito dos conceitos estudados nessa seção em uma perspectiva das Ciências da Natureza, com a finalidade de reconhecer a origem, as características e as condições de propagação das ondas eletromagnéticas.

Leitura adicional

PEREIRA, Ricardo Vieira. Experimento de Michelson-Morley. Disponível em: <http://propg.ufabc.edu.br/mnpef-sites/relatividade-restrita/o-experimento-de-michelson-morley/>. Acesso em: 12 ago. 2020.

O texto aborda o experimento de Michelson-Morley, e faz uma análise teórica do problema e do desenvolvimento experimental da medida da velocidade da luz com um interferômetro. Oferece uma breve introdução histórica, animações dos fenômenos físicos e vídeos explicativos.

De olho na BNCC

- **EM13CNT103**
- **EM13CNT301**
- **EM13MAT313**
- **EM13MAT314**

Esta seção possibilita o desenvolvimento das habilidades: **EM13CNT103**, pois promove o conhecimento básico das radiações e suas origens, para avaliar suas potencialidades e aplicabilidades; e **EM13CNT301**, por meio da construção de questões, levantamento de hipóteses e conclusões dos conceitos em uma perspectiva das Ciências da Natureza.

As habilidades **EM13MAT313** e **EM13MAT314**, da área de Matemática e suas Tecnologias, também são evidenciadas nesta seção, na medida em que utiliza a notação científica para expressar uma medida e apresenta problemas que envolvem grandezas determinadas pela razão ou pelo produto de outras.

Aplicando conhecimentos

Na seção *Aplicando conhecimentos*, são propostos dois exercícios para sedimentar os conhecimentos trabalhados nesta seção. Os exercícios envolvem cálculos de tempo de propagação das ondas e da relação entre as intensidades do campo elétrico e do campo magnético oscilantes, sendo uma boa oportunidade de verificar a compreensão dos conceitos estudados.

1 Sabemos da Cinemática que: $v = \frac{\Delta s}{\Delta t}$

Então, com $v = 3 \cdot 10^5$ km/s e $\Delta s \simeq 3{,}75 \cdot 10^5$ km, obtemos: $v = \frac{\Delta s}{\Delta t} \Rightarrow 3 \cdot 10^5 = \frac{3{,}75 \cdot 10^5}{\Delta t} \therefore \Delta t \simeq 1{,}25$ s

2 O exercício explora a relação existente entre a intensidade do campo elétrico e a intensidade do campo magnético em uma onda eletromagnética.

Na propagação de uma onda eletromagnética, vale a relação:

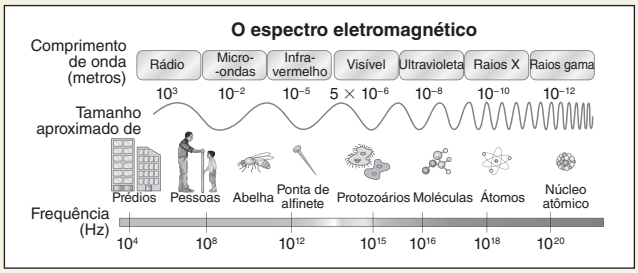
$$\frac{E}{B} = v \Rightarrow \frac{E_{máx}}{B_{máx}} = v \Rightarrow \frac{9{,}6 \cdot 10^{-4}}{B_{máx}} = 3 \cdot 10^8 \Rightarrow$$

$$\Rightarrow B_{máx} = \frac{9{,}6 \cdot 10^{-4}}{3 \cdot 10^8} \therefore B_{máx} = 3{,}2 \cdot 10^{-12}\ \text{T} = 3{,}2\ \text{pT}$$

MODERNA

3. Espectro eletromagnético

É interessante mostrar aos estudantes uma comparação entre tamanhos de certos objetos e comprimentos de onda de algumas radiações eletromagnéticas para que eles possam ter uma melhor ideia dessas dimensões. Uma sugestão comparativa:



ADILSON SECCO

Dados obtidos em: <http://www.if.ufrgs.br/oei/stars/espectro.htm>. Acesso em: 12 ago. 2020.

Nesse momento, podem surgir dúvidas referentes ao porquê de existirem diferentes classificações de ondas, viabilizando uma discussão sobre o fato de diferentes comprimentos de ondas possuírem diferentes poderes de penetração e energia; assim, diversas aplicabilidades e alcances tecnológicos podem proporcionar tanto benefícios quanto malefícios se utilizados de forma incorreta, podendo provocar riscos à saúde, à sociedade e ao ambiente, portanto, colocando em prática as habilidades **EM13CNT103** e **EM13CNT104**.

Deve-se salientar aos estudantes que as radiações de frequências mais elevadas (ultravioleta, raios X e raios gama) podem ser perigosas aos seres vivos em decorrência de seu alto poder de penetração (devido aos pequenos comprimentos de onda) e de seu poder energético (por causa das altas frequências). Entretanto, essas radiações fazem parte de fenômenos da natureza e possuem muitas aplicações tecnológicas. É uma boa oportunidade para relacionar o espectro eletromagnético com as aplicações às telecomunicações e a outras tecnologias, para consolidar o conhecimento das questões abordadas no início do capítulo.

De olho na BNCC

- **EM13CNT103**
- **EM13CNT104**
- **EM13CNT301**

Esta seção possibilita o desenvolvimento das seguintes habilidades: **EM13CNT103**, ao promover e utilizar o conhecimento das radiações para avaliar sua aplicabilidade no cotidiano, entre outros; **EM13CNT104**, ao avaliar benefícios e riscos associados a essa radiação; e **EM13CNT301**, por meio da construção de questões, levantamento de hipóteses e conclusões dos conceitos da seção em uma perspectiva científica das Ciências da Natureza.

Sugestão de atividade complementar

Espectro eletromagnético

Trabalhe os conceitos e as características das ondas eletromagnéticas presentes na construção de aparelhos eletroeletrônicos. Em seguida, organize a turma em sete grupos e estabeleça um desafio (descrito a seguir) para cada grupo, solicitando que a solução seja dada segundo os conceitos da Física. Cada grupo deve apresentar para a turma o desafio e o modo como foi solucionado. A cada apresentação, procure ressaltar os principais conceitos físicos, listando-os, complementando as explicações do grupo e esclarecendo dúvidas que surgirem ao longo da atividade. Não é uma atividade de seminário escolar, mas uma oportunidade de solução de problemas com a participação coletiva e ativa para a construção de um conhecimento científico. Essa atividade, por trabalhar as aplicações do uso da radiação, bem como suas relações benéficas e de risco, e promover questões cujas respostas devem ser elaboradas sob uma perspectiva das Ciências da Natureza, favorece o desenvolvimento das habilidades **EM13CNT103**, **EM13CNT104** e **EM13CNT301**, respectivamente. Se julgar pertinente, proponha ou inclua outras questões para os grupos.

Sugestão de grupos

- **Grupo 1**. Ondas de rádio AM e FM: mostrar a diferença, em termos de alcance, explicando por que podemos escutar uma estação AM num local mais distante que o local onde escutaríamos uma estação FM.
- **Grupo 2**. Micro-ondas: como o forno de micro-ondas "aquece" os alimentos?
- **Grupo 3**. Infravermelho: como funcionam as câmeras de segurança que "registram o calor humano"?
- **Grupo 4**. Luz: Qual é a faixa de frequências e de comprimentos de onda das radiações eletromagnéticas às quais nossos olhos são sensíveis? Se o "homem invisível" existisse, ele seria cego! Por quê?
- **Grupo 5**. Ultravioleta: qual é a relação entre camada de ozônio, bronzeamento natural e artificial e lâmpadas fluorescentes?
- **Grupo 6**. Raios X: uma das proezas do Superman é a sua "visão" de raios X. Há, pelo menos, um erro científico nesse superpoder. Qual? Radiografia, tomografia e ressonância magnética: como se diferenciam?
- **Grupo 7**. Raios gama: Dr. Bruce Banner (o Incrível Hulk) estava fazendo uma tomografia quando teve seus genes alterados. Isso é possível na realidade?

Permita que os grupos apresentem suas respostas e discutam entre si as seções sobre ondas de rádio, micro-ondas, luz (espectro visível) e raios X apresentadas no livro. Note que as frequências do infravermelho e do ultravioleta já foram trabalhadas anteriormente, então sugerimos retomá-las com os estudantes e/ou indicar leituras complementares.

A seguir, indicamos alguns artigos e leituras complementares para cada faixa do espectro eletromagnético, que podem auxiliar no seu planejamento de aula ou utilizados na sala de aula com os estudantes.

Leitura adicional

Infravermelho

Os artigos que seguem mostram aplicações da luz infravermelha. No primeiro artigo, seu uso refere-se à análise da temperatura corporal. No segundo artigo, sua aplicação está ligada a camadas internas de obras de artes. O interessante

MODERNA

é que os estudantes possam debater sobre a aplicação tecnológica dos conceitos da Física e sua relação com a vida em sociedade.

VASCONCELOS, Yuri. *Drones* no combate à covid-19. *Revista Pesquisa Fapesp*. Disponível em: <https://revistapesquisa.fapesp.br/drones-no-combate-a-covid-19/>. Acesso em: 12 ago. 2020.

O artigo relata um projeto desenvolvido por pesquisadores da UFPE, que visa combater a covid-19 por meio do monitoramento da população via *drone* que tem um sensor de temperatura (termômetro infravermelho), o que permite a detecção da temperatura corporal das pessoas a distância. Além disso, aborda outras tecnologias acopladas ao *drone* para o combate à covid-19.

PIVETTA, Marcos. Pinturas escondidas. *Revista Pesquisa Fapesp*. Disponível em: <https://revistapesquisa.fapesp.br/pinturas-escondidas/>. Acesso em: 12 ago. 2020.

O artigo mostra de que forma a radiação infravermelha pode ser usada para revelar pinturas escondidas em telas de artistas consagrados. Além disso, explica como ela ajuda a restaurar e/ou conservar tais pinturas.

Leitura adicional

Radiações visíveis

Já trabalhamos a faixa de frequência da radiação eletromagnética que os olhos podem captar. Recomendamos a manipulação da simulação sobre *laser*, disponível em: <http://phet.colorado.edu/simulations/sims.php?sim=Lasers>. Acesso em: 12 ago. 2020.

Essa simulação pode ser utilizada para ilustrar a absorção e a emissão de energia por um átomo e a emissão estimulada para vários átomos.

Leitura adicional

Raios X

O conhecimento do senso comum limita o uso dos raios X ao diagnóstico médico, mas essa tecnologia também nos permite desvendar "mistérios". Sugerimos a seguir algumas leituras interessantes e que poderão tornar as aulas sobre raios X mais significativas para os estudantes.

ESTEVES, Bernardo. Surpresa tecnológica na Grécia antiga: análise de dispositivo usado para calcular movimentos planetários revela complexidade insuspeita. *Ciência Hoje On-line*, 29 nov. 2006. Disponível em: <https://cienciahoje.org.br/surpresa-tecnologica-na-grecia-antiga/>. Acesso em: 12 ago. 2020.

O artigo traz uma "nova análise de um calendário astronômico mecânico construído há mais de 2 mil anos [que] mostra que o desenvolvimento tecnológico da Grécia antiga era muito mais avançado do que se imaginava. Cientistas recorreram à tomografia de raios X de alta resolução para examinar o dispositivo, conhecido como máquina de Anticítera, e descobriram que seu funcionamento era de uma complexidade insuspeita".

Visualização por raios X auxilia desenvolvimento de vacina oral da hepatite B. *Destaques em Física da SBF*. Disponível em: <http://www.sbfisica.org.br/v1/home/index.php/pt/destaque-em-fisica/888-visualizacao-por-raios-x-auxilia-desenvolvimento-de-vacina-oral-da-hepatite-b>. Acesso em: 12 ago. 2020.

O artigo aborda o avanço no desenvolvimento da primeira vacina oral de hepatite B, em que cientistas utilizaram um feixe de raios X para estudar e modelar o antígeno HBsAg da vacina.

Leitura adicional

Raios gama

Para complementação do estudo de raios gama, indicamos a leitura do texto que aborda um personagem de ficção para analisar os raios gama. Disponível em: <https://www.blogs.unicamp.br/ciencianerd/2017/05/31/o-hulk-e-a-fisica-quimica-e-biologia/>. Acesso em: 12 ago. 2020.

Aplicando conhecimentos

São propostos dois exercícios que abordam os comprimentos de onda das ondas de rádio e das micro-ondas.

3 As emissoras AM transmitem na faixa de frequências dos quilohertz (kHz), portanto a emissora à qual se refere o enunciado transmite em 950 kHz. As emissoras FM transmitem na faixa dos mega-hertz (MHz), portanto a emissora do enunciado transmite em 98 MHz. Como as velocidades das ondas emitidas pelas duas emissoras são iguais, temos:

$$\lambda_{AM} \cdot f_{AM} = \lambda_{FM} \cdot f_{FM} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \frac{\lambda_{AM}}{\lambda_{FM}} = \frac{f_{FM}}{f_{AM}} \Rightarrow \frac{\lambda_{AM}}{\lambda_{FM}} = \frac{98 \cdot 10^6}{950 \cdot 10^3} \Rightarrow \frac{\lambda_{AM}}{\lambda_{FM}} \simeq 103$$

Assim, a emissora AM emite ondas cujos comprimentos são aproximadamente 100 vezes os das ondas emitidas pela emissora FM.

4 a) A recomendação é feita porque as micro-ondas emitidas pela fonte são refletidas pelos objetos metálicos.

b) Com os dados fornecidos e usando a equação fundamental da propagação ondulatória, obtemos:

$$v = \lambda \cdot f \Rightarrow 3 \cdot 10^8 = \lambda \cdot 2{,}45 \cdot 10^9$$

$$\therefore \lambda \simeq 0{,}12 \text{ m} \Rightarrow \lambda \simeq 12 \text{ cm}$$

Atividade prática

Essa atividade retoma o tema de abertura, que destaca as tecnologias para identificar elementos ou compostos orgânicos fora da Terra. Com essa atividade, esperamos que os estudantes compreendam que cada elemento químico no Universo possui uma "assinatura" própria, uma "impressão digital", ou seja, com técnicas e tecnologias apropriadas, como a espectroscopia, somos capazes de, por exemplo, determinar características físicas e físico-químicas de fontes de radiação eletromagnética intragalácticas ou extragalácticas – planetas, exoplanetas, supernovas, quasares, entre outros.

MODERNA

Incentive os estudantes a elaborar uma previsão do resultado do experimento, registrando suas expectativas com base nos conceitos já trabalhados, para então realizarem o experimento e confrontarem suas hipóteses iniciais com os resultados observados. Insista para que eles comuniquem suas observações aos colegas fazendo uso de linguagem científica na explicação de suas conclusões. Dessa forma, é possível desenvolver a habilidade **EM13CNT301**.

Em sua abordagem inicial, sugerimos destacar que a busca por indícios de vida extraterrestres, como a presença de moléculas essenciais à vida, pode ser realizada, por exemplo, por espectrômetros na frequência do infravermelho (Spitzer) ou radiotelescópios (IRAM). Para entender melhor o funcionamento de um espectroscópio e apontar situações cotidianas de sua aplicação, sugerimos algumas questões iniciais:

- *Quando olhamos para o céu estrelado podemos perceber que as estrelas não são totalmente iguais, pelo menos visualmente. Em que elas se diferenciam, visualmente?*
- *À primeira vista, elas diferem no tamanho e na cor: umas são pequenas e brilhantes, outras maiores e avermelhadas, outras azuladas. O que a cor de uma estrela pode nos oferecer como informação?*

Relembre alguns conceitos abordados até o momento, principalmente sobre a relação de que, quanto menor o comprimento de onda, mais energética é a radiação emitida pela fonte. Estrelas de coloração azul são estrelas mais **quentes** que as estrelas de coloração avermelhada. É importante ressaltar que o espectro de emissão de uma estrela não é contínuo; ele apresenta algumas "lacunas" que dão informações sobre a composição química desses astros (raias espectrais).

Lembre-se de que a função do CD nesse espectroscópio é difratar a luz. As diferenças entre os espectros das lâmpadas é que a lâmpada fluorescente apresenta um espectro de raias (não contínuo) e a incandescente, um espectro contínuo, devido ao processo pelo qual cada lâmpada emite luz.

Comente com os estudantes que, se for detectado um espectro de emissão nunca antes visto, isso poderá ser indício da existência de um novo elemento químico, de uma nova molécula, de um erro de medição ou erro humano. Quanto à questão 5 da atividade, ela permite que os estudantes procurem por outras características que o espectro de emissão pode nos oferecer. Recomende aos estudantes que busquem informações sobre os espectros de elementos químicos essenciais à vida: carbono, oxigênio, nitrogênio, sódio, potássio, etc.

Dependendo do seu planejamento, essa atividade também pode ser realizada de forma interdisciplinar com Química. Nesse caso, pode-se discutir o modelo atômico de Rutherford-Bohr no quadro unindo as duas teorias, que geralmente são estudadas separadamente, para apontar as emissões espectrais e o caráter quântico dos elementos químicos que estão presentes no modelo de Planck e Einstein.

De olho na BNCC

- **EM13CNT301**
- **Competência geral 4**
- **Competência geral 2**

A *Atividade prática* possibilita o desenvolvimento da habilidade **EM13CNT301**, pois, por meio da experimentação, permite que os estudantes construam questões, elaborem hipóteses, façam estimativas, interpretem modelos físicos do capítulo e utilizem a linguagem científica para explicar suas conclusões.

As **competências gerais 2** e **4** também são trabalhadas nesta atividade, ao incentivar o estudante a exercitar a curiosidade intelectual e recorrer à abordagem própria das ciências para investigar causas, elaborar e testar hipóteses, formular e resolver problemas e a utilizar diferentes linguagens para se expressar e partilhar informações.

4. Tecnologia das comunicações

Os meios de comunicação que utilizam eletricidade, como o telégrafo, o telefone, o rádio, o televisor e o computador são destaques nesta seção. Conhecer o contexto sociocultural e histórico da invenção, do desenvolvimento e da evolução dessas tecnologias, que fazem parte do cotidiano dos estudantes, é importante para uma formação científica inicial. Dessa maneira, eles desenvolvem a capacidade de discernir o contexto em que determinada tecnologia é desenvolvida e aplicada e os seus respectivos impactos em assuntos de interesses sociais, políticos, econômicos, ideológicos e ambientais.

É importante incentivar os estudantes a refletir sobre o papel da tecnologia na evolução das civilizações. Nesse sentido, com o intuito de retomar o tema do volume e do capítulo, pode-se perguntar aos estudantes o que eles esperam que seja encontrado como vida fora da Terra. Questione se seria uma vida extraterrestre inteligente; o que seria um ser inteligente na nossa concepção; e, por fim, sendo formas de vida inteligentes, com linguagem avançada e tecnologias para a troca de informações complexas, quais seriam as possíveis razões para ainda não termos tido algum tipo de contato com alguma civilização extraterrestre.

Evidencie que nem sempre uma descoberta é feita por uma só pessoa, mas, em geral, alguém avança a partir de determinado conhecimento a que outros chegaram. Enfatize que o conhecimento e o domínio da eletricidade e do magnetismo impulsionaram um avanço significativo nas tecnologias de comunicação, inicialmente com o telégrafo e, depois, com o telefone, com o rádio, com a televisão, etc.

Sugestão de atividade complementar

Imaginando uma comunicação extraterrestre

Nesta atividade, solicite aos estudantes que produzam uma história em quadrinhos sobre como imaginam que seria uma comunicação extraterrestre "inteligente" com os humanos. É importante que alguns conceitos sobre ondas eletromagnéticas e tecnologias de comunicação possam ser utilizados para que os estudantes possam desenvolver de forma criativa a habilidade **EM13CNT103**, ao sugerir o uso das ondas de rádio, por exemplo, em uma comunicação fictícia.

MODERNA

De olho na BNCC

- **EM13CNT103**
- **EM13CNT301**

Esta *Sugestão de atividade complementar* possibilita o desenvolvimento das seguintes habilidades: **EM13CNT103**, ao permitir que os estudantes analisem o uso das radiações aplicadas a tecnologias das comunicações; e a habilidade **EM13CNT301**, por meio da construção de questões, levantamento de hipóteses e conclusões dos conceitos em uma perspectiva das Ciências da Natureza, tanto nos exemplos propostos quanto nos resolvidos.

Sugestão de atividade complementar

Telefone de lata

Essa atividade é bem simples e possivelmente você já deve conhecê-la, bem como os estudantes. Realizando-a, permite-se o desenvolvimento parcial das habilidades **EM13CNT103** e **EM13CNT301**, ao utilizar o conhecimento sobre radiações para diferenciar os tipos de ondas presentes na comunicação por um telefone de lata e por um telefone móvel, possibilitando que os estudantes analisem os fenômenos ondulatórios presentes na atividade sob uma perspectiva científica do conhecimento.

Você vai precisar de duas latas de alumínio vazias e limpas, com um dos lados abertos, e 10 m de barbante ou linha de pesca. Sugerimos auxiliar os estudantes a abrir as latas para evitar risco de acidentes. Depois de abrir, amasse as bordas com um martelo ou com um alicate para evitar cortes. Faça um pequeno furo no fundo de cada lata e passe o barbante em cada um dos furos. Para prender o barbante nas latas, faça um nó maior que o furo. Com isso, o telefone estará pronto para ser usado.

Para usar o telefone de lata, é muito importante que o barbante esteja bem esticado.

Depois de pedir aos estudantes que utilizem o telefone por alguns minutos, proponha algumas questões:

a. Qual é o princípio físico do telefone de lata?

Resposta: O som é uma onda mecânica e se propaga em meios materiais. No caso, ar (quando se fala na lata), barbante e ar novamente (quando o som chega na outra lata).

b. Por que o barbante precisa estar bem esticado para o funcionamento do telefone de lata?

Resposta: Para que as vibrações possam se propagar pelo barbante. Se o barbante estiver frouxo, o fio não vibrará o suficiente e, portanto, o som não se propagará.

c. Que tipo de comparação podemos fazer com os telefones convencionais? Por que os fios de telefone nas ruas não precisam estar bem esticados?

Resposta: No telefone, as ondas sonoras emitidas por uma pessoa *A* são captadas pelo microfone e transformadas em sinais elétricos. Esses sinais são transmitidos por fios (condutores) até chegar ao telefone da pessoa *B*. Lá, os sinais elétricos são transformados em ondas sonoras pelo fone de orelha. Em uma ligação internacional, há ainda a transformação do sinal elétrico em onda eletromagnética, que, por sua vez, é enviada para um satélite, que a retransmite, e a onda é, então, decodificada em sinal elétrico novamente.

Rádio

O texto conta a história, tão pouco conhecida, do padre brasileiro Roberto Landell de Moura e sua importância para a história mundial das telecomunicações. Esse relato histórico pode propiciar um excelente debate em sala de aula sobre a importância da comunicação e da produção científica brasileira. Pergunte aos estudantes quantos pesquisadores/cientistas brasileiros eles conhecem. Quantos desses são da área de Física? Quantas são mulheres? O que eles acham disso?

No endereço eletrônico <https://editora.pucrs.br/edipucrs/acessolivre/Ebooks//Web/978-85-397-0226-8/pages/v2.pdf> (acesso em: 10 abr. 2021), é possível entender o alcance inovador do trabalho do padre Landell.

Televisão

A televisão passou por diversos avanços tecnológicos tanto na sua estrutura para imagem e som quanto em sua recepção de sinais. É uma boa oportunidade para destacar o desenvolvimento de novos aparelhos, como as TVs de LED-LCD e OLED, para que os estudantes sejam capazes de desenvolver parcialmente a habilidade **EM13CNT103**, ao compreender o uso das radiações eletromagnéticas em aplicações tecnológicas de uso cotidiano.

Aplicando conhecimentos

Na seção *Aplicando conhecimentos* são propostos dois exercícios sobre transmissão e recepção de imagens e sobre a física dos televisores LCD.

5 A explicação correta é a IV: a transmissão do som e da imagem ocorre por meio de ondas eletromagnéticas desde a antena transmissora até a antena receptora do aparelho de TV.

6 Alternativa **D**.

I. **Correta**. O que diferencia os televisores LCD dos televisores LED, encontrados no comércio, é o *backlight*. Os televisores LCD possuem como *backlight* lâmpadas fluorescentes e o televisor LED, diodos emissores de luz (*light-emitting diode*).

II. **Correta**. LCD significa *display* de cristal líquido, em inglês *Liquid Crystal Display*.

III. **Correta**. O plasma é um gás de íons, com alto grau de ionização.

Computador

Uma breve história do computador e da internet é apresentada no texto. Sugerimos que, após essa introdução histórica, questione e elenque com os estudantes os pontos positivos e negativos dessas tecnologias para a sociedade. Quanto à internet, podemos citar como pontos positivos a democratização, a liberdade de expressão, o acesso rápido às informações e a comunicação rápida entre pessoas. Pontos negativos: a qualidade e origem duvidosa de informações, a ação de *hackers*, clonagens, tempo excessivo investido em atividades supérfluas, virtualização das relações humanas, crime cibernético, entre outros.

Telefonia móvel

Sugerimos discutir como a telefonia móvel (celular) modificou a forma como a sociedade moderna se comunica, além dos benefícios e problemas advindos dessa tecnologia.

EM OBRA

CAPÍTULO 3 Fundamentos da evolução biológica

Metas do capítulo

- Conhecer as principais diferenças entre as concepções evolucionistas e criacionistas sobre a origem das espécies.
- Conhecer e compreender os aspectos principais das teorias de Lamarck e de Darwin sobre evolução biológica.
- Conhecer e compreender o significado de algumas das principais evidências da evolução biológica: a) documentário fóssil; b) semelhanças anatômicas, fisiológicas, bioquímicas e genéticas entre os organismos.
- Caracterizar órgãos homólogos e órgãos análogos, reconhecendo os primeiros como evidências da evolução biológica e os segundos como resultado da adaptação de seres vivos a modos de vida semelhantes.
- Conceituar mutação gênica e recombinação gênica.
- Reconhecer que a mutação gênica e a recombinação dos genes são os dois principais fatores responsáveis pela variabilidade biológica, sobre a qual atua a seleção natural.
- Explicar a adaptação dos seres vivos por meio da seleção natural, exemplificando com a camuflagem, a coloração de aviso e o mimetismo.

Sugestões didáticas e comentários

A abertura do capítulo apresenta explicações em diferentes culturas sobre a origem dos seres vivos, em particular da espécie humana. Converse com os estudantes e avalie seus conhecimentos prévios sobre temas como evolução da vida e o surgimento de nossa própria espécie. Pelos conteúdos abordados neste capítulo, sugerimos que seja trabalhado pelo professor com formação em Biologia.

Ao estudar evolução, uma questão com que o professor pode se defrontar é a aparente incompatibilidade entre ciência e religiões quanto à origem dos seres vivos, particularmente da espécie humana. A ciência busca explicar fenômenos naturais por meio da interpretação lógica de fatos inerentes à própria natureza, sem lançar mão de aspectos místicos ou sobrenaturais. A ciência está sujeita a contínua reformulação, à medida que o conhecimento científico avança. As buscas religiosas têm geralmente por base dogmas centrais em torno dos quais a religião se estrutura. Discutir esse tipo de assunto exige capacidade do professor para ouvir questionamentos de estudantes e estar preparado para integrá-los aos devidos contextos.

O capítulo apresenta hipóteses pioneiras sobre a evolução da vida, comparando-as à teoria evolucionista mais aceita atualmente. Por estudar a evolução em uma perspectiva histórica, comparando diversas explicações para o surgimento e a evolução da vida, e por proporcionar o estudo de princípios da evolução biológica, o capítulo permite desenvolver as habilidades **EM13CNT201** e **EM13CNT208**. Além disso, o estudo das primeiras hipóteses sobre a evolução dos seres vivos e das evidências históricas da evolução colabora para o desenvolvimento das habilidades **EM13CNT205** e **EM13CNT301**, que tratam da interpretação de dados, da elaboração de previsões e hipóteses e reconhecimento dos limites explicativos das ciências. Ao longo do capítulo o estudante entrará em contato com aspectos históricos da teoria da evolução, o que pode levar à valorização do conhecimento historicamente construído sobre o mundo físico, uma oportunidade para desenvolver a **competência geral 1**.

De olho na BNCC

- **EM13CNT201**
- **EM13CNT205**
- **EM13CNT208**
- **EM13CNT301**
- **Competência geral 1**

Este capítulo possibilita o desenvolvimento das seguintes habilidades: **EM13CNT201**, na medida em que os estudantes serão estimulados a analisar e discutir modelos, teorias e leis propostos em diferentes épocas e culturas para comparar explicações sobre o surgimento e a evolução da vida com teorias científicas aceitas atualmente; **EM13CNT205**, ao favorecer a interpretação e discussão de resultados e teorias, reconhecendo os limites explicativos da ciência; **EM13CNT208**, ao oferecer as bases para compreender o processo evolutivo da espécie humana; e **EM13CNT301**, na medida em que os estudantes são estimulados a avaliar hipóteses, previsões e experimentos referentes à teoria evolutiva de Charles Darwin. O capítulo é ainda uma oportunidade para trabalhar a **competência geral 1**, por estimular os estudantes a valorizar e utilizar o conhecimento historicamente construído sobre a evolução dos seres vivos.

1. O pensamento evolucionista

O primeiro item do capítulo apresenta as primeiras ideias evolucionistas, ressaltando o papel de Charles Darwin na elaboração da teoria evolucionista. Embora as bases genéticas da variação ainda não fossem conhecidas pela ciência de sua época, Darwin elaborou a ideia de seleção natural, hoje incorporada à teoria evolucionista moderna.

O contexto social da época de Darwin e a angústia de desafiar dogmas religiosos que ele e seus familiares partilhavam levaram o naturalista a desenvolver diversos problemas de saúde. Se houver tempo e interesse, converse com os professores de História e de Filosofia a respeito da possibilidade de realizar algum tipo de trabalho conjunto, com enfoque nas ideias e princípios morais predominantes da época em que surgiram as primeiras teorias evolucionistas.

2. Evidências da evolução biológica

O item aponta as principais evidências que dão suporte à ideia de que ocorreu e ainda ocorre evolução biológica. Essas evidências são os fósseis e as semelhanças anatômicas, fisiológicas e genéticas entre os organismos.

Certifique-se de que os estudantes compreendem o processo de formação das rochas sedimentares e que dominam a ideia de que fósseis encontrados nas camadas mais profundas de um empilhamento sedimentar são mais antigos que os encontrados em camadas superiores. Se julgar interessante, apresente o esquema a seguir para os estudantes:

EM MODERNA

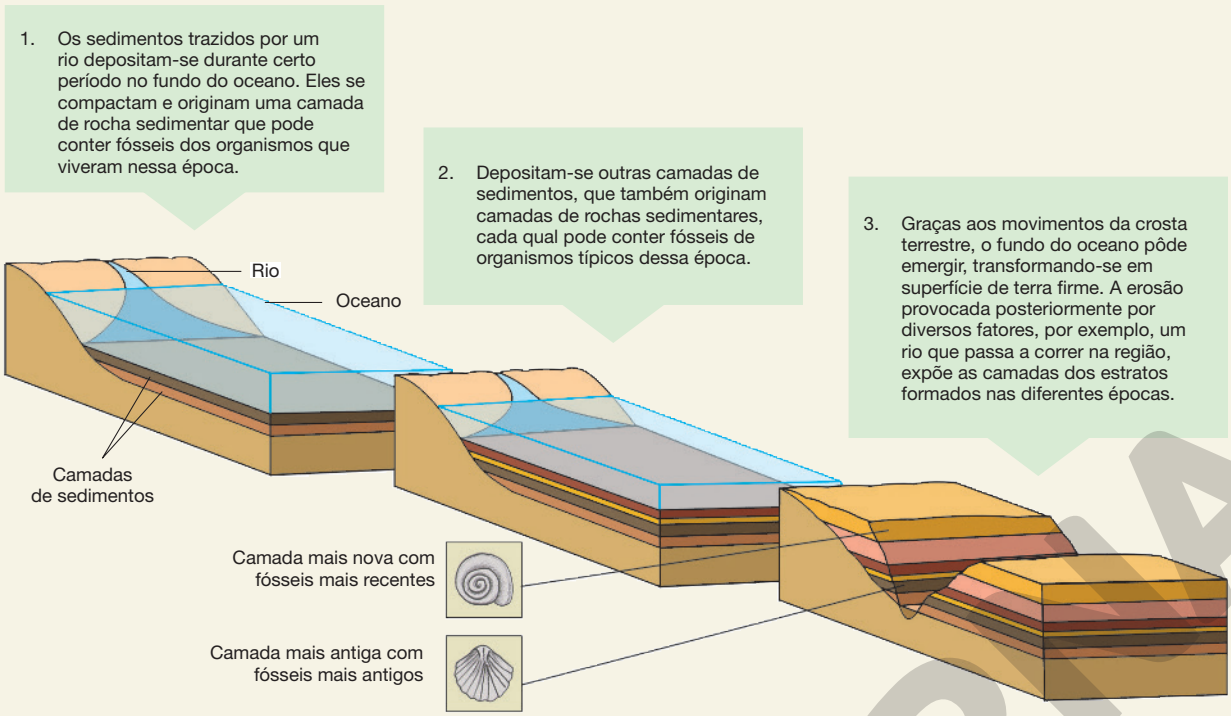


ILUSTRAÇÃO: ADILSON SECCO

Representação esquemática da formação de rochas sedimentares e de fósseis em diferentes períodos de tempo. Cada estrato, ou camada, representa uma etapa da história da Terra e é caracterizado por fósseis de certos organismos (fósseis-guias) que viveram na época correspondente. (Representação fora de proporção; cores meramente ilustrativas.)

Fonte: adaptada de CAMPBELL, N. A. *Biologia*. 8. ed. Porto Alegre: Artmed, 2010.

Tente combinar com o professor de Química a possibilidade de abordar conjuntamente o tema da datação de rochas e de fósseis em função da meia-vida dos isótopos radioativos. A interpretação dos dados que permitem datação de fósseis por meio de isótopos radioativos, reconhecendo suas limitações, colabora para a aplicação da habilidade **EM13CNT103**.

Se houver tempo e interesse para aprofundar o tema, apresente aos estudantes o esquema e o gráfico a seguir, pedindo a eles que os interpretem e escrevam uma legenda explicativa para cada um deles.

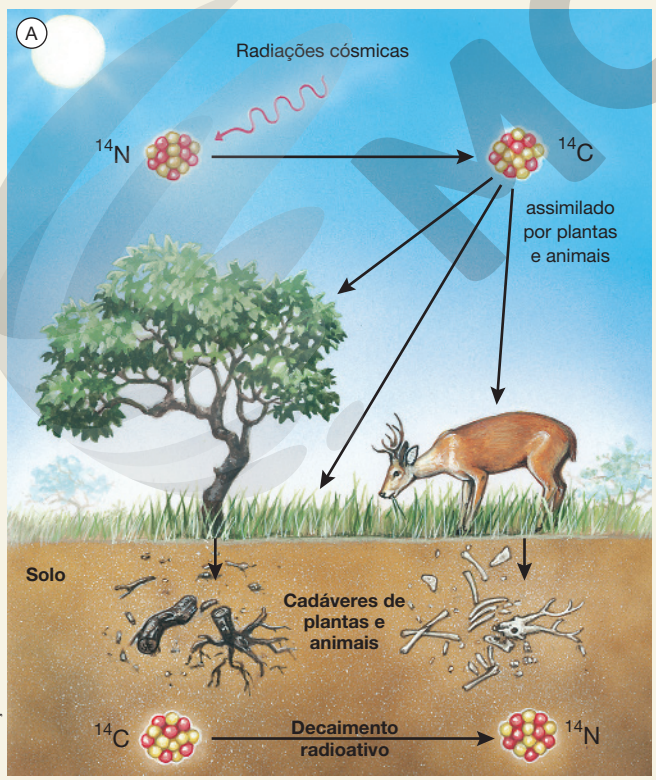


ILUSTRAÇÃO: JURANDIR RIBEIRO

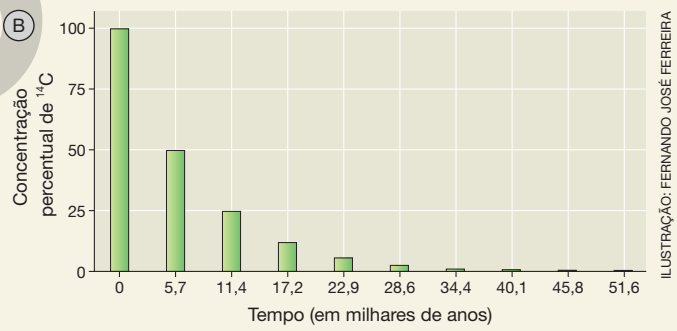


ILUSTRAÇÃO: FERNANDO JOSÉ FERREIRA

(A) Representação esquemática da formação constante de ^{14}C a partir de ^{14}N bombardeado por raios cósmicos. O ^{14}C é assimilado pelos seres vivos. Após a morte, o ^{14}C presente em seus restos decai a ^{14}N. Medidas do ^{14}C residual permitem estimar há quanto tempo o organismo morreu. (Representação fora de proporção; cores meramente ilustrativas). (B) O gráfico mostra o decaimento do ^{14}C, cuja meia-vida é de 5.730 anos.

Fonte: adaptados de CAMPBELL, N. A. *Biologia*. 8. ed. Porto Alegre: Artmed, 2010.

MODERNA

De olho na BNCC

- **EM13CNT103**

O item sobre evidências da evolução biológica contribui com o desenvolvimento da habilidade **EM13CNT103,** na medida em que os estudantes são estimulados a interpretar resultados e a realizar previsões sobre a datação de fósseis por meio de isótopos radioativos, conhecendo os níveis de limitação dessas técnicas.

Dialogando com o texto

A atividade sugere que os estudantes realizem uma pesquisa na internet sobre o contrabando de fósseis e suas consequências. Estimule-os nas pesquisas e abra um espaço em sua aula para a leitura dos textos produzidos.

A atividade, por propor aos estudantes uma pesquisa e a produção de um texto sobre o contrabando de fósseis, estimula a utilização consciente de fatos, dados e informações, contribuindo assim para a habilidade **EM13CNT302**.

Mais informações sobre o assunto podem ser encontradas em: <https://www.conjur.com.br/2019-mar-30/ambiente-juridico-fosseis-sao-patrimonio-cultural-ameacado-brasil>;

<https://g1.globo.com/ciencia-e-saude/noticia/2019/05/27/redes-internacionais-de-trafico-de-fosseis-prejudicam-pesquisa-cientifica-e-patrimonio-natural-do-brasil.ghtml>.

Acessos em: 25 jun. 2020.

De olho na BNCC

- **EM13CNT302**
- **Competência geral 7**

Esta atividade possibilita o desenvolvimento da habilidade **EM13CNT302**, ao propor a elaboração de um texto argumentativo. Além disso, favorece a **competência geral 7**, pois mobiliza os estudantes a levantar e elaborar argumentos que expliquem por que a exploração ilegal e o contrabando de fósseis implica prejuízos para a produção científica nacional.

Aplicando conhecimentos

1 Alternativa D. Além de ossos petrificados, os registros fósseis podem ser pegadas impressas em rochas, fezes petrificadas, animais conservados no gelo, troncos de árvores petrificados etc.

2 Alternativa D. Tanto o lamarckismo quanto o darwinismo reconhecem a existência de fósseis e admitem que eles pertencem a espécies ancestrais. No entanto, a interpretação desses registros e da relação entre eles diverge entre as duas correntes de pensamento.

3. A teoria evolucionista moderna

Este item discute como ocorreu a reunião, ou síntese, entre os conhecimentos genéticos e o conceito de seleção natural de Darwin, resultando na teoria sintética da evolução. Darwin documentou fartamente fatos da natureza que o levaram a conceber a ideia de que a seleção natural atua na evolução dos organismos, que se tornam cada vez mais bem adaptados aos ambientes em que vivem.

Sugira aos estudantes que formem grupos para pesquisar sobre os seguintes temas: a) camuflagem; b) coloração de aviso; c) mimetismo. Os resultados poderiam ser apresentados em um painel ilustrado e com uma apresentação oral sobre os temas pesquisados.

Camuflagem é o tipo de adaptação presente nos indivíduos de uma espécie que os leva a se confundir com o ambiente, dificultando sua localização por eventuais predadores, ou escondendo-os de suas eventuais presas. O melanismo industrial ocorrido em mariposas da espécie *Biston betularia* é um exemplo de camuflagem. Outro exemplo de adaptação é a coloração de aviso, ou coloração de advertência, que alerta possíveis predadores que animais com essas colorações têm sabor desagradável, são tóxicos ou perigosos, devendo ser evitados, o que lhes confere proteção contra a predação. Exemplos de organismos que exibem coloração de aviso são certos sapos e pererecas coloridos, em cuja pele há venenos poderosos, e também répteis peçonhentos como as cobras-coral, cujo padrão de cores vivas do corpo alerta sobre o perigo que elas representam. Estimule os estudantes a explicar, de acordo com o evolucionismo, como alertar sobre ter gosto desagradável pode proteger uma espécie. Um predador inexperiente pode atacar presas dotadas de coloração de aviso, mas logo aprende a associar uma sensação negativa à cor vistosa. Mesmo que ensinar a "lição" ao predador possa custar a vida de alguns indivíduos da população, esta é beneficiada em termos populacionais e evolutivos.

Outro exemplo de adaptação é o mimetismo, em que duas espécies distintas compartilham alguma semelhança, reconhecível por outras espécies. Essa adaptação pode conferir vantagens para uma ou para ambas as espécies miméticas. Um exemplo de mimetismo é encontrado nas serpentes popularmente conhecidas como cobras-coral. A espécie *Micrurus corallinus*, uma coral-verdadeira, é peçonhenta, enquanto a *Erythrolamprus aesculapii*, uma falsa-coral, não apresenta dentes injetores de peçonha e oferece pouco perigo a eventuais atacantes. Apesar de pertencerem a famílias diferentes, nos territórios em que vivem ambas as espécies, o padrão de coloração dessas serpentes é muito semelhante. De acordo com a teoria evolucionista, a semelhança de coloração é resultante de um processo de adaptação da falsa-coral, cujos ancestrais possivelmente se beneficiaram da semelhança com as corais-verdadeiras. Em outras palavras, falsas-corais que nasciam com padrão de coloração mais assemelhado ao das corais-verdadeiras eram beneficiadas pela seleção natural; consequentemente, sua frequência na população aumentou ao longo das gerações.

Atividade em grupo

A atividade propõe que os estudantes organizem-se em grupos para pesquisar a veracidade ou não da informação de que o surgimento de bactérias resistentes a antibióticos é um caso de seleção de linhagens resistentes de microrganismos pela própria droga aplicada para combatê-los. Explique aos estudantes que o fenômeno realmente ocorre e estimule-os a explicar o fato com base na teoria evolucionista. Do ponto de vista evolutivo, o antibiótico atua como um agente seletivo, que mata as bactérias não resistentes e deixa os recursos à disposição das bactérias resistentes. Estas se reproduzem e dão

MANUAL DO PROFESSOR

origem a populações inteiras de bactérias resistentes, contra as quais aquele antibiótico exerce pouco efeito.

Converse sobre a obrigatoriedade de receita médica para comprar antibióticos nas farmácias, política adotada em vários países, incluindo o Brasil. Discuta com os estudantes os motivos dessa medida: o uso indiscriminado de antibióticos deve ser evitado para minimizar o desenvolvimento de linhagens bacterianas resistentes.

A apresentação dos resultados das pesquisas dos grupos para os demais colegas e/ou para a escola e a comunidade escolar por meio de infográficos ou outras formas digitais favorece o desenvolvimento das habilidades **EM13CNT302** e **EM13CHS106**, da área de Ciências Humanas e Sociais Aplicadas, que tratam da comunicação e divulgação de informações por meio de diferentes linguagens, incluindo as digitais.

Aplicando conhecimentos

3 Alternativa B. Fósseis são restos ou vestígios de seres que viveram no passado, frequentemente encontrados em rochas sedimentares.

4 Alternativa D. Os conceitos de genética aplicados à teoria darwinista resultaram na teoria sintética da evolução.

CAPÍTULO 4 Classes funcionais orgânicas

Metas do capítulo

- Compreender os conceitos de classe funcional e grupo funcional.
- Identificar a classe funcional a que pertence um composto ao analisar sua fórmula estrutural.
- Conhecer alguns representantes das classes funcionais hidrocarboneto, álcool, aldeído, cetona e ácido carboxílico.
- Reconhecer os efeitos do etanol no organismo humano e os problemas causados pela dependência dessa substância.
- Identificar um éster por meio de sua fórmula estrutural e compreender que ele pode ser considerado derivado de ácido carboxílico e álcool.
- Reconhecer a fórmula estrutural de triacilglicerol, α-aminoácido e carboidrato.
- Saber em que consiste a diferença entre um triacilglicerol saturado e um insaturado.
- Compreender o que é uma ligação peptídica e saber que ela faz parte de um grupo funcional amida.
- Reconhecer que polissacarídios são macromoléculas formadas pela polimerização de monossacarídios.
- Ter noção da constituição dos ácidos nucleicos, compreendendo a diferença entre a estrutura química de DNA e RNA.

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 menciona que os seres vivos de espécies diferentes apresentam, em seus organismos, alguns tipos de compostos em comum. Para iniciar a abordagem, antes de fazer a leitura e a interpretação do texto da página de abertura junto com os estudantes, pergunte se eles conhecem algum tipo de biomolécula. Como é provável que eles já tenham ouvido termos como *proteínas*, *lipídios* e *carboidratos*, destaque que esses tipos de substância são encontrados nos seres vivos e podem ser classificados como biomoléculas.

Explique que a Química Orgânica é o ramo das Ciências da Natureza que estuda a maioria dos compostos do elemento químico carbono e deixe claro que todas as biomoléculas são compostos orgânicos. Caso considere oportuno, escreva na lousa a fórmula estrutural de algumas moléculas orgânicas (selecione-as dentre as apresentadas ao longo do capítulo) e, ao representá-las, destaque suas semelhanças, a fim de que os estudantes percebam a presença do elemento químico carbono em todas elas. Destaque, também, que o hidrogênio, o oxigênio e o nitrogênio são elementos químicos presentes em muitos dos compostos orgânicos. Ressalte que o elemento químico carbono forma variadas substâncias que podem conter desde um ou poucos átomos desse elemento até grande quantidade deles sequencialmente unidos e arranjados entre si de diversas maneiras, o que possibilita a existência de milhões de compostos orgânicos.

Procure destacar a importância da Química Orgânica na compreensão de processos bioquímicos e no estudo da evolução das formas de vida, bem como sua relevância na elaboração industrial de produtos que usamos no nosso dia a dia. Ressalte que, além de o nosso organismo e o de todos os seres vivos apresentarem compostos orgânicos em sua constituição, muitos dos produtos (por exemplo, alimentos, medicamentos, cosméticos, combustíveis e plásticos) que utilizamos em nosso dia a dia apresentam esse tipo de substância na sua composição.

O estudo deste capítulo possibilitará aos estudantes compreender aspectos referentes às representações (encontradas, por exemplo, em livros técnicos, enciclopédias e *sites* da internet) de substâncias orgânicas e de suas classes funcionais, propiciando autonomia na busca e interpretação de informações e na consequente transformação delas em conhecimento.

Isso vai ao encontro de uma das importantes metas do estudo de Ciências da Natureza no Ensino Médio, que é capacitar os estudantes a buscar e compreender informações científicas e tecnológicas relevantes: "Diante da diversidade dos usos e da divulgação do conhecimento científico e tecnológico na

MODERNA

sociedade contemporânea, torna-se fundamental a apropriação, por parte dos estudantes, de linguagens específicas da área das Ciências da Natureza e suas Tecnologias. Aprender tais linguagens, por meio de seus códigos, símbolos, nomenclaturas e gêneros textuais, é parte do processo de letramento científico necessário a todo cidadão" (BNCC, 2018, p. 551). Além disso, a escolarização deve possibilitar aos estudantes "conscientizar-se quanto à necessidade de continuar aprendendo e aprimorando seus conhecimentos" (BNCC, 2018, p. 467).

De olho na BNCC

- **EM13CNT201**

Os conteúdos trabalhados neste capítulo auxiliam no desenvolvimento da habilidade **EM13CNT201**, pois fornecem subsídios aos estudantes para que possam analisar teorias para comparar distintas explicações sobre a evolução da vida, abordadas em outras partes deste volume.

1. Conceito de classe funcional

Para iniciar o desenvolvimento deste item, auxilie os estudantes a interpretarem as Figuras 1, 2 e 3 do Livro do Estudante. Transcreva alguns dos exemplos na lousa e explique que o carbono estabelece quatro ligações covalentes para adquirir estabilidade. Ressalte que esse tipo de ligação é caracterizado pelo compartilhamento de pares de elétrons. Em seguida, peça que os estudantes comparem essas figuras. É importante que eles percebam que cada par de elétrons esquematicamente representado na Figura 1 equivale a um traço na Figura 2. Estimule-os a identificar que a Figura 3 indica as mesmas substâncias das Figuras 1 e 2, mas difere delas por conter representações simplificadas. O contato dos estudantes com essas fórmulas é fundamental desde o início do capítulo, pois elas são muito utilizadas para representar os compostos orgânicos e analisar as classes funcionais a que pertencem.

Ao apresentar a Tabela 1 do Livro do Estudante, comente que os compostos orgânicos são agrupados em **classes funcionais orgânicas** (cuja denominação anterior, ainda usada em diversas publicações, é *funções orgânicas*) de acordo com a presença de átomos ou agrupamentos de átomos que influenciam seu comportamento químico. Substâncias orgânicas que reagem quimicamente de maneira similar pertencem a uma mesma classe funcional. Escreva alguns dos grupos funcionais na lousa, questionando os estudantes sobre suas semelhanças e diferenças. Comente que existem diversos outros grupos funcionais além dos listados. Com base em perguntas, verifique se os estudantes percebem a diferença entre classe funcional e grupo funcional, para que não considerem que são sinônimos.

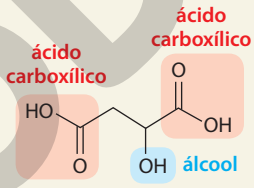
Recomendamos a atenção do docente para questionamentos por parte dos estudantes, frequentes ao trabalhar conteúdos como os da Tabela 1 do Livro do Estudante, sobre a necessidade de memorizar os dados nela contidos.

Se julgar conveniente, a tabela de grupos funcionais pode ser considerada como instrumento de consulta, inclusive nas avaliações, nas quais ela pode ser fornecida. Isso permite que os estudantes desenvolvam habilidades referentes à interpretação das fórmulas estruturais e ao reconhecimento de grupos funcionais. Para citar a Base Nacional Comum Curricular, "vale a pena ressaltar que, mais importante do que adquirir as informações em si, é aprender como obtê-las, como produzi-las e como analisá-las criticamente" (BNCC, 2018, p. 551).

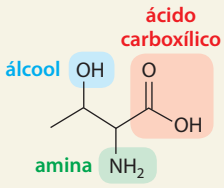
Continuando o desenvolvimento do Item 1, a Figura 4 do Livro do Estudante pode ser utilizada para mostrar como identificar o grupo funcional de uma substância. É importante destacar que, apesar de alguns grupos apresentarem átomos dos mesmos elementos químicos, as ligações químicas entre eles são distintas. Destaque que, assim como o gingerol (estrutura mostrada no Livro do Estudante), muitas substâncias orgânicas apresentam mais de um tipo de grupo funcional em sua estrutura.

Outro aspecto interessante para se destacar com relação à fórmula do gingerol é a presença de anel benzênico. A Figura 5 do Livro do Estudante expõe fórmulas utilizadas para representar o benzeno e mostra a estrutura do anel benzênico. Uma vez apresentado o anel benzênico, explique a distinção entre álcool e fenol.

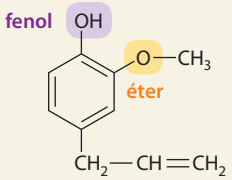
Além do gingerol, outros exemplos de fórmulas estruturais que o docente pode utilizar em sala de aula para ilustrar substâncias que pertencem a mais de uma classe funcional orgânica são mostrados a seguir.



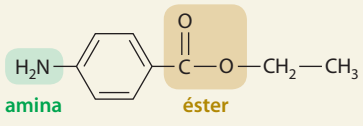
ácido málico
(existente na maçã)



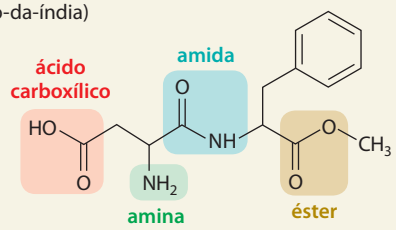
treonina
(um aminoácido)



eugenol
(responsável pelo aroma
do cravo-da-índia)



benzocaína
(anestésico local)



aspartame (adoçante artificial)

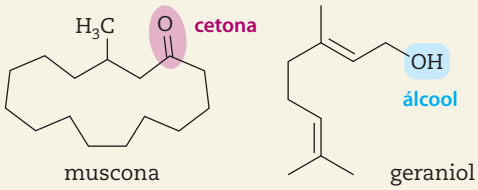
Sugerimos que você reserve, em seu planejamento, um tempo em sala de aula para que os estudantes possam realizar

MODERNA

as atividades do *Aplicando conhecimentos*, individualmente ou em grupos. A seguir, realize as resoluções na lousa, convidando os estudantes a opinar e participar. Neste momento, procure esclarecer as dúvidas e enfatizar principalmente os pontos em que os estudantes demonstrarem ter dificuldade.

Aplicando conhecimentos

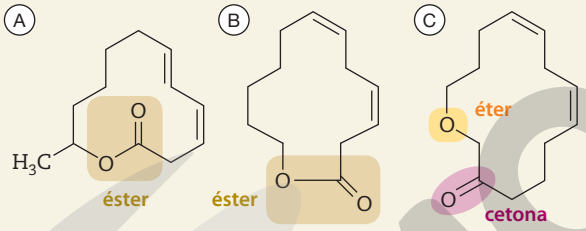
1 Sim, pois as moléculas pertencentes à classe funcional cetona apresentam grupo carbonila (C=O) ligado a dois átomos de carbono e as moléculas pertencentes à classe funcional álcool apresentam grupo hidroxila (—OH) ligado a um átomo de carbono saturado.



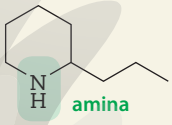
muscona geraniol

2 A dedução é correta, pois a fórmula molecular da muscona (deduzida a partir da representação mostrada) é $C_{16}H_{30}O$ e a fórmula molecular do geraniol (também deduzida a partir da representação apresentada) é $C_{10}H_{18}O$.

3 As fórmulas A e B representam ésteres, pois possuem o grupo funcional característico dessa classe funcional, como destacado a seguir. O composto C não é éster, mas éter e cetona.

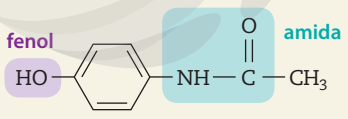


4 Amina, pois possui um átomo de nitrogênio ligado covalentemente a dois átomos de carbono saturados e não apresenta grupo carbonila ligado a esse átomo de nitrogênio.



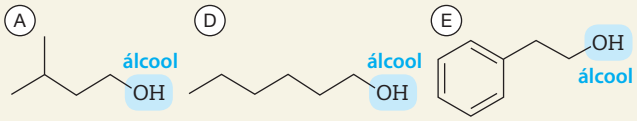
coniina

5 Na fórmula a seguir os grupos funcionais estão destacados por áreas coloridas e os nomes das classes funcionais estão escritos ao lado deles.



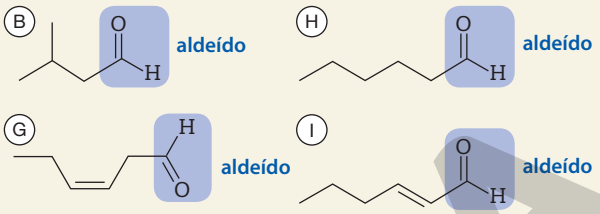
paracetamol

6 Compostos A, D e E: classe funcional álcool, pois apresentam hidroxila ligada a um átomo de carbono saturado.



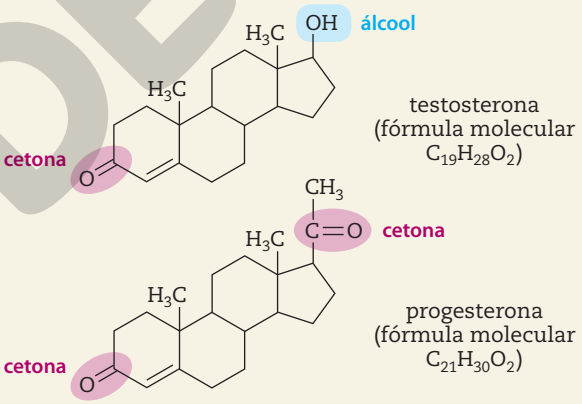
Compostos B, G, H e I: classe funcional aldeído, pois são caracterizados pela presença de um grupo.

Nas fórmulas apresentadas no enunciado, o átomo de hidrogênio desse grupo funcional está implícito na representação. A seguir, as fórmulas estão reproduzidas com a explicitação deles.



Compostos C e F: classe funcional cetona, pois são caracterizados pela presença de um grupo carbonila (C=O) ligado a dois átomos de carbono.

7 Analisando as fórmulas apresentadas, podemos deduzir a presença de grupos característicos das classes funcionais nomeadas a seguir, bem como a fórmula molecular de cada composto.



Então, as respostas solicitadas na atividade são:

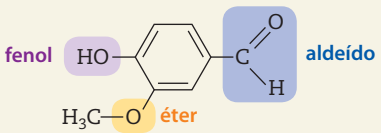
a) A testosterona pertence às classes funcionais álcool e cetona. A progesterona pertence apenas à classe funcional cetona.

b) A molécula de progesterona apresenta dois átomos do elemento químico carbono a mais.

c) A molécula de progesterona apresenta dois átomos do elemento químico hidrogênio a mais.

d) Nenhuma das duas moléculas apresenta anel benzênico.

8 A fórmula estrutural da vanilina, deduzida a partir das informações fornecidas no enunciado, é:



Assim, além de aldeído, a vanilina pertence também às classes funcionais fenol e éter.

MODERNA

2. Exemplos de algumas classes funcionais

Quando apresentar os **hidrocarbonetos**, reserve um tempo para que os estudantes interpretem a Figura 6 do Livro do Estudante, indicando quais elementos químicos estão presentes nas fórmulas estruturais indicadas. Também solicite que eles verifiquem se o número de átomos de hidrogênio ligados a cada átomo de carbono está de acordo com o fato de o carbono estabelecer quatro ligações covalentes. Esse tipo de abordagem estimula a capacidade de análise dos estudantes e sua participação ativa durante a construção do conhecimento. Estimule os estudantes a também analisar a Figura 8 para responder aos mesmos questionamentos. Como foi mostrado, no início do capítulo, que cada par de elétrons compartilhado é indicado por um traço, é esperado que eles consigam diferenciar os compostos representados na Figura 8 daqueles da Figura 6. Enfatize que os hidrocarbonetos são compostos que apresentam apenas átomos dos elementos químicos carbono e hidrogênio em sua composição.

A Figura 7 do Livro do Estudante mostra bolhas formadas no fundo de um lago e constituídas de um hidrocarboneto, o gás metano. Destaque que o processo de decomposição da matéria orgânica em pântanos e fundo de lagos pode conduzir à produção desse gás. Para ampliar essa abordagem, você pode sugerir que, em equipes, os estudantes pesquisem sobre a utilização do gás metano pelo ser humano e como ele pode ser obtido. Como existem diferentes processos, garanta que cada grupo busque informações sobre um processo diferente, suas características e sua viabilidade. Como exemplos, podemos citar: a exploração de jazidas de gás natural; a obtenção em usinas por compostagem do lixo; a produção em biodigestores, a partir de fezes de animais e outras formas de biomassa; a coleta, em estações de tratamento de esgoto, do metano formado como subproduto desse tratamento; e a captação do que é produzido a partir da decomposição do lixo, em aterros sanitários. Proponha uma discussão após a pesquisa e estimule os estudantes a indicar vantagens e desvantagens de cada método, além de possíveis formas de atenuar eventuais impactos ambientais a ele associados.

Ao abordar a nomenclatura dos hidrocarbonetos, deixe claro que as regras apresentadas podem auxiliar a identificar o nome, a fórmula e o grupo funcional de diversos compostos orgânicos. Incentive os estudantes a perceber que as regras de nomenclatura sistemática de compostos orgânicos não são um amontoado de informações a serem memorizadas, mas ferramentas que facilitam o estudo das classes funcionais e da estrutura das substâncias orgânicas. Utilizando exemplos do Livro do Estudante, leve-os a diferenciar e aplicar corretamente o prefixo, o infixo e o sufixo na nomenclatura de hidrocarbonetos.

Ressalte que a nomenclatura de compostos não é um fim em si mesma, mas um instrumento a serviço da clareza e da objetividade da comunicação. Comente que as regras de nomenclatura são muito vastas (em decorrência da grande diversidade de estruturas dos compostos orgânicos) e que, no Ensino Médio, são aprendidas apenas algumas delas, de caráter fundamental.

Além disso, em caso de dúvida, uma pesquisa em fontes confiáveis pode rapidamente elucidar o significado de qualquer nome cujo significado ainda não seja de conhecimento dos estudantes. É relevante que eles sejam permanentemente estimulados a pesquisar o significado não apenas de nomes de substâncias como de quaisquer termos técnicos sobre os quais tenham dúvida. Nesse contexto, a desenvoltura para consultar e interpretar informações é potencializada ao apresentar propostas de atividades para realização em equipe, uma vez que pode "promover a aprendizagem colaborativa, desenvolvendo nos estudantes a capacidade de trabalharem em equipe e aprenderem com seus pares" (BNCC, 2018, p. 465). Assim, enfatizamos a importância de se criarem condições, no ambiente de aprendizado, para a realização de atividades coletivas por meio de propostas como a sugerida anteriormente (acerca dos meios de obtenção de gás metano) e a *Atividade em grupo* (proposta no Item 1 do Livro do Estudante), comentada mais à frente, neste *Suplemento do Professor*.

Ainda com relação à nomenclatura de hidrocarbonetos, a utilização de locantes, ou localizadores (números que localizam), para indicar a posição de insaturações será explorada em atividade do *Aplicando conhecimentos*, que está, no Livro do Estudante, logo em seguida ao Item 2. Para conhecimento do docente, é importante que comentemos algumas alterações significativas que ocorreram em 1993 nas regras sistemáticas de nomenclatura IUPAC para compostos orgânicos, uma vez que algumas fontes de informação empregam sistemáticas que não são mais recomendadas.

Em 1993, a IUPAC publicou um novo conjunto de recomendações* que alterou as regras anteriormente em vigor, datadas de 1979. Em maio de 2001, a revista *Química Nova na Escola* publicou um artigo** do então representante da Sociedade Brasileira de Química (SBQ) junto à IUPAC para assuntos de nomenclatura orgânica, que versa sobre a adaptação das recomendações de 1993 ao idioma português, adaptação decorrente de um acordo celebrado com representantes da Sociedade Portuguesa de Química (SPQ), e que vale, portanto, para Brasil e Portugal. Em setembro de 2002, foi publicada a íntegra da tradução dessas recomendações.‡ Em 2013, a IUPAC publicou um novo guia‡‡ de nomenclatura que não contém modificações significativas nos nomes sistemáticos recomendados pela entidade para os compostos que são estudados dentro do propósito desta obra e dos estudos de Ciências da Natureza no Ensino Médio.

* PANICO, R.; POWELL, W. H.; RICHER, J.-C. *A guide to IUPAC nomenclature of organic compounds. Recommendations 1993*. Cambridge: Blackwell Science, 1993. Correções publicadas em Pure and Applied Chemistry, v. 71, n. 7, 1999. p. 1.327-1.330.

** RODRIGUES, J. A. R. Recomendações da IUPAC para a nomenclatura de moléculas orgânicas. *Química Nova na Escola*, n. 13, 2001. p. 22-28. (Veja também errata no n. 14, p. 46.)

‡ PANICO, R.; POWELL , W. H.; RICHER, J.-C. Guia IUPAC para a nomenclatura de compostos orgânicos: tradução portuguesa nas variantes europeia e brasileira. Trad. Ana Cristina Fernandes, Bernardo Herold, Hernâni Maia, Amélia Pilar Rauter e José Augusto Rosário Rodrigues. Lisboa: Lidel, 2002.

‡‡ FAVRE, H. A.; POWELL, W. H. *Nomenclature of Organic Chemistry: IUPAC recommendations and preferred names 2013*. Cambridge: Royal Society of Chemistry, 2014.

O docente deve estar atento às alterações feitas por essas normatizações mais recentes em relação a antigas diretrizes. Algumas das mais significativas dizem respeito à colocação, no nome, dos locantes de insaturações duplas e triplas e de grupos funcionais das classes álcool e cetona. Agora, **os locantes são sempre colocados imediatamente antes dos elementos cuja localização indicam**, o que significa que, nos casos citados, tais números devem ser colocados no meio do nome. Veja exemplos:

Anteriormente (1979)	Atualmente (1993/2013)
1-buteno	but-1-eno
2-pentino	pent-2-ino
1-propanol	propan-1-ol
2-pentanona	pentan-2-ona

Fontes consultadas: PANICO, R.; POWELL, W. H.; RICHER, J.-C. *Op. cit.*; RODRIGUES, J. A. R. *Op. cit.*; FAVRE, H. A.; POWELL, W. H. *Op. cit.*

Essa alteração, embora torne os nomes mais difíceis de ler, é bastante lógica, pois em casos mais complexos do que aqueles estudados no Ensino Médio, em que há, por exemplo, a presença de insaturações e grupos funcionais álcool ou cetona, o nome se torna muito mais fácil de interpretar sem ambiguidades. Assim temos, a título de exemplificação, hex-4-en-2-ona (insaturação dupla entre C4 e C5, grupo carbonila em C2) e pent-2-en-1-ol (insaturação dupla entre C2 e C3, hidroxila ligada a C1).

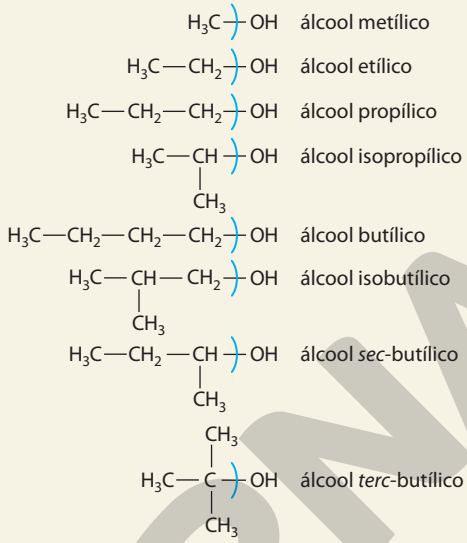
Além disso, é importante ressaltar ao docente que, em algumas situações, a IUPAC aceita mais de uma sistemática de nomenclatura. Para algumas classes funcionais, existe o que a IUPAC denomina **nomenclatura de classe funcional**. Duas delas (a de álcoois e a de cetonas) serão comentadas mais à frente, para conhecimento do docente.

Prosseguindo com a abordagem do Item 2, ao falar sobre os **álcoois**, pergunte aos estudantes em que contextos eles já ouviram o termo "álcool" sendo empregado. A partir dos relatos feitos, comente que a substância chamada de álcool no linguajar não científico é, de fato, o etanol, usado na composição do álcool em gel e de combustíveis. É muito importante que os estudantes compreendam que a classe funcional álcool é caracterizada pela presença do grupo hidroxila (—OH) ligado covalentemente a um átomo de carbono saturado (aquele que estabelece somente ligações simples).

Peça aos estudantes para observarem e compararem os itens A e B da Figura 10 do Livro do Estudante. Elas representam o modelo molecular e a fórmula estrutural de dois álcoois: metanol e etanol. Espera-se que os estudantes percebam que eles diferem quanto ao número de átomos dos elementos químicos carbono e hidrogênio e que identifiquem, em seus nomes sistemáticos, o prefixo referente ao número de átomos de carbono na molécula. A seguir, destaque as características do metanol e do etanol citadas no texto do item.

A utilização de locantes para indicar a posição do grupo hidroxila em um álcool com três ou mais átomos do elemento químico carbono na molécula é explorada em atividade do *Aplicando conhecimentos*.

Convém expor aqui, ao docente, a sistemática denominada nomenclatura de classe funcional de álcoois. Ela é uma alternativa para a denominação desse tipo de composto para casos em que a molécula seja relativamente pequena. Exemplos são:



Embora muito empregada pelos químicos, a utilização dessa nomenclatura requer familiaridade com os nomes de grupos orgânicos substituintes (como isopropil, *sec*-butil ou *terc*-butil) e constitui um conhecimento memorístico de baixíssima utilidade aos estudantes do Ensino Médio. Eles podem, mediante busca na internet, descobrir facilmente o significado desses nomes, caso os encontrem.

Ainda na abordagem de álcoois, converse com os estudantes sobre o efeito das bebidas alcoólicas no organismo. Interprete com eles a Tabela 2 do Livro do Estudante e discuta os efeitos progressivos da ingestão do etanol na intoxicação aguda por essa droga. Comente, também, que o uso prolongado pode causar problemas crônicos de saúde. (Alguns deles estão listados em um esquema, mais à frente, no comentário sobre a *Atividade em grupo*.)

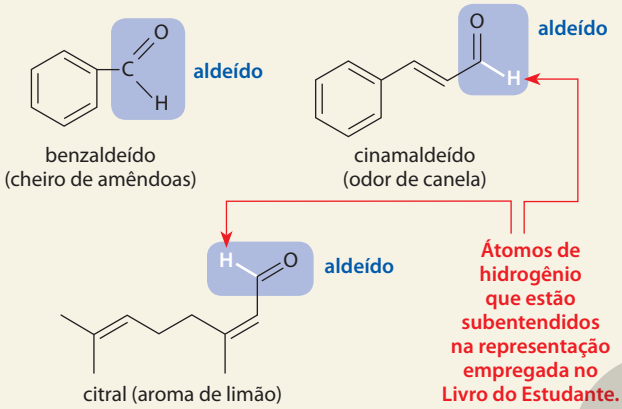
Uma vez que esse tema aborda vulnerabilidades às quais as juventudes estão expostas, procure organizar uma palestra na escola com um profissional da área de saúde para que ele possa abordar aspectos físicos, psicoemocionais e sociais relacionados ao consumo de bebida alcoólica, a fim de comunicar aos estudantes ações de prevenção e de promoção da saúde e do bem-estar. É relevante que o profissional convidado tenha familiaridade com esse tipo de abordagem frente a estudantes do Ensino Médio, a fim de que ela possa, de fato, contribuir para a redução da vulnerabilidade a que os jovens estão expostos quanto ao consumo de bebidas alcoólicas.

A *Atividade em grupo* proposta no item, comentada mais à frente, tem como finalidade possibilitar aos estudantes um maior conhecimento dos problemas relacionados ao consumo de bebidas alcoólicas e de como evitá-los ou superá-los. Note que as duas propostas, a palestra com um profissional da área de saúde e a elaboração do vídeo, não são excludentes. Ao contrário, complementam-se mutuamente e possibilitam o envolvimento da comunidade escolar na conscientização sobre os problemas associados ao etanol.

MODERNA

Quando for apresentar os **aldeídos**, as **cetonas**, os **ácidos carboxílicos** e os **ésteres**, destaque que essas substâncias são exemplos de classes funcionais orgânicas oxigenadas, já que apresentam átomo(s) do elemento químico oxigênio em seus grupos funcionais. Ainda que os grupos funcionais dessas classes já tenham sido apresentados, retome cada um deles detalhadamente. Escreva suas fórmulas estruturais na lousa e peça que os estudantes comentem semelhanças e diferenças estruturais entre eles.

Apresente o sufixo "al", empregado na nomenclatura de **aldeídos**. O modelo molecular e a fórmula estrutural do metanal e do etanal podem ser observados na Figura 12 do Livro do Estudante. Apresente as fórmulas e características dos demais aldeídos citados no item e peça aos estudantes que identifiquem o grupo funcional. É importante que, durante o capítulo, a interpretação e a comparação de fórmulas químicas sejam continuamente estimuladas, o que auxilia os estudantes a ganhar desenvoltura no reconhecimento de grupos funcionais e na diferenciação de classes funcionais oxigenadas.

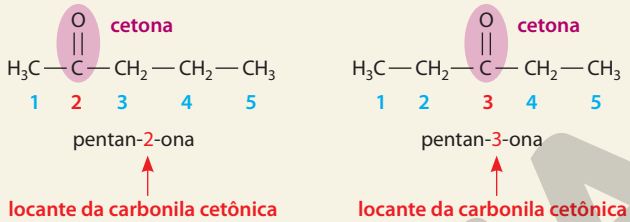


Abordar a nomenclatura sistemática de estruturas mais elaboradas (como a do cinamaldeído ou a do citral) está além do propósito do Livro do Estudante. Nada obsta, contudo, que os estudantes mais interessados as pesquisem em fontes confiáveis de informação. É importante deixar os estudantes confortáveis nesse sentido, a fim de perceberem que a meta do presente estudo se circunscreve aos pontos fundamentais referentes às classes funcionais orgânicas e que, conhecidos os princípios, pode-se aprender por conta própria sobre os temas de interesse individual.

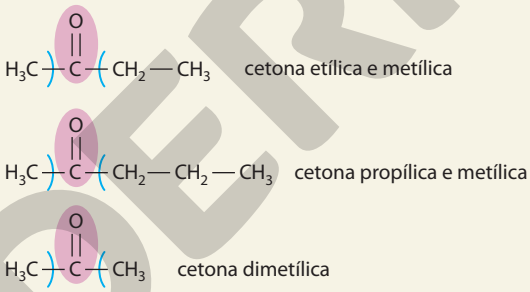
Ao abordar as **cetonas**, comente com os estudantes a diferença estrutural entre elas e os aldeídos. Embora essas duas classes funcionais apresentem grupo carbonila (C═O), mostre que se ela está ligada a pelo menos um átomo de hidrogênio, o composto em questão é considerado aldeído. Por outro lado, quando ela se encontrar entre dois átomos do elemento químico carbono, a substância é considerada cetona. Você pode abordar essas diferenças estimulando a análise comparativa das Figuras 13 e 14 do Livro do Estudante, nas quais é possível perceber o grupo carbonila como parte de um aldeído ou de uma cetona.

Explique que, na nomenclatura de cetonas, emprega-se o sufixo "ona", apresentando a propanona e a butanona. Aproveite para comentar que a propanona recebe o nome trivial de acetona, o qual possivelmente já é conhecido dos estudantes. Cite suas propriedades e aplicações, destacando a inflamabilidade desse composto e a toxicidade de seus vapores.

Fica a critério do docente, caso considere necessário, explicar que, para atribuir nomes como pentanona, hexanona e heptanona, é necessário incluir um locante no nome da cetona, a fim de explicitar a posição da carbonila. Exemplos são:



Como informação complementar ao professor, exemplificamos a seguir a utilização da nomenclatura de classe funcional cetona, uma sistemática bastante usada pelos químicos (e reconhecida pela IUPAC) para o caso de cetonas de moléculas não muito complexas:



Também como informação ao docente, é conveniente mencionarmos que esses nomes eram diferentes nas regras de 1979, mas foram modificados subsequentemente:

Anteriormente	Atualmente
etil-metil-cetona	cetona etílica e metílica
dimetil-cetona	cetona dimetílica

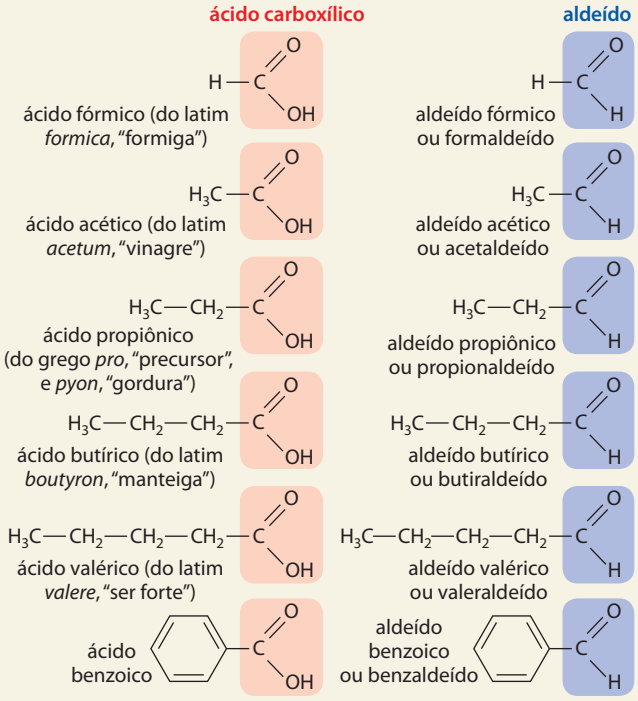
Fontes consultadas: PANICO, R.; POWELL, W. H.; RICHER, J.-C. *Op. cit.*; RODRIGUES, J. A. R. *Op. cit.*

Continuando a abordagem do Item 2, retome o grupo funcional carboxila presente nos **ácidos carboxílicos** e apresente o sufixo "oico", usado em sua nomenclatura. Solicite aos estudantes que observem o modelo molecular e a fórmula estrutural dos dois ácidos (metanoico e etanoico) apresentados na Figura 14 do Livro do Estudante, e, em seguida, comente sobre propriedades dessas substâncias. Mostre, então, os outros exemplos citados no item, estimulando os estudantes a reconhecer o grupo funcional presente em cada estrutura, o número total de átomos do elemento químico carbono e sua relação com o prefixo empregado no nome do composto.

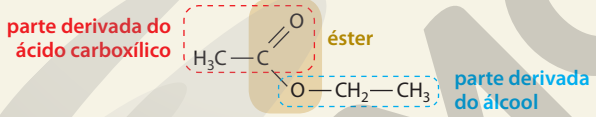
Concluindo, comente que muitos ácidos carboxílicos têm nomes triviais, três dos quais são apresentados no Livro do Estudante. Sobre esse aspecto, é conveniente informarmos ao docente que alguns aldeídos têm nomes triviais associados à denominação (também trivial) dos ácidos carboxílicos

EM MODERNA

correspondentes. A título de exemplificação, listamos alguns exemplos a seguir.

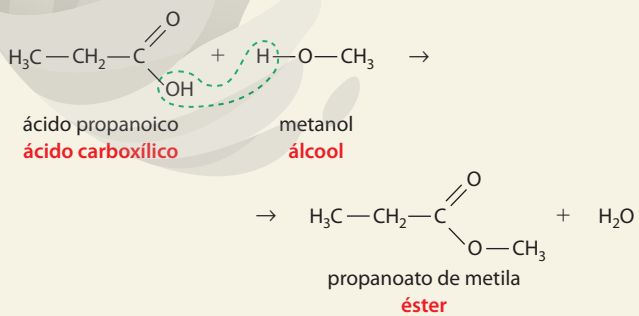


Ao abordar os **ésteres**, destaque a Figura 15 do Livro do Estudante, que representa o éster etanoato de etila. Explique que os compostos dessa classe funcional podem ser obtidos a partir da reação química entre um ácido carboxílico e um álcool, chamada reação de esterificação. Para isso, reproduza na lousa a equação apresentada e peça aos estudantes para comparar as estruturas dos reagentes com a do produto orgânico. Ajude-os a perceber a parte do acetato de etila que deriva do ácido etanoico e a parte que deriva do etanol:



etanoato de etila (ou acetato de etila)

É interessante ampliar a abordagem pedindo aos estudantes que proponham como seria a equação representativa da esterificação utilizando outros reagentes, por exemplo, o ácido propanoico e o metanol. Nesse caso, temos:



Para finalizar este item, sugerimos uma atividade envolvendo a Tabela 1 do seguinte artigo: DA SILVA, F. E. F. *et al*. Temática Chás: Uma Contribuição para o Ensino de Nomenclatura dos Compostos Orgânicos. *Química Nova na Escola*, v. 39, n. 4, p. 329-338, 2017. Disponível em: <http://qnesc.sbq.org.br/online/qnesc39_4/05-RSA-55-16.pdf>. Acesso em: 9 set. 2020. Disponibilize aos estudantes a tabela em questão (ou a referência completa) e solicite que identifiquem as classes funcionais de cada substância nela apresentada, indicando também os grupos funcionais presentes nas estruturas. Em seguida, divida a turma em grupos e solicite que cada grupo pesquise sobre as propriedades medicinais de uma das substâncias. Esta é uma atividade interessante, pois, de acordo com os resultados indicados no artigo sugerido, utilizar um assunto presente no cotidiano dos estudantes favorece e estimula a busca pelo conhecimento. Caso queira ampliar a abordagem, o próprio artigo traz sugestões de como isso pode ser feito.

Dialogando com o texto

O *Dialogando com o texto* menciona as regras de nomenclatura sistemática elaboradas pela União Internacional de Química Pura e Aplicada (IUPAC) e cita a existência de nomes triviais, isto é, nomes não sistemáticos. A ênfase da atividade está no estímulo à pesquisa, posto que ninguém conhece todos os nomes triviais de compostos orgânicos.

A título de exemplificação, a atividade solicita aos estudantes que descubram os nomes triviais do eteno e do etino, que são, respectivamente, etileno e acetileno.

A seu critério, você pode escrever nomes triviais de compostos em pedaços de papel e distribuí-los, para que cada estudante pesquise um deles investigando a fórmula estrutural do composto, a(s) classe(s) funcional(is) a que pertence, as utilidades práticas, a toxicidade e a eventual presença no cotidiano. Entre outros, você pode sugerir tolueno, estireno, xilenos (*orto*, *meta* e *para*), mirceno, mentol, carvona, glicerol, dopamina (um neurotransmissor), clorofórmio e todos os vinte aminoácidos comumente encontrados em proteínas. Em um dia marcado, faça uma roda de apresentação, em que cada estudante expõe o que obteve.

Atividade em grupo

O etanol é uma droga que interfere nas sinapses do córtex cerebral, podendo causar desorientação, diminuição de reflexos, perda da coordenação motora e redução da capacidade de avaliar situações. Dependendo da quantidade de etanol ingerida, o fígado fica sobrecarregado, a pessoa sente náuseas, tonturas, vômito e pode necessitar de atendimento médico. Os problemas mencionados referem-se à intoxicação aguda por etanol, isto é, que se manisfesta logo após a ingestão, em um intervalo de minutos ou horas. O etanol é um depressor do sistema nervoso e o aumento da sua concentração no sangue em episódios de intoxicação aguda leva ao comprometimento de atividades vitais, podendo até causar a morte.

Em adição aos malefícios associados a episódios de intoxicação aguda, o consumo recorrente de etanol pode desencadear problemas crônicos. O esquema a seguir sumariza alguns desses efeitos no organismo, a médio e longo prazos.

MODERNA

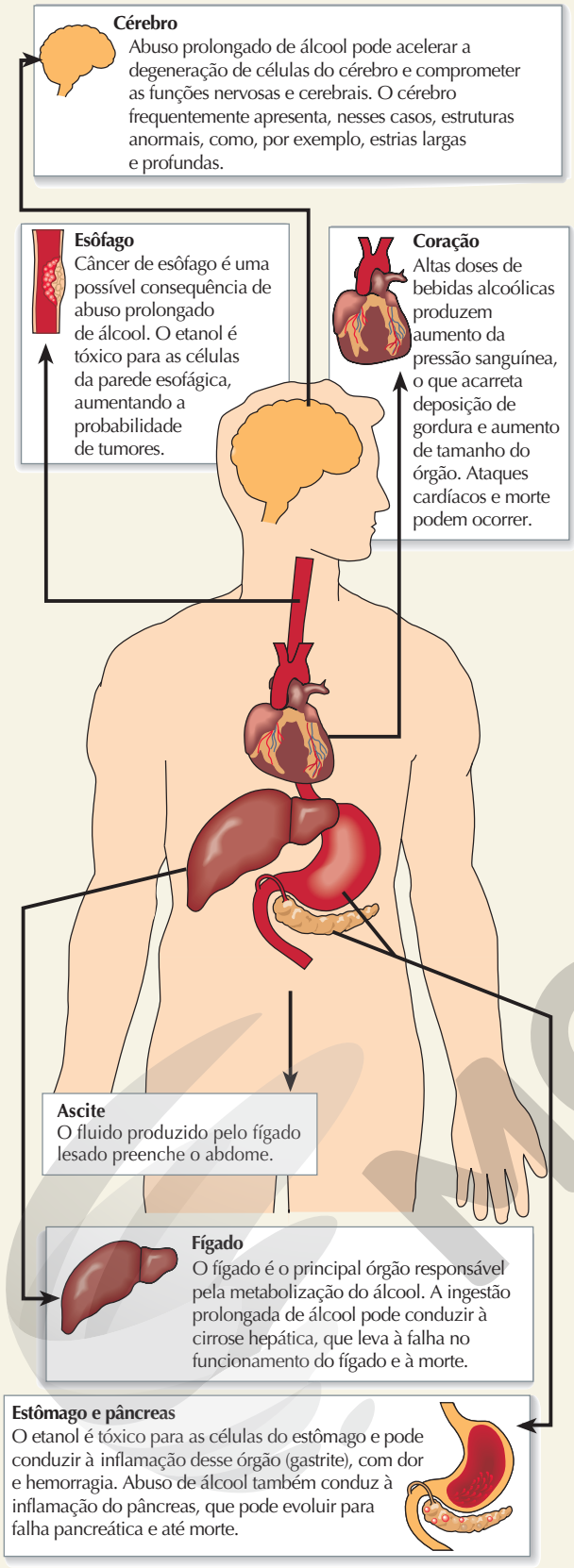


ILUSTRAÇÃO: ADILSON SECCO

O abuso do álcool pode trazer problemas imediatos e também ao longo do tempo. Esse esquema relaciona alguns dos problemas de saúde decorrentes, a médio e longo prazos, do consumo de álcool. (Representação fora de proporção; cores meramente ilustrativas.)

Fonte: JAMESON, J. L. *et al.* (ed.). *Harrison's principles of internal medicine*. 20. ed. Nova York: McGraw-Hill, 2018.

Ao desenvolver a atividade, sugerimos que oriente os estudantes na elaboração de um roteiro para o vídeo, que deve ser apresentado em uma linguagem clara, objetiva e organizada. É importante que cada vídeo aborde os malefícios do consumo de etanol, apresente propostas que ajudem pessoas a se conscientizar sobre eles e indique instituições que auxiliem dependentes alcoólicos. Os vídeos podem ser apresentados para a turma e para toda a comunidade escolar, podendo assim atingir grande número de pessoas e estimular o diálogo sobre o tema.

De olho na BNCC

- **EM13CNT207**
- **EM13CNT302**
- **EM13CNT303**
- **Competência geral 8**

A *Atividade em grupo* possibilita o desenvolvimento das seguintes habilidades da BNCC: **EM13CNT207**, pois leva os estudantes a 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; **EM13CNT302**, já que requer 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 de relevância sociocultural e ambiental; e **EM13CNT303**, posto que envolve 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. Também possibilita desenvolver a **Competência geral 8**, uma vez que potencializa conhecer-se, apreciar-se e cuidar de sua saúde física e emocional.

Aplicando conhecimentos

9 (A) $H_2C=CH-CH_3$

(B) $HC\equiv C-CH_3$

(C) $H_3C-\underset{\displaystyle CH_3}{\underset{|}{CH}}-CH_3$

(D) $H_3C-CH_2-CH_2-CH_2-CH_3$

(E) $H_3C-\underset{\displaystyle CH_3}{\underset{|}{CH}}-CH_2-CH_3$

(F) $H_2C=\underset{\displaystyle CH_3}{\underset{|}{C}}-CH_3$

10 **a)** Nos casos em questão, a numeração dos átomos de carbono tem início na extremidade mais próxima à insaturação, como mostrado no exemplo a seguir.

$$\underset{1}{H_2C}=\underset{2}{CH}-\underset{3}{CH_2}-\underset{4}{CH_3}$$

but-1-eno

Assim, os nomes but-3-eno e but-4-eno são incorretos porque desrespeitam esse preceito referente à numeração.

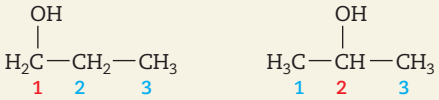
b) A fórmula estrutural solicitada é:

$$\underset{1}{H_3C}-\underset{2}{CH}=\underset{3}{CH}-\underset{4}{CH_2}-\underset{5}{CH_3}$$

pent-2-eno

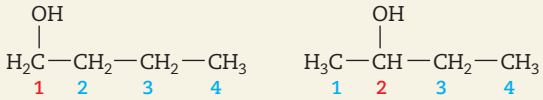
PROIBIDA

11 **a)** A numeração tem início na extremidade mais próxima ao átomo de carbono ligado ao grupo funcional, como mostrado a seguir.



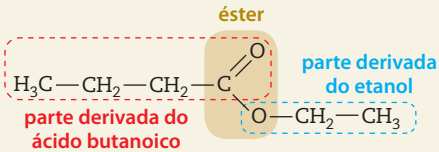
Assim, propan-3-ol é um nome incorreto para o propan-1-ol.

b) As fórmulas estruturais solicitadas são:

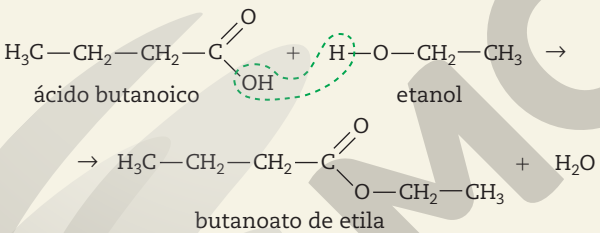


12 Um aldeído apresenta um grupo carbonila (C=O) na extremidade da molécula (isto é, ligado a pelo menos um átomo de hidrogênio) e uma cetona apresenta a carbonila ligada a dois átomos de carbono.

13 Os compostos utilizados como matéria-prima devem ser o ácido butanoico e o etanol, pois podemos reconhecer na fórmula estrutural do éster a parte derivada de cada um:



A equação da reação é a seguinte:



3. Exemplos de biomoléculas

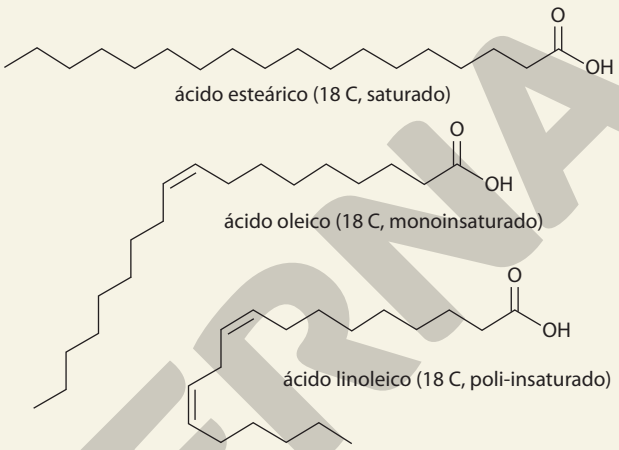
Triacilgliceróis

Ao falar sobre triacilgliceróis, é importante destacar que eles pertencem à categoria dos lipídios, compostos que, entre outras características, são pouco solúveis em água e constituem nutrientes altamente energéticos. Ressalte que o corpo humano precisa dos lipídios, pois, entre outros fatores, alguns deles atuam como constituintes de membranas biológicas.

Comente que os lipídios são biomoléculas com grande variedade estrutural. Aqueles conhecidos como óleos e gorduras, de origem animal ou vegetal, são misturas constituídas predominantemente de triésteres. Existem outros tipos de lipídios (como os esteroides) que apresentam outras estruturas e classes funcionais.

Por meio dos exemplos do Livro do Estudante, mostre que os ácidos graxos são ácidos carboxílicos que costumam apresentar pelo menos doze átomos de carbono na molécula.

Para diferenciar ácidos graxos saturados, monoinsaturados e poli-insaturados, escreva fórmulas estruturais de alguns exemplos na lousa (veja sugestões a seguir), destacando os tipos de ligações covalentes que os átomos de carbono dessas moléculas estabelecem entre si. A Figura 16 do Livro do Estudante pode ser usada, nesse contexto, para mostrar, por meio de modelos moleculares, a diferença entre um ácido graxo saturado e um ácido graxo monoinsaturado.



Utilize a estrutura geral de um triacilglicerol, apresentada no Livro do Estudante, para explicar que os triglicerídios são ésteres formados a partir de três moléculas de ácidos graxos (que podem ser iguais ou diferentes entre si) e uma molécula de glicerol (triálcool de nome sistemático propano-1,2,3-triol). Em seguida, destaque que um triglicerídio pode ser um óleo ou uma gordura, e que isso depende das características dos grupos R1, R2 e R3. É importante deixar claro que os óleos costumam derivar de ácidos graxos insaturados (monoinsaturados ou poli-insaturados) e se encontram em fase líquida, a 25 °C e 1 atm. Por outro lado, as gorduras costumam derivar de ácidos graxos saturados e se encontram em fase sólida, nessas condições. A Figura 17 do Livro do Estudante pode ser empregada para explicar como a estrutura dos ácidos graxos influencia sua temperatura de fusão e, consequentemente, dos triacilgliceróis que originam.

O *Dialogando com o texto* referente à estrutura dos lipídios, que aparece na lateral do subitem **triacilgliceróis**, no Livro do Estudante, é comentado mais à frente, neste *Suplemento do Professor*.

Aminoácidos e proteínas

Neste subitem, é possível começar comentando que as proteínas são importantes biocompostos poliméricos (isto é, de natureza macromolecular) formados a partir de reações químicas cujos reagentes são unidades menores (monômeros) denominadas α-aminoácidos.

Utilizando a fórmula geral apresentada no Livro do Estudante, explique que, na estrutura de um α-aminoácido, existem os grupos funcionais das classes ácido carboxílico e

MODERNA

amina. Nesse contexto, α (alfa) é uma indicação usada para fazer referência ao átomo de carbono vizinho ao grupo funcional —COOH (carboxila) e o termo "α-amino" indica que o grupo $—NH_2$ está ligado ao carbono alfa.

Uma informação ao docente. As letras minúsculas gregas α, β, γ, δ e ϵ são empregadas no estudo de compostos carbonílicos (por exemplo, aldeídos, cetonas, ácidos carboxílicos, ésteres, anidridos e amidas) para designar sequencialmente os carbonos vizinhos à carbonila (C═O), sendo α o vizinho imediato. No estudo dos α-aminoácidos, a designação se manteve.

Reproduza na lousa a equação que representa a reação entre dois α-aminoácidos formando um dipeptídio e explique aos estudantes que, para formar uma proteína (um grande polipeptídio natural), essa reação costuma envolver centenas de monômeros. Saliente que a reação envolve o grupo amina de um aminoácido e o grupo carboxila de outro. Comente que a ligação química estabelecida, que é parte de um grupo funcional amida, é chamada de ligação peptídica. Para ampliar a abordagem, apresente a fórmula estrutural de dois aminoácidos de sua escolha e peça que os estudantes escrevam no caderno a equação da reação entre eles. Verifique a conclusão dos estudantes, orientando-os a fazer as correções necessárias. Esse tipo de abordagem é necessário, uma vez que estimula os estudantes a interpretar e utilizar representações de substâncias e de transformações químicas.

O gráfico apresentado na Figura 19 mostra a composição típica de um organismo humano adulto. Pergunte aos estudantes que tipos de informação podem ser obtidos desse gráfico e verifique se eles se dão conta de que as proteínas são as biomoléculas mais abundantes em nosso organismo. Aproveite para mencionar que, apesar de o gráfico agrupar as proteínas, elas são, de fato, uma ampla e variada classe de biocompostos.

Comente que as proteínas apresentam funções importantes no organismo humano, como acelerar reações químicas, transportar metabólitos e atuar como receptores em membranas. Contudo, o excesso de proteínas na alimentação pode gerar sobrecarga dos rins e, a longo prazo, hipertensão e outros problemas. Com a ampliação do comércio e das propagandas de suplementos proteicos, tem se tornado comum a suplementação alimentar sem a orientação de nutricionista. Caso considere válido, realize uma atividade de pesquisa, por meio da qual os estudantes deverão identificar os problemas que podem decorrer da ingestão de suplementos proteicos sem orientação adequada. Para ampliar a discussão sobre o tema, pode-se propor a produção de um *podcast* sobre os efeitos das proteínas no organismo humano, a importância desse tipo de nutriente e os problemas advindos de sua suplementação excessiva.

O *Dialogando com o texto* referente à estrutura dos vinte aminoácidos comumente envolvidos na síntese proteica, que aparece na lateral do subitem **aminoácidos e proteínas**, no Livro do Estudante, é comentado mais à frente, neste *Suplemento do Professor*.

Carboidratos

Você pode começar comentando alguns fatos sobre a glicose e a frutose, a fim de introduzir a ideia de monossacarídios. A glicose (também denominada dextrose) é o mais comum dos monossacarídios com seis átomos de carbono na molécula e também a única aldose (aldeído e poliálcool) que é comumente encontrada na natureza na forma de monossacarídio. É uma fonte de energia para o metabolismo energético. Um adulto possui cerca de 5 g a 6 g de glicose livre dissolvida no plasma sanguíneo, quantidade suficiente apenas para garantir o funcionamento do organismo por aproximadamente 15 minutos. Sendo assim, o organismo deve repor continuamente glicose no sangue, a partir do fígado e dos músculos, onde ela fica armazenada na forma de glicogênio (comentado à frente).

Explique que a frutose (também conhecida como levulose) é uma cetose (cetona e poliálcool) encontrada em vários sucos de frutas e também no mel (juntamente com a glicose). É um dos carboidratos de sabor mais adocicado, sendo inclusive mais doce que a sacarose (componente majoritário do açúcar de cana).

Em seguida, escreva as fórmulas estruturais (abertas) da glicose e da frutose na lousa e peça que os estudantes mencionem os grupos funcionais presentes nas duas substâncias. Ao falar sobre essas substâncias, comente que elas costumam ser encontradas na natureza na forma de compostos cíclicos, cujas fórmulas estruturais (cíclicas) são também apresentadas no Livro do Estudante.

Explique que, na natureza, a frutose é frequentemente encontrada em combinação com a glicose. Isso fornece o gancho para falar sobre dissacarídios, mencionando inicialmente a sacarose, açúcar existente em diversos frutos doces. Apresente a equação que está no Livro do Estudante (usando fórmulas moleculares, pois as fórmulas estruturais serão tema do *Dialogando com o texto*, comentado mais à frente). Aproveite para comentar que, no Brasil, sua produção comercial é feita a partir da garapa (caldo obtido pela moagem da cana-de-açúcar), mas, em diversos outros países, a sacarose é obtida da beterraba.

A lactose ($C_{12}H_{22}O_{11}$) é um dissacarídio presente no leite de mamíferos cujas moléculas são formadas a partir dos monossacarídios glicose e galactose. No leite de vaca, a lactose corresponde a 4% ou 5% em massa. No leite humano, sua participação é maior, estando na faixa de 6% a 8% em massa. A lactose, quando pura a 25 °C e 1 atm, é um sólido cristalino incolor, com sabor muito tênue.

A maltose ($C_{12}H_{22}O_{11}$) é outro exemplo de dissacarídio. Seu nome deriva de *malte*, designação dada a uma mistura de água e substâncias extraídas de sementes de cereais germinados (isto é, com as sementes iniciando seu desenvolvimento) sob condições controladas. Durante a produção do malte, o amido (polissacarídio da glicose) presente nas sementes é hidrolisado, total ou parcialmente, dando origem a unidades menores, entre as quais glicose (monossacarídio), maltose (dissacarídio) e dextrinas (formadas por algumas dezenas de

MODERNA

unidades monoméricas de glicose interligadas). A maltose também é conhecida como açúcar do malte.

Esse comentário sobre a maltose possibilita introduzir a ideia de polissacarídio, falando inicialmente do amido. Apresente a equação de polimerização da glicose, mostrada no Livro do Estudante, e comente que ela também representa a formação da celulose e do glicogênio. Comente as características do amido e da celulose, conforme apresentadas no item.

A seguir, você pode falar sobre o glicogênio e sua importância. Em indivíduos saudáveis, o excedente de glicose absorvido após uma refeição não permanece nele devido a mecanismos regulatórios. Esse excedente é, em parte, armazenado nos músculos e no fígado na forma de um polissacarídio de α-glicose, o glicogênio, que corresponde a cerca de 5% da massa do fígado e a 0,5% da massa dos músculos.

Transcorrido um longo período após a refeição, quando o nível de glicose no sangue começa a declinar, o organismo hidrolisa o glicogênio (reação inversa à da formação desse polissacarídio) e libera as moléculas de glicose no sangue, permitindo que a concentração sanguínea de glicose permaneça na faixa adequada. O glicogênio é, então, um polissacarídio de reserva em animais.

O glicogênio apresenta estrutura polimérica altamente ramificada, o que é extremamente importante para o desempenho de sua função metabólica. Como ele é altamente ramificado, há diversas unidades monoméricas de glicose em extremidades, o que torna a hidrólise mais veloz, possibilitando uma rápida liberação de glicose quando necessário.

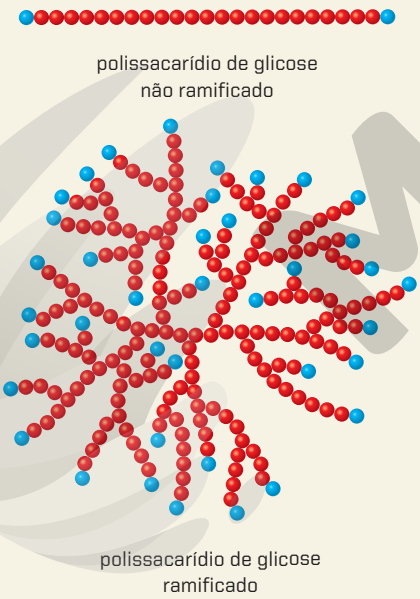


ILUSTRAÇÃO: ADILSON SECCO

Neste esquema, cada pequena circunferência representa uma unidade monomérica de glicose em um polissacarídio. As extremidades estão destacadas em uma cor diferente para facilitar a visualização. No glicogênio, altamente ramificado, há muitas unidades de glicose nas pontas, possibilitando rápida liberação de glicose para o sangue quando necessário. (Representação fora de proporção; cores meramente ilustrativas.)

Fonte consultada: CAMPBELL, M. K.; FARRELL, S. O. *Biochemistry*. 8. ed. Stamford: Cengage, 2015.

Como essa discussão envolve apresentar a hidrólise de um polissacarídio, aproveite para comentar com os estudantes que a produção industrial de glicose é, em boa parte, realizada por hidrólise do amido obtido de plantas.

Um fato interessante que pode ser apresentado ao trabalhar o tema carboidratos é a razão pela qual o feijão causa flatulência. Explique aos estudantes que um trissacarídio é o resultado da união de três moléculas de monossacarídio e que um tetrassacarídio é o resultado da união de quatro. As substâncias resultantes da união de duas até vinte moléculas de monossacarídios são genericamente denominadas **oligossacarídios** (do grego *olígos*, "poucos").

Quando ingerimos um dissacarídio, ele é hidrolisado no duodeno sob ação de enzimas, resultando os monossacarídios correspondentes. Estes, por sua vez, são absorvidos pela mucosa intestinal. Um dissacarídio não é absorvido como tal, requerendo hidrólise para que os monossacarídios sejam absorvidos. A mesma ideia vale para os polissacarídios. O amido, por exemplo, não é diretamente absorvido pela mucosa intestinal. Ele precisa, primeiro, ser enzimaticamente hidrolisado em monossacarídios, sendo estes absorvidos pela mucosa intestinal.

Entre outras substâncias, o feijão contém os oligossacarídios rafinose (trissacarídio) e estaquiose (tetrassacarídio).

$$\text{glicose} + \text{glicose} + \text{frutose} \rightarrow \text{rafinose} + 2\,H_2O$$

$$\text{galactose} + \text{galactose} + \text{glicose} + \text{frutose} \rightarrow \text{estaquiose} + 3\,H_2O$$

O corpo humano não tem enzimas que catalisem a hidrólise desses dois oligossacarídios. Assim, tanto a rafinose quanto a estaquiose passam pelo intestino delgado sem alteração. Quando chegam ao intestino grosso, são metabolizadas por procariontes que realizam fermentação e produzem gases, entre eles dióxido de carbono, CO_2 (g), e metano, CH_4 (g). Então, este é o motivo pelo qual o feijão causa flatulência: ele contém dois oligossacarídios que não são digeridos pelo organismo humano e cuja fermentação no intestino grosso produz gases. Importante explicar que tanto o dióxido de carbono quanto o metano são inodoros. O odor da flatulência deve-se a outras substâncias provenientes do alimento, entre elas substâncias contendo o elemento químico enxofre.

Também aproveitando a oportunidade por ter explicado aos estudantes o que é a hidrólise de um polissacarídio, comente que o organismo humano não sintetiza enzimas atuantes na hidrólise da celulose. Por isso, ela não é um nutriente calórico. Fibras celulósicas são, contudo, importantes em uma dieta saudável justamente porque não são digeridas. Elas contribuem para dar consistência ao bolo de material fecal, evitando o ressecamento das fezes e a prisão de ventre.

Comente que o amido e o glicogênio são polímeros da α-glicose e que a celulose é polímero da β-glicose (as fórmulas estruturais das duas estão no Livro do Estudante). Por causa dessa diferença estrutural, enzimas que atuam na hidrólise do amido não têm efeito na hidrólise da celulose.

O *Dialogando com o texto* que aparece na lateral do subitem **carboidratos**, no Livro do Estudante, é comentado mais à frente, neste *Suplemento do Professor*.

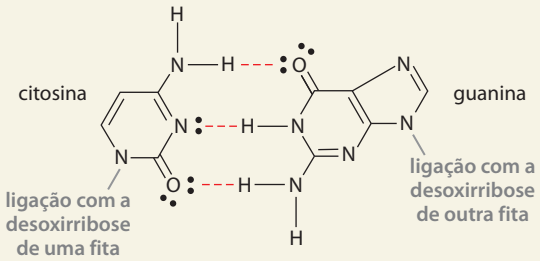
MODERNA

Ácidos nucleicos

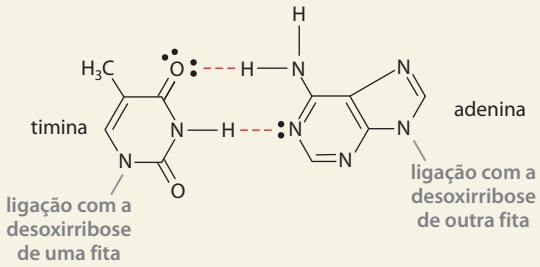
Neste subitem, comente que, com finalidade didática, é conveniente explicar inicialmente quais são as espécies químicas consideradas como integrantes da estrutura dos ácidos nucleicos. Com efeito, apresente uma noção sobre pentoses, grupos fosfato e bases nitrogenadas.

Utilize uma representação similar às apresentadas no Livro do Estudante para mostrar que tanto o DNA quanto o RNA são constituídos de longas moléculas resultantes do encadeamento regular desses três tipos de espécies constituintes. Aproveite para destacar a diferença quanto ao carboidrato presente: desoxirribose (no DNA) ou ribose (no RNA).

Comente que o DNA tem estrutura de dupla-hélice. Se, em seu planejamento escolar, você já tiver trabalhado anteriormente o tema ligações de hidrogênio, explique que essas interações são responsáveis pela união das fitas. O emparelhamento das bases citosina (C) e guanina (G) envolve o estabelecimento de três ligações de hidrogênio entre elas (representadas pelos tracejados)



e o emparelhamento das bases timina (T) e adenina (A) envolve o estabelecimento de duas ligações de hidrogênio:



Proponha aos estudantes que realizem uma pesquisa de imagens que contenham diferentes modelos representativos do DNA. Solicite que analisem cada uma para verificar quais são os aspectos estruturais ressaltados. Espera-se que eles encontrem desde representações muito simples, que enfatizam apenas a dupla-hélice, até outros, mais elaborados, que indicam o pareamento das bases e a ocorrência de ligações de hidrogênio entre elas. A Figura 22 do Livro do Estudante apresenta um modelo de DNA. As ilustrações B e C, abaixo, mostram ao docente duas outras possibilidades.

Desejando maiores informações sobre a estrutura do DNA, sugerimos o seguinte artigo: THIEMANN, O. H. A descoberta da estrutura do DNA: de Mendel a Watson e Crick. *Química Nova na Escola*, n. 17, p. 13-19, 2003. Disponível em <http://qnesc.sbq.org.br/online/qnesc17/17-a04.pdf>. Acesso em: 10 set. 2020. A seu critério, forneça essa referência aos estudantes como parte da atividade sugerida.

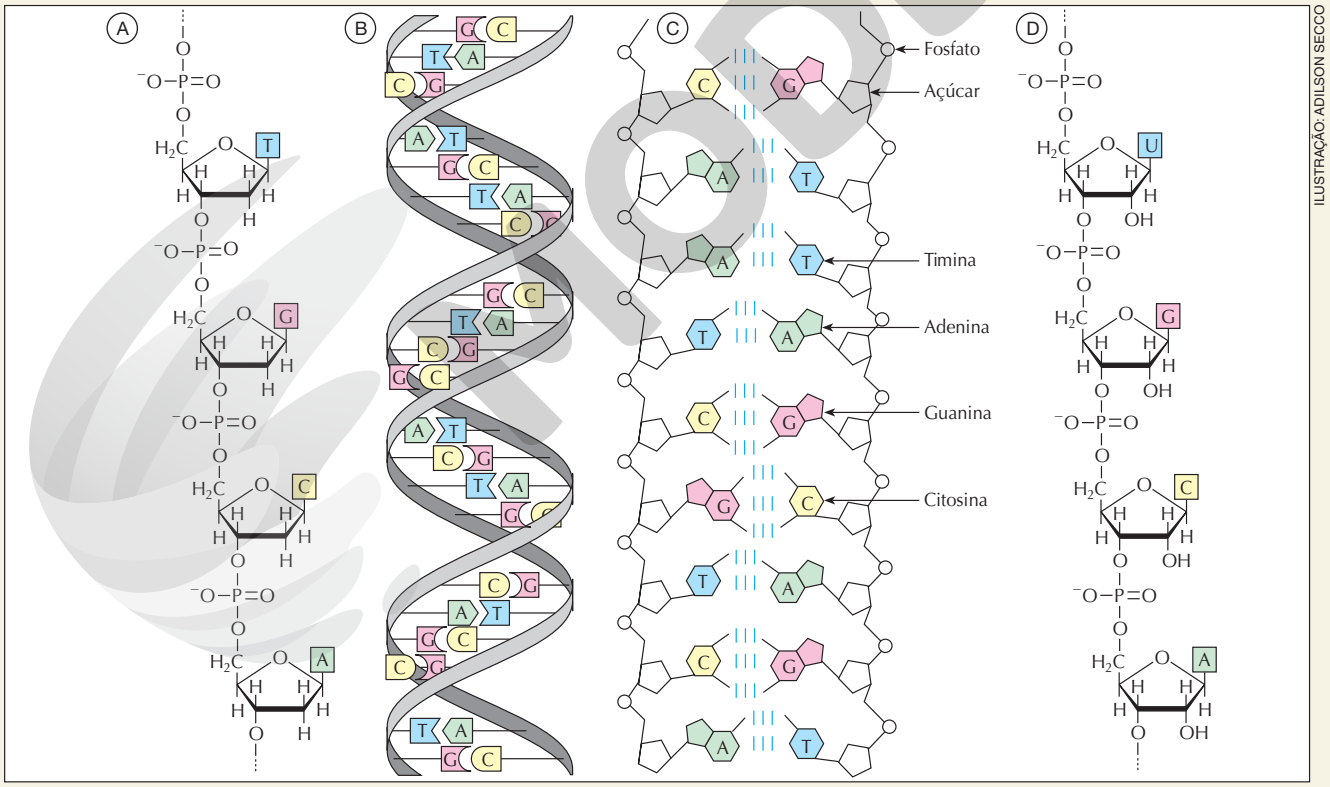


ILUSTRAÇÃO: ADILSON SECCO

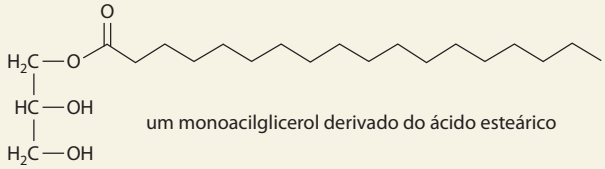
(A) Estrutura de uma fita de DNA. (B) Modelo para o DNA com ênfase na estrutura de dupla-hélice e no pareamento das bases. (C) Modelo para o DNA com ênfase nas ligações de hidrogênio (tracejados em azul) entre C e G e entre T e A. (D) Estrutura de uma fita de RNA, na qual há uracila (U) em vez de timina, e ribose em vez de desoxirribose. (Representações fora de proporção; cores meramente ilustrativas.)

Fontes: CAMPBELL, M. K.; FARRELL, S. O. *Biochemistry*. 8. ed. Stamford: Cengage, 2015; NELSON, D. L.; COX, M. M. *Lehninger principles of Biochemistry*. 7. ed. Nova York: Freeman, 2017.

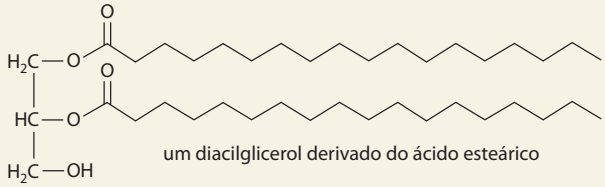
MODERNA

Dialogando com o texto

A primeira atividade *Dialogando com o texto* do Item 3 propicia aos estudantes conhecer outros exemplos de lípidos, além dos triacilgliceróis, e analisar suas estruturas. No caso dos diacilgliceróis e dos monoacilgliceróis, eles poderão perceber que, respectivamente, são diésteres e monoésteres de glicerol e ácidos graxos. Em outras palavras, são produtos da esterificação de uma molécula de glicerol com duas ou uma molécula de ácido graxo, respectivamente. Como exemplos, podemos apresentar um diacilglicerol e um monoacilglicerol derivados do ácido esteárico:

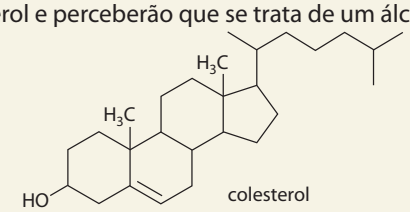


um monoacilglicerol derivado do ácido esteárico



um diacilglicerol derivado do ácido esteárico

Na atividade, os estudantes também analisarão a estrutura do colesterol e perceberão que se trata de um álcool.



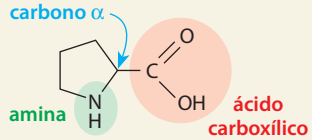
colesterol

Apesar da presença da hidroxila, a molécula de colesterol é predominantemente hidrocarbônica, o que explica o fato de essa substância ser praticamente insolúvel em meio aquoso. Nosso organismo absorve o colesterol presente em alimentos e é também capaz de sintetizá-lo. O composto toma parte da constituição da membrana plasmática e é precursor na síntese de vitamina D e de hormônios esteroides. O fígado produz cerca de 90% dos 3 g a 5 g diários de colesterol que o corpo humano sintetiza. Distúrbios que elevem a concentração de colesterol no sangue podem favorecer depósitos da substância (juntamente com outros materiais e formação de tecido conjuntivo) nas paredes das artérias, o que compromete a irrigação sanguínea e a oxigenação de tecidos, propiciando a ocorrência de acidente vascular cerebral e infarto do miocárdio.

Dialogando com o texto

Espera-se que a pesquisa das fórmulas estruturais dos vinte α-aminoácidos comuns auxilie os estudantes a identificar as similaridades e as diferenças estruturais entre essas substâncias. Entre as possíveis fontes de pesquisa que apresentam as fórmulas químicas desses compostos, sugerimos o artigo: FRANCISCO JR., W. E.; FRANCISCO, W. Proteínas: hidrólise, precipitação e um tema para o ensino de Química. *Química Nova na Escola*. n. 24, p. 12-16, 2006. Disponível em: <http://qnesc.sbq.org.br/online/qnesc24/ccd1.pdf>. Acesso em: 11 set. 2020.

Em resposta à pergunta feita na atividade, é esperado que os estudantes concluam que o aminoácido que não segue exatamente a fórmula geral apresentada no livro é a prolina, cuja fórmula estrutural está representada a seguir.

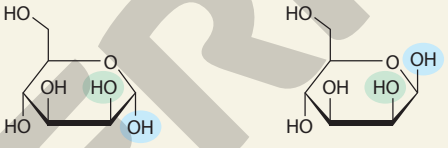


prolina (aminoácido)

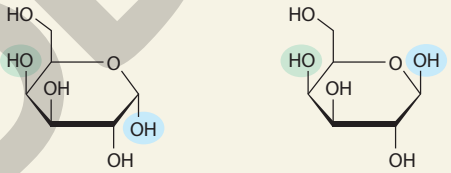
Para o docente, comentamos que a prolina apresenta um grupo amina secundária (—NH—), ao contrário dos demais, que apresentam grupo amina primária ($—NH_2$).

Dialogando com o texto

A primeira parte da atividade proposta no terceiro *Dialogando com o texto* do Item 3 é uma pesquisa da fórmula estrutural de manose e galactose e sua comparação com a da glicose e a da frutose, percebendo as diferenças. Considerando estruturas cíclicas com anéis de seis membros, os estudantes poderão encontrar duas possibilidades (α e β) para a manose e duas (também α e β) para a galactose:



α-manose ($C_6H_{12}O_6$) β-manose ($C_6H_{12}O_6$)

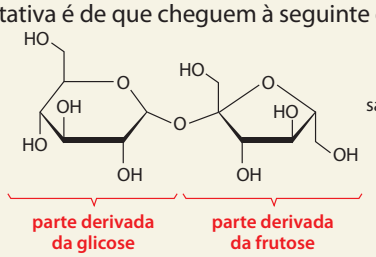


α-galactose ($C_6H_{12}O_6$) β-galactose ($C_6H_{12}O_6$)

A diferença entre as formas α e β está na posição de um grupo —OH em relação ao ciclo (destacada em azul). A diferença em relação à glicose está na posição do grupo —OH destacado em verde.

Oriente os alunos na atividade de pesquisa, sugerindo que se limitem às fórmulas estruturais cíclicas com anéis de seis membros (porque existem estruturas abertas e também cíclicas com anéis de cinco membros, mas não há necessidade de trabalhar nesse grau de abrangência para que os estudantes percebam o ponto central: apesar de esses compostos terem fórmula molecular igual à da glicose e à da frutose, $C_6H_{12}O_6$, são compostos distintos) e procure ressaltar a importância do uso de fontes confiáveis, como *sites* de universidades e artigos científicos.

A segunda parte da atividade solicita que os estudantes pesquisem a fórmula estrutural da sacarose e percebam nela a parte derivada da glicose e a parte derivada da frutose. A expectativa é de que cheguem à seguinte conclusão:



sacarose ($C_{12}H_{22}O_{11}$)

MODERNA

CAPÍTULO 5 Isomeria

Metas do capítulo

- Observar fórmulas estruturais e concluir se elas representam ou não compostos isômeros.
- Representar os isômeros possíveis a partir de uma determinada fórmula molecular.
- Conhecer as condições necessárias para que ocorra isomeria geométrica (*cis-trans*) em compostos com ligação C═C.
- Conhecer a condição necessária para ocorrer isomeria óptica.
- Identificar a presença de carbono quiral em uma estrutura orgânica e saber que ela é condição suficiente para a ocorrência de isomeria óptica.
- Deduzir, por análise das fórmulas estruturais, que 19 dos 20 α-aminoácidos comumente envolvidos na síntese proteica apresentam moléculas quirais.
- Compreender o que é atividade óptica e saber que enantiômeros acarretam desvios do plano da luz polarizada em sentidos opostos.
- Ter noção do que é um fármaco quiral.

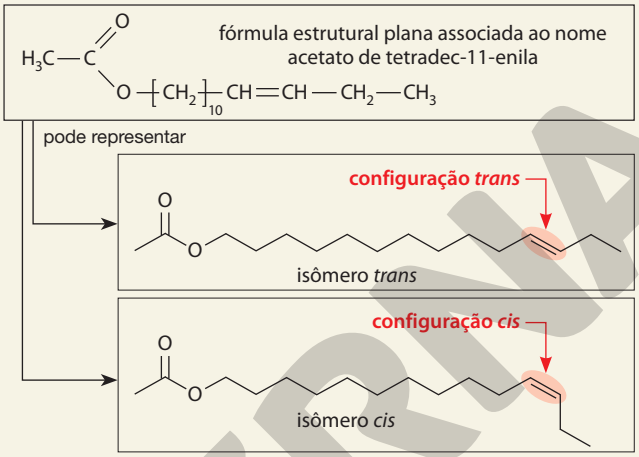
Sugestões didáticas e comentários

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

Ao iniciar a abordagem deste capítulo, solicite que um estudante leia em voz alta a legenda das fotos de abertura. A seguir, peça que outros estudantes leiam em voz alta (cada qual um parágrafo) o texto da página de abertura. Faça pausas regulares e certifique-se de que as informações estão sendo compreendidas por todos. Ao final da leitura, instigue a turma a responder à pergunta formulada no final da página inicial do capítulo, pois isso permitirá a sondagem de concepções prévias.

Fundamentalmente, o que essa abertura apresenta é uma situação relacionada à existência de isômeros geométricos. Como, em geral, os estudantes não têm domínio prévio desse conceito, pode ser que não lhes ocorra de imediato que uma mesma fórmula estrutural plana possa representar duas substâncias diferentes, no caso, cada uma atuando como feromônio para uma parte dos membros da espécie da broca europeia do milho, conforme relatado no texto. Então, escreva na lousa a fórmula estrutural plana do acetato de tetradec-11-enila (composto ao qual se refere a pergunta do Livro do Estudante) e, em seguida, peça que eles levantem hipóteses para explicar como duas substâncias diferentes poderiam apresentar essa mesma fórmula estrutural plana. Oriente-os a registrar essas hipóteses no caderno. Reserve um tempo em seu planejamento para, após a abordagem do Item 2 do capítulo, voltar a elas e dar a oportunidade de que eles as reformulem e, com isso, possam perceber e valorizar o conhecimento adquirido.

Nessa retomada, após o Item 2, verifique se eles perceberam que os dois feromônios em questão são dois isômeros geométricos, ou seja, apesar de terem a mesma fórmula molecular e fórmulas estruturais planas idênticas, a organização espacial dos ligantes da dupla C═C é distinta:



Voltando à abertura do capítulo, destaque aos estudantes que, em alguns contextos, determinadas espécies de seres vivos podem proliferar de maneira acentuada e se transformar em pragas. É o que aconteceu com a *Ostrinia nubilalis* quando chegou à América do Norte, onde não tinha predadores naturais. Rapidamente, o inseto transformou-se em praga de plantações de milho, infestando-as e causando redução de produtividade.

Verifique se os estudantes compreenderam o que é um feromônio e como ele pode ser usado para minimizar os problemas causados por insetos que são pragas da lavoura, sem, com isso, haver necessidade de empregar pesticidas.

É importante que eles percebam que os feromônios são substâncias naturais utilizadas na comunicação entre organismos de uma mesma espécie, gerando respostas comportamentais relacionadas, por exemplo, à fuga, à obtenção de alimentos e ao acasalamento.

Estimule os estudantes a obter informações (como fórmula estrutural e classe funcional) sobre outros feromônios. Entre as possíveis fontes de pesquisa, sugerimos o artigo: QUADROS, A. L. Os feromônios e o ensino de Química. *Química Nova na Escola*. n. 7, p. 7-10, 1998. Disponível em: <http://qnesc.sbq.org.br/online/qnesc07/relatos.pdf>. Acesso em: 11 set. 2020. Aproveite essa atividade para retomar alguns conteúdos do Capítulo 4, solicitando aos estudantes que identifiquem os grupos funcionais dos feromônios apresentados no artigo. Esse tipo de abordagem é importante, pois leva os estudantes a estabelecer relações entre propriedades das substâncias químicas e os contextos em que têm ocorrência natural ou podem apresentar aplicações práticas.

Caso queira ampliar o tema, você pode comentar com os estudantes o que é controle biológico. De acordo com a

EM MODERNA

Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa): "A premissa básica do controle biológico é controlar as pragas agrícolas e os insetos transmissores de doenças a partir do uso de seus inimigos naturais, que podem ser outros insetos benéficos, predadores, parasitoides, e microrganismos, como fungos, vírus e bactérias. Trata-se de um método de controle racional e sadio, que tem como objetivo final utilizar esses inimigos naturais que não deixam resíduos nos alimentos e são inofensivos ao meio ambiente e à saúde da população." (Portal Embrapa, disponível em: <https://www.embrapa.br/tema-controle-biologico>. Acesso em: 11 set. 2020.)

Nesse sentido, você pode dividir a classe em equipes e propor que cada uma pesquise um caso concreto de controle biológico e seus resultados. Em dia agendado pelo professor, cada grupo deve apresentar suas conclusões aos demais. Ao final, sugere-se uma roda de discussão para verificar semelhanças e diferenças entre os casos relatados e seus resultados.

De olho na BNCC

- **EM13CNT307**
- **EM13CHS302**

A abertura do capítulo permite o desenvolvimento das seguintes habilidades da BNCC: **EM13CNT307**, pois leva os estudantes a analisar as propriedades dos materiais para avaliar a adequação de seu uso em diferentes aplicações e/ou a propor soluções seguras e sustentáveis, considerando seu contexto local e cotidiano; e **EM13CHS302**, ao abordar aspectos relacionados ao controle de pragas em lavouras (por meio da utilização de feromônios ou controle biológico), possibilitando analisar e avaliar criticamente os impactos econômicos e socioambientais dessas práticas de controle sobre atividades agropecuárias em diferentes ambientes e escalas de análise.

1. Isomeria constitucional

Ao abordar o conteúdo do capítulo, o uso de modelos moleculares é recomendado, uma vez que a visão espacial das estruturas dos compostos orgânicos será essencial para que os estudantes visualizem a diferença entre os isômeros. Os modelos podem ser construídos com palitos de madeira (para representar as ligações covalentes) e bolas de isopor ou de massa de modelar (para representar os átomos). Caso considere válido, disponibilize esses materiais para a turma e peça que os estudantes construam modelos moleculares para analisar as estruturas das moléculas que serão apresentadas ao longo do capítulo.

Para iniciar o item, escreva na lousa a fórmula molecular C_4H_{10} e pergunte aos estudantes se é possível definir especificamente o composto orgânico que ela representa. É importante conduzir os estudantes a perceber, por meio desse questionamento, que essa fórmula se refere a duas substâncias. Para comprovar essa informação, escreva na lousa a fórmula estrutural dos isômeros, destacando as diferenças no modo como os átomos estão ligados em cada uma delas. Analise com eles os modelos moleculares da Figura 1 do Livro do Estudante ou, se possível, propicie condições em sala de aula para que os estudantes elaborem tais modelos.

Por meio desse exemplo, introduza aos estudantes a conceituação de que duas ou mais substâncias que apresentam a mesma fórmula molecular são denominadas isômeros, e que a existência de isômeros é denominada isomeria.

Ressalte que o butano e o metilpropano, isômeros de fórmula molecular C_4H_{10}, sendo substâncias distintas, apresentam propriedades físicas e químicas diferentes. Por exemplo, a temperatura de ebulição, a 1 atm, do butano é $-0{,}5$ °C e a do metilpropano é $-11{,}7$ °C.

Como outro exemplo, explore a Figura 2 do Livro do Estudante e crie a oportunidade para que os estudantes construam modelos moleculares das substâncias mencionadas. Durante essa elaboração, eles provavelmente perceberão a possibilidade de outros isômeros de fórmula molecular $C_4H_{10}O$. Esse é o tema do *Dialogando com o texto*, comentado à frente.

Mostre, por meio da Tabela 1 do Livro do Estudante (referente a hidrocarbonetos saturados de cadeia aberta) que, de modo geral, o aumento da quantidade de átomos do elemento carbono possibilita maior variedade de estruturas e, assim, mais isômeros constitucionais são previstos.

Destaque que, quando é possível perceber que dois isômeros são diferentes observando a fórmula estrutural plana, dizemos que é um caso de isomeria constitucional ou isomeria plana. No restante do capítulo, serão apresentadas situações de isomeria espacial, nas quais será necessário recorrer à estrutura espacial da molécula para perceber a diferença entre os isômeros. Assim, a desenvoltura dos estudantes com a construção de modelos moleculares, adquirida neste item, será ainda mais relevante ao estudar os Itens 2 e 3.

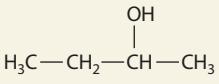
De olho na BNCC

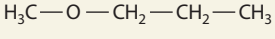
- **EM13CNT301**

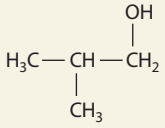
Este item possibilita desenvolver a habilidade **EM13CNT301** da BNCC, pois possibilita aos estudantes construir questões, elaborar hipóteses, previsões e estimativas, e interpretar modelos explicativos para construir, avaliar e justificar conclusões no enfrentamento de situações-problema sob uma perspectiva científica.

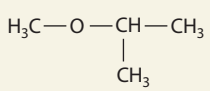
Dialogando com o texto

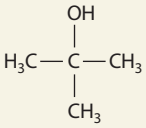
A atividade solicita que o estudante pesquise as fórmulas estruturais dos outros cinco isômeros constitucionais de fórmula molecular $C_4H_{10}O$ (três álcoois e dois éteres), diferentes do butan-1-ol e do éter dietílico, já apresentados no Livro do Estudante. Incentive os estudantes a construir modelos moleculares também desses cinco isômeros:







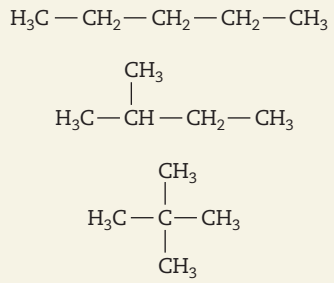




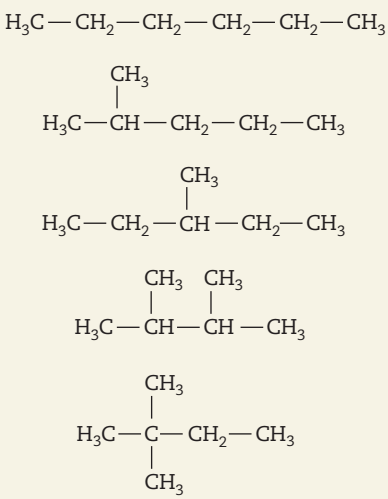
REPRODUÇÃO

Aplicando conhecimentos

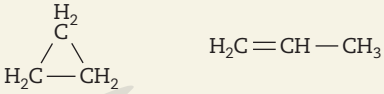
1 **a)** As fórmulas estruturais dos isômeros (C_5H_{12}) são:



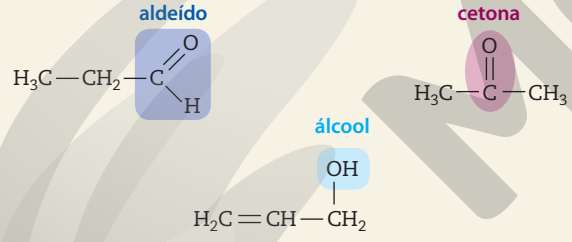
b) As fórmulas estruturais dos isômeros (C_6H_{14}) são:



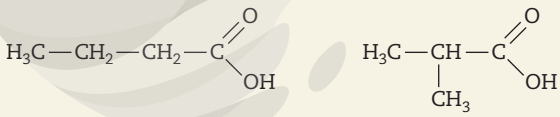
c) As fórmulas estruturais dos isômeros (C_3H_6) são:



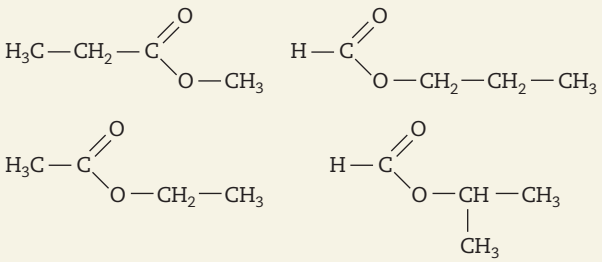
2 As fórmulas estruturais solicitadas são:



3 **a)** As fórmulas estruturais dos isômeros são:



b) As fórmulas estruturais dos isômeros são:



2. Isomeria geométrica

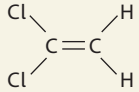
Inicialmente, estimule os estudantes a analisar os dois pares de fórmulas estruturais mostrados no início do item e, referindo-se a cada par, questione se as duas fórmulas representam um mesmo composto ou compostos diferentes. Fundamentado nas opiniões deles, conduza uma discussão, pedindo que observem as Figuras 3 e 4 do Livro do Estudante e os ajude a perceber que, quando dois átomos de carbono estabelecem uma ligação simples, existe livre rotação ao longo do eixo que passa pelos núcleos, mas, no caso de ligação dupla, essa rotação fica impedida. Para que ela ocorresse, seria necessário o rompimento da ligação dupla e isso implicaria perda da integridade estrutural da molécula. As Figuras 3 e 4 podem auxiliar os estudantes a ter essa percepção, daí a relevância de analisá-las com eles.

Se possível, crie a oportunidade em sala de aula para que os estudantes elaborem modelos moleculares para as estruturas das Figuras 4.A e 4.B do Livro do Estudante, o que favorece a percepção de que as estruturas da Figura 4.A são intercambiáveis devido à livre rotação da ligação C—C, mas as da Figura 4.B não são, pois não há livre rotação na ligação C=C. Compreender essa impossibilidade de rotação no caso da ligação dupla é fundamental para que os estudantes percebam que as seguintes fórmulas estruturais representam compostos distintos com mesma fórmula molecular ($C_2H_2Cl_2$), ou seja, isômeros.

A partir dessas fórmulas e da Figura 5 do Livro do Estudante, introduza o conceito de isomeria geométrica, ou isomeria *cis*-*-trans*. Explique que os núcleos dos átomos de carbono da ligação dupla C=C e os núcleos dos átomos ligados a eles (no caso, dos elementos químicos cloro e hidrogênio) encontram-se todos em um mesmo plano e que a diferença entre os dois isômeros está na disposição geométrica dos grupos ligados aos átomos de carbono da dupla C=C. Esclareça que essas duas estruturas têm em comum, como parte do nome, a designação 1,2-dicloroeteno (referente à representação plana HClC=CClH) e que a diferenciação do nome é feita pelo acréscimo dos prefixos *cis* e *trans*.

cis-1,2-dicloroeteno *trans*-1,2-dicloroeteno

Julgando oportuno, comente que existe um terceiro isômero de fórmula molecular $C_2H_2Cl_2$, cuja estrutura é:



Explique que esse composto (chamado 1,1-dicloroeteno) é isômero constitucional (isômero plano) dos outros dois, pois basta compararmos sua fórmula estrutural plana ($Cl_2C=CH_2$) com a dos outros dois (HClC=CClH) para podermos perceber a diferença entre eles.

MODERNA

Por meio desses exemplos, esclareça, conforme explicado no Livro do Estudante, como se utilizam os prefixos *cis* e *trans*. Apresente outros dois exemplos de isômeros geométricos mencionados no item (*cis*- e *trans*-but-2-eno, *cis*- e *trans*-pent-2-eno) e mostre qual é a condição para ocorrência de isomeria geométrica na presença de ligação dupla C═C: cada um dos átomos de carbono que estabelecem essa ligação dupla deve apresentar dois ligantes diferentes entre si. Mostre também exemplos de compostos que apresentam ligação C═C, mas não apresentam isomeria geométrica, como eteno, propeno e metilpropeno. Se você comentou com os estudantes a existência do $Cl_2C{=}CH_2$, mostre que é outro exemplo em que não há isomeria geométrica.

Se possível, crie condições para que os estudantes construam modelos moleculares de todos os compostos mencionados no item, o que possibilita uma melhor compreensão das condições para a existência de isômeros *cis* e *trans*.

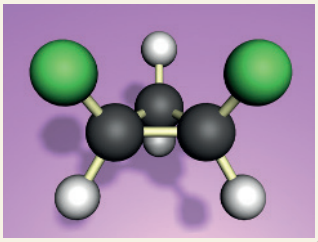
Comente que as propriedades físicas dos isômeros geométricos são diferentes e que, em alguns casos, eles também podem apresentar propriedades químicas distintas. Por exemplo, as temperaturas de fusão e de ebulição, a 1 atm, do *cis*-1,2-dicloroeteno são, respectivamente, −80 °C e 60 °C, enquanto as do *trans*-1,2-dicloroeteno são −50 °C e 49 °C. A densidade, a 20 °C e 1 atm, do isômero *cis* é 1,28 g/cm^3 e a do isômero *trans* é 1,26 g/cm^3. O ácido maleico (ácido *cis*-butenodioico), quando aquecido a temperatura adequada, passa por uma reação de desidratação que produz o anidrido maleico, mas o ácido fumárico (ácido *trans*-butenodioico) não se desidrata no aquecimento.

Na sequência, peça aos estudantes que analisem os exemplos do anetol e da substância apresentada no Livro do Estudante, como feromônio da abelha-rainha. Solicite que, no caderno, eles representem os isômeros *cis* de cada um deles. A esta altura, os estudantes começam a adquirir a habilidade de reconhecer a possibilidade de isomeria geométrica analisando fórmulas estruturais simplificadas com linhas.

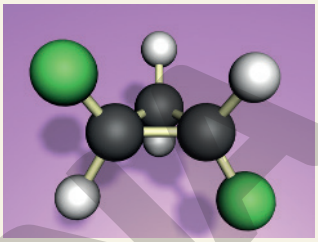
Comente, a seguir, o caso da bixina (a pronúncia recomendada é "x" com som de "cs"), substância que confere coloração vermelha à semente de urucum, e o do *trans*- e do *cis*-retinal, relacionados ao processo visual, apresentados no Livro do Estudante. Transcreva as fórmulas estruturais dos isômeros na lousa e peça aos estudantes que identifiquem a configuração (*cis* ou *trans*) ao redor de cada ligação dupla C═C, o que possibilita compreender que haveria outros isômeros, e os pares apresentados diferem na configuração em uma das duplas.

Caso tenha tempo disponível, proponha uma atividade de pesquisa para que os estudantes busquem outras substâncias naturais que apresentam isomeria geométrica. É fundamental que, além de diferenciarem os isômeros, façam registros sobre suas aplicações e propriedades. Reserve uma aula para que cada estudante exponha aos colegas o que obteve. O compartilhamento dos resultados desse tipo de investigação enriquece a vivência e o repertório dos estudantes sobre a Química em situações práticas, ajudando-os também a ter satisfação intelectual pela descoberta de fatos interessantes ligados às Ciências da Natureza.

Se tiver tempo e considerar oportuno, comente que, em uma estrutura orgânica cíclica, ainda que os átomos de carbono estejam ligados apenas por ligações simples C—C, não existe liberdade rotacional ao longo dos eixos definidos por essas ligações, pois uma rotação completa implicaria rompimento do ciclo. Assim, compostos cíclicos também podem apresentar isomeria geométrica, desde que dois átomos de carbono do ciclo apresentem ligantes diferentes entre si. Dois exemplos acessíveis à compreensão dos estudantes são indicados a seguir por meio de modelos moleculares.



Modelo molecular do *cis*-1,2-diclorociclopropano.



Modelo molecular do *trans*-1,2-diclorociclopropano.

ILUSTRAÇÕES DOS AUTORES

(Representações fora de proporção; cores meramente ilustrativas.)

Retome os exemplos do anetol e do feromônio da abelha-rainha, comentando que, nesses casos, o isômero geométrico do anetol não apresenta aroma de anis e que o isômero *cis* do feromônio da abelha-rainha não tem o mesmo efeito sobre os indivíduos do enxame. Explique que, frequentemente, os efeitos fisiológicos dos isômeros *cis* e *trans* são diferentes.

Um dos casos mais interessantes dessa diferença de efeitos fisiológicos dos isômeros geométricos envolve o feromônio da broca europeia do milho, mencionado na abertura do capítulo. Estudos* revelaram diferenças no material genético entre membros dessa espécie, *Ostrinia nubilalis*, que podem ser divididos em dois grupos, cada um deles com machos e fêmeas. Nos indivíduos de um desses grupos, a região cromossômica que condiciona a síntese do feromônio *trans* (pelas fêmeas) determina também a morfologia dos receptores do feromônio (nas antenas olfatórias dos machos), que são mais sensíveis ao isômero *trans*. No outro grupo, a mesma região cromossômica apresenta diferenças genéticas que, nesse caso, conduzem à síntese do feromônio *cis* (pelas fêmeas) e à percepção mais intensa desse mesmo isômero (pelos machos).

Retome a pergunta feita na abertura do capítulo e convide os estudantes a reavaliar as hipóteses apresentadas, reformulando-as. A expectativa é de que percebam a possibilidade de dois isômeros geométricos associados à fórmula estrutural plana apresentada e sejam capazes de representá-los. As estruturas desses dois feromônios, *cis* e *trans*, da *Ostrinia nubilalis* são apresentadas no final do Item 2, no Livro do Estudante e os estudantes podem, portanto, confrontá-las com as representações que fizeram.

* LASSANCE, J.-M.; BOGDANOWICZ, S. M.; WANNER, K. W.; LÖFSTEDT, C.; HARRISON, R. G. Gene genealogies reveal differentiation at sex pheromone olfactory receptor *loci* in pheromone strains of the european corn borer, *Ostrinia nubilalis*. *Evolution (International Journal of Organic Evolution)*. v. 65, n. 6, 2011. p. 1583-1593.

REPRODUÇÃO

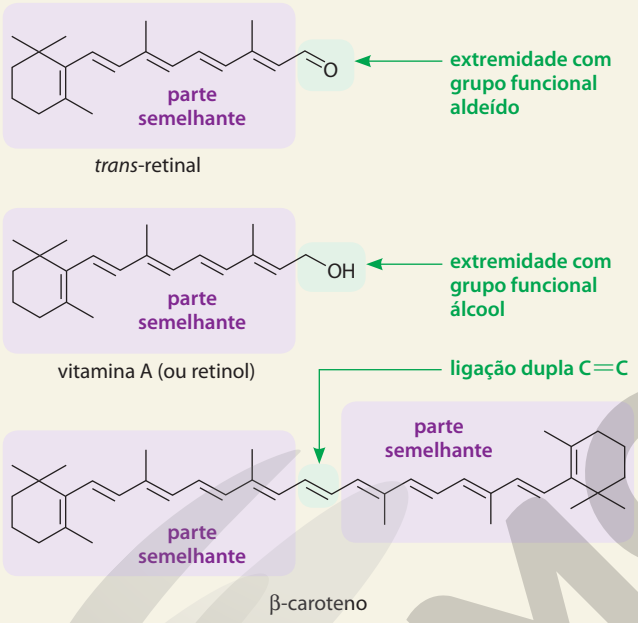
De olho na BNCC

- **EM13CNT307**
- **Competência geral 2**

Este item possibilita desenvolver a habilidade **EM13CNT307** da BNCC, pois conduz os estudantes a 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. Também possibilita o desenvolvimento da **Competência geral 2**, uma vez que estimula exercitar a curiosidade intelectual e recorre à abordagem própria das ciências, incluindo a investigação, a reflexão, a análise crítica, a imaginação e a criatividade para investigar causas, elaborar hipóteses, formular e resolver problemas e criar soluções com base nos conhecimentos.

Dialogando com o texto

As fórmulas estruturais do *trans*-retinal (para efeito de comparação), da vitamina A (retinol) e do β-caroteno são apresentadas a seguir.



trans-retinal

vitamina A (ou retinol)

β-caroteno

Espera-se que os estudantes sejam capazes de pesquisar as fórmulas solicitadas e identificar os grupos funcionais aldeído e álcool presentes, respectivamente, no *trans*-retinal e no retinol. Caso apresentem dificuldade, retome conteúdos abordados no Capítulo 4 para poder auxiliá-los. É importante também que os estudantes notem que os ligantes dos átomos de carbono de todas as ligações C=C das partes não cíclicas dessas estruturas apresentam configuração *trans*. Sugerimos que a elaboração dos cartazes seja realizada em equipes. No caso de cartazes em papel, eles podem ser afixados para exposição em um local da escola definido pelo docente.

Caso a opção seja pela elaboração de cartazes digitais, é altamente recomendado promover uma roda de discussão posterior, em sala de aula, para que cada equipe esclareça que aplicativos utilizou, comentando sobre suas vantagens e limitações. Isso contribuirá para aumentar o repertório dos estudantes sobre o uso de programas para composição e edição de textos, equações e imagens.

De olho na BNCC

- **EM13CNT302**

O *Dialogando com o texto* possibilita o desenvolvimento da habilidade **EM13CNT302**, pois requer que os estudantes comuniquem resultados de análises e pesquisas, elaborando e/ou interpretando textos, símbolos, códigos e sistemas de classificação, por meio de diferentes linguagens, mídias, tecnologias digitais de informação e comunicação (TDIC), de modo a disseminar informações relativas a temas científicos de relevância sociocultural.

Aplicando conhecimentos

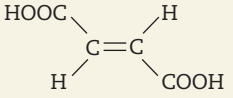
4 **a)** Não, pois é um composto saturado.
b) Não, pois um dos átomos de carbono que estabelece a ligação dupla possui ligantes iguais.
c) Sim, pois cada átomo de carbono que estabelece a ligação dupla possui ligantes diferentes entre si.
d) Sim, pois cada átomo de carbono que estabelece a ligação dupla possui ligantes diferentes entre si.
e) Não, pois um dos átomos de carbono que estabelece a ligação dupla possui ligantes iguais.
f) Não, pois os dois átomos de carbono que estabelecem a ligação dupla possuem ligantes iguais.

5 As fórmulas estruturais dos isômeros são:

c)

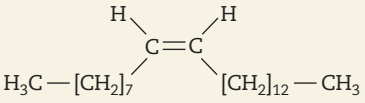
d)

6 A fórmula estrutural do isômero *trans* é:



7 Apenas na ligação C=C indicada por **B**. Nas demais ligações C=C, um dos átomos de carbono que estabelece a ligação dupla apresenta dois ligantes iguais.

8 A fórmula estrutural do isômero *cis* é:



3. Isomeria óptica

Por meio das Figuras 8 e 9 do Livro do Estudante, explique que existem objetos com ao menos um plano de simetria e objetos que não apresentam nenhum plano de simetria. Comente que a presença de plano de simetria está relacionada ao fato de a imagem do objeto no espelho (imagem especular) ser igual ao próprio objeto, o que não ocorre no caso dos objetos sem plano de simetria.

É conveniente que você utilize, em sala, modelos das moléculas 1 e 2 da Figura 10 do Livro do Estudante para explicar que, quando uma molécula não apresenta plano de simetria, sua imagem especular é diferente da própria molécula e,

MODERNA

assim, isso evidencia um caso de isomeria, denominada óptica. Ressalte que o espelho é apenas um recurso didático para mostrar a possibilidade de existência de um isômero cuja molécula é a imagem especular da molécula considerada.

Usando os modelos, mostre que as moléculas dos isômeros ópticos não são sobreponíveis (ou superponíveis), como mostrado na parte inferior da Figura 10.

Caso haja possibilidade, é recomendado que os próprios estudantes elaborem um modelo de molécula assimétrica, escolhendo quatro ligantes diferentes para o carbono quiral. Peça que inspecionem o modelo de modo a se certificar de que ele não apresenta plano de simetria.

Disponibilize um espelho e solicite que eles, visualizando a imagem do modelo no espelho, construam um novo modelo que a represente. A seguir, peça que verifiquem se os dois modelos construídos são iguais (sobreponíveis) ou não. Incentive-os a fazer um desenho esquemático dos dois modelos no caderno, que deixe evidente o fato de serem um a imagem especular do outro (de modo similar ao que se vê na parte superior da Figura 10).

Formalize essa discussão explicando que a **assimetria molecular** (ausência de plano de simetria) é a **condição necessária** para a isomeria óptica. Comente que existem diferentes situações estruturais que podem fazer com que uma molécula seja assimétrica. Uma delas, de interesse para a presente discussão, é a **presença de um carbono quiral**, que é **condição suficiente** para isomeria óptica.

A análise das fórmulas apresentadas na Figura 11 do Livro do Estudante e a construção dos respectivos modelos podem auxiliar os estudantes na compreensão de que moléculas com plano de simetria não apresentam isomeria óptica.

Exemplifique o reconhecimento da presença de carbono assimétrico em uma estrutura, analisando butan-2-ol, ácido láctico e alanina (apresentados no item) e outros exemplos que julgar convenientes. Apresente também casos em que não há carbono assimétrico, como propano, propeno e propino.

Comente que os isômeros ópticos apresentam propriedades físicas iguais (por exemplo, temperaturas de fusão e de ebulição, sob determinada pressão, e densidade, a certa temperatura e pressão), exceto uma, o desvio que provocam no plano da luz polarizada. Ao abordar esse tema, sugerimos que questione os estudantes sobre o conceito de polarização, de forma a avaliar se eles têm algum conhecimento prévio sobre o assunto. Caso tenha disponibilidade, sugerimos que leve lentes polarizadoras e mostre aos estudantes o efeito da polarização da luz. As Figuras de 12 a 15 do Livro do Estudante ajudam a compreender o que é a luz polarizada e como se constata a atividade óptica de uma substância. Utilize-as para ressaltar que os polarizadores atuam selecionando planos específicos de vibração da luz e que uma substância opticamente ativa provoca rotação desse plano no sentido horário ou anti-horário.

Em seguida, explique o que é uma mistura racêmica e, após apresentar essa definição, pergunte aos estudantes se eles acham que esse tipo de mistura provoca desvio da luz polarizada. É importante que eles justifiquem como chegaram a essa conclusão. Comente que, ao misturar partes iguais de dextrogiro e levogiro, é possível obter uma mistura racêmica, que tem como uma das suas características ser opticamente inativa. Leve os estudantes a compreender que, na mistura racêmica, há um número igual de moléculas dextrogiras e levogiras, e como elas provocam desvios contrários na luz polarizada, o desvio resultante é nulo ao testar esse tipo de mistura, já que uma molécula cancela o desvio da outra.

Por fim, destaque que a diferença entre isômeros ópticos costuma ser acentuada quanto aos efeitos fisiológicos no organismo humano, posto que muitas estruturas do organismo com as quais essas substâncias interagem são quirais (use a Figura 16 do Livro do Estudante para fazer essa explicação). O *Em destaque*, comentado mais adiante, aborda fármacos quirais.

Dialogando com o texto

Com exceção da glicina, os outros 19 α-aminoácidos apresentam carbono quiral. Entre as possíveis fontes de pesquisa para verificar a quiralidade das moléculas, sugerimos o artigo: FRANCISCO JR., W. E.; FRANCISCO, W. Proteínas: hidrólise, precipitação e um tema para o ensino de Química. *Química Nova na Escola*. n. 24, p. 12-16, 2006. Disponível em: <http://qnesc.sbq.org.br/online/qnesc24/ccd1.pdf>. Acesso em: 12 set. 2020.

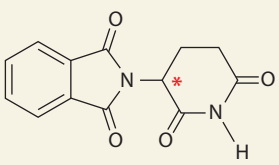
Em seguida, auxilie os estudantes a identificar que cada um desses aminoácidos só existe no corpo humano sob a forma de um enantiômero. Como fonte de pesquisa, sugerimos o artigo: PAIVA, A. P. O fenômeno da quiralidade – bases de estereoquímica. *Boletim da Sociedade Portuguesa de Química*, n. 103, p. 56-61, 2006. Disponível em: <https://www.fcav.unesp.br/Home/departamentos/tecnologia/LUCIANAMARIASARAN/o-fenomeno-da-quiralidade-artigo.pdf>. Acesso em: 12 set. 2020.

Em destaque

O objetivo do *Em destaque* é explorar as propriedades dos fármacos quirais. O texto traz o exemplo da talidomida e do trágico caso envolvendo essa substância. O caso ocorreu no início da década de 1960 e ocasionou a má-formação de fetos, resultando no nascimento de crianças com deficiências nos membros.

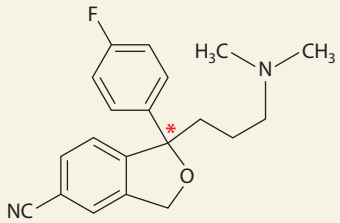
Sugerimos que as atividades sejam realizadas em grupos e que, ao final, os registros das respostas sejam compartilhados com a turma, a fim de estimular a discussão sobre os resultados obtidos. A seguir, são apresentadas as resoluções esperadas. É fundamental insistir com os estudantes **que medicamentos só devem ser utilizados com receita e orientação médica**.

1. O carbono quiral da talidomida está indicado (*) na fórmula estrutural plana a seguir.



EM ABERTA

2. O carbono quiral está indicado (*) na fórmula estrutural:



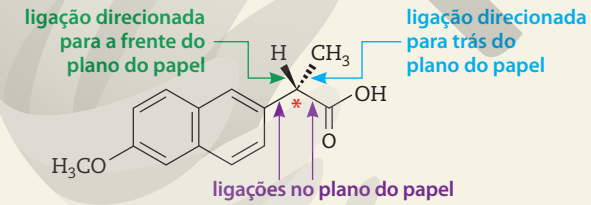
Em razão da especificidade dos alvos biológicos, espera-se que os enantiômeros apresentem atividade farmacológica diferente. Apesar disso, o fármaco em questão é comercializado como mistura racêmica. Os dois isômeros apresentam atividade farmacológica, mas a de um deles é muito reduzida, se comparada à do outro.

3. O escitalopram é o enantiômero farmacologicamente mais ativo do medicamento citalopram. Ele corresponde a apenas um dos dois isômeros presentes no citalopram.

4. Não, uma vez que um dos dois componentes do citalopram é bem menos ativo, a dose deve ser maior que a do escitalopram, já que este último contém apenas o princípio ativo mais eficaz.

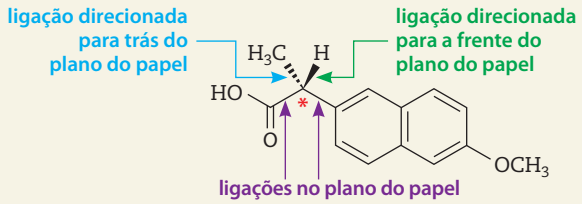
5. A catálise assimétrica é um processo químico enantiosseletivo, ou seja, que promove a obtenção específica de um enantiômero. Nesse processo, o catalisador atua acelerando a reação química que resulta em um produto com distribuição espacial específica dos ligantes ao redor do(s) centro(s) quiral(is). É de extrema relevância para a indústria farmacêutica, uma vez que possibilita a obtenção das formas farmacologicamente ativas puras, evitando a administração do outro isômero e a possibilidade de efeitos colaterais causados por ele. Como sugestão de pesquisa, indicamos o artigo: PILLI, R. A. Catálise assimétrica e o prêmio Nobel de Química de 2001. Novos paradigmas e aplicações práticas. *Química Nova na Escola*, n. 14, 2011. p. 16-24. Disponível em: <http://qnesc.sbq.org.br/online/qnesc14/v14a04.pdf>. Acesso em: 12 set. 2020.

6. O carbono quiral do naproxeno está indicado (*) na fórmula estrutural plana a seguir.



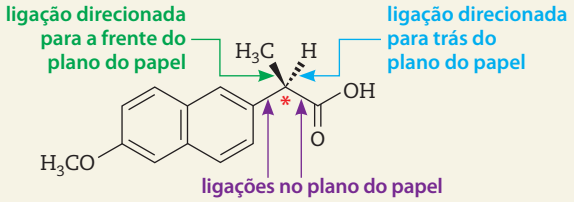
forma bioativa do fármaco

7. O enantiômero que não atua com fármaco é:



forma sem efeito farmacológico

Ele também pode ser representado assim:



8. Verifique os registros dos estudantes, orientando-os a realizar as correções necessárias e auxilie-os a compartilhar as informações, indicando a forma que considerar mais conveniente (por exemplo, exposição de cartazes em papel ou postagem de cartazes digitais em redes sociais da escola).

De olho na BNCC

- **EM13CNT301**
- **EM13CNT302**
- **EM13CNT303**
- **EM13CNT307**

O *Em destaque* possibilita o desenvolvimento de habilidades da BNCC: **EM13CNT301**, uma vez que estimula a construção de questões, elaboração de hipóteses, previsões e estimativas, representação e interpretação de modelos explicativos, dados e/ou resultados experimentais para construir, avaliar e justificar conclusões no enfrentamento de situações-problema sob uma perspectiva científica; **EM13CNT302**, pois requer 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**, por estimular a interpretação de textos de divulgação científica que tratam de temáticas das Ciências da Natureza, disponíveis em diferentes mídias, considerando a apresentação dos dados na forma de textos, a consistência dos argumentos e a coerência das conclusões, e visando construir estratégias de seleção de fontes confiáveis de informações; e **EM13CNT307**, pois favorece analisar as propriedades dos materiais para avaliar a adequação de seu uso em diferentes aplicações cotidianas e/ou a propor soluções seguras e sustentáveis, considerando seu contexto local e cotidiano.

Aplicando conhecimentos

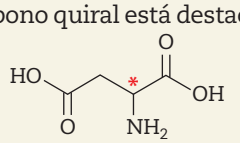
9 Apenas os itens **b**, **d** e **f** apresentam moléculas com um átomo de carbono quiral (*).

b) $H_3C-\overset{*}{C}H(Cl)-CH_2-CH_3$

f) $H_3C-\overset{*}{C}H(Br)-C(=O)-NH_2$

d) $\overset{*}{C}HCl-CH_3$

10 O átomo de carbono quiral está destacado (*) a seguir.



11 a) As substâncias **A** e **B** são enantiômeros (respectivamente dextrorrotatório e levorrotatório) com a fórmula estrutural plana apresentada, em que há um centro quiral:

$H_3C-CH_2-\overset{*}{C}H(CH_3)-CH_2-OH$

b) Não haverá rotação do plano de luz polarizada, pois a solução é uma mistura racêmica.

EM MOVIMENTO

CAPÍTULO 6 Gravitação universal

Metas do capítulo

- Reconhecer o caráter histórico da evolução dos modelos cosmológicos desde a Antiguidade até os dias atuais.
- Conhecer as teorias e os modelos propostos para a origem e a evolução do Universo.
- Compreender a origem da força gravitacional e sua relação com as outras grandezas associadas à interação gravitacional.
- Compreender a importância da interação gravitacional sobre corpos em órbita.
- Interpretar as leis de Kepler e compreender quando utilizá-las.
- Identificar forças e relações de conservação, para explicar o movimento do sistema planetário.
- Apontar e analisar condições ou fatores que sejam favoráveis à busca por indícios de vida fora da Terra, relacionados ao tema do capítulo.

Sugestões didáticas e comentários

A **abertura do capítulo** retoma o tema do volume *Universo e evolução*, com o estudo das zonas habitáveis do Universo. A zona habitável pode ser definida como uma região onde o raio orbital e a estrutura do planeta apresentem determinadas condições que garantam temperaturas capazes de manter água líquida na superfície do astro. Neste capítulo, vamos mostrar que a influência do campo gravitacional pode estabelecer fatores favoráveis para a busca por indícios de vida fora da Terra e do Sistema Solar. Além disso, vamos aprofundar os conhecimentos sobre as interações gravitacionais estudando as leis de Kepler e a lei da gravitação universal. É importante destacar para os estudantes que os conhecimentos sobre gravitação foram paulatinamente construídos ao longo de um processo histórico, da Antiguidade até os dias atuais, com base na evolução de modelos cosmológicos. É importante discutir a visão sobre o Universo a partir da teoria mais aceita pela comunidade científica, o modelo cosmológico padrão, que explica o surgimento do Universo e sua expansão. É importante que, na seção sobre o Sistema Solar, os modelos geocêntrico e heliocêntrico sejam apresentados com o tratamento histórico de sua construção, para que o estudante perceba a evolução histórico-científica das concepções do Universo e do próprio ser humano. Sugerimos que o professor faça um levantamento de concepções prévias dos estudantes acerca do tema de abertura e verifique como eles correlacionam conceitos como interação gravitacional, condições ambientais, fatores físico-químicos, que podem favorecer a manifestação de vida fora do nosso planeta. Ao apresentar as leis de Kepler dos movimentos planetários, sugerimos propor que a atividade seja realizada em grupo, para que os estudantes possam verificar a universalidade dessas leis e correlacioná-las à detecção e às estimativas de grandezas físicas (massa, período, raio médio orbitais...) de exoplanetas. Ao abordar a lei da gravitação universal e os satélites de comunicação, priorize, em um primeiro momento, uma abordagem qualitativa, seguida dos exercícios propostos, para que os estudantes desenvolvam a capacidade de interpretar dados e sejam capazes de aplicar corretamente os conteúdos abordados no capítulo. Ao longo do capítulo, procure relacionar zona habitável aos conceitos abordados, para que a aprendizagem seja significativa. Pelos conteúdos abordados neste capítulo, sugerimos que ele seja trabalhado por um professor com formação em Física.

De olho na BNCC

- **EM13CHS103**
- **EM13MAT313**

O conteúdo apresentado neste capítulo permite o desenvolvimento parcial das habilidades: **EM13CHS103**, da área de Ciências Humanas e Sociais Aplicadas, ao selecionar evidências e compor argumentos relativos a diferentes processos, com base na sistematização de dados e informações de natureza qualitativa e quantitativa; e **EM13MAT313**, da área de Matemática e suas Tecnologias, ao apresentar problemas que envolvem o uso da notação científica.

1. Uma breve visão do Universo

Nesta primeira seção, apresentamos um breve desenvolvimento histórico-científico sobre o surgimento e a evolução do Universo, enfatizando a teoria mais aceita pela comunidade científica, o *big bang*. Essa abordagem pode favorecer o desenvolvimento parcial das habilidades **EM13CNT201**, **EM13CNT204** e **EM13CNT209**, ao trazer o ponto de vista das Ciências da Natureza sobre o surgimento e a evolução do Universo, além das condições físicas para tal evolução.

Sugerimos enfatizar a visão científica sobre o Universo, adotada ao longo do capítulo. É possível, por exemplo, oferecer uma leitura sobre o tema nas concepções filosóficas. Para enriquecer esse trabalho, se julgar pertinente, proponha uma mesa de debates interdisciplinares convidando os professores de Filosofia, História, Literatura e Arte para discutir as diferentes maneiras de explicar a origem do Universo. Dessa forma, é possível desenvolver a habilidade **EM13CNT201**, não apenas pela visão das teorias científicas aceitas, mas em outras culturas, como as diversas cosmogonias indígenas, ou segmentos sociais, como as Artes e a Filosofia.

A compreensão da origem e evolução do Universo advém de descobertas da Astronomia, da Astrofísica e da Cosmologia. Apresente as características físicas que embasam o modelo cosmológico do *big bang* desde a singularidade primordial até a expansão acelerada do Universo que, atualmente, envolvem os conceitos de matéria escura e energia escura.

Se julgar relevante, indicamos uma animação e um vídeo de curta duração sobre a origem e a expansão do Universo,

PEARSON

disponíveis em: <https://svs.gsfc.nasa.gov/12656> e <https://www.youtube.com/watch?v=bAP3E3RWKJs>; acessos em: 28 jul. 2020. Promove-se, assim, o desenvolvimento das habilidades **EM13CNT202** e **EM13CNT209**, por meio da utilização de tecnologias digitais.

A seguir sugerimos outros textos que podem enriquecer as discussões desta primeira seção.

De olho na BNCC

- **EM13CNT201**
- **EM13CNT204**
- **EM13CNT209**

Esta seção possibilita o desenvolvimento das habilidades: **EM13CNT201**, pois aborda modelos de diferentes épocas para analisar as explicações sobre o surgimento e a evolução do Universo; **EM13CNT204**, ao promover explicações e previsões de modelos quanto aos movimentos dos planetas no Sistema Solar; e **EM13CNT209**, ao apontar a expansão acelerada do Universo, consequentemente, da aceleração das galáxias, estrelas e outros objetos cósmicos.

Leitura adicional

I. MAKLER, Martín. Matéria escura: novos caminhos para detectar misterioso componente do universo. *Ciência Hoje Online*, 21 fev. 2019. Disponível em: <http://cienciahoje.org.br/artigo/materia-escura-novos-caminhos-para-detectar-misterioso-componente-do-universo/>. Acesso em: 9 ago. 2020.

O artigo apresenta, com linguagem acessível, os modelos, as tentativas de detecção e o que entendemos atualmente por matéria escura.

II. Conheça Vera Rubin, a astrônoma e rainha das galáxias! *Espaço do conhecimento UFMG*. Disponível em: <https://www.ufmg.br/espacodoconhecimento/vera-rubin/>. Acesso em: 9 ago. 2020.

O texto apresenta uma breve biografia da cientista Vera Rubin, a primeira a constatar que a matéria escura está presente na maior parte do Universo. Além disso, Vera Rubin se destacou por lutar pela permanência de mulheres na área de exatas e ciências.

2. O Sistema Solar

Muito provavelmente os estudantes já tiveram acesso parcialmente aos conceitos desta seção no Ensino Fundamental. É um momento interessante para evidenciar que a construção de muitos conceitos foi formulada com esforços de astrônomos, matemáticos, físicos, químicos, filósofos e até mesmo de teólogos ao longo de muitos anos. Com esse estudo, desenvolve-se parte da habilidade **EM13CNT201**, ao discutir as diferentes teorias e modelos criados em diferentes épocas sobre o surgimento e a evolução da Terra e do Universo e, especificamente, do nosso Sistema Solar.

São apresentadas duas teorias sobre a dinâmica do Sistema Solar, o geocentrismo e o heliocentrismo, e alguns de seus desdobramentos científicos e históricos. Aproveite para trabalhar a habilidade **EM13CNT204**, ao destacar as diferenças entre esses modelos, suas previsões quanto aos movimentos planetários e influências de estudiosos da mecânica celeste.

De olho na BNCC

- **EM13CNT201**
- **EM13CNT202**
- **EM13CNT204**

Esta seção possibilita o desenvolvimento das habilidades: **EM13CNT201**, pois promove a análise de teorias em diferentes épocas abordando as explicações sobre o surgimento e a evolução da Terra e do Universo; **EM13CNT202**, ao analisar, por meio de questionamentos e discussões, as diversas formas e condições favoráveis à manifestação da vida; e **EM13CNT204**, ao promover explicações e previsões de modelos quanto aos movimentos dos planetas no Sistema Solar.

Sugestão de atividade complementar

Dramatização: Retrospectiva histórica

Se dispuser de tempo, proponha uma retrospectiva histórica das visões de mundo de alguns filósofos gregos. Sugira à turma que escolha representantes que se disponham a expor as ideias desses pensadores, como Aristarco de Samos, Hiparco de Niceia, Ptolomeu, Copérnico, Galileu Galilei, Kepler e Newton, de forma que cada um defenda o ponto de vista do filósofo ou cientista que elegeu.

Solicite aos estudantes que façam uma pesquisa prévia sobre todas as personagens e suas teorias para que possam formular questões pertinentes. Proponha a atividade como uma viagem no tempo que reúna pensadores de diferentes épocas em uma mesa de debates. Cada um deve apresentar sua teoria, e depois a plateia fará as perguntas.

Nesta atividade complementar, as habilidades desenvolvidas são: **EM13CNT201**, pois promove a análise de teorias de diferentes épocas abordando as explicações das visões de mundo e da estrutura do Sistema Solar; e **EM13CNT301**, ao promover, por meio da pesquisa sobre os personagens e do debate com a plateia, estudantes capazes de elaborar questões, levantar hipóteses, argumentar e interpretar modelos, sob uma perspectiva científica de diferentes épocas.

Para finalizar a seção, aponte que muitos estudos cosmológicos ainda são realizados e que muitas perguntas sobre o Universo permanecem sem resposta. Para retomar o tema de abertura, zonas habitáveis, seria interessante propor aos estudantes alguns questionamentos sobre a importância de um planeta ou exoplaneta (planeta fora do Sistema Solar) orbitar uma estrela próxima (fonte de calor), que pode promover condições favoráveis à vida. Primeiro, vamos abordar o Sistema Solar para depois expandir a ideia para outros sistemas. Sugerimos as seguintes questões:

- *O que faz um planeta ser habitável?*
- *Qual a importância de uma fonte de calor para a habitabilidade?*
- *Qual a razão de a zona habitável do Sistema Solar compreender a região entre Vênus e Marte?*

Ao elencar essas questões ou outras que julgar pertinentes, peça aos estudantes que se reúnam em pequenos grupos, registrem suas respostas no caderno e posteriormente realizem uma discussão com a turma. Sempre que possível, anote as principais conclusões dos estudantes no quadro para sintetizar as respostas. Assim, é possível trabalhar e desenvolver a habilidade **EM13CNT202**, ao analisar as diversas formas

MODERNA

de manifestação da vida, as condições ambientais favoráveis e os fatores limitantes à vida.

Lembre-se de que a zona habitável é uma região ao redor de uma estrela em que um planeta apresenta temperatura capaz de permitir a existência de água líquida em sua superfície. A proximidade do planeta com a estrela determina as condições e os fatores limitantes à vida. Se o planeta estiver muito distante da estrela, sua temperatura será baixa e a água estará congelada. Se ele estiver muito perto da estrela, sua temperatura será alta e a água estará na forma de vapor.

3. As leis de Kepler dos movimentos planetários

Ao iniciar essa seção, aponte que as leis de Kepler foram desenvolvidas para sintetizar de forma matemática as explicações sobre os movimentos planetários, como as observações do extenso trabalho realizado pelo astrônomo Tycho Brahe, que, na época, dispunha apenas de compasso e sextante como instrumentos científicos. Isso desmistifica o caráter de que a ciência sempre faz uso de robustas tecnologias e reforça a ideia de que a ciência é realizada por colaborações entre pares.

Apesar de serem leis baseadas inicialmente no estudo do movimento de translação da Terra em torno do Sol, as leis de Kepler são universais, aplicadas a todos os sistemas planetários, inclusive ao Sistema Solar em movimento na galáxia (Via Láctea).

Ao trabalhar com as três leis de Kepler, conforme sugerimos a seguir, é possível desenvolver a habilidade **EM13CNT204**, por meio de previsões e de cálculos inerentes às leis, referentes aos movimentos dos planetas e até mesmo do Sistema Solar.

Antes de enunciar a primeira lei de Kepler, em que a trajetória realizada pelos planetas é elíptica, apresente aos estudantes a curva denominada elipse e seus elementos geométricos (Fig. 5 do livro do estudante). Ao enunciar a primeira lei, ressalte que o Sol fica em um dos focos da elipse, e não no centro dela. Comente, como curiosidade, que a palavra foco vem do latim *focus*, que significa fogo.

Quanto à segunda lei de Kepler ou lei das áreas, enfatize que ela decorre da conservação do momento angular orbital do sistema planeta-Sol. Se precisar, retome com os estudantes os conceitos de momento angular e conservação de energia mecânica. Comente a conservação da energia mecânica na órbita, mostrando que, quando o planeta se aproxima do Sol, sua velocidade aumenta. Assim, sua energia cinética aumenta e, consequentemente, sua energia potencial gravitacional diminui. Ressalte que essa lei foi baseada nos dados coletados por Tycho Brahe sobre a órbita de Marte, que contribuíram para demonstrar que um segmento de reta que une o centro de massa do Sol ao centro de massa do planeta varre áreas iguais em intervalos de tempo iguais.

A terceira lei de Kepler, ou lei dos períodos, é uma lei que afirma o fato de ser constante a razão entre o quadrado do período orbital de um planeta e o cubo do raio médio da sua órbita. Para o caso do Sistema Solar, essa razão é denotada por K_P, sendo possível ajustá-la até para exoplanetas, como veremos adiante.

Comente com os estudantes os valores da constante K_P na tabela dos dados usados por Kepler (veja a tabela no livro do estudante). Explique o exemplo proposto e promova o desenvolvimento da habilidade **EM13CNT301**, ao utilizar os dados disponíveis e os conhecimentos da terceira lei de Kepler, para avaliar o período de translação de Saturno em torno do Sol.

Na seção anterior, trabalhamos a ideia de que a água líquida é essencial para prover ou buscar por indícios de vida em outros planetas. Mas será que só isso é suficiente?

De olho na BNCC

- **EM13CNT204**
- **EM13CNT301**
- **EM13MAT308**

Esta seção possibilita o desenvolvimento das habilidades: **EM13CNT204**, ao elaborar previsões e cálculos a respeito dos movimentos de objetos na Terra, no Sistema Solar; **EM13CNT301**, pois promove a interpretação de dados e hipóteses, bem como sua validação através de situações-problema, de exemplos e exercícios propostos; e **EM13MAT308**, da área de Matemática e suas Tecnologias, na medida em que aplica relações métricas para resolver e elaborar problemas que envolvem triângulos, em variados contextos.

Atividade em grupo

Esta *Atividade em grupo* é uma ótima oportunidade para trabalhar a universalidade da terceira lei de Kepler, além de retomar o tema da abertura, a busca por exoplanetas em uma zona habitável, e trabalhar alguns aspectos do pensamento computacional, como a organização lógica e análise dos dados, implementação e utilização de uma equação em uma planilha eletrônica, facilitando e solucionando o problema para uma variedade de dados. Inicie a atividade com a leitura do boxe, que contém informações sobre a missão Kepler e, se julgar pertinente, peça aos estudantes que realizem uma breve pesquisa sobre a missão. Sugerimos que a formação de grupos com quatro integrantes, para que todos possam participar. Para realizar os cálculos da atividade, sugira aos estudantes o uso de uma calculadora científica, que pode ser a do celular; comente que é possível utilizar a função y^x para a extração de uma raiz cúbica, fazendo-se $x = \frac{1}{3}$ (0,33333...).

É importante que os estudantes compreendam que a missão Kepler estuda o brilho das estrelas por meio de uma técnica chamada *trânsito astronômico*. Essa técnica detecta exoplanetas por meio da curva de luminosidade de estrelas estáveis, que apresentam queda de brilho em intervalos de tempos regulares e previsíveis, o que significa que um exoplaneta transitou "na frente" uma estrela. No endereço <https://svs.gsfc.nasa.gov/13022>, acesso em: 9 ago. 2020, é possível visualizar animações que ilustram o trânsito de exoplanetas e suas respectivas curvas de luminosidade. Sugerimos retomar com os estudantes os conceitos já vistos anteriormente, como o fato de que a emissão ou a absorção de luz de um corpo podem fornecer características físicas e/ou físico-químicas desse corpo, como a distribuição de elementos químicos presentes na sua composição ou sua densidade, que são características que ajudam a buscar indícios de vida nesses exoplanetas. Assim, é possível desenvolver as habilidades **EM13CNT202** e **EM13CNT209**.

Note que, ao aplicar a terceira lei de Kepler aos exoplanetas, uma nova relação é obtida ao se considerar a variação da massa da estrela em comparação com o Sol, assim o raio

REIMPRESSÃO

orbital de um exoplaneta em ua (unidades astronômicas) é $R = \sqrt[3]{T^2 \cdot M_{ES}}$, em que T é o período em anos terrestres e M_{ES} é a razão entre a massa da estrela e a massa do Sol. Para preencher a tabela, os estudantes devem utilizar as informações fornecidas nas curvas de luminosidade, a terceira lei de Kepler modificada e os dados da tabela, para estimar as distâncias e os períodos dos exoplanetas Kepler 5*b*, 6*b*, 7*b* e 8*b*.

A seguir, destacamos as respostas das lacunas com os valores aproximados. Os valores para o período indicado são os valores exatos fornecidos pela Nasa; perceba que os estudantes deverão estimar valores próximos ao interpretar as curvas de luminosidade. Note ainda que, para estimar a massa aparente da estrela, é necessário que a unidade do período esteja em anos terrestres. Ao estimar o valor das variáveis desconhecidas (lacunas), desenvolvem-se as habilidades **EM13CNT204** e **EM13CNT301**.

Planeta	Massa aparente da estrela (relativa ao Sol)	Período orbital (dias)	Distância até a estrela (ua)	Distância até a estrela (km)
Kepler-5*b*	1,37 M_{ES}	3,55	0,05064	7.580.000
Kepler-6*b*	1,21 M_{ES}	3,23	0,04559	6.820.000
Kepler-7*b*	1,36 M_{ES}	4,89	0,06250	9.350.000
Kepler-8*b*	1,21 M_{ES}	3,52	0,04828	7.220.000
Kepler-452*b*	1,04 M_{ES}	384,84	1,046	156.500.000

Ao analisar a tabela, percebe-se que o planeta Kepler-452*b* é o mais distante de sua estrela e com o período próximo ao valor do período orbital da Terra em relação ao Sol. É importante que os estudantes percebam as relações de período e distância ao Sol, para que possam retomar a discussão sobre a proximidade de um planeta à sua estrela e suas relações com as condições favoráveis ao desenvolvimento e à manutenção da vida como a conhecemos.

Um fato interessante que pode ser introduzido nessa discussão é que os planetas que orbitam uma estrela observados pela missão Kepler são nomeados como Kepler-(número) e ordenados com o número seguido de uma letra (*b*); a numeração indica a ordem dos exoplanetas descobertos em torno da estrela. Por exemplo, Kepler-5*b* é o primeiro exoplaneta descoberto em torno da quinta estrela. Com base nesse fato, você pode questionar os estudantes quanto à numeração alta de Kepler-452*b*. Isso ocorreu pelo fato de Kepler-452*b* ter um período maior, o que acarretou muito tempo até conseguirem definir com exatidão seu período, fazendo com que exoplanetas de períodos mais curtos fossem confirmados primeiro.

De olho na BNCC

- **EM13CNT202**
- **EM13CNT204**
- **EM13CNT209**
- **EM13CNT301**
- **Competência geral 2**

Esta *Atividade em grupo* possibilita o desenvolvimento das habilidades: **EM13CNT202**, ao rever emissão e absorção de luz de corpos que determinam características físico-químicas do exoplaneta, que indicariam indícios de vida; **EM13CNT204**, ao elaborar previsões e cálculos a respeito dos movimentos de objetos na Terra, no Sistema Solar e no Universo com base na análise das interações gravitacionais; **EM13CNT209**, ao associar que espectros ou curvas de luz podem mostrar composições e distribuições de elementos químicos favoráveis à existência da vida; e **EM13CNT301**, pois promove a interpretação de dados e hipóteses, bem como sua validação.

A **competência geral 2** também é evidenciada nesta atividade, na medida em que os estudantes devem exercitar a curiosidade intelectual e recorrer à abordagem própria das ciências, para investigar causas, elaborar e testar hipóteses, formular e resolver problemas e criar soluções.

Aplicando conhecimentos

1 Os trechos têm a mesma extensão, então:

$D_{AB} = D_{CD} \Rightarrow v_{m_{AB}} \cdot \Delta t_{AB} = v_{m_{CD}} \cdot \Delta t_{CD}$

ou $\frac{v_{m_{CD}}}{v_{m_{AB}}} = \frac{\Delta t_{AB}}{\Delta t_{CD}}$

Portanto, os intervalos de tempo são inversamente proporcionais às respectivas velocidades de percurso.

De acordo com a segunda lei de Kepler, no trecho *CD* a velocidade orbital média é maior que no trecho *AB*; portanto:

$v_{m(CD)} > v_{m(AB)} \Rightarrow \Delta t_{CD} < \Delta t_{AB}$

4. Lei da gravitação universal ou lei da atração das massas

Ao apresentar a lei da gravitação universal, analise-a, a princípio, qualitativamente: dobrando-se o valor de uma das massas, a força gravitacional dobra; dobrando-se a distância entre as massas, a força gravitacional se reduz a um quarto da original. Se multiplicarmos as duas massas e a distância por um fator qualquer "*x*", a intensidade da força não se altera. Apenas depois disso, explore-a quantitativamente.

Embora o trabalho de Isaac Newton já tenha sido destacado em capítulos anteriores, deve ser dada ênfase à atuação do cientista inglês no estabelecimento da lei da gravitação universal. Sugerimos, se julgar pertinente, a demonstração de como Newton chegou à lei do inverso do quadrado da distância na leitura complementar a seguir. Se não houver tempo, a leitura poderá ser disponibilizada aos estudantes, em papel ou mídia eletrônica, para futura discussão e/ou avaliação.

De olho na BNCC

- **EM13CNT204**
- **EM13CNT301**

Esta seção possibilita o desenvolvimento das habilidades: **EM13CNT204**, ao elaborar explicações e cálculos a respeito dos movimentos de objetos na Terra e no Universo, com base nas interações gravitacionais; e **EM13CNT301**, pois promove a interpretação de dados e hipóteses, bem como sua validação por meio de situações-problema, de exemplos e exercícios propostos.

Leitura adicional

Como Newton chegou à lei do inverso do quadrado da distância?

Isaac Newton já conhecia a terceira lei de Kepler, isto é, sabia que a razão $\frac{T^2}{R^3}$ é uma constante do movimento orbital. Supondo que o movimento da Lua, relativo à Terra, fosse circular e uniforme, Newton demonstrou que a aceleração da Lua relativa à Terra é centrípeta, $a_{Lua} = \frac{v^2}{R}$. Assim, considerando uma volta da Lua em torno da Terra, temos $v = \frac{2 \cdot \pi \cdot R}{T}$. Logo:

$$a_{Lua} = \frac{\left(\frac{2 \cdot \pi \cdot R}{T}\right)^2}{R} = \frac{4 \cdot \pi^2 \cdot R^2}{R \cdot T^2} = \frac{\overbrace{4\pi^2 \cdot \left(\frac{R^3}{T^2}\right)}^{\text{constante} = K}}{R^2} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow a_{Lua} = \frac{K}{R^2}$$

Com esse resultado, Newton concluiu que, se o valor da aceleração é proporcional ao **inverso do quadrado da distância** entre a Terra e a Lua, a intensidade da força entre esses corpos também deveria obedecer à mesma lei, de acordo com a sua segunda lei do movimento. Assim:

$$F_{(Terra\text{-}Lua)} = m_{Lua} \cdot a_{Lua} \Rightarrow F_{(Terra\text{-}Lua)} = K \cdot \frac{m_{Lua}}{R^2}$$

Pelo princípio da ação e reação, Newton concluiu que a intensidade dessa força também deveria depender da massa da Terra e escreveu:

$$F_{(Terra\text{-}Lua)} = K_G \cdot \frac{m_{Terra} \cdot m_{Lua}}{R^2}$$

A constante de proporcionalidade K_G é a constante *G*, determinada por Henry Cavendish 71 anos após a morte de Newton.

É importante elucidar alguns detalhes aos estudantes. Pelo princípio da ação e reação, sabemos que a força de atração gravitacional entre a Terra e o Sol tem a mesma intensidade sobre os dois corpos, porém, como a massa do Sol é extremamente maior que a da Terra, a força que a Terra aplica ao Sol produz um efeito muitíssimo pequeno e imperceptível. Agora, se considerarmos o sistema Terra-Lua, alguns efeitos sobre a Terra são mais perceptíveis. Lembre aos estudantes que a força de atração que a Lua exerce sobre a Terra é responsável pelas marés.

Para validar os conhecimentos obtidos sobre a lei da gravitação universal aplicada a corpos terrestres, sugerimos explicar o exemplo resolvido do livro.

Aplicando conhecimentos

Na seção aplicando conhecimentos, são propostos 2 exercícios para sistematizar os conhecimentos construídos até esta seção do capítulo.

2 Alternativa B.

I. **Incorreta**. O movimento só seria uniforme se a órbita fosse circular.

II. **Correta**. Do afélio para o periélio, o movimento é acelerado; do periélio para o afélio, é retardado.

III. **Incorreta**. Se considerarmos a órbita circular, a força de atração gravitacional é a resultante centrípeta do movimento. A força centrípeta não é uma força a mais que atua.

IV. **Correta**. É exatamente isso que ocorre.

V. **Incorreta**. Como a força gravitacional varia com a distância, em uma órbita elíptica sua intensidade varia.

3 Sendo a órbita circular, devemos ter:

I. Velocidade orbital: $v = \frac{2\pi R}{T}$

II. $F_{grav} = F_{centrípeta}$

Assim, $G \cdot \frac{M \cdot m}{R^2} = \frac{m \cdot v^2}{R} \Rightarrow$

$$\Rightarrow G \cdot \frac{M}{R} = \left(\frac{2\pi R}{T}\right)^2 \Rightarrow \frac{T^2}{R^3} = \frac{4\pi^2}{GM}$$

5. Satélites de comunicação (geoestacionários)

Antes de iniciar esta seção, é interessante apontar as aplicações práticas dos satélites artificiais que orbitam a Terra. Esses satélites são responsáveis por criar uma ampla rede de comunicação mundial, como o envio de imagens de televisão mostrando o que está ocorrendo no exato instante da transmissão; outras aplicações surgiram ao longo dos anos, assim como a utilização dos mesmos em monitoramentos ambientais (citar o INPE). Por um lado, esses satélites facilitaram a disponibilidade das bandas largas de internet, ou seja, o acesso à internet de alta velocidade, por outro lado, satélites como os meteorológicos, também contribuíram para monitorar e ampliar a comunicação entre as regiões do planeta, por exemplo, por meio da disponibilidade de dados em tempo real de situações climáticas e ambientais e de movimentos sociais.

MOLDURA

Nesta seção, você pode questionar o acesso às telecomunicações em áreas remotas no Brasil. É uma boa oportunidade para solicitar aos estudantes uma breve pesquisa sobre o primeiro satélite de comunicação geoestacionário brasileiro, o SGDC-1 (Satélite Geoestacionário de Defesa e Comunicações Estratégicas 1), e destacar a importância desse tipo de sistema e da telecomunicação via rádio, por exemplo.

Por fim, retome a terceira lei de Kepler e as condições orbitais que um satélite geoestacionário deve obedecer, para estimar o raio orbital e a altitude desses satélites e reforçar as habilidades **EM13CNT204** e **EM13CNT301**.

De olho na BNCC

- **EM13CNT204**
- **EM13CNT301**

Esta seção possibilita o desenvolvimento parcial das habilidades: **EM13CNT204**, ao elaborar explicações e cálculos a respeito dos movimentos orbitais de objetos na Terra e no Universo com base nas interações gravitacionais; e **EM13CNT301**, pois promove a interpretação de dados e hipóteses, bem como sua validação, por meio de situações-problema, de exemplos e exercícios propostos.

Aplicando conhecimentos

4 Esse exercício trabalha questões sobre satélites de comunicação. Antes da resolução, deixe bem claro que a situação proposta é apenas hipotética. Esse satélite não existe!

a) Não, pois ele não está sempre sobre o mesmo ponto da superfície da Terra; ele se move em sentido oposto ao sentido de rotação da Terra.

b) Igual ao período de rotação da Terra, 24 horas, já que sua órbita é a mesma dos satélites geoestacionários.

c) A cidade de Macapá está sobre a linha do Equador terrestre. Como o Inversat move-se em sentido oposto ao da rotação da Terra, esse observador verá o Inversat passar sobre sua cidade duas vezes no mesmo dia, isto é, a cada 12 horas. Portanto, o astrônomo verá novamente o Inversat às 21 horas desse mesmo dia.

É importante enfatizar a diferença entre período orbital e intervalo de tempo entre observações sucessivas.

5 Todo corpo na superfície terrestre está sujeito à ação da força peso; portanto, $P = m \cdot g_S$. Para um corpo de massa m situado a uma distância R do centro do planeta, cuja massa é M, podemos escrever que a força peso é numericamente igual à força de atração gravitacional; logo:

$$P = F$$

$$m \cdot g_S = G \cdot \frac{m \cdot M}{R^2}$$

$$g_S = G \cdot \frac{M}{R^2}$$

CAPÍTULO 7 Óptica Geométrica

Metas do capítulo

- Apresentar o fenômeno de reflexão da luz.
- Saber em que condições ocorre a propagação retilínea da luz, conhecer as leis da reflexão e de Snell-Descartes e como utilizá-las corretamente.
- Conhecer os processos gráficos e analíticos para a obtenção de imagens em espelhos planos, espelhos esféricos e lentes esféricas.
- Apresentar o fenômeno de refração da luz e os sistemas ópticos em que ocorre, como prismas e lentes.
- Reconhecer e identificar as funções de espelhos côncavos e convexos, para associá-los a aplicações tecnológicas corretamente.
- Analisar as propriedades de espelhos esféricos e lentes, para avaliar a adequação de seu uso em aplicações tecnológicas para a busca por indícios de vida fora da Terra ou evolução do Universo.

Sugestões didáticas e comentários

O texto de abertura do capítulo aborda o uso de tecnologias ópticas, como os telescópios, para a busca por indícios de vida fora da Terra, seja por descoberta de água líquida ou moléculas biológicas importantes. Ao ler a abertura, o estudante é inserido em termos que serão apresentados ao longo deste capítulo.

Iniciamos nosso estudo com a propagação retilínea da luz, seguido de alguns fenômenos que são sua consequência direta: sombras, penumbras, eclipses e a formação de imagens em câmaras escuras. Na subseção Eclipse, revemos a fundamentação de trânsitos planetários na perspectiva da Óptica Geométrica, que basicamente é obscurecimento da luz da estrela em torno da qual transita o exoplaneta. Introduzimos as cores de um corpo, destacando as luzes monocromáticas e policromáticas e a cor por reflexão. É interessante realçar que a cor que um corpo apresenta não é uma característica própria dele, mas depende da luz com que é iluminado. O tópico seguinte é a caracterização de espelhos planos e formação de imagens. Em seguida, abordamos espelhos esféricos e sugerimos uma atividade para analisar os espelhos dos telescópios James Webb e Hubble, apontando aquele mais eficiente na busca por exoplanetas habitáveis. Os fenômenos de refração, reflexão total e dispersão da luz, são discutidos e seus desdobramentos físicos e analíticos são equacionados. As lentes esféricas são abordadas por meio de suas nomenclaturas e definimos lentes delgadas. Consideramos que a formação de imagens, tanto de espelhos esféricos como lentes esféricas, são processos gráficos muito extensos, por isso indicamos sua

MODERNA

apresentação por um exercício proposto e fica a seu critério sua aplicação. Sugerimos que, ao longo do capítulo, procure relacionar o tema da abertura aos conceitos aqui discutidos, mas que também agregue exemplos cotidianos vivenciados pelos estudantes, para que a aprendizagem seja significativa a eles. Pelos conteúdos abordados neste capítulo, sugerimos que seja trabalhado pelo professor com formação em Física.

1. Introdução

Nesta seção, você pode levar os estudantes a relembrar que a luz é uma onda eletromagnética e que, quando atinge nossos olhos, proporciona sensações visuais. Proponha uma discussão com os estudantes sobre os diferentes tipos de radiações eletromagnéticas e o que consideramos luz. Neste estágio, é possível realizar conexões interdisciplinares com as disciplinas de Biologia e Arte, estudando brevemente a anatomia do olho e estilos de artes plásticas de apreciação visual.

É interessante realçar que, para vermos os corpos, eles devem enviar luz para nossos olhos. Por esse motivo, os corpos são classificados como luminosos (fonte de luz primária) ou iluminados (fonte de luz secundária). Como preparação para as próximas seções, é interessante apresentar os conceitos de fontes de luz puntiforme e extensa, citando situações em que as dimensões da fonte podem ou não ser desprezadas.

Para finalizar, pode-se comentar com os estudantes o conceito da reflexão difusa da luz, que será utilizado ao explorar a cor que um corpo apresenta.

2. A propagação retilínea da luz

Ao trabalhar o tema de Óptica Geométrica devemos alertar os estudantes que consideraremos os fótons como partículas com propagação retilínea a partir de suas fontes. O conceito de raio luminoso pode ser discutido sobre dois pontos de vista, em relação a sua concepção ondulatória em que a luz é uma onda eletromagnética e se propaga em todas as direções e na concepção da Óptica Geométrica, que, para obtermos um raio luminoso, precisamos de um anteparo com um pequeno orifício *O*, próximo de uma fonte luminosa.

Depois de mostrar o enunciado deste princípio, você pode comentar a classificação dos meios em transparentes, translúcidos e opacos, sem apresentar definições formais, mas por meio de exemplos. Sombras, penumbras, eclipses e a formação de imagens em câmaras escuras são consequências da propagação retilínea da luz.

Sombra e penumbra

Ao apresentar a formação de sombras e penumbras, é interessante utilizar a imagem no livro do estudante, mas também apontar exemplos do cotidiano dos estudantes, quem sabe até a formação de sombras e penumbras na sala de aula ou na escola. Realize o exercício resolvido com os estudantes para que possam ver uma aplicação do uso da sombra, para aferir alturas de objetos; além de preparar os estudantes para a realização da *Atividade prática*.

De olho na BNCC

- **EM13MAT308**

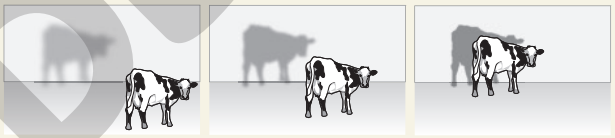
Esta seção possibilita o desenvolvimento da habilidade **EM13MAT308**, da área de Matemática e suas Tecnologias, na medida em que aplica relações métricas para resolver e elaborar problemas que envolvem triângulos, em variados contextos.

Atividade prática

A *Atividade prática* tem por finalidade realçar que a formação de sombras e penumbras é consequência do princípio da propagação retilínea da luz e destacar que a determinação da altura do poste envolve o estudo de semelhanças de triângulos.

Pode-se dividir a turma em pequenos grupos, de três ou quatro estudantes, e efetuar várias medidas da altura do poste, cada uma correspondendo à altura *h* e ao comprimento da sombra *s* de cada componente do grupo. O valor mais provável de *H* é a média aritmética dos valores encontrados nas diversas medidas.

É interessante que você destaque que os raios emitidos pelo Sol que atingem o poste e os estudantes são praticamente paralelos. Isso ocorre porque as dimensões do poste e das pessoas são muito pequenas quando comparadas às dimensões do Sol e da sua distância até a Terra. Pode-se aproveitar a oportunidade para fazer considerações sobre a formação de penumbras, mostrando que, quanto mais próximo um objeto estiver do anteparo, mais nítida é a sombra projetada.


ADILSON SECCO

Cabe lembrar que as medidas de sombra devem ser feitas num intervalo de tempo curto (poucos minutos), pois a inclinação do Sol muda, e com ela alteram-se os comprimentos das sombras. É interessante que os estudantes realizem esta proposta experimental em dois horários distintos: às 10 h e às 16 h, para que possam comparar como a inclinação da luz solar e os comprimentos das sombras se alteram ao longo do dia.

De olho na BNCC

- **EM13CNT301**
- **Competência geral 2**
- **EM13CHS106**

Esta A*tividade prática* possibilita o desenvolvimento da habilidade **EM13CNT301**, pois promove ao estudante construir hipóteses, empregar instrumentos de medição, estimar valores e analisar os dados coletados.

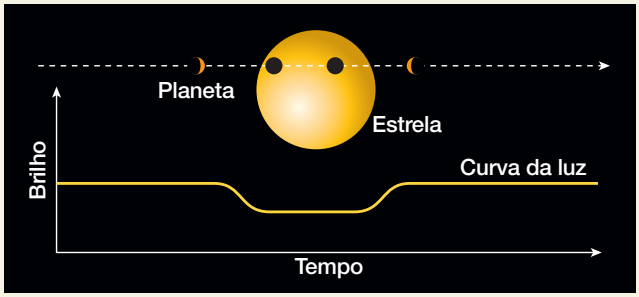
A habilidade **EM13CHS106**, da área de Ciências Humanas e Sociais Aplicadas, também é evidenciada nesta atividade, na medida em que o estudante é incentivado a utilizar diferentes linguagens e gêneros textuais nas práticas escolares, para se comunicar, acessar e difundir informações.

A **competência geral 2** também é evidenciada nesta atividade, na medida em que o estudante deve exercitar a curiosidade intelectual e recorrer à abordagem própria das ciências, para investigar causas, elaborar e testar hipóteses, formular e resolver problemas e criar soluções.

EM PODPRINA

Eclipses

Muito provavelmente os estudantes já viram em algum momento a formação de eclipses parciais e totais. Após apresentar este fenômeno, introduza uma das técnicas de detecção de exoplanetas, o trânsito planetário, que já foi abordada anteriormente. Note que, neste capítulo, vamos estudá-la sob uma perspectiva da óptica geométrica (eclipse) e, no capítulo *Gravitação Universal*, analisamos a detecção desses exoplanetas, por meio do estudo de curvas de luminosidade. Para facilitar a visualização do trânsito planetário, sugerimos que realize um esboço no quadro e/ou mostre a animação deste fenômeno. Sugerimos a animação, disponível em: <https://exoplanets.nasa.gov/alien-worlds/ways-to-find-a-planet/#/2>. (Acesso em: 11 ago. 2020.)



ADILSON SECCO

Ressalte que o que ocorre é um eclipse, com o obscurecimento da luz da estrela. Destaque que essa técnica só é possível por meio do uso de telescópios de fotometria de alta precisão, que estimam o brilho da estrela ao longo do tempo, portanto medindo uma queda no brilho da mesma quando um planeta a cruza, produzindo assim um obscurecimento de parte da estrela (eclipse).

Câmara escura de orifício

É interessante que os estudantes concluam que a imagem é invertida e troca a direita pela esquerda e vice-versa. Você pode destacar que:

- Ao se aumentar o tamanho do orifício, a luminosidade da imagem aumenta, mas sua nitidez diminui.
- A câmara escura de orifício é uma máquina de fotografar rudimentar, comentando a posição em que deveriam estar o filme e a lente objetiva.

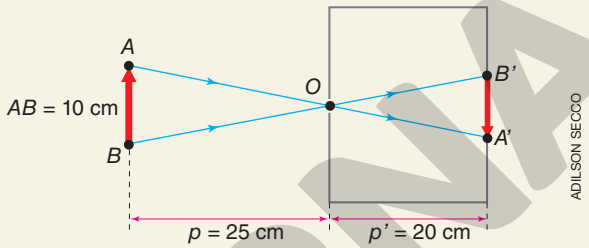
Se desejar, apresente aos estudantes o vídeo *Aprenda a fazer uma câmara escura com o Beakman*, disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=fVi8NhD8BAE>. (Acesso em: 12 ago. 2020.)

Aplicando conhecimentos

Ao resolver a questão 1 desta seção, sugerimos que retome o tema de abertura, apontando que no sistema exoplaneta e estrela, as fontes de luz são secundárias e primárias, respectivamente. Se julgar pertinente retome, muito brevemente, a importância da fonte primária para as possíveis condições de habitabilidade no exoplaneta – como sendo capaz de manter uma interação gravitacional, tal que as distâncias envolvidas entre estrela-exoplaneta permitam condições para a existência de água líquida na superfície. Dessa forma, você promoverá o desenvolvimento das habilidades **EM13CNT202** e **EM13CNT301**.

1 A estrela Sirius produz a luz que emite. É, portanto, fonte de luz primária. Já o planeta Marte e seus satélites, Fobos e Deimos, um palito de fósforo apagado e as páginas de um jornal são fontes de luz secundárias, isto é, não têm luz própria. Elas refletem a luz que recebem de outras fontes.

2 Representamos esquematicamente o objeto, a câmara e a imagem projetada.



ADILSON SECCO

Da semelhança entre os triângulos *ABO* e *A'B'O*, temos:

$$\frac{A'B'}{AB} = \frac{p'}{p} \Rightarrow \frac{A'B'}{10} = \frac{20}{25} \therefore A'B' = 8 \text{ cm}$$

Portanto, a altura da imagem projetada é 8 cm.

3. As cores de um corpo

Você pode iniciar esta seção realçando que a cor que um corpo apresenta não é uma característica própria dele, mas depende da luz com que ele é iluminado. Destaques devem ser dados a duas situações: a cor de um corpo por reflexão e a cor de um corpo por refração. A análise da cor de um corpo, pela luz que ele transmite, permite-nos explicar a razão de o céu ser azul e as colorações em seu poente e na nascente.

A luz policromática e a luz monocromática

É importante destacar que uma fonte de luz monocromática, emite apenas luz de uma cor, enquanto a luz policromática branca é o conjunto de infinitas cores, das quais sete se evidenciam quando se forma o arco-íris: vermelho, alaranjado, amarelo, verde, azul, anil e violeta. Acreditamos ser importante utilizar exemplos para diferenciá-las: para a luz policromática vale citar o Sol e as lâmpadas incandescentes e, no caso de fonte de luz monocromática, lâmpadas de vapor de sódio, utilizadas em iluminação pública, que emitem luz amarela.

Cor de um corpo por reflexão

Neste ponto, destaque que as cores dos corpos dependem da fonte de luz que os ilumina. Você pode adotar exemplos dentro da própria sala de aula, como o quadro-verde (lousa), ao ser iluminado pela luz solar, apresenta-se verde, porque ele reflete difusamente a componente verde da luz e absorve as demais cores da luz solar. Agora se realizarmos um experimento em uma sala vedada e iluminarmos a lousa verde somente com uma lâmpada vermelha, iríamos vê-la preta.

MODERNA

Sugestão de atividade complementar

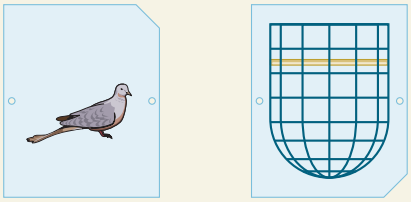
Persistência retiniana

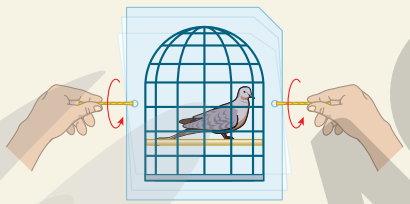
Material necessário:

- um lápis preto;
- um pedaço de cartolina (20 cm × 20 cm);
- um pedaço de papelão reforçado;
- uma tesoura com pontas arredondadas;
- uma régua;
- uma caixa de lápis de cor ou canetas hidrográficas;
- elásticos.

Os estudantes devem recortar um cartão quadrado de papelão de aproximadamente 5 cm de lado, desenhar um pássaro em um dos lados do cartão e, no verso, uma gaiola, conforme a figura a seguir.

Solicite aos estudantes que façam furos nas laterais no cartão, prendam um pedaço de elástico em cada um deles e deem várias voltas no cartão, torcendo os elásticos. Por fim, eles devem soltar o cartão, mantendo os elásticos esticados, de modo que ele gire rapidamente.

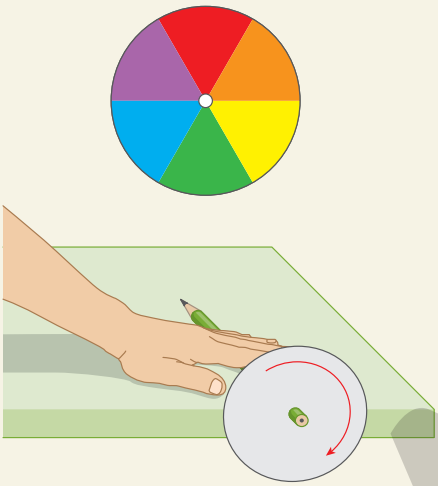




ILUSTRAÇÕES: ADILSON SECCO

Os estudantes provavelmente verão o pássaro dentro da gaiola. Isso ocorre devido à persistência retiniana: ao ver o desenho da gaiola, a imagem do pássaro vista anteriormente ainda persiste na retina. Por isso, temos a impressão de que o pássaro está dentro da gaiola. É graças ao mesmo princípio que, no cinema, temos a sensação de movimento, pois, na verdade, o filme é uma série de fotogramas projetados numa velocidade de 24 quadros por segundo.

Agora, os estudantes devem recortar um disco de cartolina de aproximadamente 5 cm de raio. Solicite a eles que dividam o disco em seis setores iguais e pintem cada setor de uma cor, na seguinte ordem: vermelho, alaranjado, amarelo, verde, azul e violeta. Peça que façam um pequeno furo no centro do disco, passem por ele um lápis, apoiem uma extremidade do lápis próximo à borda de uma mesa, conforme a figura, e girem o disco rapidamente. Será possível observar o disco cinza-claro. Explique tal fato, tendo em vista a persistência retiniana.



Esta *Sugestão de atividade complementar* destina-se a explicar aos estudantes o conceito de persistência retiniana: um estímulo luminoso produz em nossa retina uma determinada sensação visual; quando esse estímulo se encerra, a sensação visual permanece por um pequeno intervalo de tempo, de aproximadamente um décimo de segundo.

Após a realização da experiência do pássaro na gaiola, você poderá comentar que a persistência retiniana é responsável pela sensação de movimento que observamos nos filmes: cada fotograma é projetado na tela durante um pequeno intervalo de tempo (da ordem de 0,04 s, ou seja, em um segundo são projetados 24 fotogramas). Cada foto projetada na tela impressiona nossa retina, sendo logo substituída pela seguinte, ainda que em nosso olho perdure a anterior.

No caso do disco de Newton (segunda parte da experiência), as cores refletidas pelos diversos setores se superpõem em nossa retina, quando o disco está em rotação. Acima de certa frequência de rotação, o disco será visto numa cor cinza-clara. Outra opção de como colocar o disco em rotação, além da apresentada no livro, é girá-lo como um pião, sendo o lápis o eixo de rotação.

Você também pode chamar a atenção dos estudantes para o fato de que o espectro contínuo da luz branca apresenta um número infinito de tonalidades que, superpostas, originam a cor branca. No caso do experimento, dividimos o círculo em somente seis setores; por isso, o disco em rotação não se apresenta branco.

Uma questão que pode ser proposta aos estudantes é que olhem para o disco em rotação e pisquem rapidamente. Nessa situação, as cores dos setores podem ser vistas separadamente.

Aplicando conhecimentos

3 Sob luz solar, o retângulo, o losango, o círculo, a faixa central e o lema apresentam-se nas cores verde, amarela, azul e branca, respectivamente. Ao ser iluminada com luz monocromática azul, a região verde parecerá negra, pois a luz azul será absorvida nessa região. Assim, o retângulo e o lema parecerão negros. O losango amarelo também absorverá a luz azul e nada refletirá, parecendo negro. O círculo central, azul, reflete o azul e, portanto, continuará azul. A faixa branca, que antes refletia todas as cores, agora refletirá apenas o azul e também parecerá azul.

MODERNA

4 Iluminado com luz monocromática vermelha, o papel será visto como vermelho e a palavra FÍSICA também parecerá vermelha. Já as palavras ONDAS e ÓPTICA serão vistas como negras. Logo, será mais difícil ler a palavra FÍSICA.

4. Imagens em um espelho plano

Você pode, de início, enfatizar para os estudantes que todo o estudo da Óptica Geométrica é fundamentado no princípio da propagação retilínea da luz, na lei da reflexão (que descrevemos no livro do estudante como ângulo de reflexão igual ao ângulo de incidência), na lei de Snell-Descartes e em Geometria Plana básica.

Destaque os três elementos básicos: o sistema óptico (espelho plano, espelho esférico, dioptro plano e lente), o ponto objeto e o correspondente ponto imagem. Dioptro plano é o sistema constituído por dois meios homogêneos e transparentes, separados por uma superfície plana. Exemplo: água de um lago e o ar.

No que diz respeito ao espelho plano, é importante destacar que os pontos objeto e imagem são simétricos em relação à superfície do espelho e têm naturezas opostas; isto é, um é real e o outro, virtual. Outro fato que merece destaque é que a imagem de um objeto extenso, formada por um espelho plano, tem as mesmas dimensões do objeto e é direita em relação ao objeto. Entretanto, o espelho plano troca a esquerda pela direita e vice-versa. O último fato caracteriza o que chamamos de *enantiomorfismo*; um exemplo típico é levantar uma das mãos no espelho e observar essa troca.

Sugestão de atividade complementar

Quebrando os padrões de beleza na escola

Espelho, espelho meu, existe alguém mais bonito do que eu? Quantos de nós já ouvimos está frase na infância, em meio a contos e histórias envolvendo a rainha má e a princesa Branca de Neve? O incentivo à busca pela beleza, desde as princesas e príncipes formosos até a filtros de embelezamento de aplicativos em celulares, vem sendo imposto em uma cultura sobre o tipo padrão de beleza. Essas crenças quanto à beleza ideal são desafios aos quais a juventude está exposta, o que têm gerado diversos problemas psicoemocionais nos jovens e a promoção de atitudes racistas e preconceituosas entre jovens e adultos. Neste sentido, sugerimos a atividade a seguir, com o objetivo de promover a unicidade de cada indivíduo e a quebra de padrões de beleza na escola.

1º momento: Olhar-se ao espelho. Improvise uma caixa com espelho. Solicite aos estudantes que, um de cada vez, olhem sua imagem refletida no espelho e escrevam uma frase sobre o que acham de suas características físicas (cabelo, formato do nariz, cor da pele, entre outros).

2º momento: Apresentação de vídeos sobre a temática: "Padrão de beleza, o que a mídia influencia...", disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=clonW7Zc3E4>, acesso em: 26 ago. 2020; "O que você mudaria em seu corpo?", disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=-Zrn78KeqLI>, acesso em: 12 ago. 2020. Você pode incluir ou escolher outros vídeos que julgar pertinentes à sua turma.

Finalize a atividade com uma roda de conversa para discutir as impressões, reflexões e inquietações suscitadas pela prática com o espelho e vídeos. Proponha a elaboração de cartazes com recortes de revistas, jornais e suas próprias fotos, com frases que exaltem a beleza em sua ampla diversidade (por exemplo, a beleza negra, indígena, dos diferentes corpos, entre outros), no intuito de reconstruir a identidade dos estudantes.

De olho na BNCC

- **EM13CNT207**
- **Competência geral 9**

Esta *Sugestão de atividade complementar* possibilita o desenvolvimento da habilidade **EM13CNT207**, pois promove a análise e discussão vinculadas a um desafio em que a juventude é exposta, a fim de desenvolver ações para promover o bem-estar e a saúde mental dos estudantes, quanto à quebra de padrões de beleza e à reconstrução da identidade dos estudantes.

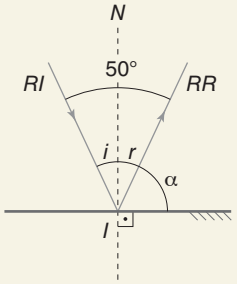
A **competência geral 9** também é evidenciada, na medida em que promove o respeito ao outro e aos direitos humanos, com acolhimento e valorização da diversidade de indivíduos, sem preconceitos de qualquer natureza.

Aplicando conhecimentos

5 O exercício é uma aplicação imediata do que chamamos de segunda lei da reflexão: o ângulo de reflexão r do raio de luz é igual ao ângulo de incidência i. A primeira lei da reflexão estabelece que o raio incidente RI, o raio refletido RR e a reta N, normal à superfície refletora no ponto de incidência I, são coplanares, ou seja, pertencem a um mesmo plano (no caso, o plano do papel ou da tela do monitor).

Então, sendo $i + r = 50°$ e sabendo que $i = r$, temos:

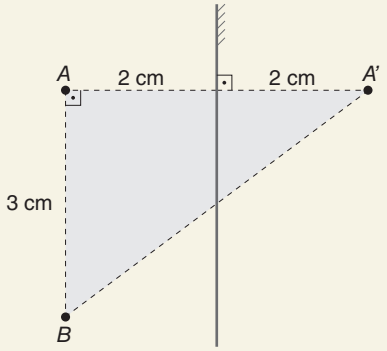
$i + i = 50° \Rightarrow 2 \cdot i = 50° \Rightarrow i = 25°$



Seja α o ângulo que o raio refletido RR forma com a superfície do espelho. Temos:

$r + \alpha = 90° \Rightarrow 25° + \alpha = 90° \Rightarrow \alpha = 65°$

6 Inicialmente, determinamos a imagem (A') do ponto A, lembrando que A e A' são simétricos em relação à superfície do espelho. A figura a seguir mostra a posição do objeto A, de sua imagem A' e do ponto B.



ILUSTRAÇÕES: ADILSON SECCO

MODERNA

Observe que a distância $A'B$ corresponde à hipotenusa do triângulo BAA', retângulo em A, e pode ser calculada pelo teorema de Pitágoras:

$(A'B)^2 = 3^2 + 4^2 = 9 + 16 \Rightarrow$

$\Rightarrow (A'B)^2 = 25 \Rightarrow A'B = \sqrt{25} \therefore A'B = 5$ cm

5. Espelhos esféricos

Nesta seção, definimos os espelhos esféricos (côncavos e convexos) e apresentamos seus principais elementos geométricos, os raios notáveis e a formação de imagens. Se você dispuser de espelhos esféricos, pode ser interessante apresentá-los aos estudantes e fazer alguns experimentos demonstrativos quanto à formação de imagens. Caso não disponha de espelhos esféricos, você pode utilizar uma colher de metal polida ou levar objetos que contenham esses tipos de espelhos.

Note que, com o espelho convexo, você pode mostrar que a imagem é sempre direita e menor que o objeto. Realce que uma das funções desse tipo de espelho é ampliar o campo de visão do observador. Uma possível desvantagem é que com esses espelhos perde-se a noção de distância.

Com o espelho côncavo, para um objeto entre o vértice *V* do espelho e o foco *F*, a imagem é virtual, direita e maior. Nessa configuração, os espelhos côncavos são utilizados como espelhos de aumento. É o caso dos espelhos bucais utilizados pelos dentistas.

É importante apresentar para os estudantes outras aplicações dos espelhos esféricos.

Espelho côncavo: espelhos específicos para maquiagem; espelhos de barbear; refletores de equipamentos de iluminação, como faróis, onde a fonte de luz é colocada no foco *F*; telescópios de reflexão.

Espelho convexo: retrovisores de carros e de motos; espelhos no fundo do ônibus; espelhos de segurança utilizados em lojas, saídas de estacionamentos, entre outros. Essas utilizações decorrem do fato de que o campo visual do espelho convexo é maior do que o do espelho plano, em idênticas condições.

Foco principal de um espelho esférico

Após apresentar os elementos dos espelhos esféricos, mostre a sua disposição em cada um dos espelhos (côncavo e convexo). É importante ressaltar aos estudantes que os três grifos no desenho do espelho indicam sua parte traseira (não refletora).

Perceba que as considerações sobre os espelhos valem para aberturas pequenas, ou seja, aberturas menores que 10°. Logo, o foco principal sempre será um ponto de *imagem real* para espelhos côncavos e *virtual* para espelhos convexos.

Raios notáveis

Apresente os quatro raios notáveis para os espelhos esféricos, para que os estudantes sejam capazes de compreender a propagação dos raios notáveis e estimar a formação de imagens em espelhos côncavos e convexos.

De olho na BNCC

- **EM13CNT202**
- **EM13CNT307**

Esta seção possibilita o desenvolvimento das habilidades: **EM13CNT202**, ao promover a análise das condições favoráveis à busca por vida fora da Terra; e **EM13CNT307**, ao analisar as propriedades geométricas e de composição dos materiais em uma aplicação tecnológica.

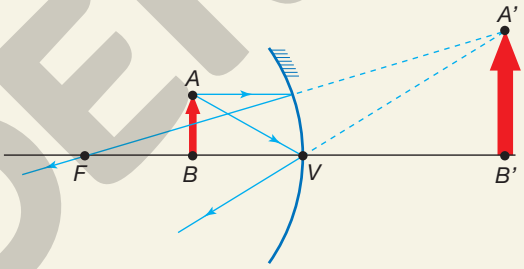
Aplicando conhecimentos

7 Apresentamos dois conceitos primordiais, o foco principal e as regras para raios notáveis de espelhos esféricos; com esses conceitos é possível estimar as formações de imagens de espelhos esféricos. Caso julgue pertinente, realize o exercício junto com os estudantes.

Espelho côncavo

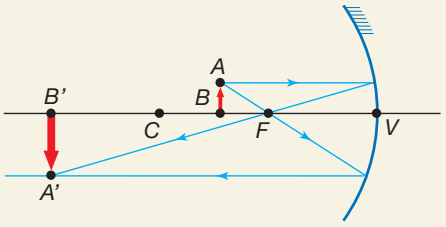
I) objeto entre *F* e *V*;

Nesse caso, a imagem formada é virtual, direita e maior que o objeto.



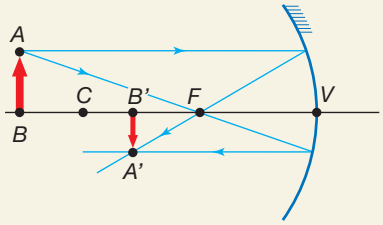
II) objeto entre *C* e *F*;

Nesse caso, a imagem formada é real, invertida e maior que o objeto.



III) objeto antes de *C*

Nesse caso, a imagem formada é real, invertida e menor que o objeto.



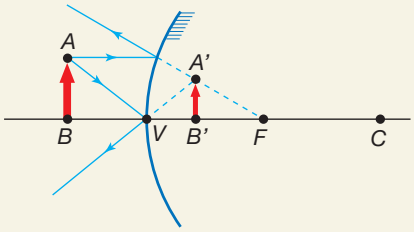
ILUSTRAÇÕES: ADILSON SECCO

Esférico convexo

Em um espelho esférico convexo, qualquer que seja a posição do objeto colocado diante do espelho, a

MODERNA

imagem formada é sempre *virtual, direita e menor do que o objeto*.



ADILSON SECCO

Dialogando com o texto

O espelho primário do telescópio James Webb Space Telescope (JWST) é formado por 18 segmentos hexagonais de metal berílio cobertos por uma fina camada de ouro. Esses elementos são dispostos em um grande hexágono, com o segmento central removido para permitir que a luz proveniente de um espelho secundário incida sobre os instrumentos de detecção.

Note que a estrutura do espelho primário é côncava, o que permite concentrar os raios luminosos da área equivalente à secção reta do espelho, formando uma imagem com mais fótons em um menor intervalo de tempo. Os grandes telescópios de pesquisa em Astrofísica utilizam uma técnica de soma de fótons em seus detectores, com o intuito de reconstruir imagens de brilho pouco intenso (baixa luminosidade aparente), permitindo estudo, por exemplo, de objetos além da nossa galáxia.

Outro fator importante que se pode discutir com os estudantes é que um espelho de berílio possui melhor estabilidade (menores deformações) a temperaturas extremamente baixas, quando comparado a espelhos de outros materiais, como vidro e alumínio. Você pode questionar os estudantes quanto à presença de ouro no espelho. Note que o berílio não reflete muito a luz infravermelha, mas o ouro que é altamente reflexivo. Todas essas discussões sobre geometria e composição do espelho facilitam o desenvolvimento da habilidade **EM13CNT202**.

Mas qual é a vantagem de o espelho ser hexagonal? A previsão é que, em 2021, o telescópio JWST seja lançado pelo foguete Ariane 5. Dadas as limitações dimensionais de um foguete, o telescópio precisou ser projetado para que coubesse em um foguete, o que resultou em uma estrutura hexagonal grande formada por outros elementos hexagonais menores, que é capaz de se dobrar como um origami e se dispor dentro de um foguete. A vantagem em ser hexagonal é permitir uma área de superfície refletora maior do que outros telescópios já enviados ao espaço. Se julgar pertinente, peça aos estudantes que pensem em outras formas geométricas e suas possíveis desvantagens. Por exemplo, no caso circular, há perda de área refletora e, no caso de outras geometrias, há mais custos ou estruturas demasiadamente complexas.

O telescópio JWST apresenta uma sensibilidade no infravermelho que dispõe de uma ampla faixa desse comprimento de onda, que nunca foi acessível a qualquer telescópio espacial ou terrestre. Por ter um intervalo de comprimento de onda e abertura maiores que o telescópio Hubble, oferecerá uma maior sensibilidade e resolução angular fina nesses comprimentos de ondas. Note que diferentes telescópios possuem diferentes alcances em comprimento de onda.

Além disso, o telescópio JWST possui diversos equipamentos e recursos que o ajudarão nas detecções de exoplanetas. Para planetas mais distantes, ao utilizar a técnica de *trânsito planetário*, contará com recursos como NIRCam, NIRSpec e MIRI, que permitirão a detecção fotométrica e espectroscópica dos eclipses, medindo a absorção atmosférica e a emissão térmica de diversos planetas. Além disso, conseguirá buscar por moléculas biologicamente importantes e caracterizar a atmosfera de diversos exoplanetas, podendo quem sabe detectar presença de água líquida em planetas rochosos.

Para obter mais informações sobre os telescópios JWST e Hubble, sugerimos um texto em inglês que faz um comparativo entre os telescópios, disponível em: <https://www.jwst.nasa.gov/content/about/comparisonWebbVsHubble.html>, acesso em: 12 ago. 2020; e um texto sobre os telescópios, em português, disponível em: <http://lilith.fisica.ufmg.br/~dsoares/wst/wst.htm>, acesso em: 12 ago. 2020.

De olho na BNCC

- **EM13CNT202**
- **EM13CNT307**
- **Competência geral 2**

O boxe *Dialogando com o texto* possibilita o desenvolvimento das habilidades: **EM13CNT202**, ao 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; e **EM13CNT307**, ao permitir que os estudantes analisem as propriedades dos materiais para avaliar a adequação de seu uso em diferentes aplicações (industriais, cotidianas, arquitetônicas ou tecnológicas).

A **competência geral 2** também é evidenciada nesta atividade, na medida em que o estudante deve exercitar a curiosidade intelectual e recorrer à abordagem própria das ciências, para investigar causas, elaborar e testar hipóteses, formular e resolver problemas e criar soluções.

6. Refração da luz

O tema refração pode ser introduzido de diversas formas, visto que o fenômeno é facilmente observado experimentalmente. Uma demonstração experimental seguida de uma roda de conversa pode proporcionar um momento de levantamento dos conhecimentos prévios dos estudantes. A sensação de que um bastão dentro de um copo com água parece estar "quebrado" ou de que uma piscina parece mais rasa do que realmente é. Em ambas as situações, devemos questionar os estudantes sobre o papel dos meios utilizados, como o ar e a água, iniciando a discussão sobre índices de refração. Fique à vontade para utilizar vídeos para ajudar a explicar o fenômeno de refração da luz.

Índice de refração absoluto de um meio

O índice de refração absoluto de um meio, para uma dada luz monocromática, é a relação entre o valor da velocidade de

MANUAL DO PROFESSOR

propagação da luz no vácuo (c) e o valor da velocidade de propagação da luz no meio em questão (v). Qualquer meio material no qual a luz se propaga causa uma diminuição na velocidade de propagação da luz que o atravessa. Isso ocorre porque as ondas eletromagnéticas (campos elétrico e magnético oscilantes) que constituem a luz interagem com as cargas elétricas de átomos e moléculas do material, tendo como consequência a redução na velocidade de propagação.

Lei de Snell-Descartes

A igualdade entre os produtos dos senos dos ângulos de incidência e de refração pelos respectivos índices absolutos dos meios é conhecida como lei de Snell-Descartes. Com base nessa lei, conclua que, no meio mais refringente, o raio de luz está mais próximo da normal. A seguir, no caso de uma incidência oblíqua, faça um esquema considerando a luz se propagando do meio mais para o meio menos refringente e, também, do meio menos para o meio mais refringente. Lembre que o sistema constituído por dois meios homogêneos e transparentes, separados por uma superfície plana, constitui um dioptro plano. A resolução de exercícios consolida o conhecimento da lei de Snell-Descartes e apresenta novos sistemas ópticos, como a lâmina de faces paralelas e o prisma óptico. Um exemplo utilizando valores numéricos pode ajudar os estudantes a compreender melhor o fenômeno, em que podemos fornecer uma lista com diferentes meios e seus respectivos índices de refração.

De olho na BNCC

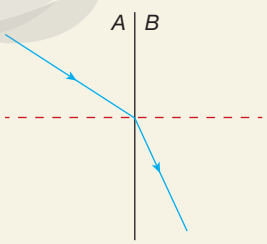
- **EM13CNT301**

Esta seção possibilita o desenvolvimento parcial da habilidade **EM13CNT301**, ao promover a construção de questões e hipóteses, análise de dados e conclusões de um problema, por meio dos exercícios propostos.

Aplicando conhecimentos

8 Alternativa D.

Este exercício deve ser iniciado com a identificação das retas normais ao plano de separação dos meios. Nesse caso, as retas normais possuem direção horizontal, enquanto o plano de interface entre os meios está disposto verticalmente, diferente dos exemplos trabalhados anteriormente. Podemos verificar na figura abaixo que o raio refratado possui um maior distanciamento angular da reta normal, que só pode ocorrer se o índice de refração do meio B for menor do que o do meio A.



ADILSON SECCO

Assim, como A é mais refringente que B, a velocidade de propagação em B é maior do que em A e a razão entre os índices n_a e n_B é maior do que 1, descartando as demais alternativas.

9 Nesta questão, é necessário lembrar que, em um meio material transparente, o índice de refração é sempre maior do que 1, pois $c > v$. O enunciado considera a aproximação do índice de refração do ar para 1,0, visto que a diferença de velocidade da luz no ar e no vácuo é muito pequena. Assim sendo, uma vez que o raio passa por um bloco de vidro e muda sua direção de incidência, precisamos considerar que o índice de refração do vidro é maior do que 1,0 e o raio refratado deve diminuir sua velocidade e se aproximar da reta normal.

Assim, o desvio de 15 graus representa um ângulo de 30 graus em relação à normal, ou seja, os 45 graus de incidência menos 15 graus de desvio. Usando a lei de Snell-Descartes, temos:

$$n_1 \cdot \operatorname{sen} i = n_2 \cdot \operatorname{sen} r$$

$$n_2 = n_1 \cdot \frac{\operatorname{sen} i}{\operatorname{sen} r}$$

$$n_2 = 1{,}0 \cdot \frac{\operatorname{sen} 45°}{\operatorname{sen} 30°} \Rightarrow n_2 = \sqrt{2} \simeq 1{,}41$$

7. Reflexão total

A reflexão total ocorre quando o ângulo de incidência é maior que o ângulo limite (L). É primordial que os estudantes entendam que isso ocorre quando a luz se propaga no sentido de um meio mais refringente para o meio menos refringente. Ao utilizar o termo refringente, explique seu significado ao estudante: um meio mais refringente do que outro significa que ele tem um índice de refração absoluto maior do que o do outro.

Outra maneira de definir refringência é afirmar que um meio é mais refringente que outro quando a luz se propaga por um meio com velocidade menor do que no outro meio. A refringência de um material permite diversas aplicações tecnológicas, como a fibra óptica, utilizada em diversos equipamentos que necessitam de condução de luz ou pulsos de luz. Exemplos de uso de fibras ópticas: nos exames de endoscopia (visualização de parte do trato digestório), nas calibrações (ajustes) de detectores de partículas e nas comunicações a grandes distâncias, em que se utilizam fibras ópticas no lugar dos tradicionais cabos metálicos.

De olho na BNCC

- **EM13CNT301**
- **EM13CNT307**

Esta seção possibilita o desenvolvimento parcial das habilidades: **EM13CNT301**, ao promover a construção de questões e hipóteses, análise de dados e conclusões de um problema, por meio dos exercícios propostos; e **EM13CNT307**, ao permitir que os estudantes analisem e compreendam a propriedade de refringência de um material.

Aplicando conhecimentos

10 a) Para haver reflexão total, a luz deve se propagar no sentido do meio mais refringente para o meio menos refringente, isto é, do meio 2, de índice de refração 2, para o meio 1, de índice de refração $\sqrt{2}$. Além disso, o ângulo de incidência deve ser maior que o ângulo limite.

MODERNA

b) Como vimos, pela lei de Snell-Descartes na situação de reflexão total, o seno do ângulo limite pode ser escrito como:

$$\text{sen } L = \frac{n_{menor}}{n_{maior}} = \frac{\sqrt{2}}{2} \therefore L = 45°$$

11 A questão explora o cálculo do ângulo-limite e as condições em que ocorre a reflexão total da luz.

a) Calculemos, inicialmente, o ângulo-limite para essa situação. Temos:

$$\text{sen } L = \frac{n_{menor}}{n_{maior}} = \frac{\sqrt{3}}{2} \therefore L = 60°$$

A refração ocorre, portanto, para o ângulo de incidência i no intervalo:

$0 \leqslant i \leqslant 60°$

Para ângulos de incidência nesse intervalo, ocorrem refração e reflexão simultaneamente.

b) Ocorre reflexão total quando $i > L$, isto é, para $i > 60°$.

8. Dispersão da luz

A dispersão da luz está associada à decomposição da luz policromática em suas cores componentes, ao se refratarem passando de um meio material para outro meio.

É importante ressaltar aos estudantes que o índice de refração absoluto de um meio depende apenas da frequência da luz que o atravessa. Isso significa que, para determinado meio material, a luz violeta tem o maior índice de refração e a luz vermelha, o menor. As demais cores apresentam índices de refração intermediários, crescendo na seguinte ordem: vermelha, alaranjada, amarela, verde, azul, anil e violeta.

O principal exemplo desse fenômeno é o prisma óptico, pois a luz sofre dois desvios, o que evidencia ainda mais a dispersão. Se julgar pertinente, leve um prisma na sala de aula para explicar a dispersão da luz.

Arco-íris

Os principais fenômenos que a luz solar sofre ao incidir nas gotículas de água existentes na atmosfera, e que formam o arco-íris, são: refração e consequente dispersão da luz, reflexão no interior da gota e novamente refração, voltando para o ar. É interessante levar os estudantes a perceber que:

- a reflexão no interior da gota não é uma reflexão total;
- o arco externo do arco-íris é o vermelho, e o mais interno, o violeta;
- se uma pessoa contempla um arco-íris à sua frente, o Sol encontra-se atrás do observador.

9. Lentes esféricas

Na última seção do capítulo, vamos abordar as lentes esféricas por meio da sua definição, nomenclatura e classificação dos raios luminosos para lentes esféricas.

Definição e nomenclatura de lentes esféricas

Ao apresentar a definição de lente esférica, discuta sobre os seis tipos de lentes e suas nomenclaturas. Ressalte que a depender de sua forma, de seu índice de refração e do meio material em que está imersa, a lente pode ser convergente ou divergente.

Lentes delgadas

O comportamento óptico de uma lente delgada é ilustrada no livro do estudante. Aponte as diferenças ao representar as lentes convergente e divergente no sistema óptico e apresente os elementos: eixo principal (*e*), centro óptico (*O*), focos principais (*F*) e imagem (*F'*), distância focal (*f*) e pontos antiprincipais (*A* e *A'*). Destaque que o foco é de natureza real, para as lentes convergentes, e virtual, para as divergentes. Por fim, apresente os raios notáveis para lentes delgadas, chamando a atenção para o fato de que, nesse caso, ao raio incidente corresponde um raio refratado.

De olho na BNCC

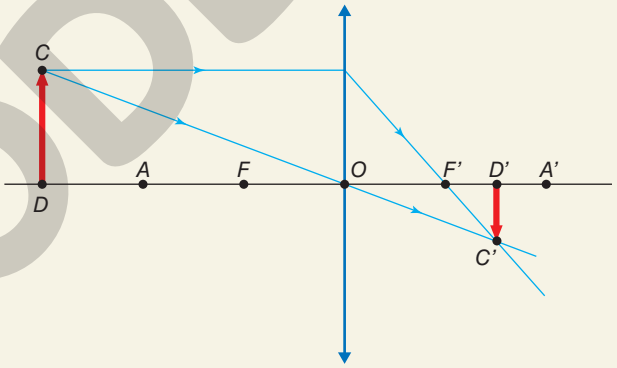
- **EM13CNT301**

Esta seção possibilita o desenvolvimento parcial da habilidade **EM13CNT301**, ao promover a construção de questões e hipóteses, análise de dados e conclusões de um problema, por meio dos exercícios propostos.

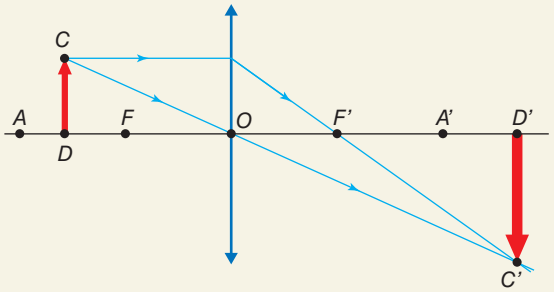
Aplicando conhecimentos

12 Considerando inicialmente a lente convergente, temos as seguintes situações:

I) **Objeto antes de *A*:** Imagem formada é real, invertida e menor do que o objeto, como podemos ver na figura abaixo. Este tipo de imagem se obtém nas máquinas fotográficas.



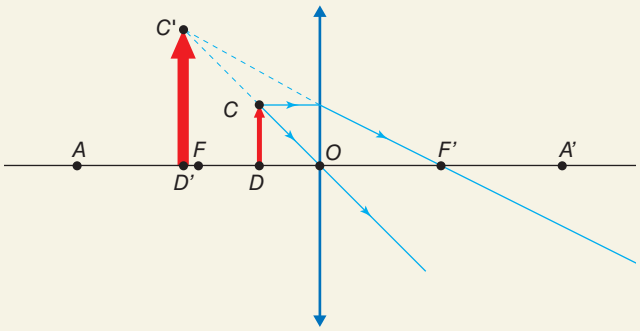
II) **Objeto entre *A* e *F*:** Imagem formada é real, invertida e maior do que o objeto, como podemos ver na figura abaixo. Este tipo de imagem se obtém nos projetores de cinema.



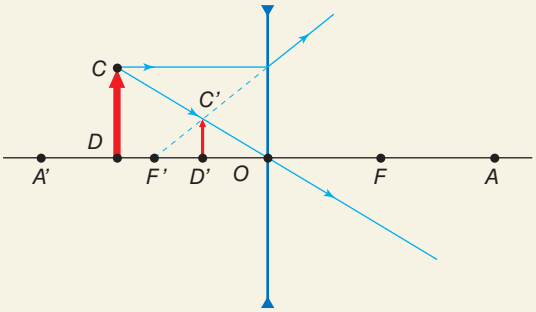
ILUSTRAÇÕES: ADILSON SECCO

III) **Objeto entre *F* e *O*:** Imagem formada é virtual, direita e maior do que o objeto, como podemos ver na figura a seguir. Este tipo de imagem se obtém nas lentes de aumento.

MODERNA



Considerando agora a lente divergente, cuja imagem é sempre virtual, direita e menor do que o objeto, podemos fazer o desenho abaixo.



Fórmulas das lentes e dos espelhos esféricos

Fornecidas a altura e a posição de um objeto em relação a uma lente ou a um espelho esférico, podemos determinar analiticamente a posição e a altura da imagem correspondente. Para isso, utilizamos a equação de Gauss e o conceito de aumento linear transversal. A resolução de alguns exercícios ajuda a elucidar a aplicação dessas equações.

Aplicando conhecimentos

13 A questão envolve a aplicação da equação de Gauss a um espelho esférico côncavo.

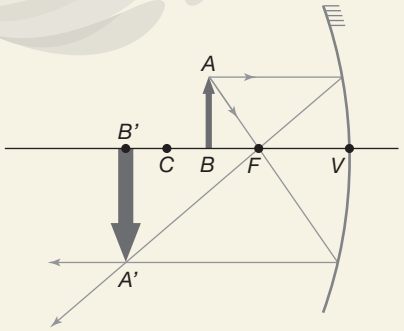
Primeiro caso: imagem real

Sendo o objeto e a imagem reais, temos: $p = 20$ cm e $p' = 60$ cm. A distância focal f é obtida a partir da equação de Gauss:

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{p} + \frac{1}{p'} \Rightarrow \frac{1}{f} = \frac{1}{20} + \frac{1}{60} \therefore f = 15 \text{ cm}$$

O raio de curvatura do espelho é igual ao dobro da distância focal: $R = 2 \cdot f \Rightarrow R = 30$ cm.

Concluímos que o objeto está situado entre o centro de curvatura C e o foco principal F. A imagem se forma antes do centro de curvatura e é invertida e maior que o objeto.



ILUSTRAÇÕES: ADILSON SECCO

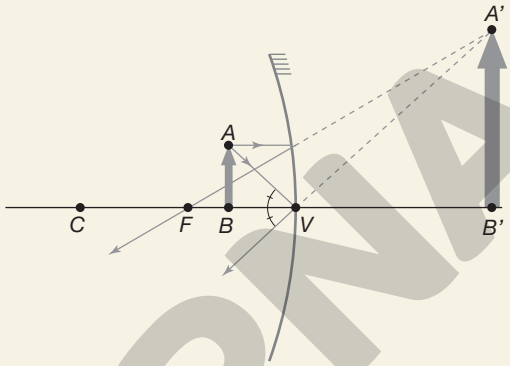
Segundo caso: imagem virtual

Sendo o objeto real e a imagem virtual, temos $p = 20$ cm e $p' = -60$ cm. A distância focal f é obtida com a equação de Gauss:

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{p} + \frac{1}{p'} \Rightarrow \frac{1}{f} = \frac{1}{20} + \frac{1}{-60} \therefore f = 30 \text{ cm}$$

O raio de curvatura do espelho é igual ao dobro da distância focal: $R = 2f = 60$ cm.

Concluímos que o objeto está situado entre o foco principal F e o vértice V do espelho. A imagem se forma "atrás" do espelho e é direita e maior que o objeto.

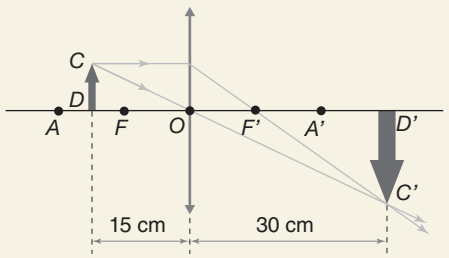


14 **a)** Em uma lente convergente, a imagem é invertida sempre que for real. Logo, para o aumento linear transversal, temos $A = -2$. Como o aumento linear transversal é dado por $A = -\frac{p'}{p}$, temos: $-2 = -\frac{p'}{p} \Rightarrow p' = 2p$.

Da equação de Gauss e usando $p' = 2p$:

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{p} + \frac{1}{p'} \Rightarrow \frac{1}{10} = \frac{1}{p} + \frac{1}{2p} \therefore p = 15 \text{ cm}$$

Assim, $p' = 30$ cm. O objeto e a lente são apresentados no esquema abaixo.



Portanto, a distância entre o objeto e a imagem é a soma de 15 cm e 30 cm, ou seja, 45 cm.

b) Para a lente delgada divergente, a distância não pode ser 45 cm, uma vez que a imagem neste tipo de lente é sempre direita, menor e virtual, e se forma do mesmo lado da lente que o objeto. Considerando os mesmos valores de distância focal e distância do objeto à origem, temos pela equação de Gauss, com $f < 0$, $p > 0$ e $p' < 0$:

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{p} + \frac{1}{p'} \Rightarrow \frac{1}{-10} = \frac{1}{15} + \frac{1}{p'} \Rightarrow$$

$$\therefore p' = -6 \text{ cm}$$

A imagem é virtual (p' é negativo) e se forma a 6 cm da lente e do mesmo lado do objeto. Assim, a distância entre objeto e imagem equivale à diferença entre 15 cm e 6 cm, resultando em 9 cm.

MODERNA

CAPÍTULO 8 Noções de Física quântica e Física nuclear

Metas do capítulo

- Conhecer e reconhecer as condições para que ocorra o efeito fotoelétrico, bem como suas aplicações tecnológicas.
- Compreender o caráter dual da luz e ser capaz de identificar corretamente os comportamentos corpuscular e ondulatório em um fenômeno físico.
- Compreender os fundamentos dos processos de fissão nuclear e fusão nuclear, bem como suas aplicações.
- Compreender as bases da Física quântica e da Física nuclear.
- Compreender que o conhecimento é dinâmico e que, frente a novas constatações, ele deve evoluir e se enquadrar às novas interpretações da natureza, sem mistificações e verificar que o conhecimento é uma construção humana contínua e que cada avanço é alicerçado em conhecimentos anteriores.
- Reconhecer as relações entre a Física das partículas elementares com as teorias de evolução do Universo e o ciclo evolutivo das estrelas.

Sugestões didáticas e comentários

A abertura do capítulo relata uma descoberta que inicialmente foi um grande mistério e até alvo de especulações sobre sinais alienígenas; na verdade eram sinais, nunca antes detectados, emitidos por um objeto cósmico, um PULSAR (uma estrela de nêutrons). Atualmente, sabemos que um dos fatores para a vida fora da Terra é que o exoplaneta deve orbitar uma estrela hospedeira, capaz de ser uma fonte de calor estável, para que proporcione ao planeta condições para a existência de água líquida em sua superfície. Portanto, é importante conhecer os processos termonucleares que permitem que estrelas como o Sol emitam radiação, além de entender a evolução das estrelas que favorecem o surgimento dos elementos químicos leves ou pesados no Universo, que são primordiais para condicionar a vida como a conhecemos.

Nesse sentido, o capítulo aborda conceitos importantes da Física quântica, que são base para compreender a estrutura e a evolução do Universo. As primeiras seções, sob uma perspectiva da Física quântica, tratam do efeito fotoelétrico e do caráter dual da luz e permitem que os estudantes compreendam os conceitos envolvidos que vão dar significado à parte quantitativa e às aplicações tecnológicas desses conceitos. Ao abordar as noções de Física nuclear, trabalhe os processos de fissão e fusão nuclear. Para fundamentar o modelo-padrão das partículas fundamentais, apresente os conceitos de matéria e antimatéria e as quatro interações fundamentais que regem a natureza. Procure dar significado à aprendizagem dos estudantes sobre os conceitos apresentados no capítulo, por meio das atividades e exercícios propostos, apontando aos estudantes a sua importância para que possuam uma compreensão mais ampla da arquitetura do Universo. Pelos conteúdos abordados neste capítulo, sugerimos que seja trabalhado pelo professor com formação em Física.

De olho na BNCC

- **EM13CNT209**
- **EM13MAT301**
- **EM13MAT313**
- **EM13MAT314**

Este capítulo possibilita o desenvolvimento da habilidade **EM13CNT209**, ao analisar a evolução estelar associando-a aos modelos de origem e distribuição dos elementos químicos no Universo.

As habilidades **EM13MAT301**, **EM13MAT313** e **EM13MAT314** da área de Matemática e suas Tecnologias também são evidenciadas neste capítulo, na medida em que apresentam problemas que envolvem equações lineares simultâneas e grandezas determinadas pela razão ou pelo produto de outras e utilizam a notação científica para expressar medidas.

1. O surgimento da Física quântica

Nesta primeira seção, é apresentada um pouco da história da quantização de diversas grandezas físicas, embasando o objeto de estudo da moderna Física quântica, que são os fenômenos ocorridos em escala atômica. É importante salientar que, frente a observações mais completas da natureza, novas teorias acabam surgindo, entretanto sem invalidar as teorias que funcionam bem em outras escalas ou outros propósitos de estudo. Evidenciar o papel dinâmico da ciência é de grande valor, pois mostra que devemos nos adaptar frente a novas evidências que por ventura surjam.

Como primeiro contato com temas de Física moderna, cabe neste ponto uma discussão entre os estudantes para detectar suas concepções prévias sobre o tema, que comumente é apresentado de forma pseudocientífica, esclarecendo o que, de fato, a Física quântica se propõe a estudar: a mecânica em escala atômica e subatômica, que se transforma na mecânica newtoniana em escala macroscópica.

2. Efeito fotoelétrico

O efeito fotoelétrico pode ser introduzido aos estudantes como o principal efeito por trás das tecnologias de sensores de luz, amplamente utilizados em diversos equipamentos de uso doméstico e até no desenvolvimento das ciências de ponta como a Astrofísica, a Astrobiologia, a Física de partículas, a Física dos materiais, dentre outras. A compreensão de como fótons podem produzir fotoelétrons aproxima os estudantes das tecnologias que os cercam. Cabe também salientar que o uso do termo fotoelétron é apenas uma forma de diferenciar os elétrons gerados pelo efeito fotoelétrico dos elétrons livres em um metal ou circuito.

Um ponto que comumente causa confusão nos estudantes reside na diferença entre a intensidade de uma fonte luminosa e a energia da radiação emitida por essa fonte. Aumentar

MODERNA

a intensidade da fonte luminosa, emitindo assim mais fótons com a mesma energia, não é suficiente para desencadear a emissão fotoelétrica. Para que o efeito ocorra, a fonte deve emitir radiação com frequência maior que a frequência de corte do metal. Nesse ponto, deve-se ressaltar que o comportamento ondulatório da luz não explica o fenômeno. É necessária uma mudança de paradigmas para uma correta compreensão do efeito fotoelétrico. Uma breve retomada histórica pode ser útil para mostrar que as características quânticas pouco dependem da subjetividade humana, uma vez que descreve fenômenos em uma escala à qual não temos acesso em nosso mundo macroscópico.

Com a quantização da energia proposta por Max Planck, a energia cinética máxima dos fotoelétrons deve ser entendida como a energia "que sobra" para o elétron, após ter sido extraído do material às expensas de parte da energia do fóton incidente (função trabalho). Como o trabalho é diferente para cada elétron no metal, a função trabalho que se calcula pela equação de Einstein representa o trabalho mínimo e, portanto, a energia cinética máxima dos fotoelétrons.

O exemplo proposto permite uma revisão de conceitos de oscilações e ondas, além de proporcionar um contato com uma nova unidade de energia, o elétron-volt. O exemplo também demonstra que, uma vez dominados os conceitos, as equações e operações matemáticas não são complexas.

De olho na BNCC

- **EM13CNT203**

Esta seção possibilita o desenvolvimento parcial da habilidade **EM13CNT203**, ao possibilitar ao estudante analisar os efeitos fóton (luz), através das transformações e da transferência de energia, decorrentes do efeito fotoelétrico.

Aplicando conhecimentos

1 Alternativa A.

O transformador gera corrente pelo fenômeno de indução eletromagnética e não envolve a emissão nem recepção de fótons em seu funcionamento, diferentemente dos sensores das opções "b" e "c", que funcionam com emissores de fótons ultravioleta e fotorreceptor composto por um fotodiodo. Já a opção "d", com as baterias solares, utiliza os fótons da radiação solar para gerar uma corrente elétrica útil, enquanto os dispositivos de visão noturna da opção "e" funcionam com tubos fotomultiplicadores para a formação de imagens, chamados tubos de intensificação de imagem, ou *image intensifier tubes*.

2 Para resolver este exercício, devemos utilizar a equação que relaciona energia cinética com velocidade:

$$E_C = \frac{1}{2} mv^2$$

Isolando a velocidade da equação acima, temos:

$$v = \sqrt{\frac{2 \cdot E_C}{m}}$$

Portanto, substituindo os valores fornecidos para a massa do elétron e a energia do fotoelétron emitido, sabendo que $1\text{eV} = 1{,}6 \cdot 10^{-19}$ J, temos que a velocidade é de aproximadamente $5{,}3 \cdot 10^5$ m/s.

3 A frequência de corte acontece para o valor na equação de Einstein no qual a energia cinética máxima é nula, como pode ser visto no gráfico da figura 3. Dessa forma, temos que a energia de corte é igual à função trabalho:

$$h \cdot f = W$$

Isolando a frequência e substituindo os valores, temos:

$$f_0 = \frac{W}{h} = \frac{2{,}28\ \text{eV}}{4 \cdot 10^{-15}\ \text{eV} \cdot \text{s}} \Rightarrow f_0 = 5{,}7 \cdot 10^{14}\ \text{Hz}$$

Leitura adicional

O que (não) é quântica!

Disponível em: <http://proec.ufabc.edu.br/gec/voce-disse-ciencia/o-que-nao-e-quantica/>. (Acesso em: 10 ago. 2020.)

O artigo publicado no *Guia dos entusiastas da ciência* aponta o uso inapropriado do termo "quântica" e enfatiza seu real significado com cunho científico. Além disso, aborda historicamente como surgiu o uso errôneo, discriminatório e por vezes até criminoso do termo quântico a produtos, terapias, entre outros.

3. Dualidade onda-partícula

Trabalhar o tema da dualidade onda-partícula evidencia o aspecto totalmente não senso comum da mecânica quântica. Em nosso universo de acesso imediato, macroscópico, na ausência de quaisquer sensores externos ao corpo humano, a natureza se apresenta de forma não dual. Entretanto, a natureza das interações macroscópicas é muito distinta das interações em escala atômica, nos levando a interpretações incompletas caso utilizemos nossa intuição e experiência macroscópica na análise.

A compreensão da dualidade onda-partícula não é simples nem foi confortável de aceitar no momento histórico no qual ela emergiu das observações, experimentos e desenvolvimentos teóricos. Utilizar o método científico foi crucial para uma melhor compreensão dos fenômenos quânticos, com comprovação experimental e embasamento teórico. Dessa forma, podem-se utilizar o estranhamento e conflitos idiossincráticos dos estudantes pelo tema para motivá-los ao estudo da Física quântica. Nesse momento, cabe utilizar recursos didáticos como simuladores e vídeos, permitindo certa "visualização" do mundo em escala atômica. Há um vídeo interessante que mostra a dualidade onda-partícula no experimento de dupla fenda para elétrons, disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=UtPf0XYQzfI> (acesso em: 13 ago. 2020).

Usando a relação que determina o comprimento de onda de De Broglie para partículas de matéria, é possível mostrar que os efeitos quânticos dependem das escalas envolvidas, sendo não observáveis em escala macroscópica que, neste caso, se reduzem às interpretações e às teorias da mecânica clássica newtoniana.

O exemplo do final da seção demonstra que, para um objeto macroscópico, o comprimento de onda associado a

EDIÇÃO MODERNA

ele é muito pequeno e indetectável experimentalmente. No exemplo, o comprimento de onda associado a uma pessoa é tão pequeno que seu valor é impossível de medir com os instrumentos de medição comuns, tornando então não observáveis as características ondulatórias de uma pessoa.

De olho na BNCC

- **EM13CNT203**

Esta seção possibilita o desenvolvimento parcial da habilidade **EM13CNT203**, ao possibilitar ao estudante analisar a natureza através dos ciclos da matéria e transformações e transferência de energia, decorrentes do caráter dual da luz.

Aplicando conhecimentos

4 A ideia expressa nessa frase é incorreta. Os comportamentos ondulatório e corpuscular da matéria não são contraditórios entre si nem se excluem mutuamente; na verdade, esses comportamentos se complementam. Embora apenas um deles ocorra em cada situação analisada, ambos são necessários para explicar os fenômenos naturais.

5 a) No exercício, devem-se considerar partículas não relativísticas, com velocidades muito menores do que a velocidade da luz, pois, nos limites relativísticos, as equações diferem muito das clássicas. Assim, considerando a forma clássica de energia cinética, temos que:

$$E_C = \frac{1}{2} m \cdot v^2$$

Isolando a velocidade da expressão acima, temos:

$$v = \sqrt{\frac{2 \cdot E_C}{m}}$$

Portanto, podemos reescrever a igualdade de De Broglie como:

$$\lambda = \frac{h}{m \cdot v} = \frac{h}{m \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot E_C}{m}}} = \frac{h}{\sqrt{2 \cdot m \cdot E_C}}$$

b) Se considerarmos que a energia cinética aumenta por um fator 4, na equação final do item a vemos que o comprimento de onda cai para a metade; portanto, aumentar a energia cinética do corpo evidencia o caráter de partícula e diminui os efeitos ondulatórios.

4. Noções de Física nuclear

Esta seção contém informações históricas do desenvolvimento da Física nuclear, apresenta as emissões alfa, beta e gama e mostra como identificar um núcleo atômico por seu número de prótons e número de núcleons. É interessante ressaltar que, na Física nuclear, as partículas são identificadas por suas trajetórias em campos eletromagnéticos que diferem umas das outras por suas massas e cargas elétricas.

Como ponto de curiosidade, podemos incluir o Brasil no cenário atual da Física nuclear, com a participação ativa de pesquisadores no LHC e outros experimentos com aceleradores. Pode-se discutir também o recente acelerador brasileiro Sirius, ainda em fase de construção e localizado em Campinas, cujo objetivo é realizar estudos de Física Nuclear em conjunto com estudos de novos materiais, biomedicina, fármacos, entre outros. Para mais informações sobre o acelerador Sirius, acesse o *site* <https://www.lnls.cnpem.br/sirius/> (acesso em: 10 ago. 2020). Ainda contextualizando o Brasil no cenário da Física Nuclear, é válida a apresentação do físico César Lattes, o brasileiro mais próximo de ganhar um prêmio Nobel. Existe uma extensa base de artigos e matérias de jornal sobre César Lattes e sua história exemplifica como eram realizadas as pesquisas em Física nuclear antes da era dos grandes aceleradores. Recomendamos a leitura e o compartilhamento com os estudantes da matéria de jornal disponível em: <https://www1.folha.uol.com.br/ilustrissima/2017/06/1895455-quando-um-cientista-brasileiro-era-estrela-midiatica-e-concorreu-ao-nobel.shtml>. (Acesso em: 4 set. 2020.)

5. Fissão e fusão nuclear

Antes de iniciar esta seção, pode-se realizar uma discussão retomando o tema de abertura, sobre as condições necessárias para a existência de vida em um planeta. Quando a discussão se encaminhar para a distância correta do planeta à estrela, de forma a receber a quantidade suficiente de energia solar para a presença de água em estado líquido, podemos questionar os estudantes sobre como a energia das estrelas é produzida.

Após introduzir os temas de fissão e fusão, pode-se trabalhar com a equação de equivalência massa-energia, talvez a mais famosa da Física. Caso surja interesse por parte dos estudantes, pode ser realizada uma roda de conversa sobre o alto poder de destruição de uma bomba de fissão nuclear e como tal liberação energética está relacionada com a equação de conversão massa-energia. Se julgar pertinente, realize uma atividade interdisciplinar com os professores de História e Filosofia, para abordar os impactos sociais e políticos das guerras nucleares.

O exemplo apresentado ao final da seção demonstra muito bem que uma pequena diferença de massa em um processo de fusão é responsável pela grande quantidade de energia obtida. O mesmo exemplo pode ser modificado considerando um processo de fissão nuclear, calculando a diferença de massas dos átomos apresentados na figura 7.

De olho na BNCC

- **EM13CNT202**
- **EM13CNT203**
- **EM13CNT209**

Esta seção possibilita o desenvolvimento parcial das habilidades: **EM13CNT202**, ao permitir que o estudante analise os fatores e as condições favoráveis à manifestação da vida; **EM13CNT203**, ao permitir prever os efeitos da intervenção nos seres vivos, corpo humano e ecossistemas, quanto o teor destrutivo de uma transformação energética de uma bomba nuclear; e **EM13CNT209**, ao promover a compreensão do ciclo de evolução estelar.

MODERNA

6. Matéria e antimatéria

Ao trabalhar o tema de matéria e antimatéria, você pode iniciar uma breve apresentação sobre o modelo-padrão das partículas elementares, de forma a evidenciar que a existência de antipartículas é, em parte, justificada por uma simetria na distribuição dos *quarks* (partículas elementares que formam os núcleons e os mésons) e dos léptons (elétron, pósitron, múon etc.). Tal simetria levou Wolfgang Pauli a propor a existência dos neutrinos para preservar a lei de conservação da quantidade de movimento em uma reação de decaimento β, partículas estas que foram descobertas experimentalmente em 1955. Uma boa referência de divulgação científica pode ser conferida em: <https://www.sprace.org.br/AventuraDasParticulas/> (acesso em: 4 set. 2020), embasando uma possível conversa sobre antipartículas e antimatéria.

O exemplo apresentado relaciona os conceitos de conservação da quantidade de movimento, juntamente com a equação de equivalência matéria-energia. Deve-se atentar para o uso das unidades no S.I., para então considerar a conversão de energia para elétrons-volt.

Aplicando conhecimentos

6 **a)** O número atômico Z é o número de prótons do núcleo; portanto:

$Z = P$

b) O número de massa A é a soma do número de prótons (P) com o número de nêutrons (N) do núcleo; portanto: $A = P + N \Rightarrow N = A - P$

7 A reação dada no enunciado do exercício é:

${}^{11}_{5}B + {}^{1}_{1}p \rightarrow {}^{8}_{4}Be + {}^{a}_{b}X$ em que a é o número de massa e b é o número atômico do elemento X.

a) Para a conservação do número de massa, devemos ter: $11 + 1 = 8 + a \Rightarrow a = 4$

Pela conservação do número atômico, devemos ter: $5 + 1 = 4 + b \Rightarrow b = 2$

b) Portanto, X representa o núcleo do elemento hélio (${}^{4}_{2}He$), que é chamado de partícula α.

8 A reação que precisamos considerar agora é:

$${}^{198}_{79}Au \rightarrow {}^{X}_{Y}W + {}^{0}_{-1}\beta^{2} + {}^{0}_{0}\upsilon$$

Na qual X é o número de massa ou de núcleons e Y é o número atômico do elemento W.

a) Por conservação dos números atômicos e de massa, temos inicialmente para o número de massa X:

$$198 = X + 0 + 0 \Rightarrow X = 198$$

Para o número atômico Y, temos:

$$79 = Y - 1 + 0 \Rightarrow Y = 80$$

b) Consultando a tabela periódica, o elemento de número atômico 80 é um isótopo estável do mercúrio, com número de massa 198, 118 nêutrons e representado por $\left({}^{198}_{80}Hg\right)$.

9 Neste exercício, é revisitado o exemplo da seção 6, porém, apresentando a energia de repouso do elétron diretamente em elétrons-volt, o que evita o cálculo dessa energia pela relação de equivalência massa-energia.

a) O par de fótons é gerado de forma a conservar quantidade de movimento dos pares de partículas antes e após a aniquilação. Portanto, os fótons são emitidos em uma mesma direção, mas em sentidos opostos, cada um com energia equivalente à metade da energia de repouso total do par elétron-pósitron.

b) Pela equação de Planck para os fótons, temos que:

$$E = h \cdot f$$

Portanto, a frequência dos fótons resulta diretamente da equação anterior, uma vez que a energia e a constante de Planck são conhecidos, temos:

$$f = \frac{E}{h} \Rightarrow f = \frac{0{,}5 \cdot 10^{6}\ \text{eV}}{4 \cdot 10^{-15}\ \text{eV} \cdot \text{s}} \Rightarrow f = 1{,}25 \cdot 10^{20}\ \text{Hz},$$

correspondendo à faixa dos raios gama no espectro eletromagnético.

7. Forças fundamentais da natureza

O estudo das interações fundamentais pode ocorrer com a retomada dos conceitos básicos das forças gravitacionais e eletromagnéticas. Uma abordagem cosmológica também é interessante, localizando em escala de energia quando cada uma das interações passou a agir isoladamente, de forma desacoplada, uma vez que, instantes após o *big bang*, o modelo propõe que as interações estivessem unificadas.

Ao falar da interação gravitacional, que possui a menor intensidade relativa, cabe destacar que ela é a interação dominante em grandes escalas, originando, em todas as regiões no universo, agrupamentos de matéria, permitindo a formação de estrelas e desencadeando o processo de fusão nuclear nos núcleos estelares. Uma breve discussão sobre buracos negros também é interessante, visto que é um objeto astrofísico regido principalmente pela interação gravitacional.

A interação eletromagnética talvez seja a interação mais familiar aos estudantes, visto que seus efeitos são mais facilmente observados em escala macroscópica, como os campos eletromagnéticos encontrados em diversos dispositivos eletrodomésticos. Uma discussão interessante a se fazer ao falar dessa interação é que a matéria é formada essencialmente por espaços vazios, estando os elétrons na eletrosfera cujas dimensões são muitíssimo maiores do que as nucleares. O que impede um objeto sólido de atravessar outro sólido é, basicamente, a interação eletromagnética de átomos e moléculas.

Por serem interações pouco intuitivas aos estudantes, as interações nucleares fraca e forte podem ser contextualizadas com os fenômenos de fusão, fissão e decaimentos radioativos, estudados neste capítulo. É importante apresentar aos estudantes as características individuais de cada interação, evidenciando que os fenômenos físicos são regidos pelo conjunto de interações e que, a depender do caso, uma interação predomina em relação às demais.

MODELO

De olho na BNCC

- **EM13CNT203**

Esta seção possibilita o desenvolvimento parcial da habilidade **EM13CNT203**, por ser uma seção que busca introduzir e avaliar os diferentes impactos causados nos ciclos de matéria, ao estudar as interações fundamentais da natureza e suas relações em escalas micro ou macroscópicas.

Atividade em grupo

Esta Atividade em grupo tem como principal objetivo demonstrar que as forças já estudadas podem ser categorizadas em uma das quatro interações fundamentais ou em um conjunto delas.

É interessante incentivar que os estudantes busquem os domínios de ação de cada uma das interações e entender que, dependendo do fenômeno estudado, algumas das interações fundamentais se sobressaem em relação a outras.

Caso perceba interesse por parte dos estudantes, uma indicação de pesquisa sobre a teoria de unificação das forças é viável, uma vez que todos os fenômenos físicos devem ter se originado em algum momento após o *big bang*, com a evolução do Universo. Deve-se tomar o cuidado de verificar e indicar fontes confiáveis de pesquisa de forma a evitar o surgimento de temas pseudocientíficos, comumente associados à Física moderna e à Cosmologia.

De olho na BNCC

- **EM13LGG301**
- **Competência geral 2**

A *Atividade em grupo* possibilita o desenvolvimento da habilidade **EM13LGG301**, da área de Linguagens e suas Tecnologias, na medida em que incentiva o estudante a participar de processos de produção individual e colaborativa em diferentes linguagens.

A **competência geral 2** também é evidenciada nesta atividade, ao levar o estudante a argumentar sobre as forças da natureza para 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.

CAPÍTULO 9 A formação de novas espécies e dos grandes grupos de seres vivos

Metas do capítulo

- Conceituar anagênese e cladogênese.
- Conhecer e explicar um conceito amplamente aceito de espécie biológica: um grupo de organismos reprodutivamente isolado de outros.
- Explicar, em linhas gerais, o processo de formação de novas espécies e compreender a importância do isolamento reprodutivo no processo de especiação.
- Estar informado sobre o conceito de tempo geológico e suas divisões – éons, eras, períodos, épocas e idades.
- Estar informado sobre a sucessão evolutiva que teria ocorrido na formação dos principais grupos de animais tetrápodes: anfíbios, répteis, aves e mamíferos.

Sugestões didáticas e comentários

A **abertura do capítulo** tem como objetivo chamar a atenção dos estudantes para a importância da Ciência em áreas como a evolução das espécies. Procure enfatizar que o conhecimento científico agrega continuamente conhecimentos gerados por novas descobertas, os quais podem tanto corroborar hipóteses e modelos então vigentes como levar a ajustamentos, compatíveis com os novos conhecimentos. Desse modo os estudantes podem discutir os limites explicativos das ciências, conforme preconizado na habilidade **EM13CNT205**.

Discuta que a ciência não se opõe a crenças religiosas simplesmente porque se ocupa apenas de fenômenos naturais e não se pauta por dogmas. Pelos conteúdos abordados neste capítulo, sugerimos que ele seja trabalhado pelo professor com formação em Biologia.

1. O processo evolutivo e a diversificação da vida

Este item trata do processo de modificação evolutiva em uma espécie – a anagênese – e do surgimento de novas espécies por divisão de uma espécie ancestral – a cladogênese. As relações evolutivas entre as espécies são representadas por meio das árvores filogenéticas e cladogramas. Acredita-se que a forma mais comum de especiação ocorra por cladogênese. Nesse modelo, a partir de uma espécie ancestral formam-se duas populações geograficamente isoladas. O isolamento geográfico possibilita que se estabeleça o isolamento reprodutivo, que se manifesta em diversos níveis.

Discuta com os estudantes a classificação cladística, segundo a qual a cladogênese é o processo básico de formação de novas espécies, as quais devem sempre ser classificadas por apresentar parentesco em comum no passado. A cladística tenta se utilizar de descobertas fósseis e de características presentes nas espécies atuais para propor hipóteses de parentesco evolutivo, representadas por meio de cladogramas.

De olho na BNCC

- **EM13CNT201**
- **EM13CNT208**
- **EM13CNT205**

Este item possibilita o desenvolvimento das seguintes habilidades: **EM13CNT201,** ao abordar a formação de novas espécies de acordo com a moderna teoria evolucionista; **EM13CNT205** ao interpretar o fenômeno natural da especiação e dos diferentes tipos de isolamento reprodutivo, que remetem à nossa própria ancestralidade; e **EM13CNT208**, ao estudar como podem ter surgido os diferentes grupos e espécies de seres vivos.

2. A origem dos grandes grupos de seres vivos

Neste item são apresentadas as divisões do tempo geológico. É importante chamar a atenção dos estudantes para essa escala de tempo, quando se fala da formação de uma nova espécie ou de um grupo de seres vivos.

Aplicando conhecimentos

1 Alternativa D. Aproveite a oportunidade para revisar os diferentes tipos de isolamento reprodutivo.

2 Alternativa C. No início da Era Paleozoica, no período Cambriano, ocorreu a chamada "explosão cambriana", marcada pelo surgimento de muitas formas de vida. Aproveite a oportunidade para relembrar com os estudantes quais eventos marcaram as eras descritas nas demais alternativas: Pré-cambriano: surgimento das primeiras formas de vida; Era Mesozoica: surgimento dos dinossauros, das aves e dos mamíferos e extinção dos dinossauros; Era Cenozoica: domínio dos grandes mamíferos terrestres e surgimento dos primeiros hominídeos e seres humanos.

3 Alternativa D. Relembre aos estudantes que a Terra se formou há cerca de 4,5 bilhões de anos; a vida, porém, teria surgido cerca de um bilhão de anos depois, quando o planeta passou a apresentar características propícias à existência de vida.

Atividade em grupo

Nesta atividade sugere-se que os estudantes organizem diferentes dados do tempo geológico em uma tabela, de modo a complementar a Tabela 1 apresentada na página 112 do Livro do Estudante. Embora não haja qualquer necessidade de memorizar os dados, a organização da tabela hierarquiza os intervalos de tempo geológico e ajuda os estudantes a dimensionar a escala de grandezas do tempo. Ajude-os a elaborar tabelas de fácil entendimento e consulta. Essa atividade possibilita desenvolver a habilidade **EM13CNT302**, ao requerer que os estudantes manipulem dados e elaborem tabelas que facilitem sua apresentação para o público. Favorece também o trabalho com a habilidade de Ciências Humanas e Sociais Aplicadas **EM13CHS106** e a **competência geral 5**, que versam sobre a utilização das tecnologias digitais para comunicação de informações.

Dialogando com o texto

Nesta atividade a proposta é que os estudantes pesquisem explicações científicas para o desaparecimento dos dinossauros. Oriente-os a buscar informações em livros científicos, enciclopédias e *sites* confiáveis, como revistas científicas e *sites* de universidades.

Em suas pesquisas, os estudantes provavelmente encontrarão dados referentes à extinção em massa ocorrida há 66 milhões de anos, entre os períodos Cretáceo (K) e Paleógeno (Pg), provocada pela suposta queda de um asteroide de cerca de 10 km de diâmetro na província de Yucatã, no México. A descoberta da cratera de Chicxalub e a presença de quantidades relativamente grandes de irídio nessa cratera reforçam a teoria do asteroide, uma vez que o irídio é um metal raro em nosso planeta, porém já detectado em diversos corpos celestes.

A atividade possibilita desenvolver a **competência geral 4** por requerer a construção de um texto (sobre a extinção dos dinossauros), o que permite usar diferentes linguagens para partilhar informações e ideias. Favorece também a habilidade da área de Ciências Humanas e Sociais Aplicadas **EM13CHS106**, ao utilizar linguagem gráfica para difundir informações.

Sugestão de atividade

A reconstituição de cenários do passado tem sido amplamente explorada no cinema, na TV e em diversos meios de comunicação. Entre os muitos exemplos está a série de filmes sobre dinossauros, iniciada em 1993 com o filme *Jurassic Park* (direção: Steven Spielberg). O filme menciona a clonagem molecular, técnica que teria sido utilizada para criar os dinossauros. No filme o DNA fóssil de diferentes espécies de dinossauro foi clonado e inserido em ovos de aves atuais. Embora o argumento seja engenhoso, esse tipo de clonagem não é factível de acordo com os conhecimentos científicos atuais. Se houver oportunidade, peça aos estudantes para assistir ao filme, ou tente exibi-lo na escola, solicitando aos estudantes que reflitam criticamente sobre os argumentos científicos mostrados ou comentados nele. Solicite a estudantes voluntários que redijam uma resenha crítica do filme, como as que são publicadas em *sites* de notícias e entretenimento. Se possível, reserve um tempo da aula para a leitura e a discussão dos textos.

A reportagem disponível no *site* a seguir pode servir de base para a pesquisa:

O que é científico – e o que é invenção – em 'Jurassic Park'. Mary Halton, BBC Brasil. Disponível em: <https://www.bbc.com/portuguese/curiosidades-44375156>. Acesso em: 2 jul. 2020.

A atividade possibilita desenvolver a habilidade **EM13CNT201**, por requerer que os estudantes analisem criticamente os aspectos científicos retratados no filme e os discutam com base nos conhecimentos construídos historicamente, possibilitando um posicionamento crítico embasado em conhecimentos científicos.

De olho na BNCC

- **EM13CNT201**
- **EM13CNT205**
- **EM13CNT208**
- **EM13CNT302**
- **Competência geral 1**
- **Competência geral 4**

Este item possibilita o desenvolvimento das seguintes habilidades: **EM13CNT201**, ao estudar como os diferentes grupos de seres vivos surgiram na Terra, de acordo com a moderna teoria evolucionista; **EM13CNT205**, ao estudar a formação de novas espécies ao longo da história evolutiva, reconhecendo os limites explicativos das ciências; **EM13CNT208**, ao abordar como podem ter surgido diferentes grupos e espécies de seres vivos, inclusive nossa própria ancestralidade; e **EM13CNT302**, que pode ser explorada na *Atividade em grupo*, ao requerer que os estudantes manipulem dados e elaborem tabelas, nas quais as informações pesquisadas são organizadas de modo a facilitar o entendimento dos leitores, como é feito em materiais de divulgação científica.

O item também permite trabalhar a **competência geral 1**, ao utilizar diversos conhecimentos adquiridos sobre o mundo físico para explicar a história dos seres vivos no planeta; e a **competência geral 4**, na atividade *Dialogando com o texto*, ao sugerir a elaboração de um texto crítico em estilo jornalístico sobre a extinção dos dinossauros, o que permite utilizar diferentes formas de linguagem para partilhar informações e ideias.

EM IMPRESSÃO

CAPÍTULO 10 A evolução humana

Metas do capítulo

- Conhecer as principais evidências – fósseis, semelhanças anatômicas e semelhanças genéticas – que relacionam evolutivamente a espécie humana à sua ancestralidade primata.
- Conhecer a classificação da espécie humana entre os primatas: ordem Primates; família Hominidae; gênero *Homo*.
- Caracterizar e explicar os principais estágios pelos quais teria passado a linhagem humana: estágio pré-humano adaptado à vida arborícola; estágio de adaptação à savana arbórea (australopitecos); estágio adaptado à savana arbustiva (gênero *Homo*); emergência da espécie humana moderna (*Homo sapiens sapiens*).
- Estar informado sobre a relação intrínseca entre a evolução biológica da espécie humana e seu desenvolvimento cultural.

Sugestões didáticas e comentários

Pelos conteúdos abordados neste capítulo, sugerimos que seja trabalhado pelo professor com formação em Biologia. Em sua abertura o capítulo apresenta a famosa fraude arqueológica do homem de Piltdown, um suposto crânio de hominídeo encontrado na região de Piltdown, em Sussex, na Grã-Bretanha, e que seria o elo perdido entre os grandes macacos e a espécie humana. O crânio era, na verdade, uma montagem de parte de um crânio humano recente com uma mandíbula adaptada de orangotango, devidamente tratadas para aparentarem ser antigos; a fraude só foi descoberta 40 anos depois de apresentada. O assunto fornece a oportunidade de refletir sobre a desonestidade, nesse caso, científica, e ressaltar o valor dos preceitos científicos de mudar ao reconhecer o erro, face à evidência de fatos e fenômenos e sua interpretação lógica.

Avalie conhecimentos prévios dos estudantes sobre evolução humana por meio de um debate em classe sobre a origem do ser humano e sua suposta relação de parentesco evolutivo com os grandes macacos. É importante que o professor conduza a discussão de modo a concluir que nossa espécie não evoluiu de macacos atuais, como gorilas e chimpanzés, e sim de um ancestral comum entre a espécie humana e esses macacos antropoides. O capítulo retoma a teoria evolucionista moderna, aplicando-a ao surgimento da espécie humana e sua relação evolutiva com os outros primatas.

A análise e a comparação, ao longo do capítulo, de teorias evolucionistas propostas em diferentes épocas colaboram para o desenvolvimento da habilidade **EM13CNT201**. Além disso, o conteúdo do capítulo permite mostrar a interpretação de evidências sobre a evolução da espécie humana, identificando também os limites explicativos da Ciência, o que permite abordar a habilidade **EM13CNT205**. A elaboração de questões e de hipóteses a respeito da evolução humana abordadas no capítulo propicia também o desenvolvimento da habilidade **EM13CNT301**. A abordagem histórica das descobertas fósseis na linhagem humana possibilita aos estudantes reconhecer a contribuição de cada nova descoberta, o que colabora para a valorização dos conhecimentos historicamente construídos sobre o mundo, desenvolvendo a **competência geral 1**.

De olho na BNCC

- **EM13CNT201**
- **EM13CNT205**
- **EM13CNT301**
- **Competência geral 1**

Este capítulo possibilita o desenvolvimento das seguintes habilidades: **EM13CNT201**, na medida em que os estudantes são estimulados a comparar teorias e hipóteses propostas em diferentes épocas e culturas sobre o surgimento do ser humano moderno com teorias científicas aceitas atualmente; **EM13CNT205**, ao mostrar que a interpretação de evidências fósseis permite realizar várias inferências, reconhecendo seus limites explicativos; e a **EM13CNT301**, na medida em que os estudantes são estimulados a conhecer como a teoria evolucionista moderna explica o aparecimento da espécie humana. O capítulo é ainda uma oportunidade para trabalhar a **competência geral 1**, na medida em que os estudantes são estimulados a valorizar e a utilizar o conhecimento historicamente construído sobre a evolução da espécie humana.

1. Nosso parentesco evolutivo com os grandes macacos

Neste item são apresentadas algumas semelhanças significativas entre nossa espécie e os grandes macacos, evidências de nossa relação de parentesco evolutivo com esses animais.

Aproveite o momento para explorar os desafios envolvidos na reconstituição de um hominídeo tendo por base apenas seus restos fósseis, que podem ser um esqueleto incompleto, um osso do corpo ou apenas uma mandíbula e alguns dentes. Converse com os estudantes sobre como os conhecimentos de anatomia, tanto de fósseis quanto da espécie humana atual, podem contribuir para as reconstituições dos achados fossilizados e suas representações artísticas.

Informe aos estudantes a grande semelhança entre os cariótipos do chimpanzé e do ser humano, tanto no que se refere aos tipos de genes quanto à sua distribuição ao longo dos cromossomos. Discuta a figura 3 com os estudantes. Explique que o padrão de bandas observado na imagem permite um certo grau de comparação da correspondência dos cromossomos de seres humanos e chimpanzés. Para confirmar essa correspondência, são realizados estudos mais aprofundados de comparação do material genético.

MODELO

Caso haja tempo e interesse, estimule os estudantes a se aprofundar no assunto.

2. Nossa origem primata

Neste item são apresentados nossos mais antigos ancestrais e as tendências evolutivas que nortearam a evolução dos primatas, do qual nossa espécie faz parte. Nossa espécie pertence à classe Mammalia (mamíferos), que compreende animais endotérmicos, dotados de pelos corporais e que se alimentam de leite materno quando filhotes. Juntamente com prossímios, társios e antropoides, estamos no grupo dos primatas (ordem Primates). A classificação em categorias inferiores à ordem ainda é controversa; no Livro do Estudante adotamos uma classificação baseada no livro *What evolution is* (O que é a evolução), de Ernst Mayr, publicado em 2002.

Acredita-se que, no início do Eoceno, entre 50 Ma e 56 Ma, provavelmente em florestas da Europa, surgiram os ancestrais da subordem Prosimii, que deram origem aos lêmures (hoje restritos às ilhas de Madagascar e Comores, na costa oriental da África) e aos lóris, gálagos e indris, que vivem atualmente na África e no sul da Ásia. Também nessa época surgiram os ancestrais da subordem Tarsiiformes, à qual pertencem os társios, que atualmente vivem no sudeste da Ásia. As relações de parentesco evolutivo e a classificação desses primatas ainda são muito controversas.

Após o aparecimento dos antropoides, entre o final do Eoceno e o início do Oligoceno, surgiram duas linhagens de macacos: Platyrrhini e Catarrhini. Os platirrinos (infraordem Platyrrhini, do grego *platys*, achatado, e *rinós*, nariz, que têm nariz achatado) são macacos que habitam atualmente a América do Sul e a América Central, por isso são chamados "macacos do Novo Mundo". Acredita-se que seus ancestrais tenham atravessado o Oceano Atlântico em jangadas naturais e invadido o continente sul-americano. Nessa época, além da maior proximidade entre a África e a América do Sul, o nível do mar era bem mais baixo que o atual. Algumas cadeias de montanhas, hoje submersas pelo Oceano Atlântico, estariam expostas como ilhas, facilitando a dispersão dos macacos originários do continente africano.

Os catarrinos (infraordem Catarrhini, do grego *katá*, para baixo, e *rinós*, nariz, que têm nariz para baixo) compreendem atualmente as superfamílias Cercopithecoidea (babuínos, mandris, colobos etc., também chamados "macacos do Velho Mundo") e Hominoidea ("grandes macacos"). Apesar de alguns fósseis identificados como catarrinos terem sido descobertos recentemente na Ásia, provavelmente o grupo evoluiu e se diversificou no continente africano.

Aplicando conhecimentos

1 Alternativa D. O termo binomial *Homo sapiens* foi cunhado por Carl Linnaeus em seu trabalho do século XVIII *Systema Naturae*.

2 Alternativa B. Considerando apenas as regiões do DNA que contêm genes, a semelhança genética entre chimpanzés e seres humanos chega a 98%.

3. A linhagem humana

A temática de vida familiar e dos cuidados com a prole permite identificar valores essenciais de nossa condição humana. Sugira aos estudantes que formem grupos de pesquisa sobre o assunto. Oriente a pesquisa para questões sobre o prolongado período de juventude e de dependência dos pais em nossa espécie, o que tem relação com o estabelecimento dos valores e padrões culturais. Se possível, discuta os resultados das pesquisas dos grupos em sala de aula.

Neste item são abordadas as principais tendências evolutivas na ancestralidade humana, com destaque para os australopitecos e para as tendências evolutivas dos antecessores do *Homo erectus*, ou *Homo ergaster*, do qual descendemos. Este item contribui com o desenvolvimento da habilidade **EM13CNT208**, que aborda a análise da história humana, sua origem, diversificação e dispersão pelo planeta, sob o ponto de vista da evolução biológica.

Ao tratar da ancestralidade humana e da origem de nossa espécie, converse com os colegas professores de História e de Sociologia e avalie as possibilidades de integrar conhecimentos dessas áreas com a Biologia. A análise de objetos e vestígios das antigas sociedades humanas, de modo a identificar a diversidade cultural ao longo do tempo, colabora para a habilidade **EM13CHS104** da área de Ciências Humanas e Sociais Aplicadas.

De olho na BNCC

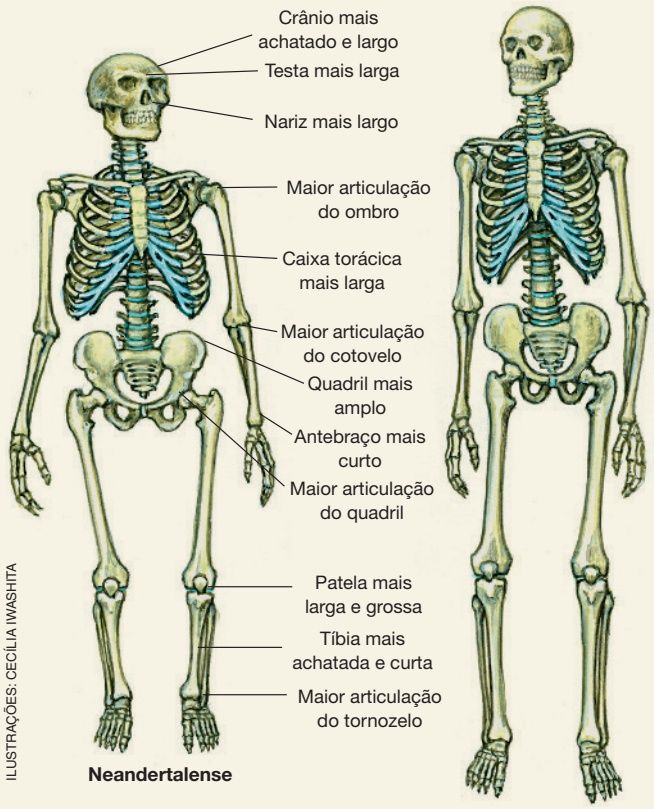
- **EM13CNT208**
- **EM13CHS104**

Este item possibilita o desenvolvimento da seguinte habilidade: **EM13CNT208**, por proporcionar uma visão geral da origem e da diversificação dos hominídeos, relacionando-as com a dispersão pelos continentes e o desenvolvimento de traços culturais. Além disso, contribui também com a habilidade da área de Ciências Humanas e Sociais Aplicadas **EM13CHS104**, na medida em que os estudantes são estimulados a analisar objetos e vestígios das antigas sociedades humanas de modo a identificar a diversidade cultural ao longo do tempo.

Comente com os estudantes que a espécie de australopiteco mais conhecida é *A. afarensis*, que teria vivido 2,8 Ma e 3,9 Ma. Em 1978 o paleoantropólogo estadunidense Donald Johanson (1943-) e sua equipe desenterraram centenas de fósseis dessa espécie na Etiópia. Um dos espécimes, cujo esqueleto estava mais completo, teria pertencido a uma fêmea com 1,30 m de altura que viveu por volta de 3,2 Ma. Esse fóssil foi batizado de Lucy, em alusão à canção da banda britânica The Beatles, *Lucy in the sky with diamonds*, que os paleontólogos ouviam em seu acampamento.

Se julgar interessante, para enriquecer a comparação entre os neandertalenses e os seres humanos, apresente aos estudantes a ilustração a seguir.

EM MODERNIA



ILUSTRAÇÕES: CECÍLIA IWASHITA

Representação esquemática das principais diferenças entre os esqueletos de *H. sapiens neanderthalensis* (à esquerda) e *H. sapiens sapiens* (à direita). (Representação fora de proporção; cores meramente ilustrativas.)

Dialogando com o texto

Nesta atividade os estudantes são estimulados a pesquisar a civilização neandertal. Em 2010 foi concluído o sequenciamento do genoma do *H. sapiens neanderthalensis* a partir de DNA extraído de ossos fósseis. O estudo mostrou que 99,5% do genoma neandertalense é idêntico ao genoma dos seres humanos modernos. Cerca de 1% a 4% do DNA de pessoas de etnia não africana é de origem neandertalense; não foi encontrado nenhum vestígio de DNA neandertalense em populações africanas que vivem ao sul do Saara. O geneticista suíço que liderou o projeto de sequenciamento resumiu o achado: todos os descendentes da linhagem humana que saiu da África carregam um pouco de DNA neandertalense. Tudo indica que o ponto de separação das linhagens humana e neandertalense ocorreu por volta de 800 mil anos atrás. Se houver tempo e interesse, estimule as pesquisas dos estudantes e sugira que apresentem seus resultados oralmente, apoiados por infográficos. A comunicação dos resultados de pesquisas por meio de infográficos colabora para o desenvolvimento da **EM13CNT302** e da **competência geral 4**.

Mais informações podem ser encontradas em:

<https://netnature.wordpress.com/2017/01/20/o-neandertal-era-um-homo-sapiens/>

<https://netnature.wordpress.com/2017/01/13/quem-eram-os-neandertais-cultura-comportamento-e-tecnologia/>

Acessos em: 2 jul. 2020.

De olho na BNCC

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

Esta atividade possibilita o desenvolvimento da seguinte habilidade: **EM13CNT302**, na medida em que os estudantes são incentivados a comunicar os resultados de sua pesquisa na forma de infográficos, participando da divulgação de temas científicos; e a **competência geral 4**, ao incentivar a utilização de linguagem artística e científica para partilhar informações.

Aplicando conhecimentos

3 Alternativa B.
4 Alternativa C.
5 Alternativa A.
6 Alternativa D.

Características como polegar oponível, cuidados com a prole, bipedalismo e visão estereoscópica possibilitaram aos hominídeos o desenvolvimento de traços culturais e de adaptação e sobrevivência no ambiente terrestre.

Atividade em grupo

A atividade traz uma proposta interdisciplinar cujo objetivo é ouvir e registrar a opinião de professores de diversas especialidades sobre cultura e linguagem simbólica. Se possível, combine uma atividade de discussão em forma de painel ou mesa redonda sobre o que representa a cultura para a humanidade, sob diversos pontos de vista. O estímulo à comunicação de resultados de pesquisa por meio de diferentes linguagens, mídias, tecnologias digitais de informação e comunicação (TDIC), de modo a promover debates em torno de temas científicos, colabora com o desenvolvimento da habilidade **EM13CNT302**. A apresentação de entrevistas e dos resultados da pesquisa na internet colabora para o desenvolvimento da **competência geral 5**.

Mais informações podem ser encontradas em: <http://www.gestaoescolar.diaadia.pr.gov.br/arquivos/File/profuncionario/cadernos/disc_form_pedag_cad_03_homem_pensamento_cultura.pdf>. Acesso em: 2 jul. 2020.

De olho na BNCC

- **EM13CNT302**
- **Competência geral 5**

Esta atividade possibilita o desenvolvimento da seguinte habilidade: **EM13CNT302**, na medida em que os estudantes são estimulados a comunicar os resultados de pesquisa por meio de tecnologias digitais de informação e comunicação (TDIC), participando de debates em torno de temas científicos; além da **competência geral 5**, ao incentivar a comunicação dos resultados de pesquisas utilizando tecnologias digitais para aumentar o alcance das informações.

Em destaque

Ao trabalhar o texto apresentado nesta seção com os estudantes, informe que ele defende a ausência de fundamento científico para a existência de raças humanas, o que pode contribuir para diminuir os preconceitos étnicos que ainda existem no Brasil e no mundo.

REPRODUÇÃO PROIBIDA

O texto do professor Sérgio Danilo Pena tem como objetivo contribuir para a redução da discriminação e do preconceito étnicos. Embora esses comportamentos venham se atenuando ao longo da história humana, eles ainda ocasionam desentendimentos e conflitos em diversas partes do mundo. A questão étnica aparece em inúmeros exemplos, desde os massacres de uma etnia por outra (genocídios) até os problemas enfrentados por migrações em massa de certas populações, em fuga das condições de pobreza ou instabilidade de seus países de origem. Sugira aos estudantes que complementem a leitura do texto com pesquisas na internet. Se possível, estimule um debate em classe sobre preconceitos étnicos e permita que os estudantes exponham seus pontos de vista.

O incentivo ao debate em torno de temas científicos de relevância sociocultural colabora para o desenvolvimento da habilidade **EM13CNT302**. Debates que incentivam os estudantes a buscar argumentos consistentes em fontes confiáveis de informação propiciam o desenvolvimento da habilidade **EM13CNT303**. O capítulo propicia a discussão sobre a utilização do conhecimento científico no combate à discriminação étnica, colaborando para a abordagem da habilidade **EM13CNT305**. A avaliação e a discussão a respeito das circunstâncias ambientais, culturais e sociais do racismo incentivam o desenvolvimento da habilidade da área de Ciências Humanas e Sociais Aplicadas **EM13CHS102**. Por fim, o debate sobre o racismo colabora para o exercício da empatia, a valorização da diversidade e o reconhecimento de cada pessoa como parte de uma comunidade global; esses aspectos colaboram para a **competência geral 9**. O tema permite agir com autonomia e determinação para tomar decisões baseadas em princípios éticos, democráticos e inclusivos, ao fazer ponderações sobre uma sociedade desracializada, desenvolvendo a **competência geral 10**.

Mais informações sobre o tema podem ser encontradas em: <https://oglobo.globo.com/sociedade/ciencia/genes-revelam-evolucao-da-cor-da-pele-rebatem-teorias-racistas-21941459>. Acesso em: 3 jul. 2020.

De olho na BNCC

- **EM13CNT302**
- **EM13CNT303**
- **EM13CNT305**
- **EM13CHS102**
- **Competência geral 9**
- **Competência geral 10**

Esta atividade possibilita o desenvolvimento das seguintes habilidades: **EM13CNT302**, na medida em que os estudantes são incentivados a debater o racismo sob o prisma da ciência; **EM13CNT303**, por estimular os estudantes a buscar argumentos consistentes em fontes confiáveis de informação a respeito da existência ou não de raças humanas; **EM13CNT305**, ao promover a discussão sobre o conhecimento científico em relação à discriminação étnica; e **EM13CHS102**, da área de Ciências Humanas e Sociais Aplicadas, ao incentivar a identificação, a análise e a discussão a respeito das circunstâncias históricas, geográficas, políticas, econômicas, sociais, ambientais e culturais que colaboram para o racismo, avaliando criticamente seu significado histórico. A atividade ainda possibilita o desenvolvimento da **competência geral 9**, ao promover o exercício da empatia, a valorização da diversidade e o reconhecimento de cada pessoa como parte de uma comunidade global; esses aspectos possibilitam também o desenvolvimento da **competência geral 10**, ao incentivar a reflexão a respeito de uma sociedade menos preconceituosa, estimulando a autonomia de cada pessoa em tomar decisões baseadas em princípios éticos, democráticos e inclusivos.

CAPÍTULO 11 Radioatividade

Metas do capítulo

- Saber em que consistem os decaimentos nucleares alfa, beta negativo, beta positivo e gama.
- Equacionar decaimentos alfa, beta negativo e beta positivo.
- Compreender o que é tempo de meia-vida de um radionuclídeo e ser capaz de estimar a quantidade remanescente de uma amostra após determinado tempo.
- Identificar uma equação que representa um processo de transmutação nuclear.
- Conhecer algumas aplicações da radioatividade, como usos em medicina e na datação por carbono-14.
- Compreender e diferenciar os processos de fissão nuclear e fusão nuclear.
- Conhecer, em linhas gerais, como é realizado o aproveitamento da energia nuclear para a geração de energia elétrica em usinas nucleares.
- Pesquisar e propor pontos favoráveis e contrários à utilização de tecnologias nucleares e ponderar a respeito deles.

Sugestões didáticas e comentários

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

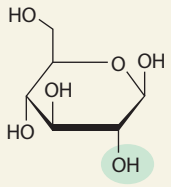
A abertura deste capítulo apresenta um exemplo de aplicação da radioatividade na obtenção de imagens para pesquisas médicas. Procedimentos similares permitem obter imagens com finalidade de diagnóstico. Ao iniciar a abordagem, solicite que um estudante leia em voz alta a legenda da foto de abertura e que outros estudantes leiam em voz alta o texto da página de abertura (cada qual lê um parágrafo). Faça pausas regulares e certifique-se de que as informações estão sendo compreendidas por todos.

Durante a leitura, aproveite para retomar os conceitos de número atômico e número de massa, estudados no Capítulo 8 deste volume, e ajude os estudantes a perceber qual é a diferença que existe entre o núcleo dos isótopos flúor-18 ($^{18}_{9}F$) e flúor-19 ($^{19}_{9}F$).

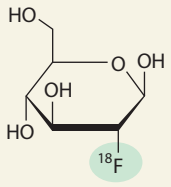
MANUAL DO PROFESSOR

Sobre a imagem de abertura, comente com os estudantes que, segundo o Ministério da Saúde, a doença de Alzheimer é um transtorno neurodegenerativo progressivo e fatal que se manifesta pela deterioração cognitiva e da memória, comprometimento progressivo das atividades da vida diária e uma diversidade de sintomas neuropsiquiátricos e de alterações comportamentais.

A partir da comparação entre a tomografia cerebral por emissão de pósitron de um indivíduo saudável e de uma pessoa com a doença de Alzheimer, interpretadas à luz das informações dadas na legenda da foto e no texto da página de abertura, é esperado que os estudantes consigam inferir que a doença provoca diminuição da atividade de certas regiões do cérebro. Explique que, para obter essas imagens, o aparelho empregado na tomografia capta radiações eletromagnéticas de alta frequência (raios gama) resultantes da aniquilação de um par pósitron-elétron (Capítulo 8). O pósitron em questão é emitido pelo núcleo de flúor-18, átomo produzido artificialmente e introduzido em uma molécula de glicose, em substituição a um grupo —OH.



glicose ($C_6H_{12}O_6$)



2-[^{18}F]-fluoro-2-desoxiglicose, simplificadamente denominada fluorodesoxiglicose ($C_6H_{11}O_5{}^{18}F$)

Essas moléculas são administradas no paciente para que passem a circular na corrente sanguínea e atinjam a região do corpo que será objeto de análise. A quantidade usada apresenta nível de emissão radioativa relativamente baixo, que oferece pequenos riscos ao organismo, considerados aceitáveis frente aos benefícios de sua utilização em diagnósticos médicos. Além disso, o flúor-18 permanece pouco tempo no organismo do indivíduo. O tempo de meia-vida desse radioisótopo é de aproximadamente 1,8 h, e você poderá comentar isso com os estudantes ao trabalhar o Item 2 do capítulo, retomando essa abertura.

Ao comparar, juntamente com os estudantes, as quantidades de nêutrons e de prótons no flúor-18 e no flúor-19, certifique-se de que eles são capazes de concluir que o primeiro apresenta 9 prótons e 9 nêutrons, enquanto o segundo apresenta 9 prótons e 10 nêutrons.

Conte a eles que o núcleo de flúor-19 é estável em relação a emissões radioativas e que a totalidade dos átomos do elemento químico flúor existentes na natureza são desse isótopo (abundância natural de 100%). Já o isótopo flúor-18, artificial, não é estável, emite pósitron e existe por pouco tempo. Questione: De onde vem o pósitron? O que acontece com a composição do núcleo quando essa partícula é emitida? Ao final, o núcleo continua sendo de um átomo do elemento químico flúor?

Incentive-os a responder e a registrar suas respostas. Retome essa abertura após o *Dialogando com o texto* do Item 1, a fim de que eles possam reavaliá-las e modificá-las.

Dialogando com o texto

O *Dialogando com o texto* da página de abertura destaca que, apesar dos benefícios da utilização da radiação para o diagnóstico de doenças e tratamentos, a ionização de biomoléculas causada por emissões radioativas pode desencadear reações químicas indesejadas. Assim, é importante destacar que os profissionais que atuam nessas áreas devem ter o conhecimento necessário para sempre analisar a relação entre riscos e benefícios. Conhecer e mensurar os riscos envolvidos é de extrema importância para que decisões acertadas possam ser tomadas pelos médicos e também para que procedimentos de segurança necessários sejam adotados durante a realização dos exames.

Caso considere válido, estabeleça um comparativo com a utilização de raios-X para diagnósticos médicos. Deixe claro que os raios-X para uso médico e odontológico são emitidos por equipamentos elétricos adequados (não por decaimentos nucleares) e consistem em radiações eletromagnéticas (Capítulo 2) prejudiciais à saúde (embora não tanto quanto as radiações gama, mais energéticas, penetrantes, ionizantes e perigosas). Apesar da periculosidade dos raios-X, eles podem ser utilizados, de forma controlada e parcimoniosa, para eventuais diagnósticos em medicina e odontologia.

De olho na BNCC

- **EM13CNT103**
- **EM13CNT104**

O *Dialogando com o texto* possibilita o desenvolvimento das seguintes habilidades da BNCC: **EM13CNT103**, por estimular os estudantes a utilizar o conhecimento sobre as radiações e suas origens para avaliar as potencialidades e os riscos de sua aplicação em equipamentos de uso cotidiano, na saúde e no ambiente; e **EM13CNT104**, pois alerta sobre a necessidade de avaliar os benefícios e os riscos à saúde, considerando a composição e a toxicidade de diferentes materiais e produtos, como também o nível de exposição a eles.

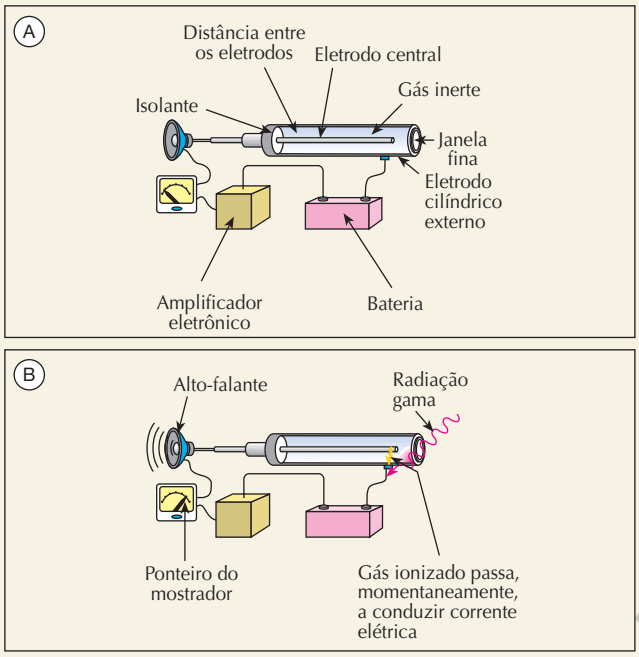
1. Decaimentos alfa, beta e gama

Ao abordar este item, comece com um rápido apanhado de alguns eventos iniciais do estudo da radioatividade, como comentado no início do item, no Livro do Estudante. Saliente que o capítulo não se constitui em uma narrativa histórica pormenorizada, mas em uma sequência de ideias selecionadas e organizadas com interesse didático. Deixe claro que os progressos científicos se devem ao trabalho de muitos pesquisadores e que os modelos que descrevem o mundo submicroscópico são representações hipotéticas elaboradas a partir de evidências. À medida que surgem informações inéditas, novos questionamentos e problemas antes não enfrentados, pode ocorrer a proposição de novos modelos, aperfeiçoando ou substituindo modelos anteriores. Insista que as ideias científicas são provisórias, em função do modo de trabalho da Ciência.

Após situar a descoberta da radioatividade no final do século XIX, retome, do *Dialogando com o texto* da página de

abertura, que as emissões radioativas α, β e γ, comentadas neste item, são ionizantes. Ao atingirem meios materiais, que são constituídos de átomos, podem provocar a ejeção de elétrons desses átomos.

Por meio da Figura 1, destaque que o contador Geiger (ou Geiger-Müller), é um dos mais antigos equipamentos empregados para detectar a radioatividade, cujo funcionamento se fundamenta no poder ionizante das emissões radioativas. Caso deseje explicar aos estudantes como esse equipamento funciona, pode utilizar uma esquematização como a seguinte.



ILUSTRAÇÕES: ADILSON SECCO

Esquema de um contador Geiger (A), no qual há um circuito elétrico. Como o gás inerte contido na ampola (ilustrada em corte) não é condutor elétrico, não há passagem de corrente pelo circuito elétrico, a menos que radiação ionizante (gama, neste exemplo) atinja o gás (B), o que provoca sua ionização e uma momentânea passagem de corrente elétrica, que é detectada pelo aparelho. (Representações fora de proporção; cores meramente ilustrativas.)

Fonte consultada: WHITTEN, K. W. *et al. Chemistry*. 10. ed. Belmont: Brooks/Cole, 2015.

Diferencie as emissões α, β^-, β^+ e γ, apresentando e equacionando exemplos como os que estão no Livro do Estudante. Em cada um dos exemplos, explique detalhadamente o que acontece com a composição nuclear, a fim de que os estudantes compreendam as alterações do número atômico e do número de massa.

Explique que, nos processos de decaimento nuclear, assim como em todos os demais processos envolvendo o núcleo atômico que serão estudados neste capítulo e no próximo, existe um princípio básico que sempre se mantém: a **conservação da carga elétrica**. Assim, ao analisar uma equação de processo nuclear, podemos falar em **balanço das cargas nucleares** ao verificar que a soma dos números atômicos é igual no primeiro e no segundo membros.

Saliente que, **nos processos nucleares, a massa final apresenta ligeira diferença em relação à massa inicial**. Isso já foi comentado brevemente no Capítulo 8 e será objeto de nossa atenção mais detalhada no próximo capítulo. Assim, **JAMAIS conduza a análise de uma equação nuclear falando em conservação da massa!**

Contudo, como será visto no Capítulo 12, **as alterações de massa em processos nucleares** (comparando os nuclídeos e as partículas finais com os nuclídeos e as partículas iniciais) **são porcentualmente muito pequenas**, o que faz com que **a soma dos números de massa seja igual antes e depois**. Isso permite que, ao analisar uma equação de processo nuclear, você possa falar em **balanço de números de massa**. Exemplificando com os casos citados do Item 1, temos:

$$^{238}_{92}U \rightarrow {}^{4}_{2}\alpha + {}^{234}_{90}Th$$

- balanço de números de massa: $238 = 4 + 234$
- balanço das cargas nucleares: $92 = 2 + 90$

$$^{14}_{6}C \rightarrow {}^{14}_{7}N + {}^{0}_{-1}\beta$$

- balanço de números de massa: $14 = 14 + 0$
- balanço das cargas nucleares: $6 = 7 + -1$

$$^{95}_{43}Tc \rightarrow {}^{95}_{42}N + {}^{0}_{+1}\beta$$

- balanço de números de massa: $95 = 95 + 0$
- balanço das cargas nucleares: $43 = 42 + 1$

Após falar sobre os decaimentos, forneça condições para que os estudantes explorem o simulador disponível em: <https://phet.colorado.edu/sims/cheerpj/nuclear-physics/latest/nuclear-physics.html?simulation5alpha-decay&locale5pt_BR>. Acesso em: 14 set. 2020. Ele permite visualizar, com base em modelos, o que acontece com o núcleo dos elementos químicos no decaimento. Estimule os estudantes a utilizar o simulador para os diferentes radionuclídeos disponíveis, e retome esse recurso ao final do Item 2, já que ele inclui simulações de meia-vida. O uso de simuladores, de modo geral, chama atenção dos alunos e desperta seu interesse sobre o assunto trabalhado.

A partir da Figura 2 do Livro do Estudante, fale sobre as contribuições de Marie Curie para as Ciências Naturais. Em razão dos seus estudos relacionados à radioatividade, Marie Curie recebeu duas vezes o Prêmio Nobel: de Física, em 1903, e de Química, em 1911. No decorrer do capítulo, outras mulheres cientistas serão mencionadas pelas suas contribuições científicas. Caso tenha tempo disponível, aproveite o contexto para realizar uma atividade por meio da qual os estudantes deverão identificar por que os cientistas homens ainda são em maior número nas nomeações do Prêmio Nobel. Entre as possíveis fontes de pesquisa, sugerimos a reportagem: FEENEY, M. K. Por que poucas mulheres venceram o Prêmio Nobel? *BBC Future*, 2018. Disponível em: <https://www.bbc.com/portuguese/vert-fut-46126687>. Acesso em: 14 set. 2020.

Dialogando com o texto

Estimule os estudantes a realizar essa atividade em grupos. Dessa forma, com o auxílio dos colegas, cada estudante poderá avaliar se compreendeu os conceitos abordados no item. Estimule-os a conversar sobre suas resoluções e, em seguida, indique na lousa as equações de decaimento esperadas.

EM MODERNA

As respostas esperadas são apresentadas a seguir.

- Decaimento alfa do $^{218}_{84}Po$:

$$^{218}_{84}Po \rightarrow {}^{4}_{2}\alpha + {}^{214}_{82}Pb$$

- Decaimento beta negativo do $^{131}_{53}I$:

$$^{131}_{53}I \rightarrow {}^{131}_{54}Xe + {}^{0}_{-1}\beta$$

- Decaimento beta positivo do $^{18}_{9}F$:

$$^{18}_{9}F \rightarrow {}^{18}_{8}O + {}^{0}_{+1}\beta$$

Caso os estudantes tenham dúvidas, ajude-os a utilizar o balanço das cargas nucleares e o balanço de números de massa (conforme discussão anteriormente apresentada) para deduzir, respectivamente, o número atômico e o número de massa do nuclídeo produzido em cada decaimento. Mostre, também, que o **símbolo** do nuclídeo produzido é obtido por **consulta à tabela periódica**, pelo **número atômico**, uma vez que este caracteriza o elemento químico correspondente.

Após esta atividade, lembre-se de retornar às respostas dadas pelos estudantes para as perguntas sobre a emissão de pósitron pelo flúor-18, na abertura do capítulo, a fim de que possam avaliá-las e reformulá-las.

De olho na BNCC

- **EM13CNT101**

O Item 1 e o *Dialogando com o texto* possibilitam o desenvolvimento da habilidade **EM13CNT101** da BNCC, pois permitem analisar e representar, com ou sem o uso de dispositivos e de aplicativos digitais específicos, as transformações e conservações (no caso, conservação da carga elétrica) em sistemas que envolvam quantidade de matéria e de energia para realizar previsões sobre seus comportamentos.

2. Cinética dos decaimentos radioativos

Inicie o Item 2 apresentando o conceito de meia-vida. Explique que o tempo necessário para que metade da quantidade de radionuclídeo existente em uma amostra decaia é denominado tempo de meia-vida. É importante que os estudantes percebam que, nesse decaimento, o radionuclídeo se transforma em um outro nuclídeo devido a uma emissão alfa ou beta (positiva ou negativa).

Analise com eles os dados da Tabela 1 do Livro do Estudante, que apresenta tempos de meia-vida de vários radionuclídeos. A partir dela, ressalte como os valores podem ser muito distintos. Comente que existem radionuclídeos, como aqueles usados para a realização de exames médicos, que decaem em um período de horas ou poucos dias, e radionuclídeos, como os de urânio-238, que podem levar bilhões de anos para decair. São conhecidos diversos radionuclídeos com meia-vida inferior a 1 μs.

Aproveite para contar a eles que o tempo de meia-vida do flúor-18 (usado na obtenção de imagens em tomografia de emissão de pósitron, como as que aparecem na foto de abertura do capítulo) é de 109,7 min, aproximadamente 1,8 h. Conforme o esquema a seguir, mostre aos estudantes que fração da amostra de flúor-18 restante após 18 h (isto é, 10 meias-vidas) será inferior a um milésimo do que foi originalmente administrado no indivíduo. Expresso em porcentagem, o valor restante é de apenas 0,098% do inicial. Daí se confirma aquilo que dissemos, ao comentar a abertura do capítulo, sobre a permanência do flúor-18 no organismo do indivíduo examinado ser relativamente breve.

$$1 \xrightarrow{t_{1/2}} \frac{1}{2} \xrightarrow{t_{1/2}} \frac{1}{4} \xrightarrow{t_{1/2}} \frac{1}{8} \xrightarrow{t_{1/2}} \frac{1}{16} \xrightarrow{t_{1/2}} \frac{1}{32} \xrightarrow{t_{1/2}} \frac{1}{64}$$

$$\xrightarrow{t_{1/2}} \frac{1}{128} \xrightarrow{t_{1/2}} \frac{1}{256} \xrightarrow{t_{1/2}} \frac{1}{512} \xrightarrow{t_{1/2}} \frac{1}{1.024}$$

Proponha que os estudantes prevejam a quanto a amostra se reduziria considerando mais 3 meias-vidas (além das 10) e qual o tempo total transcorrido. Com isso, eles podem perceber que, em $13 \cdot 1{,}8\ h = 23{,}4\ h$ (menos de um dia, portanto), a quantidade remanescente seria inferior a um oito mil avos da inicial.

$$\frac{1}{1.024} \xrightarrow{t_{1/2}} \frac{1}{2.048} \xrightarrow{t_{1/2}} \frac{1}{4.096} \xrightarrow{t_{1/2}} \frac{1}{8.192}$$

Em seguida, auxilie os estudantes a interpretar a curva exponencial de decaimento (Figura 3 do Livro do Estudante). Pergunte após quanto tempo a porcentagem dos radionuclídeos Po-218, I-131 e U-238 se reduz à metade e estimule os estudantes a comparar a meia-vida dos três. Destaque que o gráfico apresenta um comportamento exponencial decrescente da quantidade de radioisótopo em função do tempo. É importante deixar claro que esse comportamento é compartilhado por todos os isótopos radioativos.

Defina que uma série radioativa é o conjunto de nuclídeos relacionados por sucessivos decaimentos nucleares. A Figura 4 do Livro do Estudante mostra a série radioativa do tório, apresentando os tipos de decaimento (alfa ou beta negativo) e as quantidades de prótons e de nêutrons nos nuclídeos envolvidos nessa série.

Caso deseje abordar as outras três séries radioativas mencionadas no Livro do Estudante, os dados são fornecidos na tabela e nos gráficos a seguir. Na série do tório, apresentada no Livro do Estudante, todos os valores de número de massa obedecem à expressão $4n$ (em que n é um número natural). Os valores de A nas outras séries obedecem às expressões mostradas na tabela a seguir. Note que **a diferença entre os números de massa** dos nuclídeos de uma mesma série ou é zero ou um múltiplo inteiro de 4. Isso ocorre porque o decaimento beta não altera o número de massa do nuclídeo e o decaimento alfa diminui esse número em 4 unidades.

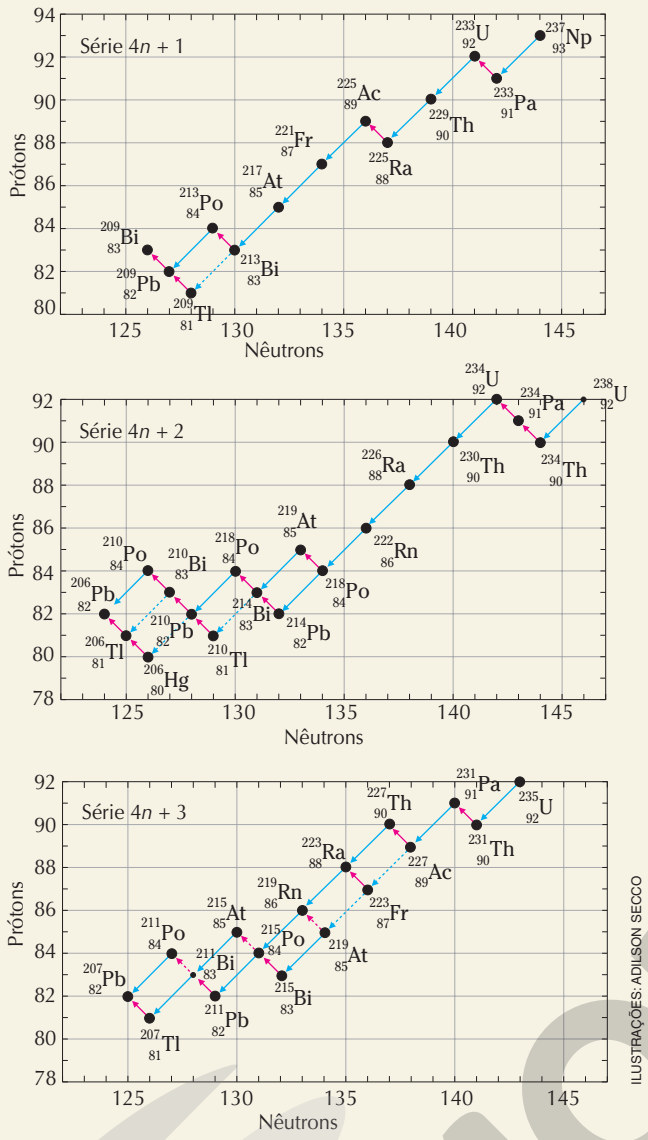
Dados sobre quatro séries radioativas

Conhecida como série do	Inicia com	Meia-vida do nuclídeo inicial (anos)	Termina com	Número de massa
tório	$^{232}_{90}Th$	$1{,}4 \cdot 10^{10}$	$^{208}_{82}Pb$	$4n$
netúnio	$^{237}_{93}Np$	$2{,}1 \cdot 10^{6}$	$^{209}_{83}Bi$	$4n + 1$
urânio	$^{238}_{92}U$	$4{,}5 \cdot 10^{9}$	$^{206}_{82}Pb$	$4n + 2$
actínio*	$^{235}_{92}U$	$7{,}0 \cdot 10^{8}$	$^{207}_{82}Pb$	$4n + 3$

* Quando foi nomeada, acreditava-se que ela começava no $^{227}_{89}Ac$.

Fonte: BEISER, A. *Concepts of Modern Physics*. 6. ed. Nova York: McGraw-Hill: 2003; HAYNES, W. M. (Ed.). *CRC handbook of Chemistry and Physics*. 97. ed. Boca Raton: CRC Press, 2011.

REPRODUÇÃO



Gráficos representativos dos sucessivos decaimentos nucleares nas séries radioativas do netúnio ($4n + 1$), do urânio ($4n + 2$) e do actínio ($4n + 3$). Nas eventuais ramificações, a linha tracejada indica a emissão menos provável (maior tempo de meia-vida).

Fonte: BODNER, G. M.; PARDUE, H. L. *Chemistry, an experimental science*. 2. ed. Nova York: John Wiley, 1995.

A interpretação de esquemas como o da Figura 4 do Livro do Estudante ou os mostrados anteriormente é importante porque estimula a capacidade de representação de fenômenos naturais por meio de linguagens próprias das Ciências da Natureza.

De olho na BNCC

- **EM13CNT101**

Este item possibilita desenvolver a habilidade **EM13CNT101** da BNCC, pois leva os estudantes a analisar e representar, com ou sem o uso de dispositivos e de aplicativos digitais específicos, as transformações e as conservações em sistemas que envolvam quantidade de matéria e de energia para realizar previsões sobre seus comportamentos em situações cotidianas que priorizem o uso consciente dos recursos naturais (por exemplo, em aplicações de radioisótopos em diagnósticos e tratamentos médicos) e a preservação da vida em todas as suas formas.

3. Transmutação nuclear

Ao abordar esse item, auxilie os estudantes a perceber que a transmutação nuclear é um processo por meio do qual um nuclídeo pode ser obtido quando outro nuclídeo é bombardeado por uma partícula. Para exemplificar esse fenômeno, apresente a transmutação do nitrogênio-14 em oxigênio-17 pelo bombardeamento com uma partícula alfa, que está equacionada no Livro do Estudante.

Comente que, por meio de aceleradores de partículas, é possível realizar processos de transmutação artificial, bombardeando núcleos com partículas aceleradas a grandes velocidades. Esse tipo de transmutação foi usado para produzir elementos químicos que não são encontrados na natureza.

Incentive os estudantes a consultar a tabela periódica disponível no final do Livro do Estudante e comente com eles que os elementos químicos de número atômico superior ao do urânio ($Z > 92$) são todos artificiais. Esses elementos foram obtidos pelos cientistas através da transmutação nuclear em aceleradores de partículas. Uma tabela que apresenta métodos de síntese desses elementos se encontra na próxima página. Os nuclídeos desses elementos transurânicos são todos instáveis e decaem espontaneamente, geralmente com tempos de meia-vida muito pequenos.

Para ampliar os conhecimentos sobre o tema, peça aos estudantes que pesquisem o que é o Grande Colisor de Hádrons (conhecido pela sigla LHC, do inglês *Large Hadron Collider*) da Organização Europeia para a Pesquisa Nuclear (CERN). Entre as fontes de pesquisa sugerimos a reportagem: CAIRES, L. *Jornal da USP*, 2019. Disponível em: <https://jornal.usp.br/ciencias/ciencias-exatas-e-da-terra/maior-acelerador-de-particulas-do-mundo-passa-por-um-upgrade-o-que-vem-por-ai/>. Acesso em: 14 set. 2020. Essa atividade pode ser realizada em casa pelos estudantes. É importante que eles leiam o texto e assistam ao vídeo, registrando os pontos que mais chamaram sua atenção e trazendo-os para compartilhar em sala.

De olho na BNCC

- **EM13CNT101**

Esse item possibilita desenvolver a habilidade **EM13CNT101** da BNCC, pois envolve 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 e de energia para realizar previsões sobre seus comportamentos.

Aplicando conhecimentos

1 $^{226}_{88}\text{Ra} \rightarrow {}^{4}_{2}\alpha + {}^{222}_{86}\text{Rn}$

O nuclídeo produzido nessa reação é o radônio-222, representado por $^{222}_{86}\text{Rn}$.

2 a) $^{90}_{38}\text{Sr} \rightarrow {}^{0}_{-1}\beta + {}^{90}_{39}\text{Y}$

O nuclídeo produzido é o ítrio-90, $^{90}_{39}\text{Y}$.

b) $100\% \xrightarrow{t_{1/2}} 50\% \xrightarrow{t_{1/2}} 25\% \xrightarrow{t_{1/2}} 12{,}5\%$

Transcorrem três meias-vidas para que restem 12,5%. O tempo necessário é de $3 \cdot 28$ anos, ou seja, 84 anos.

PROIBIDA

3 Como a meia-vida do isótopo é de 5 anos, após um período de 20 anos passaram-se quatro meias-vidas. Portanto, a quantidade colocada inicialmente na cápsula era de 12.000 mg (12 g), pois essa quantidade inicial, após 4 meias-vidas, fornece 750 mg:

$$12.000\ \text{mg} \xrightarrow{t_{1/2}} 6.000\ \text{mg} \xrightarrow{t_{1/2}} 3.000\ \text{mg} \xrightarrow{t_{1/2}} 1.500\ \text{mg} \xrightarrow{t_{1/2}} 750\ \text{mg}$$

4 Considerando o processo de transmutação:

$$^{242}_{96}\text{Cm} + {}^{4}_{2}\alpha \rightarrow {}^{a}_{b}\text{X} + {}^{1}_{0}\text{n}$$

Para obter a e b, empregamos o balanço das cargas nucleares e o balanço de números de massa.

$$242 + 4 = a + 1 \Rightarrow a = 245$$
$$96 + 2 = b + 0 \Rightarrow b = 98$$

Portanto, o nuclídeo obtido é $^{245}_{88}\text{X}$. Procurando na tabela periódica por $Z = 98$, o elemento químico em questão é o califórnio (Cf).

5 Para obter as características da partícula y, é necessário utilizar o balanço das cargas nucleares e o balanço de números de massa.

$$^{209}_{83}\text{Bi} + {}^{58}_{26}\text{Fe} \rightarrow {}^{266}_{109}\text{Mt} + {}^{a}_{b}\text{y}$$

Balanço de números de massa:

$$209 + 58 = 266 + a \Rightarrow a = 1$$

Balanço das cargas nucleares:

$$83 + 26 = 109 + b \Rightarrow b = 0$$

Portanto, foi obtida uma partícula com número de massa 1 e carga elétrica nula. Essas características correspondem ao nêutron, partícula subatômica cuja representação é $^{1}_{0}\text{n}$.

6 Para que ocorra o decaimento nuclear de 93,75% de uma amostra de radionuclídeo, a porcentagem restante deverá ser 6,25%, ou seja, 100% − 93,75%.

$$100\% \xrightarrow{t_{1/2}} 50\% \xrightarrow{t_{1/2}} 25\% \xrightarrow{t_{1/2}} 12{,}5\% \xrightarrow{t_{1/2}} 6{,}25\%$$

Portanto, devem transcorrer 4 meias-vidas.

Relação de elementos transurânicos e equações que representam um dos métodos de sua síntese artificial

Número atômico	Nome	Símbolo	Síntese
93	Netúnio	Np	$^{238}_{92}\text{U} + {}^{1}_{0}\text{n} \rightarrow {}^{239}_{93}\text{Np} + {}^{0}_{-1}\beta$
94	Plutônio	Pu	$^{239}_{93}\text{Np} \rightarrow {}^{239}_{94}\text{Pu} + {}^{0}_{-1}\beta$
95	Amerício	Am	$^{239}_{94}\text{Pu} + {}^{1}_{0}\text{n} \rightarrow {}^{240}_{95}\text{Am} + {}^{0}_{-1}\beta$
96	Cúrio	Cm	$^{239}_{94}\text{Pu} + {}^{4}_{2}\alpha \rightarrow {}^{242}_{96}\text{Cm} + {}^{1}_{0}\text{n}$
97	Berquélio	Bk	$^{241}_{95}\text{Am} + {}^{4}_{2}\alpha \rightarrow {}^{243}_{97}\text{Bk} + 2\,{}^{1}_{0}\text{n}$
98	Califórnio	Cf	$^{242}_{96}\text{Cm} + {}^{4}_{2}\alpha \rightarrow {}^{245}_{98}\text{Cf} + {}^{1}_{0}\text{n}$
99	Einstênio	Es	$^{238}_{92}\text{U} + 15\,{}^{1}_{0}\text{n} \rightarrow {}^{253}_{99}\text{Es} + 7\,{}^{0}_{-1}\beta$
100	Férmio	Fm	$^{238}_{92}\text{U} + 17\,{}^{1}_{0}\text{n} \rightarrow {}^{255}_{100}\text{Fm} + 8\,{}^{0}_{-1}\beta$
101	Mendelévio	Md	$^{253}_{99}\text{Es} + {}^{4}_{2}\alpha \rightarrow {}^{256}_{101}\text{Md} + {}^{1}_{0}\text{n}$
102	Nobélio	No	$^{246}_{96}\text{Cm} + {}^{12}_{6}\text{C} \rightarrow {}^{254}_{102}\text{No} + 4\,{}^{1}_{0}\text{n}$
103	Laurêncio	Lr	$^{252}_{98}\text{Cf} + {}^{10}_{5}\text{B} \rightarrow {}^{257}_{103}\text{Lr} + 5\,{}^{1}_{0}\text{n}$
104	Rutherfórdio	Rf	$^{249}_{98}\text{Cf} + {}^{12}_{6}\text{C} \rightarrow {}^{257}_{104}\text{Rf} + 4\,{}^{1}_{0}\text{n}$
105	Dúbnio	Db	$^{249}_{98}\text{Cf} + {}^{15}_{7}\text{N} \rightarrow {}^{260}_{105}\text{Db} + 4\,{}^{1}_{0}\text{n}$
106	Seabórgio	Sg	$^{249}_{98}\text{Cf} + {}^{18}_{8}\text{O} \rightarrow {}^{263}_{106}\text{Sg} + 4\,{}^{1}_{0}\text{n}$
107	Bóhrio	Bh	$^{209}_{83}\text{Bi} + {}^{54}_{24}\text{Cr} \rightarrow {}^{262}_{107}\text{Bh} + {}^{1}_{0}\text{n}$
108	Hássio	Hs	$^{208}_{82}\text{Pb} + {}^{58}_{26}\text{Fe} \rightarrow {}^{265}_{108}\text{Hs} + {}^{1}_{0}\text{n}$
109	Meitnério	Mt	$^{209}_{83}\text{Bi} + {}^{58}_{26}\text{Fe} \rightarrow {}^{266}_{109}\text{Mt} + {}^{1}_{0}\text{n}$
110	Darmstádtio	Ds	$^{208}_{82}\text{Pb} + {}^{62}_{28}\text{Ni} \rightarrow {}^{269}_{110}\text{Ds} + {}^{1}_{0}\text{n}$
111	Roentgênio	Rg	$^{209}_{83}\text{Bi} + {}^{64}_{28}\text{Ni} \rightarrow {}^{272}_{111}\text{Rg} + {}^{1}_{0}\text{n}$
112	Copernício	Cn	$^{208}_{82}\text{Pb} + {}^{70}_{30}\text{Zn} \rightarrow {}^{277}_{112}\text{Cn} + {}^{1}_{0}\text{n}$
113	Nihônio	Nh	$^{288}_{115}\text{Mc} \rightarrow {}^{284}_{113}\text{Nh} + {}^{4}_{2}\alpha$
114	Fleróvio	Fl	$^{244}_{94}\text{Pu} + {}^{48}_{20}\text{Ca} \rightarrow {}^{289}_{114}\text{Fl} + 3\,{}^{1}_{0}\text{n}$
115	Moscóvio	Mc	$^{243}_{95}\text{Am} + {}^{48}_{20}\text{Ca} \rightarrow {}^{288}_{115}\text{Mc} + 3\,{}^{1}_{0}\text{n}$
116	Livermório	Lv	$^{248}_{96}\text{Cm} + {}^{48}_{20}\text{Ca} \rightarrow {}^{292}_{116}\text{Lv} + 4\,{}^{1}_{0}\text{n}$
117	Tenesso	Ts	$^{249}_{97}\text{Bk} + {}^{48}_{20}\text{Ca} \rightarrow {}^{293}_{117}\text{Ts} + 4\,{}^{1}_{0}\text{n}$
118	Oganessônio	Og	$^{249}_{98}\text{Cf} + {}^{48}_{20}\text{Ca} \rightarrow {}^{294}_{118}\text{Og} + 3\,{}^{1}_{0}\text{n}$

Fonte: BURDGE, J. *Chemistry*. 5. ed. Nova York: McGraw-Hill, 2020.

MODERNA

4. Algumas aplicações da radioatividade

Ao abordar esse item, converse com os estudantes sobre a importância da medicina nuclear, já que ela possibilita a avaliação, o diagnóstico e o tratamento de algumas doenças como o câncer. Utilize a Tabela 2 do Livro do Estudante para destacar radionuclídeos usados no tratamento de algumas formas dessa doença. Ressalte o objetivo da radioterapia, que é o de eliminar células cancerígenas de determinada região específica por meio de radiações gama.

Quando apresentar radionuclídeos usados em procedimentos de diagnóstico médico, exemplificados na Tabela 3 do Livro do Estudante, destaque que o método se fundamenta na ideia de os átomos do elemento se concentrarem (por alguma propriedade de seus átomos ou de moléculas carreadoras às quais estejam incorporados) em determinado órgão. Assim, a emissão radioativa possibilita a obtenção de imagens desse órgão. Relembrando a discussão da abertura do capítulo, ressalte que a tabela inclui o uso do flúor-18 na obtenção de imagens do cérebro.

Exiba aos estudantes a animação produzida pelo Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares (Ipen) sobre a produção de radiofármacos realizada por essa instituição. Disponível em: <https://www.ipen.br/portal_por/portal/interna.php?secao_id59&campo=1911>. Acesso em: 14 set. 2020. Trata-se de um vídeo didático que tem como objetivo esclarecer pontos relacionados à produção e à importância dos radiofármacos.

Explique o processo de datação por carbono-14, conforme exposto no Livro do Estudante, deixando claro que se fundamenta na taxa de decaimento desse radionuclídeo. Destaque que a técnica é muito utilizada por arqueólogos para estimar a idade de objetos confeccionados com materiais provenientes de seres vivos (madeira, couro, pergaminho, tecido) e saliente que, devido ao princípio em que se fundamenta, a técnica não possibilita datar objetos de outras origens. Desejando mais informações sobre essa técnica, sugerimos o artigo: FARIAS, R. F. A química do tempo: carbono-14. *Química Nova na Escola*, n. 16, p. 6-8, 2002. Disponível em: <http://qnesc.sbq.org.br/online/qnesc16/v16_A03.pdf>. Acesso em: 14 set. 2020

De olho na BNCC

- **EM13CNT103**
- **EM13CNT307**

Este item permite o desenvolvimento das seguintes habilidades da BNCC: **EM13CNT103**, por estimular os estudantes a utilizar o conhecimento sobre as radiações e suas origens para avaliar as potencialidades e os riscos de sua aplicação em equipamentos de uso na saúde; e **EM13CNT307**, pois possibilita a análise das propriedades dos materiais para avaliar a adequação de seu uso em diferentes aplicações e/ou propor soluções seguras e sustentáveis considerando seu contexto local e cotidiano.

5. Usinas nucleares e bombas atômicas

Retome, inicialmente, o conceito de fissão nuclear, apresentado no Capítulo 8. A seguir, peça aos estudantes que observem as equações da fissão do U-235 apresentadas no Item 5 do Livro do Estudante e comente que, quando o núcleo de urânio-235 é atingido por um nêutron, ele se fragmenta em dois núcleos menores e libera dois ou três nêutrons, que podem provocar a ruptura de outros núcleos físseis. Saliente que esse processo libera grande quantidade de energia e pergunte se os estudantes sabem onde a energia obtida por fissão nuclear já foi aplicada. Converse com eles e verifique se mencionam que as bombas atômicas funcionam a partir da fissão nuclear. Apresente a Figura 8 e, em seguida, estimule os estudantes a relacionar que, em uma bomba atômica, a reação em cadeia ocorre de maneira descontrolada. Com isso, uma quantidade muito grande de energia é liberada em pouco tempo, produzindo uma explosão nuclear.

Explique que fissão nuclear é o processo responsável por gerar energia elétrica nas usinas nucleares, que, em geral, utilizam urânio-235, urânio-233 ou plutônio-239 como material físsil. Esses isótopos são fissionáveis porque liberam mais de um nêutron na fissão, o que possibilita, em condições adequadas de operação, manter a fissão em andamento. Outros núcleos grandes também podem se fissionar ao serem atingidos por nêutrons com velocidade adequada, mas liberam apenas um nêutron na fissão, o que não sustenta o processo.

Ao apresentar a Figura 9 do Livro do Estudante, comente que as usinas brasileiras de Angra utilizam U-235. Para compreender como a energia liberada na fissão é utilizada para gerar energia elétrica, incentive os estudantes a analisar a Figura 10. Por meio dela, é possível entender as transformações de energia: de energia nuclear a energia térmica, desta a energia mecânica e, por fim, de energia mecânica a energia elétrica.

Com o objetivo de estimular os estudantes a exercitar a construção de argumentos e realizar análises com base nos conhecimentos científicos, você pode propor um debate sobre o uso da energia nuclear no Brasil. Incentive-os a avaliar a participação desse tipo de energia na matriz energética frente ao risco e ao poder de destruição de um acidente nuclear. Solicite ainda que pesquisem sobre o uso da energia nuclear em outros países, avaliando se há um crescimento ou a substituição dessa forma de gerar energia elétrica. As informações pesquisadas e discutidas em sala de aula podem ser utilizadas como base para a produção de vídeos ou de um *podcast* e o material produzido pode ser disponibilizado nas mídias sociais da instituição, ampliando-se a discussão para toda a comunidade escolar. (Sugestões de uso de mídias digitais estão disponíveis no início do Livro do Estudante.)

Explique que um dos problemas relacionados às usinas nucleares é a disposição dos resíduos da fissão. Entre os produtos da fissão do urânio-235, por exemplo, estão diversos radioisótopos que são alfa, beta e gamaesmissores, que originam séries radioativas (similares às discutidas no Item 2) e cuja emissão não pode ser impedida por meios artificiais. É necessário acondicionar esse lixo e impedi-lo de se espalhar pelo ambiente. O processo é complexo, caro e, se não for adequadamente implementado, pode provocar sérios danos ao ambiente e à saúde humana. Informações sobre o descarte de lixo radioativo estão disponíveis na reportagem: OKUNO, E. Rejeitos radioativos. *Jornal da USP*, 2019. Disponível em: <https://jornal.usp.br/artigos/rejeitos-radioativos/>. Acesso em: 14 set. 2020.

REPRODUÇÃO

De olho na BNCC

- **EM13CNT103**
- **EM13CNT104**
- **EM13CNT106**
- **EM13CNT203**
- **EM13CNT309**

Esse item possibilita o desenvolvimento das seguintes habilidades da BNCC: **EM13CNT103**, por estimular os estudantes a utilizar o conhecimento sobre as radiações e suas origens para avaliar riscos envolvidos em sua aplicação nas usinas nucleares; **EM13CNT104**, pois leva 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; **EM13CNT106**, porque leva a avaliar tecnologias e possíveis soluções para as demandas que envolvem a geração 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; **EM13CNT203**, pois permite 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; e **EM13CNT309**, posto que estimula a análise de questões socioambientais, políticas e econômicas relativas à dependência do mundo atual em relação aos recursos não renováveis.

Dialogando com o texto

A atividade possibilita que os estudantes percebam como a energia liberada na fissão nuclear, por unidade de massa de material físsil, é muito maior do que a liberada em reações químicas de combustão, por unidade de massa de combustível.

a)

Massa de gás hidrogênio		Energia liberada
1 g	—	$1{,}43 \cdot 10^2$ kJ
x	—	$7{,}92 \cdot 10^7$ kJ

$\Rightarrow x = 5{,}54 \cdot 10^5$ g

b)

Massa de etanol		Energia liberada
1 g	—	$2{,}97 \cdot 10^1$ kJ
y	—	$7{,}92 \cdot 10^7$ kJ

$\Rightarrow y = 2{,}67 \cdot 10^6$ g

Assim, para liberar a mesma energia que a fissão de 1 g de U-235, é necessária a combustão de 554 kg de gás hidrogênio ou 2,67 t de etanol líquido!

6. Estrelas e bombas de hidrogênio

Ao abordar esse item, sugerimos que retome o conceito de fusão nuclear, abordado no Capítulo 8. Comente que esse processo ocorre no Sol e é empregado com objetivos bélicos na bomba de hidrogênio. Apresente a equação que representa a reação que ocorre na explosão dessa bomba, salientando que a energia gerada é ainda maior que a liberada na fissão nuclear do U-235 (Tabela 4 do Livro do Estudante).

Explique que, diferentemente da fissão nuclear, a fusão nuclear de deutério e trítio não produz radioisótopos. Assim, ela é promissora como fonte de energia, mas ainda não há tecnologia para realizá-la controladamente. Caso queira obter informações complementares sobre o assunto, sugerimos o artigo: FLÓRIO, V. Turbulência criativa. *Revista FAPESP*, n. 237, 2018. Disponível em: <https://revistapesquisa.fapesp.br/turbulencia-criativa/>. Acesso em: 14 set. 2020.

Em destaque

O *Em destaque* aborda controvérsias sobre o uso das tecnologias nucleares. Por meio do texto apresentado e das pesquisas a serem realizadas, espera-se que os estudantes se tornem conscientes de aspectos favoráveis e contrários às tecnologias nucleares. Um mesmo tema científico pode, por um lado, originar aplicações cujos benefícios à humanidade claramente excedem os eventuais riscos, mas, por outro, resultar em utilizações cujos efeitos prejudiciais não justificam os supostos benefícios.

Nem sempre há consenso na sociedade (ou em uma sala de aula), e debates sobre alguns temas sempre deverão existir à medida que a humanidade avança, não apenas em ciência, mas na ética e nas conquistas ambientais e sociais.

Distribua os temas sugeridos no Livro do Estudante entre os grupos de estudantes para que eles elaborem os vídeos que serão exibidos para todas as equipes. Auxilie os estudantes na escolha de fontes confiáveis para a pesquisa de informações e na elaboração dos roteiros dos vídeos, de forma que tragam riqueza de subsídios ao debate proposto para depois das exibições. A critério do docente, os vídeos podem ser disponibilizados nas mídias digitais da instituição de ensino.

De olho na BNCC

- **EM13CNT103**
- **EM13CNT105**
- **EM13CNT203**
- **EM13CNT303**
- **EM13CNT304**
- **EM13CHS504**
- **Competências gerais 1, 8 e 9**

Essa atividade possibilita o desenvolvimento das seguintes habilidades da BNCC: **EM13CNT103**, pois requer utilizar o conhecimento sobre as radiações e suas origens para avaliar as potencialidades e os riscos de sua aplicação; **EM13CNT105**, já que abrange interpretar os efeitos da interferência humana sobre ciclos naturais, para promover ações individuais e/ou coletivas que minimizem consequências nocivas à vida; **EM13CNT203**, porque exige avaliar e prever efeitos de intervenções nos ecossistemas, e seus impactos nos seres vivos e no corpo humano; **EM13CNT303**, por exigir 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**, uma vez que solicita analisar e debater situações controversas sobre a aplicação de conhecimentos da área de Ciências da Natureza (como tecnologias nucleares), com base em argumentos consistentes, legais, éticos e responsáveis, distinguindo diferentes pontos de vista; e **EM13CHS504**, pois envolve analisar e avaliar os impasses ético-políticos decorrentes das transformações científicas e tecnológicas no mundo contemporâneo e seus desdobramentos nas atitudes e nos valores de indivíduos, grupos sociais, sociedades e culturas. Também possibilita desenvolver a **Competência geral 1**, haja vista que requer 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; a **Competência geral 8**, ao verificar aspectos das tecnologias relacionadas ao núcleo atômico, associando-as a casos de câncer, de forma que os estudantes são estimulados a pensar em cuidados com a saúde física ao produzirem argumentos contrários ou favoráveis ao uso dessas tecnologias; e a **Competência geral 9**, porque promove 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.

MONITORIA

CAPÍTULO 12 Origem dos elementos químicos

Metas do capítulo

- Conhecer eventos importantes na evolução estelar.
- Ter noção da concepção cientificamente aceita para a origem do Sistema Solar.
- Saber que o Sistema Solar inclui planetas rochosos e planetas gigantes gasosos e ser capaz de explicar por que estes últimos retiveram os gases presentes em sua formação.
- Compreender a importância do estudo espectral das estrelas e saber que a cor de uma estrela está associada à temperatura de sua superfície.
- Conhecer o diagrama H-R e reconhecer nele a sequência principal de estrelas.
- Saber que o tempo de permanência de uma estrela na sequência principal está relacionado à rapidez com que nela ocorre fusão nuclear e esta, por sua vez, depende da massa estelar.
- Compreender o que é energia de ligação por núcleon e como esse conceito permite explicar a ocorrência da fusão nuclear e da fissão nuclear.
- Conhecer a explicação aceita para a origem dos elementos químicos e associá-la à evolução estelar.

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 comenta a medida de distância denominada ano-luz (medida de distância, não de tempo). Também explica aos estudantes o significado de códigos como M31 e NGC 224, frequentemente usados para designar objetos astronômicos, estimulando-os a pesquisá-los na internet sempre que os encontrarem em algum texto.

Ao final da abertura, é apresentada a informação de que mais de 99% do total de átomos do Universo são de hidrogênio e hélio. Conforme já foi comentado nos Capítulos 1 e 6 do Livro do Estudante, esses átomos se formaram logo após o *big bang*, juntamente com pequenas quantidades de lítio. Os átomos dos demais elementos químicos se formaram posteriormente, por processos nucleares a partir desses átomos de menor massa.

São apresentados alguns questionamentos aos estudantes: Que processos são esses? Onde ocorreram? Eles continuam a acontecer ainda hoje? Estimule-os a responder e a registrar suas opiniões. Em seu planejamento, reserve um tempo, ao final do capítulo, para retomar com os estudantes essas respostas, a fim de que eles tenham a oportunidade de revisá-las e reelaborá-las. Essa prática é pedagogicamente relevante, pois a retomada dos registros feitos permite a percepção do aprendizado realizado e a aquisição de repertório científico.

1. Nossa Galáxia é uma entre bilhões

Este item apresenta, de forma introdutória, aspectos da nossa galáxia, a Via Láctea, que muito provavelmente já foi mencionada em algum momento na trajetória escolar dos estudantes (fazendo parte, inclusive, de habilidades da BNCC de Ensino Fundamental 2). Faça um apanhado dos conhecimentos prévios dos alunos, questionando o que eles sabem a respeito da Via Láctea. As respostas fornecidas podem direcionar a abordagem deste item. Caso considere válido, apresente o vídeo de curta duração intitulado "ABC da astronomia – Via Láctea", disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=0JfksHOJX5U>. Acesso em: 16 set. 2020. O uso de vídeos costuma despertar o interesse e a participação dos estudantes.

Com base nas informações do vídeo e do Livro do Estudante, destaque algumas das características da Via Láctea como seu tamanho, formato e número aproximado de estrelas. As imagens da Figura 1 podem ser utilizadas, neste momento, para dar uma noção das dimensões da Galáxia, bem como da posição do Sistema Solar dentro dela.

Alguns dos conceitos necessários ao entendimento deste item e dos demais já foram estudados em capítulos anteriores deste volume. Sempre que necessário, retome os pré-requisitos já apresentados, pois são fundamentais para o desenvolvimento deste capítulo.

2. Sistema Solar

Este item começa mencionando algumas características do Sol e a importância da análise da luz proveniente dessa estrela na elucidação de quais elementos químicos existem nele. Como parte dessa discussão, é mencionada a descoberta do elemento químico hélio e a origem de seu nome.

A seguir, o item apresenta a distinção entre planetas telúricos (rochosos) e jovianos (gigantes gasosos) e comenta a formação do Sistema Solar a partir de matéria interestelar preexistente (gases e poeira cósmica). Este último ponto é extremamente importante para que os estudantes compreendam, posteriormente, no Item 8 deste capítulo, que já existiam átomos de grande variedade de elementos químicos em nosso planeta quando ele foi formado, e que esses átomos estavam na nuvem de material cósmico a partir da qual o Sistema Solar se originou.

Ao apresentar essas primeiras informações do item, é recomendado retomar a lei da gravitação universal (Capítulo 6), posto que a atração gravitacional exerce papel fundamental na coalescência do material formador de estrelas e planetas.

Aproveitando essa retomada, explique o conceito de velocidade de escape, como apresentado no Livro do Estudante, e analise com os estudantes os dados da Tabela 1 nele apresentada. Ressalte, a partir da análise dos dados, que a velocidade de escape é tanto maior quanto mais massivo for o planeta.

EM MODERNA

A apresentação do conceito de velocidade de escape se justifica para que possa ser explicada a ausência de atmosfera em Mercúrio ou na Lua. Contudo, um passo adicional ainda é necessário antes disso: explicar a curva de distribuição de velocidades moleculares de Maxwell-Boltzmann. Mediante os exemplos da Figura 4 do Livro do Estudante, explique que, em uma amostra de substância em fase gasosa, as moléculas não apresentam a mesma velocidade translacional. Algumas são mais lentas e outras, mais velozes. Cada curva da Figura 4 (analisada separadamente das demais) indica que existem poucas moléculas com velocidades baixas ou com velocidades muito altas, estando a maioria delas com valores intermediários. A curva tem um ponto máximo, que corresponde à velocidade mais provável, aquela apresentada por maior número de moléculas. Embora a velocidade média não coincida com a abscissa do ponto de máximo, é relativamente próxima dele. A área abaixo da curva corresponde ao total de moléculas da amostra.

Comparando as curvas para um mesmo gás a temperaturas diferentes (é o caso do N_2, a $-173\,°C$ e a $25\,°C$, na Figura 4), nota-se que a curva que corresponde à maior temperatura é mais baixa e tem o ponto máximo deslocado para a direita. Esse deslocamento está associado ao aumento da energia cinética das moléculas, que passam a apresentar maiores velocidades. As curvas apresentam aspectos distintos, mas a área sob elas é igual.

Comparando as curvas para dois gases diferentes na mesma temperatura (como N_2 e H_2, ambos a $25\,°C$, na Figura 4), nota-se que o gás de menor massa molecular adquire velocidades mais altas. Isso é determinado pela equipartição da energia entre as moléculas de gases à mesma temperatura.

Considerando a expressão da energia cinética, $\frac{1}{2} m \cdot v^2$, é compreensível que moléculas de menor massa tendam a apresentar maior velocidade, uma vez que a energia cinética média é a mesma nas duas amostras. Com efeito, a expressão da energia cinética indica que v^2 aumenta na mesma proporção em que m diminui, fato experimentalmente comprovado.

Fundamentado em curvas de distribuição de Maxwell-Boltzamann, você pode explicar a perda da atmosfera de Mercúrio, conforme comentado no item.

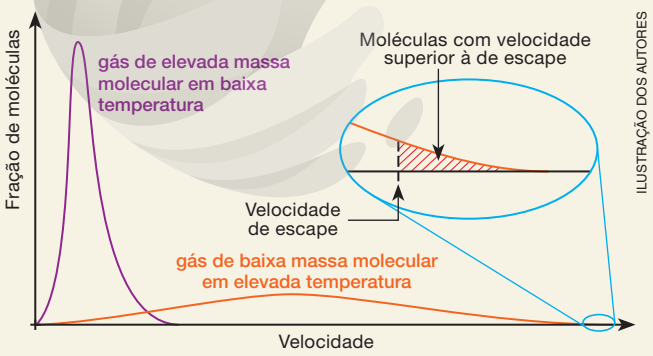


ILUSTRAÇÃO DOS AUTORES

Esquematização da possibilidade de moléculas da atmosfera de um astro apresentarem velocidade superiores à de escape.

Fonte consultada: LEA, S. M.; BURKE, J. R. *Physics*: the nature of things. Saint Paul: Brooks/Cole, 1997.

Se possível, crie condições para que os estudantes explorem o simulador interativo "Propriedades dos gases", disponível em: <https://phet.colorado.edu/sims/html/gas-properties/latest/gas-properties_pt_BR.html>. Acesso em: 16 set. 2020. Oriente-os a selecionar, no menu inicial, a opção "Energia". Por meio da simulação, pode-se verificar como a distribuição energética das moléculas se modifica por aquecimento ou resfriamento da amostra gasosa, possibilitando melhor compreensão da distribuição de Maxwell-Boltzmann.

Para finalizar a abordagem do item, se julgar conveniente, divida a classe em pequenos grupos para leitura do texto e para o levantamento das características dos demais planetas do Sistema Solar que não possibilitaram a origem ou a manutenção da vida. Por meio dessa atividade, os estudantes deverão perceber que a Terra é o único planeta do Sistema Solar que apresenta condições que viabilizam a existência de água em fase líquida, sem a qual não haveria possibilidade de surgimento e evolução da vida (relacione isso ao Capítulo 1).

Dialogando com o texto

A pergunta apresentada no *Dialogando com o texto* reforça a instigação inicial do capítulo e chama a atenção dos estudantes para o fato de que, a essa altura, o capítulo ainda não abordou a explicação. Para conhecimento do docente, o Sol **não** é uma estrela de primeira geração, pois, se fosse, seria constituído apenas de hidrogênio e hélio. O Sol e o Sistema Solar foram formados a partir de restos das explosões de outras estrelas que existiram nessa região da Via Láctea. Isso será apresentado aos estudantes no Item 8.

De olho na BNCC

- **EM13CNT201** • **EM13CNT209** • **EM13CNT302**

Os Itens 1 e 2 possibilitam o desenvolvimento das seguintes habilidades da BNCC: **EM13CNT201**, uma vez que viabilizam analisar e compreender teorias científicas aceitas atualmente sobre o surgimento e a evolução da Vida, da Terra e do Universo; **EM13CNT209**, ao introduzir a ideia de evolução estelar (que será aprofundada mais à frente) e sua relação com as condições necessárias ao surgimento do sistemas solares e planetários, suas estruturas e composições e as possibilidades de existência de vida; e **EM13CNT302**, ao contribuir para que os estudantes comuniquem resultados de análises, interpretando textos, gráficos e tabelas, de modo a participar de debates em torno de temas científicos.

3. Cor e temperatura de estrelas

Em função do que já foi estudado neste volume (Capítulos 8 e 11), é esperado que os estudantes já saibam que a energia solar é proveniente de processos de fusão nuclear. Se for necessário, relembre que esse tipo de fenômeno consiste na união de núcleos com liberação de grande quantidade de energia.

Auxilie os estudantes a interpretar as equações apresentadas no Livro do Estudante, que representam fenômenos nucleares que ocorrem no Sol. Analise cada uma dessas equações fundamentado no balanço das cargas nucleares e no balanço de números de massa. Esteja atento, conforme já

MODERNA

mencionado no Capítulo 11 deste *Suplemento do Professor*, para **NUNCA falar em conservação da massa ao analisar processos nucleares**, uma vez que ela não se conserva.

Verifique se os estudantes são capazes de relacionar essa energia à elevada temperatura das estrelas. Para ilustrar as temperaturas elevadíssimas desses corpos celestes, comente que a temperatura na porção central do Sol é da ordem de 15 milhões de kelvins e, na sua superfície, cerca de 5.800 K. Caso os estudantes não conheçam a escala kelvin, explique-a conforme apresentado no texto do Item 3.

Analise em sala a Figura 9 do Livro do Estudante, a fim de mostrar que a cor de uma estrela está associada à temperatura de sua superfície. Explique que a intensidade das diversas frequências do espectro da luz visível (Capítulo 2) emitidas pela estrela varia em função da temperatura.

Comente a relevância dos trabalhos de Williamina Fleming e Annie Jump Cannon, ambas retratadas no Livro do Estudante, na criação de sistemas classificatórios fundamentados na análise espectral de estrelas, que originaram o conceito de classe espectral. Caso considere oportuno, apresente aos estudantes o episódio 8, intitulado "Irmãs do Sol", da Série *Cosmos: uma odisseia do espaço-tempo* (documentário científico estadunidense de 2014, apresentado pelo astrofísico Neil deGrasse Tyson, que consiste em uma nova edição da série Cosmos, produzida na década de 1980 por Ann Druyan e Carl Sagan). Esse episódio narra a relevância dos trabalhos de Annie Jump Cannon e da astrônoma estadunidense Henrietta Swan Leavitt (1868-1921) na catalogação de estrelas a partir da análise dos espectros luminosos. Mencionando o histórico preconceito às mulheres na área científica, o episódio também retrata as dificuldades vividas pela astrônoma britânica Cecilia Payne (1791-1867), que enfrentou o descrédito de seu próprio orientador acerca de seu trabalho sobre atmosferas estelares, hoje considerado uma relevante produção científica do século XX sobre Astronomia.

Para o docente, recomendamos o interessante artigo a seguir, que aborda estereótipos representacionais da mulher em Ciências: CAMPOS, A. RIBEIRO, L. A. Representação de gênero na divulgação científica: uma análise da série Cosmos. *Journal of Science Communication – América Latina*, v. 2, n. 1, 2019. Disponível em: <https://jcomal.sissa.it/pt-br/02/01/JCOMAL_0201_2019_A02>. Acesso em: 16 set. 2020.

Finalizando a abordagem do item, fale sobre as camadas estruturais do Sol: o núcleo, a zona radiativa, a zona convectiva, a fotosfera e a cromosfera. Analise com os estudantes a esquematização da Figura 10 e a imagem da Figura 11do Livro do Estudante, e fale também sobre as proeminências solares.

Como, possivelmente, esse é o primeiro contato dos estudantes com a estrutura solar, deixe claro que eles não precisam memorizar os nomes das camadas. Ressalte, contudo, que é importante ter uma noção de que o núcleo é a região mais quente onde ocorre a fusão nuclear, e que a fotosfera é uma parte externa e emissora de luz. Retorne à Figura 9 e explique que as temperaturas nela apresentadas referem-se às fotosferas estelares.

4. Protoestrelas e sua massa

Até aqui, o capítulo situou o Sistema Solar na Via Láctea, comentou que uma estrela e os planetas ao seu redor se originam da coalescência de nuvem de material cósmico e apresentou uma noção da estrutura básica de uma estrela, empregando o Sol como modelo. Na sequência, a intenção pedagógica é descrever os eventos de formação de uma estrela (neste item) e de sua permanência na sequência principal (próximo item). A partir disso, será possível explicar como se formaram os elementos até o ferro (Item 6), porque não é possível a síntese de elementos com número atômico acima do dele por fusão nuclear (Item 7), e como se formaram os demais elementos químicos (Item 8).

Defina protoestrela como o estágio anterior ao início da fusão nuclear de uma estrela. Nessa etapa de sua evolução, o corpo celeste ainda tem acréscimos de gás e de poeira cósmica devido à atração gravitacional. Explique, conforme desenvolvimento apresentado no Livro do Estudante, que, dependendo da massa da protoestrela (expressa comparativamente à do Sol), o destino da protoestrela é diferente.

Diferencie três características estelares: a cor (relacionada à temperatura da fotosfera), o brilho (que depende da quantidade de energia que a estrela irradia e da distância a que ela se encontra do observador) e a luminosidade (que corresponde à potência luminosa irradiada, comparada à do Sol). Proponha que os estudantes busquem na internet fotos (não desenhos) das estrelas citadas na tabela a seguir, todas muito mais luminosas que o Sol, e percebam que a coloração está relacionada à classe espectral, não à luminosidade.

Algumas estrelas, suas classes espectrais e luminosidades.

Constelação	Estrela	Classe espectral	Distância da Terra (anos-luz)	Luminosidade (em relação ao Sol)
Touro	Aldebarã	K	65	$3{,}7 \cdot 10^2$
Cruzeiro do Sul	Mimosa	B	353	$3{,}4 \cdot 10^4$
Órion	Betelgeuse	M	427	$4{,}1 \cdot 10^4$
Escorpião	Antares	M	604	$3{,}7 \cdot 10^4$

Fonte: COMINS, N. F.; KAUFMANN III, W. J. *Discovering the Universe*. 8. ed. Nova York: Freeman, 2008.

Destaque aos estudantes que o estudo da evolução estelar possibilita, entre outras coisas, prever se determinada estrela cria condições propícias para a existência de planetas habitáveis e a que faixa de distância esse planeta deveria orbitá-la.

Para conhecimento do docente acerca desse tema, sugerimos a leitura de um capítulo de uma obra sobre Astrobiologia disponibilizada no *site* do Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas da USP: MELLO, G. P. *Planetas habitáveis*: Onde estão os lugares no Universo adequados ao nosso ou outros tipos de vida? (Capítulo 4). *In*: GALANTE, D. *et al.* (org.). *Astrobiologia: uma ciência emergente.* São Paulo: Tikinet, IAG/USP, 2016. Disponível em: <https://www.iag.usp.br/astronomia/sites/default/files/astrobiologia.pdf>. Acesso em: 16 set. 2020. A seu critério, disponibilize essa referência aos estudantes.

EM MODERNA

De olho na BNCC

- **EM13CNT201**
- **EM13CNT209**

Os Itens 3 e 4 possibilitam o desenvolvimento das seguintes habilidades da BNCC: **EM13CNT201**, porque viabilizam analisar e compreender teorias científicas aceitas atualmente sobre o surgimento e a evolução da Terra e do Universo; e **EM13CNT209**, ao tratar da evolução estelar e sua relação com as condições necessárias ao surgimento do sistemas solares e planetários, suas estruturas e composições e as possibilidades de existência de vida.

5. Diagrama H-R

O diagrama de Hertzsprung-Russel, ou diagrama H-R, é um diagrama no qual cada estrela é representada por um ponto cujas coordenadas são determinadas por sua luminosidade e pela temperatura de sua superfície. Ao analisar em sala a Figura 14 do Livro do Estudante, ressalte que, nessa representação, a temperatura aumenta no sentido da direita para a esquerda, e a luminosidade no sentido de baixo para cima. Saliente que, no diagrama HR, as estrelas não se distribuem igualmente, mas se concentram em algumas partes (dados são apresentados no texto do Livro do Estudante).

A maioria das estrelas está em uma faixa diagonal chamada de sequência principal. Ao mostrar essa sequência, comente que as estrelas da sequência principal são aparentadas do Sol. Quanto maior sua massa, maior a temperatura e mais rapidamente acontece a fusão nuclear, emitindo mais luminosidade e sendo mais azuladas. Por outro lado, em estrelas de menor massa, a fusão nuclear é mais lenta, o astro emite menos luz e é mais frio e avermelhado (anã vermelha). Assim, o fator que determina onde uma estrela se localiza na sequência principal é a sua massa.

Ressalte que a posição de uma estrela no diagrama não tem relação alguma com a sua posição no Universo. O posicionamento no diagrama HR apenas indica uma correlação entre sua luminosidade e a temperatura de sua superfície.

Em seguida, diferencie as estrelas gigantes, supergigantes e anãs brancas, pedindo que os estudantes observem, também na Figura 14, a diferença de suas posições no diagrama.

Se considerar oportuno, proponha uma atividade de pesquisa por meio da qual cada estudante deve escolher uma estrela e investigar suas características, como cor, tamanho e temperatura, bem como sua posição no diagrama H-R. Você pode traçar os eixos do diagrama na lousa e cada estudante, em sua vez, apresenta brevemente os resultados que obteve e marca a posição aproximada da estrela no diagrama.

6. Formação de elementos por fusão nuclear

Explique que, após o surgimento de uma estrela, a energia liberada pela fusão nuclear provoca um aumento da pressão em seu interior, tendendo a fazer com que ela se expanda. Já a atração gravitacional atua de forma contrária, tendendo a colapsá-la. Enquanto se mantiver o equilíbrio entre a tendência expansiva e a tendência de contração, a posição da estrela no diagrama H-R se manterá na sequência principal.

O tempo de permanência de uma estrela em seu local na sequência principal vai depender de sua massa. Nesse momento, auxilie os estudantes a analisar a Tabela 2 do Livro do Estudante, cujos dados permitem concluir que as estrelas de maior massa realizam fusão nuclear mais rapidamente, liberando mais energia por unidade de tempo.

Comente que, quando o suprimento de hidrogênio diminui sensivelmente, a pressão interna diminui (porque diminui a taxa de ocorrência da fusão nuclear) e o equilíbrio com a atração gravitacional deixa de existir. Isso provoca contração da estrela (por predomínio da atração gravitacional), aquecendo seu interior, devido à transformação de energia potencial gravitacional em energia cinética de movimento térmico, possibilitando a fusão nuclear de núcleos de hélio em núcleos de carbono. Apresente as equações desse processo e lembre-se de analisá-las sob o ponto de vista do balanço das cargas nucleares e do balanço de números de massa. Relacione esse acontecimento à importância do elemento químico carbono para a vida (Capítulo 4) e lance a pergunta: como átomos de carbono produzidos em uma estrela poderiam chegar a um planeta como o nosso? Esse é mais um questionamento que será respondido no Item 8, com o desfecho da sequência que aborda a síntese dos elementos no Universo.

Explique que, a depender da massa da estrela e do seu estágio evolutivo, outros processos de fusão nuclear podem ocorrer, responsáveis por sintetizar núcleos maiores, como ${}^{16}_{8}\text{O}$, ${}^{20}_{10}\text{Ne}$, ${}^{23}_{11}\text{Na}$, ${}^{24}_{12}\text{Mg}$, ${}^{28}_{14}\text{Si}$, ${}^{31}_{15}\text{P}$ e ${}^{32}_{16}\text{S}$. Também acontecem decaimentos nucleares de alguns dos radionuclídeos produzidos. Saliente que esse processo não prossegue indefinidamente, não tendendo a produzir nuclídeos de massa maior que a do ferro-56 (${}^{56}_{26}\text{Fe}$), por razões que serão vistas a seguir.

7. Curva de energia de ligação por núcleon

Antes de apresentar os aspectos matemáticos desenvolvidos neste item, no Livro do Estudante, você pode começar comentando que, quando um radionuclídeo decai por emissão alfa ou beta, a soma das massas do nuclídeo produzido e da(s) partícula(s) emitida(s) (alfa; beta negativa e antineutrino; beta positiva e neutrino) é ligeiramente menor que a massa do radionuclídeo inicial. Analise essa situação por meio da equação $E = m \cdot c^2$, proposta pelo físico alemão Albert Einstein (1879-1955), que enuncia a relação entre massa (m) e energia (E).

Introduzindo, nessa expressão, o valor m_i da massa do nuclídeo inicial, obteríamos a energia E_i que equivale a ela. Introduzindo um valor m_f que seja a soma das massas do nuclídeo final e da(s) partícula(s) emitida(s), obteríamos a energia E_f equivalente à soma das massas finais.

Ora, como $m_f < m_i$ (constatação experimental), decorre que $E_f < E_i$. Contudo, **o princípio da conservação da energia continua válido**. Então, o que aconteceu com diferença de energia $E_i - E_f$?

Esse é o valor da energia liberada no decaimento radioativo, carreada para fora do núcleo como energia cinética da(s) partícula(s) emitida(s). A energia foi conservada.

REPRODUÇÃO PROIBIDA

A partir desse exemplo, ficará mais compreensível o desenvolvimento do Item 7 do Livro do Estudante. Comece contando que os núcleos dos átomos têm massa menor que seus núcleons (prótons e nêutrons) separados, o que significa que eles são mais estáveis que os respectivos núcleons isolados. Reproduza o cálculo em sala, passo a passo, levando em conta que, nesse caso, além da compreensão qualitativa, a dimensão quantitativa é importante. Certifique-se de que os alunos estão acompanhando as etapas, entendendo o que significam.

Explique que alguns núcleos atômicos são mais estáveis que outros e uma medida dessa estabilidade é a energia de ligação por núcleon. Depois de explicar esse conceito e dizer que ele é geralmente expresso em MeV (magaelétron-volt), compare os valores para hélio-4, ferro-56 e urânio-238. A partir disso, explique a Figura 16, chamando a atenção para a posição desses três nuclídeos no gráfico e analisando o padrão geral indicado pela linha tracejada.

Comente que a curva justifica a ocorrência da fusão nuclear e da fissão nuclear: tanto um processo quanto o outro resultam em nuclídeos mais estáveis porque apresentam maior energia de ligação por núcleon.

Conclua que a consequência importante deste item para o assunto do presente capítulo (origem dos elementos químicos) é que, mesmo nas estrelas muito massivas em que a fusão nuclear produz outros núcleos além do hélio, não há tendência a produzir núcleos de massa superior à do ferro-56. Com isso, a expectativa é deixar os estudantes curiosos por saber como os demais elementos surgiram, e esse é o tema do Item 8, que encerra o capítulo.

8. Formação de elementos por outros processos

Explique, como exposto no Livro do Estudante, que, nos estágios finais de sua evolução, algumas estrelas se transformam em gigantes vermelhas e, posteriormente, explodem e originam anãs brancas. Outras, mais massivas, estão fadadas à transformação em supergigantes e, ulteriormente, a explodirem como supernovas.

As explosões projetam material do interior da estrela, que inclui grande quantidade de nêutrons. Estes colidem com nuclídeos que estejam em sua trajetória, podendo ser absorvidos por eles. Essas capturas neutrônicas produzem nuclídeos de maior massa, alguns dos quais decaem por emissões radioativas, originando outros nuclídeos que absorvem mais nêutrons. Processos dessa natureza sintetizam os núcleos de massa superior à do ferro-56. Além de serem responsáveis pela nucleossíntese, as explosões espalham os átomos pelo Universo, possibilitando que se incorporem a nébulas e entrem na formação de novas estrelas e planetas.

Ao docente, cabe ressaltar que a nucleossíntese de elementos pesados pode seguir diferentes padrões, dependendo, entre outros fatores, da densidade do fluxo de nêutrons emitido na explosão estelar. Dois deles são o processo-*s* (de *slow*, pois a captura neutrônica é lenta se comparada ao decaimento dos produtos) e o processo-*r* (de *rapid*, no qual a captura é célere comparada aos decaimentos dos produtos). No final deste *Suplemento do Professor*, exitem indicações bibliográficas que incluem esses temas.

Não deixe de analisar com os estudantes a Figura 19 do Livro do Estudante, salientando que a abundância dos elementos posteriores (em número atômico) ao ferro é menor, em linhas gerais, que a dos elementos anteriores a ele. Os elementos lítio, berílio e boro têm abundância relativamente pequena, como explicado no item, e parte de sua síntese ocorre por raios cósmicos que chegam ao nosso planeta (tema envolvido na atividade 5 da seção *Atividades finais*).

Ao término do capítulo, espera-se que os estudantes tenham noção dos processos de nucleossíntese e estejam prontos para a *Atividade em grupo*, na qual interpretarão e explicarão a frase de Carl Sagan: "nós somos poeira de estrelas".

Atividade em grupo

Esta *Atividade em grupo* cria oportunidades para que os estudantes reflitam sobre o ciclo de evolução estelar, sintetizem o aprendizado desenvolvido e o compartilhem, em vídeo, com a comunidade.

Essa proposta foi escolhida para encerrar o capítulo porque requer mobilização da estrutura cognitiva para realizar a integração de diversos saberes e a orquestração de múltiplas capacidades, possibilitando o desenvolvimento de diferentes habilidades da BNCC.

De olho na BNCC

- **EM13CNT201** • **EM13CNT209** • **EM13CNT303**
- **EM13CNT205** • **EM13CNT302** • **Competência geral 4**

Os Itens 5 a 8 e a *Atividade em grupo* possibilitam o desenvolvimento das seguintes habilidades da BNCC: **EM13CNT201**, pois envolvem analisar e compreender teorias científicas aceitas atualmente sobre o surgimento e a evolução da Terra e do Universo; **EM13CNT205**, pois requerem interpretar resultados experimentais (diferença de massa entre nuclídeos e seus núcleons isolados) e analisar previsões sobre fenômenos naturais (energia de ligação por núcleon e processos de nucleossíntese em estrelas) reconhecendo que se encontram dentro dos limites explicativos das ciências; **EM13CNT209**, posto que envolvem analisar o ciclo evolutivo das estrelas associando-o aos modelos que explicam a origem e a distribuição dos elementos químicos no Universo, compreendendo suas relações com as condições necessárias ao surgimento de sistemas solares e planetários, suas estruturas e composições e as possibilidades de existência de vida, utilizando representações e simulações, com ou sem o uso de dispositivos e aplicativos digitais; **EM13CNT302**, uma vez que convergem para comunicar, a um público amplo (e não acadêmico) o resultado de análises e pesquisas, interpretando textos, gráficos, símbolos, códigos, sistemas de classificação e equações, por meio de diferentes linguagens, mídias, tecnologias digitais de informação e comunicação (TDIC), de modo a promover a informação da comunidade em torno de um tema científico de relevância sociocultural; e **EM13CNT303**, por requererem interpretar textos de divulgação científica nas diversas mídias, considerando a apresentação dos dados, gráficos, equações, tabelas e a coerência das conclusões, visando construir estratégias de seleção de fontes confiáveis de informações. Também possibilitam o desenvolvimento da **Competência geral 4**, posto que envolvem utilizar diferentes linguagens, bem como conhecimentos das linguagens artística, matemática e científica, para se expressar e partilhar informações.

EM MODERNA

CAPÍTULO 1.
Origens do Universo, do Sistema Solar e da vida na Terra

1 Alternativa E. Entre as características descritas nas alternativas, apenas a síntese de proteínas é comum a todos os seres vivos. Em todas as formas de vida conhecidas (bactérias, arqueas, fungos, protoctistas, animais e plantas), a informação genética codificada no DNA é transcrita em RNA e traduzida em proteínas.

2 Alternativa A. Segundo a teoria autotrófica, os primeiros seres vivos eram quimiolitoautotróficos, ou seja, realizavam quimiossíntese a partir da energia liberada nas reações químicas que ocorriam entre componentes inorgânicos presentes nas rochas. Aproveite a oportunidade para relembrar com os estudantes o que é quimiossíntese e os seres vivos atuais que a utilizam.

3 Alternativa E. Em seus experimentos, Pasteur demonstrou que a presença de microrganismos nos caldos nutritivos nos balões de vidro se dava pela contaminação por microrganismos presentes no ambiente externo (no ar), e não por geração espontânea.

4 Alternativa A. Os experimentos de Redi foram os primeiros a refutar a teoria da abiogênese. No entanto, a abiogênese ressurgiu com a descoberta dos microrganismos. Os experimentos com os caldos nutritivos realizados por John Needham, que supostamente comprovavam a teoria da abiogênese para a origem dos microrganismos, foram posteriormente refutados pelos experimentos de Spallanzani e de Pasteur.

5 Alternativa C. Ao trabalhar com essa atividade, comente com os estudantes a ideia de que a vida em nosso planeta poderia ter sido semeada por corpos celestes que chegaram à Terra transportados por meteoros, asteroides, cometas etc.

CAPÍTULO 2.
Ondas eletromagnéticas e tecnologia das telecomunicações

1 Alternativa C.

O exercício exige a estimativa da área abaixo da curva na região da luz visível e da área total abaixo de toda a curva. Sugerimos que essas áreas sejam aproximadas, respectivamente, em um trapézio e um triângulo. Para o trapézio, teremos as medidas: $B = 4$, $b = 0{,}5$ e $h = 0{,}4$

Sua área será, portanto: $A_{trapézio} = \frac{(4 + 0{,}5)}{2} \cdot 0{,}4 = 0{,}9$

Para o triângulo, temos: $b = 0{,}5$ e $h = 0{,}4$

A área desse triangulo será: $A_{triângulo} = \frac{(1{,}9 \cdot 0{,}4)}{2} = 3{,}8$

A relação entre essas áreas fornece a eficiência luminosa E da lâmpada. Assim:

$E = \frac{0{,}9}{3{,}8} \Rightarrow E \simeq 0{,}24$

Entre as alternativas oferecidas, a mais próxima do valor que encontramos é de 25%.

2 Alternativa A.

Pelo estudo da dispersão da luz, sabemos que a vermelha tem o maior comprimento de onda e sofre o menor desvio em relação à trajetória inicial da luz. Observando as cores citadas, temos que o azul desvia mais, por possuir o menor comprimento de onda.

3 Alternativa A.

O exercício explora as características dos raios X. As regiões claras nas radiografias são regiões onde a radiação praticamente não incidiu (ou em que incidiu com menor intensidade), sendo absorvida pelos tecidos mais densos, os ossos. Convém lembrar aos alunos que nossos ossos são ricos em cálcio, um metal pesado.

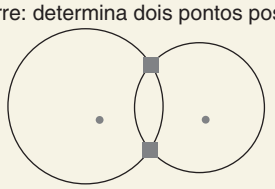
4 Alternativa C.

A posição do celular, em relação a uma única torre, é definida por uma circunferência com centro na torre e raio igual à distância entre esta torre e o celular. Ou seja, com infinitas posições possíveis para o celular. A posição do celular, em relação a duas torres, define duas posições possíveis, pontos de intersecção de duas circunferências.

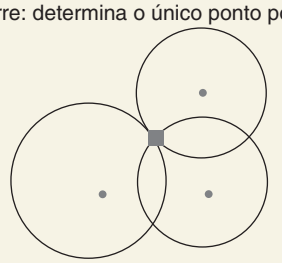
Uma terceira torre será capaz de determinar a posição do celular.

1ª torre: determina distância - **raio**

2ª torre: determina dois pontos possíveis



3ª torre: determina o único ponto possível



ERICSON GUILHERME LUCIANO

A determinação da posição é feita de modo análogo ao de um receptor GPS. Portanto, são necessárias, no mínimo, 3 torres.

5 Alternativa E.

Da Figura 1, observamos que o comprimento de onda mais absorvido é da ordem de 500 nm.

PROVISÓRIA

Pela Figura 2, esse comprimento de onda está representado na faixa da radiação verde. Como o lado oposto a essa cor é a que deu origem a esse espectro, temos a cor vermelha.

CAPÍTULO 3.
Fundamentos da evolução biológica

1 Alternativa D. A teoria da seleção natural é a essência do darwinismo. Nas épocas de Lamarck e Darwin, os conceitos de genética ainda não haviam sido formulados.

2 Alternativa B. Todos os seres vivos apresentam, ao morrer, quantidade conhecida de ^{14}C em sua composição. A técnica de datação analisa quanto deste isótopo se transformou em nitrogênio, considerando a meia-vida do ^{14}C.

3 Alternativa A. A teoria de Darwin admite que os seres vivos mais adaptados ao ambiente têm maior sucesso reprodutivo, e que a adaptação resulta da interação do organismo com o ambiente.

4 Alternativa C. A teoria de Lamarck sugere que as espécies se diversificaram por adaptação ao ambiente, segundo a lei do uso e desuso.

5 Alternativa D. A primeira afirmação é um exemplo da lei do uso e desuso e da herança de caracteres adquiridos, proposta por Lamarck. A segunda afirmação é um exemplo da seleção natural dos indivíduos mais aptos, proposta por Darwin.

6 Resposta pessoal. Espera-se que os alunos concluam que nas ilhas onde habitam as iguanas os cactos mais altos teriam mais chance de se reproduzir e deixar descendentes e, assim, essa característica teria sido selecionada nessa população.

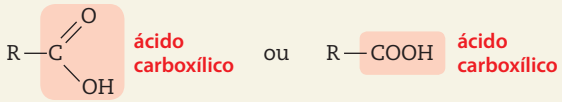
7 Alternativa A. A espécie humana, como as outras, está em constante evolução. Esta leva à modificação de características dos organismos em função de sua adaptação ao contexto ambiental.

8 Alternativa C. A teleologia está alinhada com os conceitos de Lamarck, concordando com a ideia de que as modificações evolutivas ocorrem com finalidade predeterminada.

CAPÍTULO 4.
Classes funcionais orgânicas

1 Alternativa B.

Os ácidos carboxílicos são caracterizados pela presença do grupo funcional carboxila (—COOH). Assim, empregando a letra R para representar o restante da molécula, a fórmula de um ácido carboxílico pode ser escrita assim:



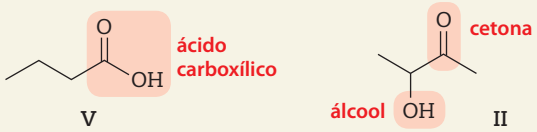
2 Alternativa A.

O eteno ($H_2C{=}CH_2$) é liberado por certas plantas e atua como hormônio vegetal responsável, entre outros eventos, pelo amadurecimento de frutos.

3 Alternativa B.

Como o composto **X** reage com um álcool formando um éster (que é o composto com aroma de abacaxi mencionado), concluímos que **X** deve ser um ácido carboxílico e corresponde, portanto, a **V**.

Como o composto **Y** apresenta os grupos funcionais característicos das cetonas (carbonila ligada a dois átomos de carbono) e dos álcoois (hidroxila ligada a átomo saturado de carbono), corresponde a **II**.

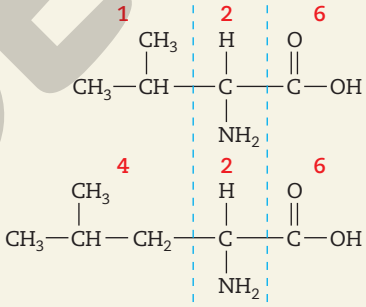


4 Alternativa D.

O amido, o glicogênio e a celulose são polissacarídios cujo monômero é a glicose ($C_6H_{12}O_6$).

5 Alternativa D.

Um α-aminoácido, que é a "unidade fundamental de uma proteína" mencionada no enunciado, apresenta os grupos característicos das classes funcionais ácido carboxílico e amina ligados a um mesmo átomo do elemento químico carbono (chamado carbono alfa), além de um grupo lateral ligado a esse mesmo átomo de carbono. Para montar a estrutura de um aminoácido, há duas combinações possíveis, **1-2-6** e **4-2-6**, das quais apenas uma aparece nas alternativas.



6 Alternativa C.

As carnes são alimentos ricos em proteínas, que são formadas a partir de aminoácidos.

7 Alternativa D.

Glicídios (carboidratos), lipídios, aminoácidos e proteínas são considerados biocompostos.

8 Alternativa D.

Comparando as duas fórmulas estruturais, conclui-se que a molécula da guanina oxidada apresenta um átomo a mais que a molécula de guanina e que esse átomo é do elemento químico oxigênio (O).

CAPÍTULO 5.
Isomeria

1 Alternativa B.

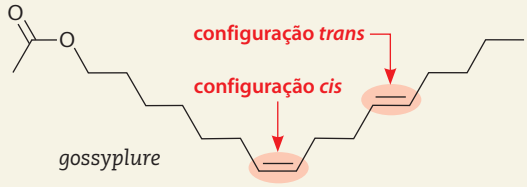
Ao afastar os besouros da plantação, o método reduz a necessidade de aplicar agrotóxicos na lavoura. O processo descrito menciona "atrair os besouros para longe das plantações de cana" e não necessariamente sua eliminação.

MODERNA

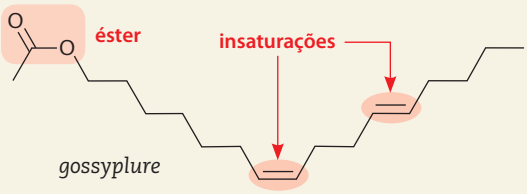
2 Alternativa E.

I. Correta. A fórmula molecular do composto em questão é $C_{18}H_{32}O_2$.

II. Incorreta. O composto apresenta uma ligação com configuração geométrica *cis* e outra com configuração *trans*.

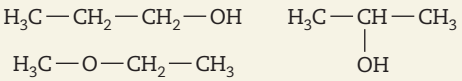


III. Correta. É um éster no qual o grupamento ligado ao átomo de oxigênio do grupo funcional apresenta duas insaturações C=C:



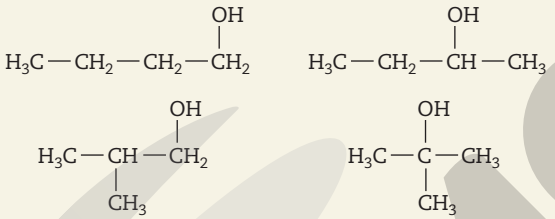
3 Alternativa C.

Os três isômeros constitucionais podem ser representados da seguinte maneira:



4 Alternativa C.

A seguir, estão representadas as fórmulas estruturais do butan-1-ol e dos seus isômeros álcoois.

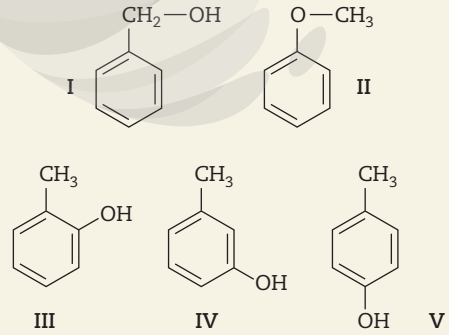


5 Alternativa D.

As fórmulas moleculares são: linalol, $C_{10}H_{18}O$; eugenol, $C_{10}H_{12}O_2$; citronelal, $C_{10}H_{18}O$; e anetol, $C_{10}H_{12}O$. Portanto, os isômeros constitucionais são o linalol e o citronelal.

6 Alternativa A.

As fórmulas estruturais dos cinco isômeros estão representadas a seguir.



Todos apresentam anel benzênico. Nenhum deles é aldeído, pois I é álcool, II é éter e III, IV e V são fenóis. Estes últimos três, por pertencerem à mesma classe funcional, devem apresentar similaridades em suas propriedades químicas.

CAPÍTULO 6.
Gravitação universal

1 **a)** Como não há mais movimento orbital (não há mais órbita), a primeira e a terceira leis não se aplicam mais a essa situação. Porém, a segunda continua valendo, já que o movimento subsequente é retilíneo e uniforme.

b) De acordo com o que foi exposto acima, temos:

$$v_{areolar} = \frac{\Delta A}{\Delta t} = \frac{\frac{1}{2} \cdot \overline{P_1P_2} \cdot \overline{Sx}}{\Delta t} = \frac{1}{2} \cdot \underbrace{v_{MRU}}_{cte.} \cdot \underbrace{\overline{Sx}}_{cte.} = \text{constante}$$

2 Se o peso do astronauta na órbita (que corresponde à força centrípeta que atua sobre ele) se reduz a quatro nonos do peso dele na superfície da Terra, a aceleração centrípeta g' na órbita deve ser também quatro nonos da aceleração da gravidade g na superfície da Terra: $g' = \frac{4}{9} \cdot g$

Assim, temos:

$$\frac{G \cdot M}{(R_T + h)^2} = \frac{4}{9} \cdot \frac{G \cdot M}{R_T^2} \Rightarrow \frac{1}{(R_T + h)^2} = \frac{4}{9} \cdot \frac{1}{R_T^2} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \frac{1}{R_T + h} = \frac{2}{3 \cdot R_T} \Rightarrow 3 \cdot R_T = 2 \cdot R_T + 2 \cdot h \Rightarrow$$

$$\Rightarrow h = \frac{R_T}{2} \therefore h = \frac{6.400 \text{ km}}{2} \Rightarrow h = 3.200 \text{ km}$$

A solução negativa da equação quadrática nos dá: $h = -\frac{5R_T}{2}$, que corresponde à outra extremidade do diâmetro da mesma órbita.

3 Utilizando a lei da gravitação universal, temos:

a) $F_{grav} = P = G \cdot \frac{M_{Terra} \cdot m_{pessoa}}{d^2} \Rightarrow$

$$\Rightarrow F_{grav} = 6{,}7 \cdot 10^{-11} \cdot \frac{6{,}0 \cdot 10^{24} \cdot 100}{(6{,}4 \cdot 10^6)^2}$$

$\therefore F_{grav} \simeq 981{,}45$ N

b) $P = m \cdot g = 100 \cdot 9{,}8 \therefore P = 980$ N

A semelhança entre os valores não é simples coincidência. Se não considerarmos a rotação da Terra, a força gravitacional que atuará sobre a pessoa na superfície terrestre será seu peso.

4 Alternativa B.

Qualquer corpo movendo-se sob a ação da força de atração gravitacional obrigatoriamente tem sua órbita em um plano que contém o centro de atração; nesta questão, o centro de atração é o centro de massa da Terra.

5 **a)** Quadruplicaria. Sendo $g_{superfície} = \frac{GM}{R^2}$, teremos:

$$g'_{superfície} = \frac{GM}{\left(\frac{1}{2}R\right)^2} = 4 \cdot g_{superfície}$$

b) Seria multiplicada por oito: $d = \frac{m}{V} = \frac{m}{\frac{4}{3}\pi R^3} \Rightarrow$

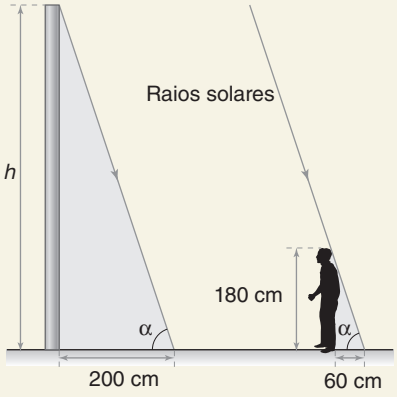
$$\Rightarrow d' = \frac{m}{V} = \frac{m}{\frac{4}{3}\pi\left(\frac{1}{2}R\right)^3} = 8 \cdot \frac{m}{\frac{4}{3}\pi R^3} = 8 \cdot d$$

MODERNA

CAPÍTULO 7.
Óptica geométrica

1 Alternativa B.

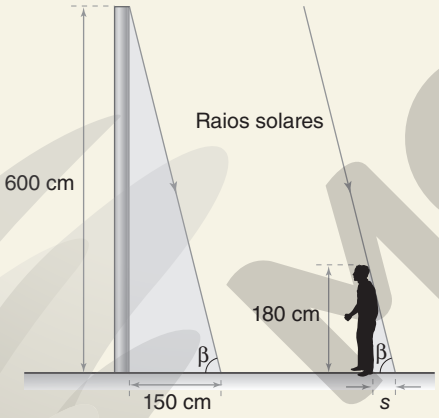
No instante em que a sombra de uma pessoa (que tem 180 cm de altura) mede 60 cm, a sombra de um poste (que tem h cm de altura) mede 200 cm. A figura a seguir ilustra a formação das sombras.



Da semelhança de triângulos, temos:

$$\frac{h}{180} = \frac{200}{60} \therefore h = 600 \text{ cm}$$

Portanto, a altura do poste é 600 cm (sua sombra tem 200 cm). Se, mais tarde, a sombra do poste passou a medir 150 cm (pois diminuiu 50 cm), então, sendo s a medida da nova sombra da mesma pessoa, temos a nova figura com as sombras formadas.



ILUSTRAÇÕES: ADILSON SECCO

Da nova semelhança de triângulos, obtemos:

$$\frac{s}{150} = \frac{180}{600} \therefore s = 45 \text{ cm}$$

2 O exercício consiste, basicamente, em uma conversão de unidades.

Como a luz emitida pela estrela atingiu a Terra depois de 4,5 anos, concluímos que a distância entre a estrela e a Terra, no instante em que a luz foi emitida, é $d = 4{,}5$ anos-luz.

Sendo 1 ano-luz $\simeq 9{,}5 \cdot 10^{12}$ km, temos:

$d \simeq 4{,}5 \cdot 9{,}5 \cdot 10^{12}$ km $\Rightarrow d \simeq 4{,}3 \cdot 10^{13}$ km

3 De $n = \frac{c}{v}$, concluímos que a luz se propaga com velocidade menor no meio de maior índice de refração. Assim, sendo $n_A > n_B$, concluímos que $v_A < v_B$.

Portanto, a luz se propaga com maior velocidade no meio B.

4 Pela lei de Snell-Descartes, podemos escrever:

$n_1 \cdot \text{sen } i = n_2 \cdot \text{sen } r$

Sendo $n_1 = n_{ar} = 1$, $n_2 = n_{líquido} = \sqrt{3}$ e $i = 60°$, temos:

$1 \cdot \text{sen } 60° = \sqrt{3} \cdot \text{sen } r \Rightarrow 1 \cdot \frac{\sqrt{3}}{2} = \sqrt{3} \cdot \text{sen } r \Rightarrow$

$\Rightarrow \text{sen } r = \frac{1}{2} \therefore r = 30°$

5 a) $\text{sen } L = \frac{n_{menor}}{n_{maior}} = \frac{1}{\sqrt{2}} = \frac{\sqrt{2}}{2} \therefore L = 45°$

b) $i = 30° < L = 45°$. Portanto, ocorre refração. Observe que a refração sempre é acompanhada de reflexão. Mas esta não é total.

c) $i = 60° > L = 45°$. Portanto, ocorre reflexão total. Observe que, nessa situação, nenhuma luz refrata.

CAPÍTULO 8.
Noções de Física quântica e Física nuclear

1 Alternativa C.

I. Incorreta. Se a frequência da radiação for inferior à frequência de corte do metal, independentemente da intensidade, não haverá emissão fotoelétrica.

II., III. e IV. Corretas. As afirmações são autoexplicativas.

2 Alternativa E.

I. Correta. X e Y têm o mesmo número atômico α.

II. Correta. X e Z têm o mesmo número de massa m e são denominados isóbaros.

III. Incorreta. O número de nêutrons de X é $m - \alpha$. O número de nêutrons de Z é $m - \beta$. Como $\alpha \neq \beta$, temos $m - \alpha \neq m - \beta$.

IV. Correta. O número de nêutrons de Z é $m - \beta$. O número de nêutrons de W é $m + n - \beta = (m - \beta) + n$, portanto, W tem n nêutrons a mais que Z.

3 Alternativa B.

Há fortes indícios de que a partícula seja o bóson de Higgs. Sua existência foi prevista teoricamente há mais de 60 anos. Portanto, é correta somente a afirmação II.

4 É interessante lembrar aos estudantes que, em qualquer reação nuclear, são conservados o número de massa e o número atômico.

a) A equação dada é: ${}^{235}_{92}U + {}^{1}_{0}n \rightarrow {}^{140}_{a}Ba + {}^{b}_{36}Kr + 2{}^{1}_{0}n$

Para a conservação do número atômico, devemos ter: $92 + 0 = \alpha + 36 + 2 \cdot 0 \Rightarrow a = 56$

b) Para a conservação do número de massa, devemos ter: $235 + 1 = 140 + b + 2 \cdot 1 \Rightarrow b = 94$

5 Alternativa C.

A equação de Einstein para o efeito fotoelétrico $E_{C(máx)} = h \cdot f - W$ é uma função do primeiro grau na frequência f. Portanto, na representação gráfica, a constante universal h será numericamente igual ao coeficiente angular da reta. Por esse motivo, as

MODERNA

retas são paralelas entre si. O mercúrio (Hg) é o metal com maior frequência de corte ($11 \cdot 10^{14}$ Hz); logo, apresenta maior função de trabalho ($W = h \cdot f_{0(Hg)}$) e menor comprimento de onda de corte.

CAPÍTULO 9.
A formação de novas espécies e dos grandes grupos de seres vivos

1 a) A justificativa para classificar *D. pseudobscura* e *D. persimilis* em espécies diferentes reside no isolamento reprodutivo que há entre elas.

b) Trata-se do isolamento reprodutivo etológico ou comportamental, em que a fêmea só aceita o macho se ele realizar corretamente um comportamento padronizado, típico da espécie.

2 Alternativa D. As populações X e Z foram capazes de gerar descendentes férteis quando cruzaram entre si, porém não quando cruzaram com a população Y, indicando que a população Y tornou-se uma espécie diferente.

3 Alternativa E. A afirmação I está incorreta, pois o modelo A representa a especiação por anagênese, que não envolve isolamento geográfico.

4 Alternativa C. O surgimento de animais de grande porte pode ser explicado em razão da atmosfera rica em gás oxigênio. Devido ao seu tamanho, esses animais precisariam consumir uma grande quantidade de gás oxigênio para realizar suas funções metabólicas.

CAPÍTULO 10.
A evolução humana

1 Alternativa A. É importante reafirmar que nenhuma espécie atual de macaco foi ancestral da espécie humana.

2 Resposta pessoal. Reforce com os estudantes que, durante a pesquisa, evitem fazer julgamento de respostas que eventualmente sejam divergentes do conhecimento científico atual ou da opinião deles. Neste tipo de pesquisa é essencial manter uma postura neutra e respeitosa com os entrevistados.

3 Alternativa D. O maior desenvolvimento de musculatura nos membros inferiores teria favorecido o bipedalismo, que, por sua vez, possibilitou maior liberdade para as mãos. O bipedalismo tem, portanto, relação com uma maior manipulação de objetos e fabricação de ferramentas mais complexas.

4 Alternativa A. Os chimpanzés têm 48 cromossomos, dois a mais que os seres humanos. Acredita-se que isso ocorre porque, em um ancestral de nossa espécie, dois pares de cromossomos teriam se fundido originando o cromossomo 2 humano.

5 Alternativa D. Se necessário, auxilie os estudantes na interpretação do gráfico, ressaltando que cada traço no eixo horizontal representa um período de 10 milhões de anos.

CAPÍTULO 11.
Radioatividade

1 Alternativa D.

Tempo total transcorrido $= 5 \cdot t_{1/2}$

$1{,}00\ g \xrightarrow{t_{1/2}} 0{,}500\ g \xrightarrow{t_{1/2}} 0{,}250\ g \xrightarrow{t_{1/2}} 0{,}125\ g \xrightarrow{t_{1/2}} 0{,}0625\ g \xrightarrow{t_{1/2}} 0{,}03125\ g$

Expressa com três algarismos significativos, a massa final é 31,3 mg.

2 Polônio-208:

Tempo total transcorrido $= 12$ anos $= 4 \cdot 3$ anos

Tempo total transcorrido $= 4 \cdot t_{1/2}$

A massa inicial deve ser, portanto, 800 mg:

$800\ mg \xrightarrow{t_{1/2}} 400\ mg \xrightarrow{t_{1/2}} 200\ mg \xrightarrow{t_{1/2}} 100\ mg \xrightarrow{t_{1/2}} 50\ mg$

Radio-224:

Tempo transcorrido $= 12$ anos $= 2 \cdot 6$ anos

Tempo transcorrido $= 2 \cdot t_{1/2}$

A massa inicial deve ser, portanto, 200 mg:

$200\ mg \xrightarrow{t_{1/2}} 100\ mg \xrightarrow{t_{1/2}} 50\ mg$

Massa inicial total $= 800\ mg + 200\ mg = 1.000\ mg$

As equações dos processos de decaimento são:

$$^{208}_{84}Po \rightarrow {}^{4}_{2}\alpha + {}^{204}_{82}X$$

$$^{224}_{88}Ra \rightarrow {}^{0}_{-1}\beta + {}^{224}_{89}Y$$

Consultando os números atômicos na tabela periódica, temos:

Z = 82 corresponde ao elemento químico chumbo (Pb);

Z = 89 corresponde ao elemento químico actínio (Ac).

Portanto, no decaimento do Po-208 forma-se $^{204}_{82}Pb$ e, no decaimento do Ra-224, forma-se $^{224}_{89}Ac$.

3 Alternativa B.

$$^{237}_{93}Np \rightarrow x\,{}^{4}_{2}\alpha + y\,{}^{0}_{-1}\beta + {}^{209}_{83}Bi$$

Balanço de números de massa:

$237 = 4x + 209 \Rightarrow x = 7$

Balanço das cargas nucleares:

$93 = 14 - y + 83 \Rightarrow y = 4$

Assim, foram emitidas 7 partículas α e 4 partículas β.

4 Alternativa B.

$$^{1}_{0}n + {}^{235}_{92}U \rightarrow {}^{144}_{55}Cs + {}^{A}_{Z}T + 2\,{}^{1}_{0}n$$

Balanço de números de massa:

$1 + 235 = 144 + A + 2 \Rightarrow A = 90$

Balanço das cargas nucleares:

$0 + 92 = 55 + Z + 0 \Rightarrow Z = 37$

5 Alternativa D.

$100\% \xrightarrow{t_{1/2}} 50\% \xrightarrow{t_{1/2}} 25\%$

Tempo total transcorrido $= 2 \cdot t_{1/2} = 2 \cdot 5.730$ anos

Tempo total transcorrido $= 11.460$ anos

6 Alternativa A.

Ainda que a quantidade total de resíduos seja pequena, se comparada a outros tipos de rejeitos, o lixo nuclear precisa ficar acondicionado de forma segura, por milhares de anos, até que deixe de emi-

MODERNA

tir radiação em níveis perigosos. Não há como interromper artificialmente o decaimento radioativo dos radioisótopos presentes no lixo nuclear.

7 Alternativa D.

A geração de energia por meio de reações nucleares não produz gases de efeito estufa. No entanto, no caso de um acidente, as consequências são graves, pois um alto nível de emissão de radioatividade pode ocasionar grandes prejuízos à saúde humana e ao meio ambiente. Assim, os dois argumentos são válidos ao ponderar sobre vantagens e riscos dessa modalidade de geração de energia.

CAPÍTULO 12.
Origem dos elementos químicos

1 Alternativa D.

O trecho do artigo apresenta argumentos que corroboram a teoria de que a maioria dos elementos químicos foi formada por processos nucleares relacionados à evolução estelar. Primeiramente, ele se refere ao fato de que transformações nucleares ocorrem rotineiramente no interior de estrelas. Em segundo lugar, ele menciona que a distribuição dos elementos químicos no Universo precisa estar atrelada a mecanismos que espalhem seus átomos pelo Cosmo e argumenta que as explosões de supernovas são, provavelmente, o mais eficiente dos mecanismos para provocar esse espalhamento.

2 Alternativa C.

O núcleo do isótopo ferro-56 é, de todos os núcleos atômicos, o que apresenta a maior energia de ligação por núcleon, ou seja, é o mais estável em relação aos núcleons isolados. Assim, sua formação é possível em processos de fusão nuclear, desde que a temperatura do núcleo estelar seja suficientemente alta, o que pode ocorrer em estrelas com massa muito elevada. Nosso Sistema Solar originou-se de uma nébula que continha restos da explosão de estrelas que existiram antes de sua formação e explodiram como supernovas. Assim, os átomos do elemento químico ferro existentes na Terra já existiam quando o planeta se formou.

3 Para resolver, consideramos o balanço de números de massa e o balanço de cargas nucleares.

Primeiro processo:

$$^{12}_{6}C + {}^{12}_{6}C \rightarrow {}^{b}_{a}X + {}^{0}_{0}\gamma$$

Balanço de números de massa:

$12 + 12 = b + 0 \Rightarrow b = 24$

Balanço das cargas nucleares:

$6 + 6 = a + 0 \Rightarrow a = 12$

Procurando, na tabela periódica, o elemento de número atômico 12, encontramos o magnésio. Assim, concluímos que X é o nuclídeo $^{24}_{12}Mg$.

Segundo processo:

$$^{12}_{6}C + {}^{12}_{6}C \rightarrow {}^{d}_{c}Y + {}^{1}_{1}H$$

Balanço de números de massa:

$12 + 12 = d + 1 \Rightarrow d = 23$

Balanço das cargas nucleares:

$6 + 6 = c + 1 \Rightarrow c = 11$

Procurando, na tabela periódica, o elemento de número atômico 11, encontramos o sódio. Assim, concluímos que Y é o nuclídeo $^{23}_{11}Na$.

Terceiro processo:

$$^{12}_{6}C + {}^{12}_{6}C \rightarrow {}^{f}_{e}Z + {}^{4}_{2}He$$

Balanço de números de massa:

$12 + 12 = f + 4 \Rightarrow f = 20$

Balanço das cargas nucleares:

$6 + 6 = e + 2 \Rightarrow e = 10$

Procurando, na tabela periódica, o elemento de número atômico 10, encontramos o neônio. Assim, concluímos que Z é o nuclídeo $^{20}_{10}Ne$.

Quarto processo:

$$^{12}_{6}C + {}^{12}_{6}C \rightarrow {}^{h}_{g}W + 2\,{}^{4}_{2}He$$

Balanço de números de massa:

$12 + 12 = h + 2 \cdot 4 \Rightarrow h = 16$

Balanço das cargas nucleares:

$6 + 6 = g + 2 \cdot 2 \Rightarrow g = 8$

Procurando, na tabela periódica, o elemento de número atômico 8, encontramos o oxigênio. Assim, concluímos que W é o nuclídeo $^{16}_{8}O$.

4 **a)** Cada seta roxa indica um processo em que ocorre aumento de um nêutron sem alteração de número atômico. Assim, cada uma dessas setas representa uma captura neutrônica.

b) $^{128}_{54}Xe + {}^{1}_{0}n \rightarrow {}^{129}_{54}Xe$

c) Cada seta laranja indica um decaimento beta, pois ocorre diminuição de um nêutron e aumento de um próton.

d) $^{139}_{56}Ba \rightarrow {}^{139}_{57}La + {}^{0}_{-1}\beta$

5 Primeiro processo:

$$^{1}_{1}p + {}^{12}_{6}C \rightarrow {}^{b}_{a}X + {}^{3}_{2}He + {}^{1}_{1}p$$

Balanço de números de massa:

$1 + 12 = b + 3 + 1 \Rightarrow b = 9$

Balanço de números de massa:

$1 + 6 = a + 2 + 1 \Rightarrow a = 4$

Procurando, na tabela periódica, o elemento de número atômico 4, encontramos o berílio. Assim, concluímos que X é o nuclídeo $^{9}_{4}Be$.

Segundo processo:

$$^{1}_{1}p + {}^{12}_{6}C \rightarrow {}^{d}_{c}Y + 2\,{}^{1}_{1}p$$

Balanço de números de massa:

$1 + 12 = d + 2 \cdot 1 \Rightarrow d = 11$

Balanço de números de massa:

$1 + 6 = c + 2 \cdot 1 \Rightarrow c = 5$

Procurando, na tabela periódica, o elemento de número atômico 5, encontramos o boro. Assim, concluímos que Y é o nuclídeo $^{11}_{5}B$.

MODERNA

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS COMPLEMENTARES DO VOLUME

Capítulo 1 – Origens do Universo, do Sistema Solar e da vida na Terra

Cosmos. Direção: Adrian Malone, Richard J. Wells. Estados unidos: KCET e Carl Sagan Productions, 1980. 4 DVDs (780 min).

Cosmos: uma odisseia no espaço-tempo. Direção: Brannon Braga, Bill Pope, Ann Druyan. Estados Unidos: Cosmos Studios, Fuzzy Door Productions, 2014. 13 episódios (44 min).

A série *Cosmos*: uma odisseia no espaço-tempo é um documentário científico apresentado pelo astrônomo estadunidense Neil de Grasse Tyson (1958-). É uma regravação da série Cosmos apresentada pelo astrônomo estadunidente Carl Sagan (1934-1996) em 1980, sobre astronomia e a origem do Universo.

PION. *A origem do Universo*: teoria do big bang. Disponível em: <http://www.sbfisica.org.br/v1/portalpion/index.php/materiais-didaticos/64-a-origem-do-universo-teoria-do-big-bang>. Acesso em: 14 ago. 2020.

O vídeo explica de maneira didática a origem do Universo e a teoria do *big bang*.

SANTOS, T. J. dos. *A origem dos elementos químicos*: da grande explosão às estrelas. Universidade Federal de Minas Gerais. Observatório Astronômico Frei Rosário. Disponível em: <http://www.observatorio.ufmg.br/pas36.htm>. Acesso em: 14 ago. 2020.

Caso queira saber mais sobre a origem dos elementos químicos, o texto é uma boa opção.

Capítulo 2 – Ondas eletromagnéticas e tecnologia das telecomunicações

Relacionamos, a seguir, *sites* em idioma estrangeiro que abordam conteúdos trabalhados neste capítulo. Se os estudantes compreenderem o idioma, indique-os a eles. Em muitos casos, é possível promover um trabalho interdisciplinar com o professor do idioma.

- **Tour of the Electromagnetic Spectrum**

<https://science.nasa.gov/ems/>. Acesso em: 12 ago. 2020.

Essa página, mantida pela Nasa, traz diversos materiais educativos sobre o espectro eletromagnético, sendo possível obter mais informações sobre cada frequência do espectro. Na guia *Download EMS BOOK*, pode-se acessar um livro ilustrado e gratuito sobre as aplicações do espectro às missões da Nasa e consultar uma tabela que relaciona as faixas do espectro de telescópios/sondas das missões da Nasa.

- **Astrobiology Math Educator Guide – NASA STEM**

<https://www.nasa.gov/audience/foreducators/topnav/materials/listbytype/Astrobiology_Math.html>. Acesso em: 12 ago. 2020.

Essa página, mantida pela Nasa, traz diversos materiais educativos sobre as relações de astrobiologia e STEM *(Ciência, Tecnologia, Engenharia e Matemática*, em português), especificamente, disponibiliza uma sequência de aulas sobre a temática, com diversas atividades.

OLIVEIRA LEITE, D. de; PRADO, R. J. Espectroscopia no infravermelho: uma apresentação para o Ensino Médio. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, v. 34, n. 2, p. 2504, 2012. Disponível em: <http://sbfisica.org.br/rbef/pdf/342504.pdf>. Acesso em: 12 ago. 2020.

O artigo apresenta uma proposta de ensino para auxiliar os professores a abordar a técnica de espectroscopia no infravermelho, oferecendo uma rica discussão sobre caracterização, identificação de espectro e aplicabilidade da técnica em diversas áreas das ciências.

Laboratório de Pesquisa em Ensino de Física da Faculdade de Educação da USP. Bloco VIII Espectroscópica. *Transposição das Teorias Modernas e Contemporâneas para a Sala de Aula*. Disponível em: <http://www.sef.usp.br/wp-content/uploads/sites/293/2016/05/Bloco-VIII-Espectroscopia.pdf>. Acesso em: 12 ago. 2020.

O documento elaborado por um grupo de pesquisa em ensino de Física traz uma sequência didática sobre o tema de espectroscopia, além de textos sobre os espectros e a composição de lâmpadas a vapor, incandescentes e fluorescentes.

FEYNMAN, R. P. *Lectures on Physics*. Nova York: Basic Books, 2011. v. III.

Transcrito a partir de aulas ministradas pelo físico Richard Feynman, na universidade de Caltech, na Califórnia - EUA (anos de 1962 e 1963), o conjunto de três volumes, Lectures on Physics, é conhecido mundialmente como o recurso clássico para físicos e estudantes da disciplina, variando dos princípios mais básicos da física newtoniana, até teorias como a relatividade geral, supercondutividade e mecânica quântica de Einstein.

Capítulo 3 – Fundamentos da evolução biológica

DW Brasil. *O que Charles Darwin viu no Brasil*. Disponível em: <https://www.dw.com/pt-br/o-que-charles-darwin-viu-no-brasil/a-39837311>. Acesso em: 25 jun. 2020.

A reportagem comenta algumas observações feitas por Darwin em sua passagem pelo Brasil, durante a expedição que fez pelo mundo a bordo do navio *Beagle*.

UNIVERSIDADE de São Paulo. Instituto de Biociências. *Mecanismos:* os processos da evolução. Disponível em: <https://evosite.ib.usp.br/evo101/IIIMechanisms.shtml>. Acesso em: 25 jun. 2020.

O portal do Instituto de Biociências da Universidade de São Paulo traz explicações, exemplos e atividades sobre o tema da evolução.

MODERNA

Capítulo 4 – Classes funcionais orgânicas

ALVES, H. M. A diversidade química das plantas como fonte de fitofármacos. *Cadernos temáticos de Química Nova na Escola*, n. 3, 2001. p. 10-15.

O autor desses cadernos mostra como o estudo químico dos produtos naturais pode contribuir para a produção de compostos biologicamente ativos, principalmente com atividade farmacológica.

ATKINS, P. W. *Moléculas*. São Paulo: Edusp, 2006.

Livro de divulgação científica em que o autor relaciona 160 substâncias, seus modelos moleculares, suas aplicações, propriedades, ocorrência e importâncias no cotidiano. Fornece ao professor subsídio para a preparação de aulas, pois nele encontrará vários fatos interessantes sobre algumas das principais substâncias químicas. A maior parte das substâncias citadas é orgânica.

CORREIA, P. R. M., DAZZANI, M., MARCONDES, M. E. R.; TORRES, B. B. A Bioquímica como ferramenta interdisciplinar: vencendo o desafio da integração de conteúdos no Ensino Médio. *Química Nova na Escola*, n. 19, 2004. p. 19-23.

Artigo que propõe uma abordagem interdisciplinar de temas relacionados à Bioquímica como recurso para favorecer a integração de conteúdos, evitar uma visão fragmentada do conhecimento e expor os estudantes à complexidade do processo de geração do conhecimento.

DIAS, S. M.; SILVA, R. R. Perfumes, uma Química inesquecível. *Química Nova na Escola*, n. 4, 1996. p. 3-6.

Esse artigo contém uma série de informações sobre perfumes e apresenta várias fórmulas estruturais de componentes de óleos essenciais e de fragrâncias artificiais.

FIORUCCI, A. R.; SOARES, M. H. F. B.; CAVALHEIRO, E. T. G. Ácidos orgânicos: dos primórdios da Química experimental à sua presença em nosso cotidiano. *Química Nova na Escola*, n. 15, 2002. p. 6-10.

Artigo rico em informações e que pode ser útil ao docente para a contextualização do ensino da classe funcional dos ácidos carboxílicos.

FRANCISCO JR., W. E. Carboidratos: estrutura, propriedades e funções. *Química Nova na Escola*, n. 29, 2008. p. 8-13.

O artigo reporta as principais propriedades e funções dos carboidratos, bem como traz sugestões de atividades experimentais para o estudo de algumas de suas propriedades.

RETONDO, C. G.; FARIA, P. *Química das sensações*. 4. ed. Campinas: Átomo, 2014.

O livro perpassa as sensações humanas, como são captadas e interpretadas, dando destaque ao papel das substâncias e reações químicas envolvidas. Como a maioria das substâncias apresentadas é orgânica, o livro é útil para a preparação de aulas e questões de Química Orgânica.

RODRIGUES, J. L. *et al*. Uma abordagem alternativa para o ensino da função álcool. *Química Nova na Escola*, n. 12, 2000. p. 20-23.

O artigo apresenta uma abordagem alternativa para despertar o interesse dos estudantes do Ensino Médio pelo estudo da função álcool.

Capítulo 5 – Isomeria

COELHO, F. A. C. Fármacos e quiralidade. *Química Nova na Escola*, n. 3, 2001. p. 23-32.

Neste artigo, é discutida a relação entre a quiralidade e a atuação de fármacos com centros quirais.

ELY, F.; HAMANAKA, M. H. M. O.; MAMMANA, A. P. Cristais líquidos colestéricos: a quiralidade revela suas cores. *Química Nova*, v. 30, n. 7, 2007. p. 1.776-1.779.

Este artigo traz informações sobre o funcionamento dos termômetros de cristal líquido que indicam a temperatura por mudança de cor. O funcionamento tem relação com a utilização de polarizadores de luz.

FERREIRA, J. T. B.; ZARBIN, P. H. G. Amor ao primeiro odor: a comunicação química entre os insetos. *Química Nova na Escola*, n. 7, 1998. p. 3-6.

Esse artigo apresenta a classificação dos feromônios segundo suas funções, dá exemplos de estruturas e comenta aplicações dessas substâncias. Dentre os exemplos, vários apresentam isomeria geométrica.

FRAGA, C. A. M. Razões da atividade biológica: interações micro e biomacromoléculas. *Cadernos temáticos de Química Nova na Escola*, n. 3, 2001. p. 33-42.

O autor discute a interação de um fármaco com seu sítio de ação, destacando o papel da configuração espacial do fármaco e de seu sítio de ação.

PILLI, R. A. Catálise assimétrica e o Prêmio Nobel de Química de 2001. Novos paradigmas e aplicações práticas. *Química Nova na Escola*, n. 14, 2001. p. 16-24.

Esse artigo faz uma revisão dos trabalhos dos ganhadores do Nobel de Química de 2001, William Knowles, Barry Sharpless e Ryoji Noyori, que desenvolveram métodos para produção em escala industrial de substâncias quirais em forma enantiomericamente pura. Tais processos têm aplicação, entre outras, nas áreas de fármacos, agroquímicos e fragrâncias.

QUADROS, A. L. Os feromônios e o ensino de Química. *Química Nova na Escola*, n. 7, 1998. p. 7-10. (Veja também errata no n. 8, p. 41.)

A autora apresenta uma abordagem do tema *feromônios* no Ensino Médio. O artigo inclui diversos exemplos de fórmulas estruturais dessas substâncias, algumas das quais apresentam isomeria geométrica.

Capítulo 6 – Gravitação universal

- **Telescópios na escola**

Disponível em: <http://www.telescopiosnaescola.pro.br/>. Acesso em: 9 ago. 2020.

O projeto "Telescópios na escola" conta com um grupo de oito instituições acadêmicas que, em parceria com escolas de Ensino Médio e Fundamental e sob a coordenação do IAG/USP, implantou um programa piloto de estudos.

MODERNA

No *site*, você encontra instruções para participar do projeto com os estudantes e para fazer capacitações para o seu enriquecimento acadêmico.

- **Internacional Spot Station (Estação Espacial Internacional)**

Disponível em: <https://spotthestation.nasa.gov/>. Acesso em: 9 ago. 2020.

O *site* da Nasa está em inglês e mantém vários *links* que auxiliam professores, estudantes e crianças a entender um pouco mais sobre o espaço. Uma sugestão de acesso é o *Spot the Station,* nesse endereço, você pode fazer um cadastro e receber as informações necessárias para visualizar a estação espacial quando ela estiver passando pela sua cidade. Isso permite desafiar os estudantes a visualizar o objeto e contar aos colegas sobre essa experiência.

- **Missão Kepler – Nasa**

Disponível em: <https://astrobiology.nasa.gov/missions/kepler/>. Acesso em: 9 ago. 2020.

O *site* está em inglês e possui vários *links* que auxiliam professores e estudantes a obter mais informações sobre a missão Kepler na busca por exoplanetas.

GALANTE, D. *et al*. *Astrobiologia:* uma ciência emergente. 2016. Disponível em: <https://sites.google.com/usp.br/livro-astrobiologia>. Acesso em: 9 ago. 2020.

O livro é uma coletânea de diversos textos sobre astrobiologia, um dos primeiros e mais completos livros em português sobre o tema. É possível ter acesso a conteúdos relacionados à zona habitável e à missão Kepler.

GOODSTEIN, D.; GOODSTEIN, J. *Feynman's Lost Lecture*. Nova York: Vintage, 1999.

A obra baseada em aula ministrada por Richard Feynman. A restauração das notas de aula e a conversão em livro foram realizadas por David L. Goodstein e Judith R. Goodstein. Na lição, Feynman trata de geométrica elementar da primeira lei de Kepler, com geometria do ensino médio, explicando a órbita dos planetas em torno do Sol de forma elíptica e não em círculos perfeitos; fato que surpreendeu muitos pensadores como Newton.

LOPES, I. C. Giordano Bruno: entre o geocentrismo e o heliocentrismo. *Griot:* Revista de Filosofia, v. 9, n. 1, p. 1-25, 2014. Disponível em: <http://www3.ufrb.edu.br/seer/index.php/griot/article/view/603/319>. Acesso em: 9 ago. 2020.

O artigo traz uma discussão cosmológica sobre os filósofos do século XVI, visando investigar a posição adotada por Giordano Bruno diante do contexto partidário entre os modelos aristotélico-ptolomaico e os copernicanos (heliocêntrico).

Capítulo 7 – Óptica geométrica

FAQ for Scientists – JWST NASA

Disponível em: <https://www.jwst.nasa.gov/content/forScientists/faqScientists.html>. Acesso em: 13 ago. 2020.

Essa página, em inglês, mantida pela Nasa, apresenta diversas perguntas e resposta sobre o Telescópio James Webb. É um recurso confiável para procurar mais informações sobre este telescópio.

Build it yourself – JWST NASA

Disponível em: <https://www.jwst.nasa.gov/content/features/educational/buildItYourself/index.html>. Acesso em: 13 ago. 2020.

Essa página, em inglês, mantida pela Nasa, possui um *game* em que o usuário seleciona características científicas, como tipos de objetos astrofísicos que deseja observar, alcance dos comprimentos de onda, entre outros, para construir seu satélite. O jogo retorna como ele é e qual missão real possui as características semelhantes às que o usuário selecionou.

Câmara escura com lente

Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=yZlt8VgjKdc>. Acesso em: 13 ago. 2020.

Com este vídeo em português, aprenda a fazer uma câmara escura com lente.

HEWITT, P. G. *Física conceitual*. 12. ed. Porto Alegre: Bookman, 2015.

O livro aborda conceitos e princípios básicos da Física em geral, especificamente possui um capítulo dedicado à Óptica, por meio de uma boa abordagem conceitual e com uma gama de exercícios qualitativos e quantitativos.

NEWTON, I.; ASSIS, A. K. T. *Óptica*. Edusp, 2002.

O livro é uma tradução da obra clássica de Isaac Newton, que aborda as principais descobertas dele relacionadas à Óptica e ao caráter dual da luz.

Capítulo 8 – Noções de Física quântica e Física nuclear

- **Photoelectric Effect – PhET Simulations**

<https://phet.colorado.edu/pt_BR/simulation/photoelectric>. Acesso em: 10 ago. 2020.

Essa página, mantida pela Universidade do Colorado, possui diversos simuladores. O simulador em questão trabalha com o efeito fotoelétrico e tem opção de idioma em português.

- **Modelo-padrão das partículas elementares – SPRACE-BR**

<https://sprace.org.br/aventuradasparticulas/chart_frame.html>. (Acesso em: 10 ago. 2020.)

Essa página, mantida pelo grupo Sprace-Brasil, possui amplo material em Física de partículas. O *link* em questão é um pôster com um diagrama explicativo do modelo padrão das partículas elementares e suas interações, com a opção de ampliar os conteúdos e de *download* do pôster completo. Opção de idioma em português.

BELL, S. J. *Little green men, white dwarfs or pulsars?*. Annals of the New York Academy of Science, v. 302, p. 685-689, 1977. Disponível em: <http://www.bigear.org/CSMO/PDF/CS01/cs01p16.pdf>. Acesso em: 10 ago. 2020.

O artigo, em inglês, é referente à transcrição do discurso feito por Jocely Bell por sua descoberta do primeiro pulsar.

EYNMAN, R. P. *Lectures on Computation*. Nova York: CRC Press, 2018.

A partir de um curso de computação no California Institute of Tecnology, Richard P. Feynman pediu a Tony Hey para adaptar suas notas de aula em um livro. O curso contava com alguns dos nomes mais brilhantes da ciência da época. A maior parte do material utilizado nas palestras é atemporal, com uma visão geral de muitos tópicos da ciência da computação.

PINTO, A. C.; ZANETIC, J. *É possível levar a física quântica para o Ensino Médio?*. Caderno Brasileiro de Ensino de Física, v. 16, n. 1, p. 7-34, 1999. Disponível em: <http://www.periodicos.ufsc.br/index.php/fisica/article/viewFile/6873/6333>. Acesso em: 10 ago. 2020.

Capítulo 9 – A formação de novas espécies e dos grandes grupos de seres vivos

BRANCO, P. de M. *Breve história da Terra*. Serviço Geológico do Brasil. Disponível em: <http://www.cprm.gov.br/publique/Redes-Institucionais/Rede-de-Bibliotecas---Rede-Ametista/Breve-Historia-da-Terra-1094.html>. Acesso em: 03 jul. 2020.

Texto sobre a história geológica da Terra, com acontecimentos e aspectos evolutivos dos seres vivos.

CRIADO, M. Á. Assim foi o primeiro dia na Terra depois do asteroide que acabou com os dinossauros. *El País Brasil*. 10 set. 2019. Disponível em: <https://brasil.elpais.com/brasil/2019/09/09/ciencia/1568041613_749340.html>. Acesso em: 3 jul. 2020.

O texto apresenta as informações de um estudo que reconstruiu o que teria supostamente se passado há cerca de 66 milhões de anos, após o impacto de um asteroide.

GOULD, S. J. *Vida Maravilhosa*. 1. ed. São Paulo: Companhia das Letras, 1990.

O livro, escrito pelo biólogo e paleontólogo estadunidense Stephen Jay Gould (1941-2002), retrata a história da vida na Terra com base na descoberta dos fósseis de Burgess Shale (1909), que acarretou uma completa revisão interpretativa dos primórdios da história evolutiva dos animais.

GRESHKO, M. Fósseis podem revelar o dia exato em que os dinossauros morreram. *National Geographic Brasil*. 09 abr. 2019. Disponível em: <https://www.nationalgeographicbrasil.com/historia/2019/04/fosseis-fossil-dinossauro-extincao-morte-asteroide-cretaceo-eua-paleontologia-sitio-ciencia>. Acesso em: 3 jul. 2020.

O texto apresenta resultados de estudos recentes em um sítio paleontológico nos Estados Unidos.

MEDIAVILLA, D. E se um asteroide não tivesse aniquilado os dinossauros? *El País Brasil*.16 set. 2019. Disponível em: <https://brasil.elpais.com/brasil/2019/09/13/ciencia/1568381767_417077.html>. Acesso em: 3 jul. 2020.

O texto aborda cenários possíveis se os dinossauros não tivessem se extinguido há cerca de 66 milhões de anos.

MOON, P. O destino dos mamíferos após a extinção dos dinossauros. *Jornal da Unicamp*. 3 jan 2019. Disponível em: <https://www.unicamp.br/unicamp/ju/noticias/2018/12/21/o-destino-dos-mamiferos-apos-extincao-dos-dinossauros>. Acesso em: 3 jul. 2019.

O artigo apresenta estudos sobre a dinâmica de diversificação dos mamíferos após a suposta extinção em massa do fim do Cretáceo.

UNIVERSIDADE de São Paulo. Instituto de Biociências. *Introdução à evolução*. Disponível em: <https://evosite.ib.usp.br/evo101/IIntro.shtml>. Acesso em: 3 jul. 2020.

O texto é uma fonte confiável de pesquisa sobre evolução.

Capítulo 10 – A evolução humana

BAIMA, C. Luzia, o mais antigo fóssil humano brasileiro, teria um rosto diferente do que se pensava. *O Globo*. 8 nov. 2018. Disponível em: <https://oglobo.globo.com/sociedade/luzia-mais-antigo-fossil-humano-brasileiro-teria-um-rosto-diferente-do-que-se-pensava-23221026>. Acesso em: 2 jul. 2020.

O artigo apresenta as mais recentes descobertas a respeito do povo a que teria pertencido Luzia, o fóssil humano mais antigo encontrado na América do Sul.

DW Brasil. *Lucy*: o fóssil que reescreveu a história da humanidade. Disponível em: <https://www.dw.com/pt-002/lucy-o-f%C3%B3ssil-que-reescreveu-a-hist%C3%B3ria-da-humanidade/a-42478592>. Acesso em: 2 jul. 2020.

A reportagem fala sobre a importância da descoberta de Lucy, da espécie *Australopithecus afarensis*, trazendo material em áudio e vídeo, além do texto.

SANTOS, F. R. A grande árvore genealógica humana. *Revista da UFMG*. Belo Horizonte, v. 21, n. 1 e 2, p. 88-113, jan./dez. 2014. Disponível em: <https://www.ufmg.br/revistaufmg/downloads/21/05_pag88a113_fabriciosantos_agrandearvore.pdf>. Acesso em: 2 jul. 2020.

A reportagem traz uma descrição sobre as origens da linhagem humana.

Capítulo 11 – Radioatividade

ARAÚJO, E. B. A utilização do elemento tecnécio-99*m* no diagnóstico de patologias e disfunções dos seres vivos. *Cadernos Temáticos de Química Nova na Escola*, n. 6, 2005. p. 31-35.

Este artigo traz informações sobre fármacos radioativos utilizados no diagnóstico ou no tratamento de patologias e disfunções do organismo humano empregados em uma especialidade médica denominada Medicina Nuclear.

BUENO, M. I. M. S. *et al*. Marcos da história da radioatividade e tendências atuais. *Química Nova*, v. 30, n. 1, 2007. p. 83-91.

Apresenta panorama geral da história da radioatividade, desde a descoberta até os acidentes ocorridos na segunda metade do século passado (Three Mile Island, Chernobyl, Goiânia). Inclui informações sobre as usinas nucleares no Brasil e sobre aplicações da radiação e da radioatividade.

EM MODERNIA

CARVALHO, R. P.; OLIVEIRA, S. M. V. *Aplicações da energia nuclear na saúde*. São Paulo, 2017. Disponível em: <http://www.cnen.gov.br/images/cnen/documentos/educativo/aplicacoes-energia-nuclear-na-saude.pdf>. Acesso em: 7 set. 2020.

Apostila educativa publicada pela Sociedade Brasileira para o Progresso da Ciência (SBPC) e pela Agência Internacional de Energia Nuclear (IAEA).

FARIAS, R. F. As mulheres e o Prêmio Nobel de Química. *Química Nova na Escola*, n. 14, 2001. p. 28-30.

Esse artigo, publicado no ano do centenário da primeira entrega do Prêmio Nobel, relata a vida das três primeiras mulheres a receberem esse prêmio na área de Química. Duas delas, Marie Sklodowska Curie e sua filha Irène Joliot-Curie, laureadas respectivamente em 1911 e 1935, destacaram-se por suas contribuições na área da radioatividade.

FARIAS, R. F. A Química do tempo: carbono-14. *Química Nova na Escola*, n. 16, 2002 p. 6-8.

Este artigo traz uma visão geral sobre a técnica de datação de objetos através de medidas do decaimento radioativo do isótopo do elemento químico carbono com número de massa 14, resumindo os princípios e fundamentos da técnica, bem como sua importância para a sociedade, como técnica de grande utilidade na pesquisa histórica.

MENDONÇA, M. L. T. G.; GODOY, J. M. Datação radiocarbônica de sítios arqueológicos do tipo sambaqui pela técnica de absorção de CO_2: uma alternativa à síntese benzênica. *Química Nova*, v. 27, n. 2, 2004. p. 323-325.

Apresenta um exemplo da aplicação do C-14 na datação de sítios arqueológicos brasileiros. O artigo explica o que é um *sambaqui* e a interessante origem desse nome tupi.

OKUNO, E.; YOSHIMURA, E. M. Física das radiações. São Paulo: Oficina de textos, 2010.

As autoras apresentam aspectos históricos e conceituais da radiação, seus efeitos biológicos e suas aplicações práticas.

OKUNO, E. *Radiação*: efeitos, riscos e benefícios. 2. ed. São Paulo: Oficina de textos, 2018.

A obra apresenta os conceitos físicos básicos sobre as radiações, seus efeitos biológicos, formas de proteção contra elas e suas aplicações na indústria e na Medicina, particularmente no tratamento do câncer.

Capítulo 12 – Origem dos elementos químicos

MACIEL, W. J. Formação dos elementos químicos. *Revista USP*, n. 62, p. 66-73, 2004. Disponível em: <http://www.revistas.usp.br/revusp/article/download/13342/15160/>. Acesso em: 7 set. 2020.

O artigo apresenta informações relacionadas ao surgimento dos elementos químicos. Inclui explicação do que são o processo-*s* e o processo-*r*, responsáveis pela produção de elementos de número atômico superior ao do ferro por meio de capturas neutrônicas.

HETEM, G.; PEREIRA, J. Estrutura e evolução estrelar. Observatórios virtuais – Fundamentos de Astronomia, Capítulo 11. Disponível em: <http://www.astro.iag.usp.br/~jane/aga215/apostila/cap11.pdf>. Acesso em: 7 set. 2020.

Este capítulo traz informações sobre as estruturas das estrelas e aspectos relacionados à evolução estelar, associando-a ao diagrama de H-R.

OLIVEIRA FILHO, K. S.; SARAIVA, M. F. O. *Astronomia & Astrofísica*. 4. ed. Livraria da Física: São Paulo, 2017.

Livro que aborda desde conceitos introdutórios até aspectos mais elaborados. Recomendado ao docente que deseja se aprofundar em Astronomia e Astrofísica.

Reações nucleares: estrelas. Rio de Janeiro: Divisão de Atividades Educacionais – Daed, n. 4, 2009. Disponível em: <https://www.on.br/daed/pequeno_cientista/conteudo/revista/pdf/reacoes.pdf>. Acesso em: 7 set. 2020.

Essa edição da Revista do Observatório Nacional apresenta os principais conceitos sobre a evolução estelar e as reações de fusão nuclear que ocorrem em estrelas de diferentes massas e temperaturas.

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

UNIVERSO E EVOLUÇÃO

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, 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, Rafaela Wiklich Sobrinho
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: Adriana Bairrada, Edna Luna, Nancy H. Dias, 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 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.

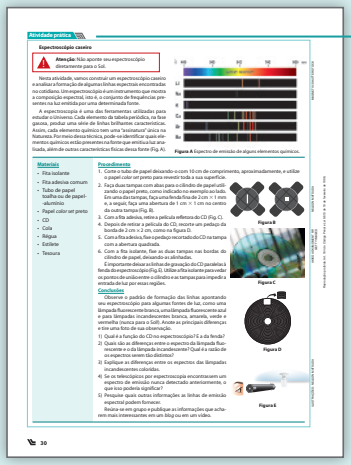
Os autores

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

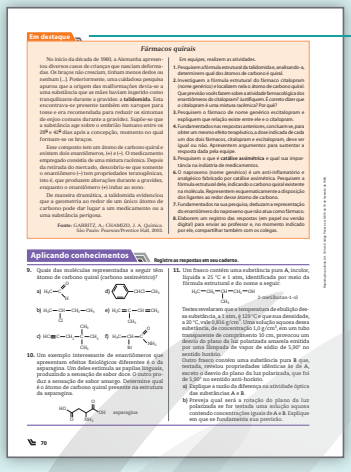
A abertura apresenta temas relacionados às Ciências da Natureza e indica os assuntos que serão abordados em cada capítulo.

Atividade prática

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

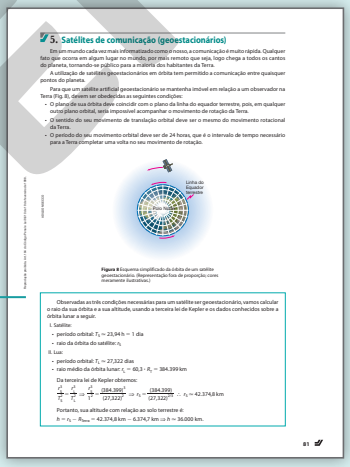
De olho na BNCC

Indica as habilidades da BNCC que serão desenvolvidas no capítulo.



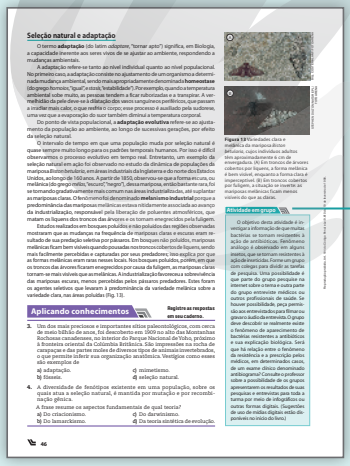
Em destaque

Textos de outras mídias com informações complementares aos assuntos tratados no capítulo.



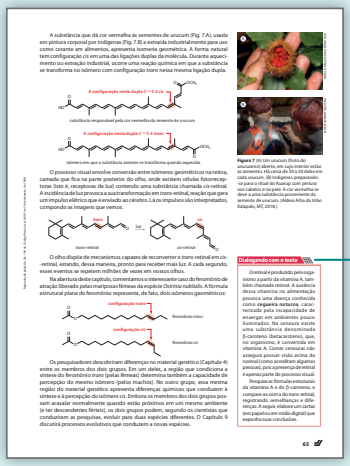
Exercício resolvido

Exemplos de aplicação da teoria apresentados ao longo do capítulo.



Atividade em grupo

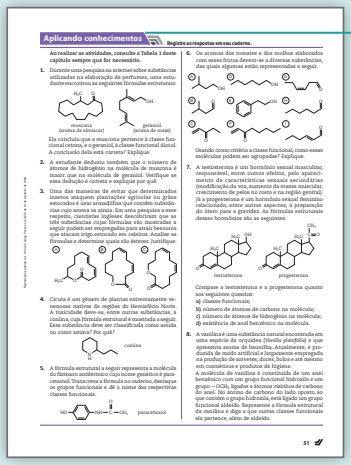
Atividades que estimulam o trabalho em grupo e favorecem o desenvolvimento de habilidades de pesquisa, argumentação, comunicação etc.



Dialogando com o texto

Atividades ou informações diretamente relacionadas ao conteúdo que visam acentuar a interatividade entre o estudante e o capítulo.

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.

Ao realizar as atividades, consulte a Tabela 1 deste capítulo sempre que for necessário.

1. Durante uma pesquisa na internet sobre substâncias utilizadas na elaboração de perfumes, uma estudante encontrou as seguintes fórmulas estruturais:

mucenox (acetato de almíscar)

geraniol (aroma de rosas)

Ela concluiu que a mucenox pertence à classe funcional dos ésteres e o geraniol, à classe funcional álcool. A conclusão dela está correta? Explique.

2. A estudante deduziu também que o número de átomos de hidrogênio na molécula de mucenox é maior que na molécula de geraniol. Verifique se essa dedução é correta e explique por quê.

3. Uma das maneiras de evitar que determinados insetos ataquem plantações agrícolas ou grãos estocados é usar armadilhas que contêm substâncias cujo aroma as atrai. Em uma pesquisa a esse respeito, foram testadas várias substâncias, entre as quais as substâncias cujas fórmulas são mostradas a seguir. Todas elas foram empregadas para atrair besouros que atacam trigo estocado em celeiros. Analise as fórmulas e determine quais são ésteres. Justifique.

4. Cicuta é um gênero de plantas extremamente venenosas nativas da região do Hemisfério Norte. A toxicidade deve-se, entre outras substâncias, à coniina, cuja fórmula estrutural é mostrada a seguir. Essa substância deve ser classificada como amida ou como amina? Por quê?

coniina

5. A fórmula estrutural a seguir representa a molécula do fármaco antitérmico cujo nome genérico é paracetamol. Transcreva a fórmula no caderno, destaque os grupos funcionais e dê o nome das respectivas classes funcionais.

paracetamol

6. Os aromas das tomates e dos molhos elaborados com esses frutos devem-se a diversas substâncias, das quais algumas estão representadas a seguir.

Usando como critério a classe funcional, como essas moléculas podem ser agrupadas? Explique.

7. A testosterona é um hormônio sexual masculino, e a progesterona, outro esteroide, é pelo aparecimento de características sexuais secundárias (modificação da voz, aumento da massa muscular, crescimento de pelos no rosto e na região genital). Já a progesterona é um hormônio sexual feminino relacionado, entre outros aspectos, à preparação do útero para a gravidez. As fórmulas estruturais desses hormônios são as seguintes:

testosterona

progesterona

Compare a testosterona e a progesterona quanto aos seguintes quesitos:

a) classes funcionais;

b) número de átomos de carbono na molécula;

c) número de átomos de hidrogênio na molécula;

d) existência de anel benzênico na molécula.

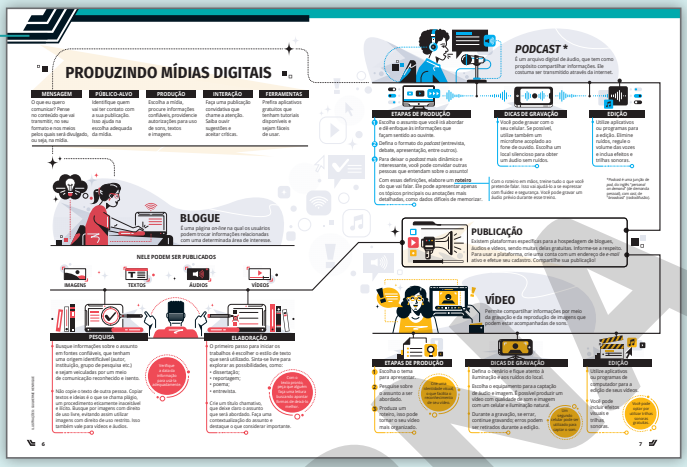
8. A vanilina é uma substância natural extraída em uma espécie de orquídea (Vanilla planifolia) e que apresenta aroma de baunilha. Atualmente, é produzida de modo artificial e largamente empregada na produção de sorvetes, doces, bolos e até perfumes cosméticos e produtos de higiene.

A molécula de vanilina é constituída de um anel benzênico com um grupo funcional hidroxila e um grupo —OCH_3 ligados a átomos vizinhos de carbono do anel. No átomo de carbono do lado oposto ao que contém o grupo hidroxila, está ligado um grupo funcional aldeído. Represente a fórmula estrutural da vanilina e diga a que outras classes funcionais ela pertence, além de aldeído.

51

Aplicando conhecimentos

Atividades para verificação e assimilação de conceitos apresentados no capítulo.


PRODUZINDO MÍDIAS DIGITAIS

MENSAGEM | PÚBLICO-ALVO | PRODUÇÃO | INTERAÇÃO | FERRAMENTAS

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.

Identifique quem vai ser contato com a sua publicação. Isso ajuda na escolha adequada da mídia.

Escolha a mídia, procure informações confiáveis, provenientes autorizadas para uso de sons, textos e imagens.

Faça uma publicação convidativa que chame a atenção. Saiba ouvir sugestões e aceitar críticas.

Prefira aplicativos gratuitos que tenham tutoriais disponíveis e sejam fáceis de usar.

PODCAST *

É um arquivo digital de áudio, que tem como propósito compartilhar informações. Ele costuma ser transmitido através da internet.

ETAPAS DE PRODUÇÃO | DICAS DE GRAVAÇÃO | EDIÇÃO

BLOGUE

É uma página on-line na qual os usuários podem incluir informações relacionadas com uma determinada área de interesse.

NELE PODEM SER PUBLICADOS

IMAGENS | TEXTOS | ÁUDIOS | VÍDEOS

PESQUISA | ELABORAÇÃO

PUBLICAÇÃO

Existem plataformas específicas para a hospedagem de blogues. Áudios e vídeo, sendo muitos deles 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

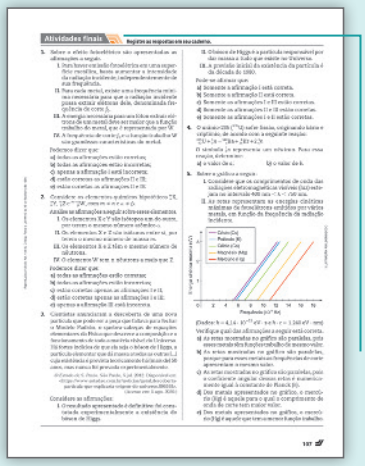
Permite compartilhar informações por meio da gravação e da reprodução de imagens que podem estar acompanhadas de sons.

ETAPAS DE PRODUÇÃO | DICAS DE GRAVAÇÃO | EDIÇÃO

6 | 7

Produzindo mídias digitais

Sugestões de como produzir e transmitir informações confiáveis por meio de algumas mídias digitais.


Atividades finais

Registre as respostas em seu caderno.

5. Sobre o efeito fotoelétrico são apresentadas as afirmações a seguir.

I. Para haver emissão fotoelétrica em uma superfície metálica, basta aumentar a intensidade da radiação incidente, independentemente de sua frequência.

II. Para cada metal, existe uma frequência mínima da radiação incidente abaixo da qual não ocorre emissão fotoelétrica, mesmo para radiações de alta intensidade.

III. A energia cinética máxima dos fotoelétrons emitidos de um metal pode aumentar com a diminuição da frequência da radiação incidente.

IV. A energia cinética máxima dos fotoelétrons emitidos de um metal pode aumentar com o aumento da frequência da radiação incidente.

Podemos dizer que:

a) todas as afirmações estão corretas;

b) todas as afirmações estão incorretas;

c) apenas a afirmação I está incorreta;

d) todas exceto as afirmações I e II;

e) todas exceto as afirmações I e III.

6. Considere os elementos químicos hipotéticos ^{7}X, $^{8}X^{+}$, $^{9}X^{-}$, nos estados $n = 1$, $n = 2$.

Analise as afirmações a seguir e julgue-as em certas ou erradas.

I. Os elementos X e X^{+} são isótopos e, de fato, eles possuem o mesmo número atômico.

II. Os elementos X e X^{-} são isóbaros, mas, por terem o mesmo número de massa, não.

III. Os elementos X e X^{+} são isótonos, mas, por terem o mesmo número de massa, não.

IV. O elemento X^{+} tem 1 elétron a mais que X.

Podemos dizer que:

a) todas as afirmações estão corretas;

b) todas as afirmações estão incorretas;

c) todas exceto apenas as afirmações I e II;

d) todas exceto apenas as afirmações I e III;

e) apenas a afirmação II está incorreta.

7. Considere a ilustração a descoberta de uma nova estrela, feita pelo astrônomo amador Jean-Luc Marchis, Paris, e também cálculos de massa dos elementos da Heliosfera e descreve a composição e a funcionamento de todo o espectro visível e infravermelho. Os raios incidem de cima para baixo e chegam a partículas eletricamente carregadas (elétrons e prótons) provenientes basicamente do Sol (cerca de 1 ano). Com isso, nas camadas superiores da atmosfera, [illegible] e [illegible] (Adaptado de: S. Paiva. São Paulo, 9 jul. 2001. Disponível em: <http://www.saladefisica.com.br/ensino-medio/>. Acesso em: 6 ago. 2020.)

Considere as afirmações:

I. O raio da estrela apresentado é definido em centímetros.

II. O raio da estrela é inferior à distância da Terra à Lua.

III. Observe de Higgs é a partícula responsável por dar massa a todo que existe no Universo.

IV. A precisão inicial do experimento da partícula é da ordem de 1000.

Pode-se afirmar que:

a) somente a afirmação I está correta.

b) Somente a afirmação II está correta.

c) Somente as afirmações I e III estão corretas.

d) Somente as afirmações II e III estão corretas.

e) somente as afirmações I e II estão corretas.

8. O núcleo $^{238}U^{+92}$ sofre fissão, originando íons e neutrons, de acordo com a equação iônica: $^{238}U + n \rightarrow {}^{139}Ba + {}^{95}Kr + 2n$

O símbolo n representa um nêutron. Para essa reação, determine:

a) o valor de n. b) o valor de k.

9. Sobre o gráfico a seguir.

I. Indicamos que os comprimentos de onda das radiações ultravioleta e infravermelha estão localizados na região entre $\lambda = 10^{-7}$ e 10^{-6} cm.

II. As setas representam as energias cinéticas máximas de fotoelétrons emitidos por vários metais, em função da frequência da radiação incidente.

III. Verifique que as afirmações a seguir são corretas.

a) As retas incidentes no gráfico são paralelas, pois a coeficiente angular dessas retas é numericamente igual à constante de Planck (h).

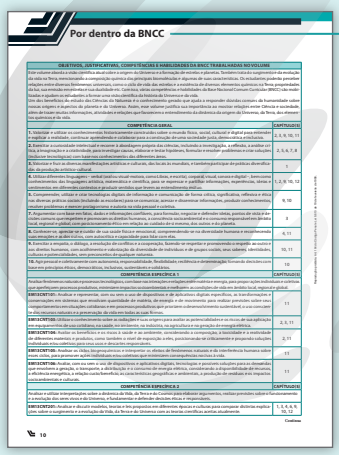
b) Das retas apresentadas no gráfico, o metal do item b) é aquele que tem o menor comprimento de onda de corte (ou raio) limiar.

c) Das retas apresentadas no gráfico, o metal do item b) é aquele que tem o menor trabalho.

187

Atividades finais

Atividades autorais e dos principais vestibulares que englobam assuntos abordados ao longo do capítulo.


Por dentro da BNCC

OBJETOS, JUSTIFICATIVAS, COMPETÊNCIAS E HABILIDADES DA BNCC TRABALHADAS NO VOLUME

Este volume aborda a visão científica atual sobre a origem do Universo e a formação de estrelas e planetas. Também trata da suspensão e da evolução da vida na Terra, mencionando a composição química das principais biomoléculas e algumas de suas características. Os estudantes poderão perceber relações entre diversos fenômenos, entenderão como o ciclo de vida das estrelas e a existência de diversos elementos químicos na Terra, propriedades físicas e químicas de substâncias e a origem e a evolução da vida estão relacionados. Assim, ao longo do volume, todas as habilidades da Base Nacional Comum Curricular (BNCC) são mobilizadas e ajudarão os estudantes a formar uma visão científica da história do Universo e da vida.

Um dos benefícios do estudo das Ciências da Natureza é o conhecimento gerado que ajuda a responder dúvidas comuns da humanidade sobre nossa origem e a partícula de planeta e do Universo. Assim, esse volume justifica sua importância ao mostrar relações entre Ciência e tecnologia, além de trazer muitas informações, atividades e relações que favorecerão o entendimento da dinâmica da origem do Universo, da Terra, dos viventes e suas características.

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, 5, 10, 11
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.	1, 3, 4, 7, 8
3. Valorizar e fruir as diversas manifestações artísticas e culturais, das locais às mundiais, e também participar de práticas diversificadas da produção artístico-cultural.	1
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, 2, 9, 10, 12
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.	9, 10
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.	3
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.	6, 11
9. Exercitar a empatia, o diálogo, a resolução de conflitos e a cooperação, fazendo-se respeitar e promovendo o respeito ao outro e aos direitos humanos, com acolhimento e valorização da diversidade de indivíduos e de grupos sociais, seus saberes, identidades, culturas e potencialidades, sem preconceitos de qualquer natureza.	10, 11
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 entre matéria e energia, para propor ações individuais e coletivas que aperfeiçoem processos produtivos, minimizem impactos no ambiente e melhorem a condição de vida em âmbito local, regional e global.	
EM13CNT301: 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 ao longo do tempo, considerando sistemas tecnológicos e argumentar sobre a preservação indissociável do ser humano e do meio ambiente, com ética e responsabilidade.	11
EM13CNT302: Utilizar e construir modelos para validar as explicações e soluções tecnológicas e investigativas para a análise de sistemas naturais, tecnológicos ou sociais, com ou sem o uso de dispositivos e aplicativos digitais específicos.	2, 3, 11
EM13CNT303: Interpretar textos de divulgação científica que tratem de temáticas das Ciências da Natureza e suas Tecnologias, disponíveis em diferentes mídias, considerando a apresentação dos dados, as fontes, a consistência dos argumentos e a coerência das conclusões, visando construir posicionamento crítico e ético em relação aos temas de ciência e tecnologia vigentes e controversos da atualidade.	1, 3, 4, 5, 10, 12
EM13CNT304: Analisar e discutir modelos, teorias e leis propostos em diferentes épocas e culturas para compreender distintas explicações sobre o surgimento e a evolução da Vida, da Terra e do Universo com as teorias científicas aceitas atualmente.	1, 2, 4, 5, 10, 12

Continua

10

Por dentro da BNCC

A Base Nacional Comum Curricular (BNCC) é um documento que apresenta as aprendizagens essenciais a 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:

EM13LGG103

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 aprendizagens. 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.

MODELO

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

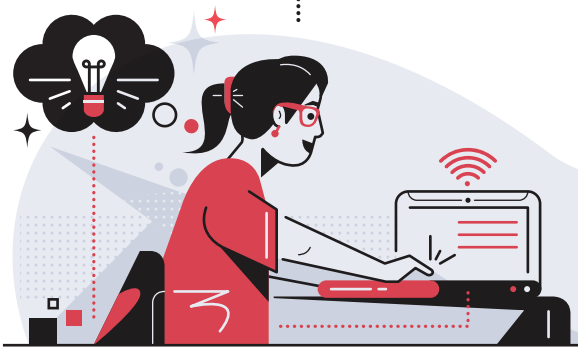
Escolha a mídia, procure informações confiáveis, providencie autorizações para uso de sons, textos e imagens.

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 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.

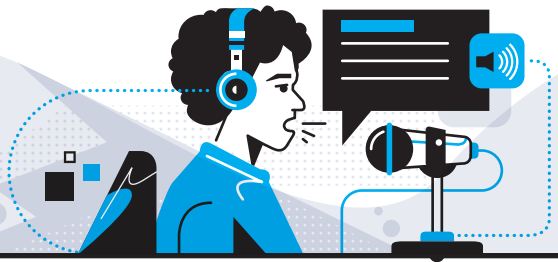
Verifique a data da informação para usá-la adequadamente.

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

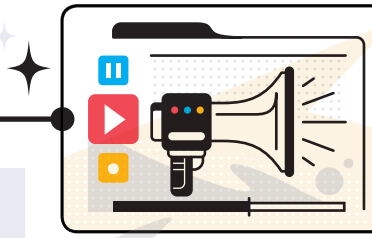
Você pode gravar com o seu celular. Se possível, utilize também um microfone acoplado ao fone de ouvido. Escolha um local silencioso para obter um áudio sem ruídos.

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 Origens do Universo, do Sistema Solar e da vida na Terra 13

1. **A origem do Universo e do Sistema Solar** 14
   A teoria da grande explosão, ou do *big bang*, 14
   A origem do Sistema Solar, 14
2. **A origem da vida na Terra** 16
   Teoria da evolução molecular, 17
   A origem das primeiras células vivas, 18
   As hipóteses heterotrófica e autotrófica, 19
3. **Um pouco de história: abiogênese *versus* biogênese** 20
   A queda da teoria da geração espontânea (abiogênese), 20
   Pasteur e a refutação definitiva da abiogênese, 21
   Pesquisas sobre geração espontânea levam a novas tecnologias, 22

Atividades finais 23

CAPÍTULO 2 Ondas eletromagnéticas e tecnologia das telecomunicações 25

1. **Introdução** 26
2. **Características das ondas eletromagnéticas** 26
3. **Espectro eletromagnético** 27
   Ondas de rádio, 28
   Micro-ondas, 28
   Luz (espectro visível), 28
   Raios X, 29
4. **Tecnologia das comunicações** 31
   Telefone, 31
   Rádio, 31
   Televisão, 31
   Computador, 32
   Telefonia móvel, 34

Atividades finais 34

CAPÍTULO 3 Fundamentos da evolução biológica 36

1. **O pensamento evolucionista** 37
   As ideias evolucionistas de Lamarck, 37
   As ideias evolucionistas de Darwin, 38
   O conceito darwiniano de seleção natural, 39
2. **Evidências da evolução biológica** 40
   O documentário fóssil, 40
   Anatomia comparada e evolução, 42
   Evidências genéticas da evolução, 43
3. **A teoria evolucionista moderna** 43
   A variabilidade genética, 43
   Recombinação gênica, 44
   A seleção natural, 45
   Seleção natural e adaptação, 46

Atividades finais 47

CAPÍTULO 4 Classes funcionais orgânicas 48

1. **Conceito de classe funcional** 49
2. **Exemplos de algumas classes funcionais** 52
3. **Exemplos de biomoléculas** 56

Atividades finais 60

CAPÍTULO 5 Isomeria 61

1. **Isomeria constitucional** 62
2. **Isomeria geométrica** 63
3. **Isomeria óptica** 66

Atividades finais 71

CAPÍTULO 6 Gravitação universal 72

1. **Uma breve visão do Universo** 73
   A teoria do *big bang*, 73
2. **O Sistema Solar** 73
   O modelo de Ptolomeu, 74
   O modelo de Copérnico: sistema heliocêntrico, 74
3. **As leis de Kepler dos movimentos planetários** 75
   Primeira lei de Kepler ou lei das órbitas, 76
   Segunda lei de Kepler ou lei das áreas, 76
   Terceira lei de Kepler ou lei dos períodos, 76
4. **Lei da gravitação universal ou lei da atração das massas** 79
   Um enunciado mais preciso da lei da gravitação universal, 79
5. **Satélites de comunicação (geoestacionários)** 81

Atividades finais 82

CAPÍTULO 7 Óptica geométrica 83

1. **Introdução** 84
2. **A propagação retilínea da luz** 84
   Sombra e penumbra, 84
   Eclipses, 85
   Câmara escura de orifício, 86
3. **As cores de um corpo** 86
   A luz policromática e a luz monocromática, 86
   Cor de um corpo por reflexão, 86
4. **Imagens em um espelho plano** 87
5. **Espelhos esféricos** 88
   Foco principal de um espelho esférico, 88
   Raios notáveis, 89
6. **Refração da luz** 90
   Índice de refração absoluto de um meio, 90
   Lei de Snell-Descartes, 90
7. **Reflexão total** 91
8. **Dispersão da luz** 93
   Arco-íris, 93

MODERNA

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

9. **Lentes esféricas** ... 94
Definição e nomenclatura de lentes esféricas, 94
Fórmulas das lentes e dos espelhos esféricos, 95
Atividades finais ... 96

CAPÍTULO 8 **Noções de Física quântica e Física nuclear** ... **97**

1. **O surgimento da Física quântica** ... 97
2. **Efeito fotoelétrico** ... 98
3. **Dualidade onda-partícula** ... 100
4. **Noções de Física nuclear** ... 102
5. **Fissão e fusão nucleares** ... 104
6. **Matéria e antimatéria** ... 105
7. **Forças fundamentais da natureza** ... 106
Atividades finais ... 107

CAPÍTULO 9 **A formação de novas espécies e dos grandes grupos de seres vivos** ... **108**

1. **O processo evolutivo e a diversificação da vida** ... 109
Árvores filogenéticas, 109
Como a vida se diversifica: anagênese e cladogênese, 109
A formação de novas espécies, ou especiação, 110
Tipos de isolamento reprodutivo, 110
2. **A origem dos grandes grupos de seres vivos** ... 111
O tempo geológico, 111
A vida nos mares primitivos, 113
A "explosão" de vida no período Cambriano, 114
A expansão da vegetação, 115
A origem dos tetrápodes, 116
Atividades finais ... 119

CAPÍTULO 10 **A evolução humana** ... **120**

1. **Nosso parentesco evolutivo com os grandes macacos** ... 121
Comparações entre seres humanos e os grandes macacos, 122
2. **Nossa origem primata** ... 123
Tendências evolutivas na linhagem primata, 124
3. **A linhagem humana** ... 125
Tendências evolutivas nos predecessores do gênero *Homo*, 125
O aparecimento e a evolução do *Homo erectus*, 126
Os neandertalenses (*Homo sapiens neanderthalensis*), 127
A espécie humana moderna: *Homo sapiens sapiens*, 127
Evolução e cultura, 128
Atividades finais ... 130

CAPÍTULO 11 **Radioatividade** ... **132**

1. **Decaimentos alfa, beta e gama** ... 133
2. **Cinética dos decaimentos radioativos** ... 134
3. **Transmutação nuclear** ... 135
4. **Algumas aplicações da radioatividade** ... 136
5. **Usinas nucleares e bombas atômicas** ... 137
6. **Estrelas e bombas de hidrogênio** ... 139
Atividades finais ... 140

CAPÍTULO 12 **Origem dos elementos químicos** ... **141**

1. **Nossa Galáxia é uma entre bilhões** ... 142
2. **Sistema Solar** ... 143
3. **Cor e temperatura de estrelas** ... 145
4. **Protoestrelas e sua massa** ... 147
5. **Diagrama H-R** ... 148
6. **Formação de elementos por fusão nuclear** ... 149
7. **Curva de energia de ligação por núcleon** ... 150
8. **Formação de elementos por outros processos** ... 151
Atividades finais ... 154
Ampliando os conhecimentos ... 155
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 a visão científica atual sobre a origem do Universo e a formação de estrelas e planetas. Também trata do surgimento e da evolução da vida na Terra, mencionando a composição química das principais biomoléculas e algumas de suas características. Os estudantes poderão perceber relações entre diversos fenômenos universais, como o ciclo de vida das estrelas e a existência de diversos elementos químicos na Terra; propriedades da luz, sua emissão em estrelas e sua dualidade etc. Com isso, várias competências e habilidades da Base Nacional Comum Curricular (BNCC) são mobilizadas e ajudam os estudantes a formar uma visão científica da história do Universo e da vida. Um dos benefícios do estudo das Ciências da Natureza é o conhecimento gerado que ajuda a responder dúvidas comuns da humanidade sobre nossas origens e aspectos do planeta e do Universo. Assim, esse volume justifica sua importância ao mostrar relações entre Ciência e sociedade, além de trazer muitas informações, atividades e relações que favorecem o entendimento da dinâmica da origem do Universo, da Terra, dos elementos químicos e da vida.	
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.	2, 3, 9, 10, 11
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, 6, 7, 8
3. Valorizar e fruir as diversas manifestações artísticas e culturais, das locais às mundiais, e também participar de práticas diversificadas da produção artístico-cultural.	1
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, 2, 9, 10, 12
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.	9, 10
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.	3
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.	4, 11
9. Exercitar a empatia, o diálogo, a resolução de conflitos e a cooperação, fazendo-se respeitar e promovendo o respeito ao outro e aos direitos humanos, com acolhimento e valorização da diversidade de indivíduos e de grupos sociais, seus saberes, identidades, culturas e potencialidades, sem preconceitos de qualquer natureza.	10, 11
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.	11
EM13CNT103: Utilizar o conhecimento sobre as radiações e suas origens para avaliar as potencialidades e os riscos de sua aplicação em equipamentos de uso cotidiano, na saúde, no ambiente, na indústria, na agricultura e na geração de energia elétrica.	2, 3, 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.	2, 11
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.	11
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.	11
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.	
EM13CNT201: Analisar e discutir modelos, teorias e leis propostos em diferentes épocas e culturas para comparar distintas explicações sobre o surgimento e a evolução da Vida, da Terra e do Universo com as teorias científicas aceitas atualmente.	1, 3, 4, 6, 9, 10, 12

Continua

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

MODERNA

Continuação

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).	6, 7, 8
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).	8, 11
EM13CNT204: Elaborar explicações, previsões e cálculos a respeito dos movimentos de objetos na Terra, no Sistema Solar e no Universo com base na análise das interações gravitacionais, com ou sem o uso de dispositivos e aplicativos digitais (como *softwares* de simulação e de realidade virtual, entre outros).	6
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, 3, 9, 10, 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.	4
EM13CNT208: Aplicar os princípios da evolução biológica para analisar a história humana, considerando sua origem, diversificação, dispersão pelo planeta e diferentes formas de interação com a natureza, valorizando e respeitando a diversidade étnica e cultural humana.	3, 9, 10
EM13CNT209: Analisar a evolução estelar associando-a aos modelos de origem e distribuição dos elementos químicos no Universo, compreendendo suas relações com as condições necessárias ao surgimento de sistemas solares e planetários, suas estruturas e composições e as possibilidades de existência de vida, utilizando representações e simulações, com ou sem o uso de dispositivos e aplicativos digitais (como *softwares* de simulação e de realidade virtual, entre outros).	1, 6, 8, 12
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, 3, 5, 6, 7, 10
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.	1, 3, 4, 5, 9, 10, 12
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.	1, 4, 5, 10, 11, 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.	11
EM13CNT305: Investigar e discutir o uso indevido de conhecimentos das Ciências da Natureza na justificativa de processos de discriminação, segregação e privação de direitos individuais e coletivos, em diferentes contextos sociais e históricos, para promover a equidade e o respeito à diversidade.	10
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.	5, 7, 11
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.	11

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.	2, 10

Continua

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

MODERNA

Continuação

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).	6
EM13CHS104: Analisar objetos e vestígios da cultura material e imaterial de modo a identificar conhecimentos, valores, crenças e práticas que caracterizam a identidade e a diversidade cultural de diferentes sociedades inseridas no tempo e no espaço.	10
EM13CHS106: Utilizar as linguagens cartográfica, gráfica e iconográfica, diferentes gêneros textuais e tecnologias digitais de informação e comunicação de forma crítica, significativa, reflexiva e ética nas diversas práticas sociais, incluindo as escolares, para se comunicar, acessar e difundir informações, produzir conhecimentos, resolver problemas e exercer protagonismo e autoria na vida pessoal e coletiva.	3, 7, 9
Competência específica 3: Contextualizar, analisar e avaliar criticamente as relações das sociedades com a natureza e seus impactos econômicos e socioambientais, com vistas à proposição de soluções que respeitem e promovam a consciência e a ética socioambiental e o consumo responsável em âmbito local, regional, nacional e global.	
EM13CHS302: Analisar e avaliar 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 e o compromisso com a sustentabilidade.	5
Competência específica 5: Reconhecer e combater as diversas formas de desigualdade e violência, adotando princípios éticos, democráticos, inclusivos e solidários, e respeitando os Direitos Humanos.	
EM13CHS504: Analisar e avaliar os impasses ético-políticos decorrentes das transformações científicas e tecnológicas no mundo contemporâneo e seus desdobramentos nas atitudes e nos valores de indivíduos, grupos sociais, sociedades e culturas.	11

LINGUAGENS E SUAS TECNOLOGIAS	
Competência específica 2: Compreender os processos identitários, conflitos e relações de poder que permeiam as práticas sociais de linguagem, respeitando as diversidades e a pluralidade de ideias e posições, e atuar socialmente com base em princípios e valores assentados na democracia, na igualdade e nos Direitos Humanos, exercitando o autoconhecimento, a empatia, o diálogo, a resolução de conflitos e a cooperação, e combatendo preconceitos de qualquer natureza.	
EM13LGG201: Utilizar as diversas linguagens (artísticas, corporais e verbais) em diferentes contextos, valorizando-as como fenômeno social, cultural, histórico, variável, heterogêneo e sensível aos contextos de uso.	1
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

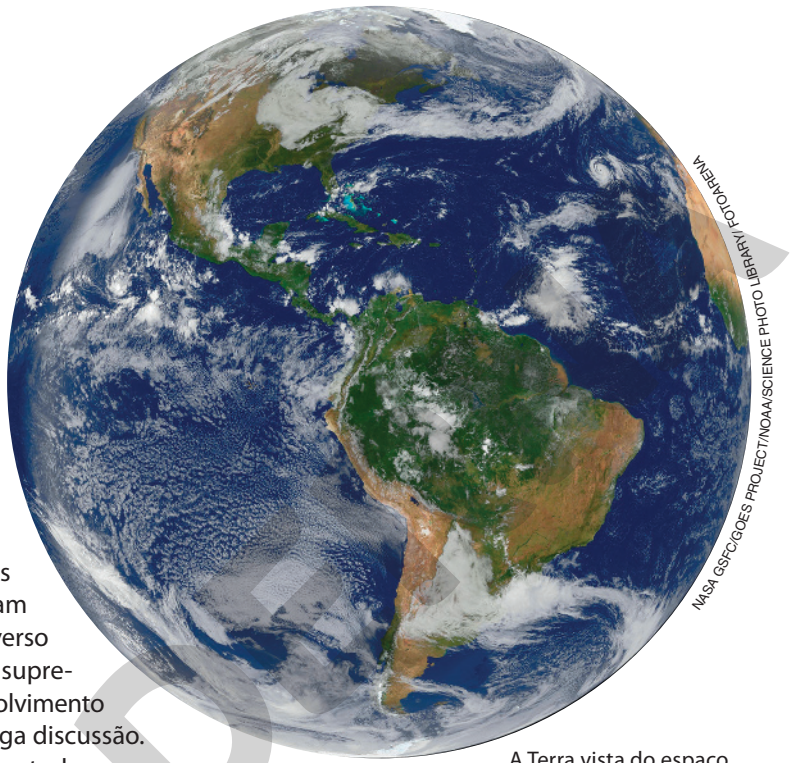
MATEMÁTICA E SUAS TECNOLOGIAS	
Competência específica 3: Utilizar estratégias, conceitos, definições e procedimentos matemáticos para interpretar, construir modelos e resolver problemas em diversos contextos, analisando a plausibilidade dos resultados e a adequação das soluções propostas, de modo a construir argumentação consistente.	
EM13MAT301: Resolver e elaborar problemas do cotidiano, da Matemática e de outras áreas do conhecimento, que envolvem equações lineares simultâneas, usando técnicas algébricas e gráficas, com ou sem apoio de tecnologias digitais.	8
EM13MAT308: Aplicar as relações métricas, incluindo as leis do seno e do cosseno ou as noções de congruência e semelhança, para resolver e elaborar problemas que envolvem triângulos, em variados contextos.	6, 7
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.	2, 6, 8
EM13MAT314: Resolver e elaborar problemas que envolvem grandezas determinadas pela razão ou pelo produto de outras (velocidade, densidade demográfica, energia elétrica etc.).	2, 8

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

MODERNA

CAPÍTULO 1

ORIGENS DO UNIVERSO, DO SISTEMA SOLAR E DA VIDA NA TERRA



NASA GSFC/GOES PROJECT/NOAA/SCIENCE PHOTO LIBRARY/FOTOARENA

A Terra vista do espaço, fotografada em 2017 de um satélite orbital. É possível distinguir as nuvens na atmosfera, os oceanos (em azul) e as terras continentais da América do Sul, da América Central e de parte da América do Norte.

"A Terra é azul e eu não vi Deus!" O autor dessa frase foi o cosmonauta russo Yuri Gagarin (1934--1968), há mais de 50 anos. Gagarin foi a primeira pessoa a ver nosso planeta do espaço. Em 20 de julho de 1969, o astronauta estadunidense Neil Armstrong (1930-2012) pisou na Lua, de onde descortinou, em suas palavras, uma bela visão do nosso planeta azul, repleto de vida. De que maneira a vida surgiu na Terra? Haverá vida em outros planetas?

Até pouco mais de três séculos atrás, as principais explicações para a origem do Universo e da vida eram de caráter religioso. Segundo a maioria delas, o Universo e os seres vivos teriam sido criados por divindades supremamente poderosas. Nas últimas décadas, o desenvolvimento da Ciência tem trazido novos dados para essa antiga discussão. Os avanços da Cosmologia, ramo da Ciência que estuda os corpos celestes e o espaço sideral, levaram os cientistas a desenvolver uma teoria para explicar a origem do Universo, que ficou conhecida como teoria da grande explosão, ou teoria do *big bang*. Segundo ela, tudo o que existe, incluindo tempo e espaço, teria surgido há cerca de 13,8 bilhões de anos, a partir da expansão súbita e violenta de uma desconhecida "semente" cósmica. Desde essa explosão primordial, o Universo vem evoluindo, com a formação de galáxias, estrelas e muitos outros corpos celestes, entre eles a Terra.

Em nosso planeta, possivelmente há mais de 3,5 bilhões de anos, surgiu a **vida**, fenômeno ainda não confirmado em nenhum local fora daqui. Os cientistas acreditam que os primeiros seres vivos eram extremamente simples, provavelmente constituídos por uma única célula, dotada de organização rudimentar. Ao longo de mais de 3,5 bilhões de anos de evolução, os descendentes daqueles primeiros seres colonizaram todos os ambientes do planeta, modificaram-se e originaram a imensa variedade de espécies atuais, entre elas a espécie humana.

Diferentemente de muitas religiões, que consideram a espécie humana o objeto central da criação, a visão científica situa o aparecimento de nossa espécie no grande panorama da evolução cósmica. Para os cientistas há uma continuidade evolutiva desde o *big bang* até os dias de hoje.

Neste capítulo são apresentadas resumidamente ideias científicas atuais sobre a formação do Universo, do Sistema Solar e da Terra, finalizando com a visão científica da origem da vida em nosso planeta. Para os cientistas, esse assunto ainda é objeto de intensos debates. Alguns estudiosos acreditam que a vida surgiu na Terra a partir de uma lenta evolução química de substâncias originadas a partir de gases atmosféricos, enquanto outros defendem que a vida em nosso planeta pode ter sido semeada por cometas e asteroides que atingiram a superfície terrestre.

De olho na BNCC

- **EM13CNT201**
- **EM13CNT205**
- **EM13CNT209**
- **EM13CNT301**
- **EM13CNT302**
- **EM13CNT303**
- **EM13LGG201**

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

Saber como nosso planeta surgiu e as mudanças por que passou, no decorrer do tempo geológico, é importante para compreender as semelhanças e diferenças entre as espécies biológicas, sua distribuição geográfica e as interações que os seres vivos mantêm entre si e com o ambiente; enfim, é a visão histórica e evolucionista da vida que dá sentido aos fatos biológicos. O biólogo ucraniano naturalizado estadunidense Theodosius Dobzhansky (1900-1975), em artigo publicado em 1973, escreveu (em tradução livre):

> Interpretada à luz da evolução, a Biologia é, do ponto de vista intelectual, talvez a mais inspirada e satisfatória das ciências. Sem essa luz, a Biologia torna-se uma miscelânea de fatos, alguns deles interessantes ou curiosos, mas desprovidos de significado quando considerados em conjunto.

Fonte: DOBZHANSKY, T. Nothing in biology makes sense except in the light ofevolution. *The American Biology Teacher,* March, 1973, 35:125-129.

1. A origem do Universo e do Sistema Solar

A teoria da grande explosão, ou do *big bang*

Os avanços da Cosmologia e da Física no início do século XX levaram à formulação da **teoria do *big bang*** ou, traduzindo a expressão em inglês, **teoria da grande explosão**. A teoria precursora desta foi apresentada em 1927 pelo astrônomo e jesuíta belga Georges Lamaître (1894-1966) e dizia que o Universo teria se originado de um "ovo primordial", extremamente quente e denso, que subitamente se expandiu. Mais tarde, em 1948, o cientista russo naturalizado estadunidense George Gamow (1904-1968) estabeleceu as linhas gerais da teoria da grande explosão, atualmente aceita pela maior parte da comunidade científica.

A teoria da grande explosão propõe que o Universo tenha surgido a partir da expansão súbita e violenta de um ponto extremamente compacto, de altíssima densidade, há cerca de 13,8 bilhões de anos; segundo a teoria, o Universo continua em expansão até hoje. Nessa "explosão" primordial teriam surgido simultaneamente todos os componentes do Universo: o espaço, o tempo, a energia e a matéria.

Imediatamente após a grande explosão, a temperatura seria tão elevada que impossibilitaria a existência da matéria como hoje a conhecemos. Haveria apenas uma espécie de plasma indiferenciado, extremamente quente e denso. A rápida expansão do Universo teria feito a temperatura diminuir rapidamente, permitindo o surgimento de núcleos atômicos do elemento químico mais simples, o hidrogênio, além de núcleos de hélio e pequenas quantidades de núcleos de lítio. Segundo os físicos, átomos propriamente ditos só se formariam quase 400 mil anos depois da explosão primordial.

Quando o Universo completou algumas centenas de milhões de anos teriam surgido as primeiras estrelas, corpos celestes de grandes dimensões formados basicamente por átomos de hidrogênio e de hélio. A atração gravitacional levou à formação de aglomerados de estrelas e de matéria cósmica, constituindo as primeiras galáxias.

A origem do Sistema Solar

Os cientistas estimam que o Sistema Solar – conjunto formado pelo Sol, planetas, satélites, cometas e outros corpos celestes – tenha surgido há cerca de 4,6 bilhões de anos, a partir de uma nebulosa presente na galáxia Via Láctea. Essa nebulosa seria constituída por gases, como o hidrogênio (H_2) e o hélio (He), e poeira interestelar, constituída por grânulos de carbono e de silicatos.

Veja respostas e comentários sobre essa atividade no Suplemento do Professor.

Atividade em grupo

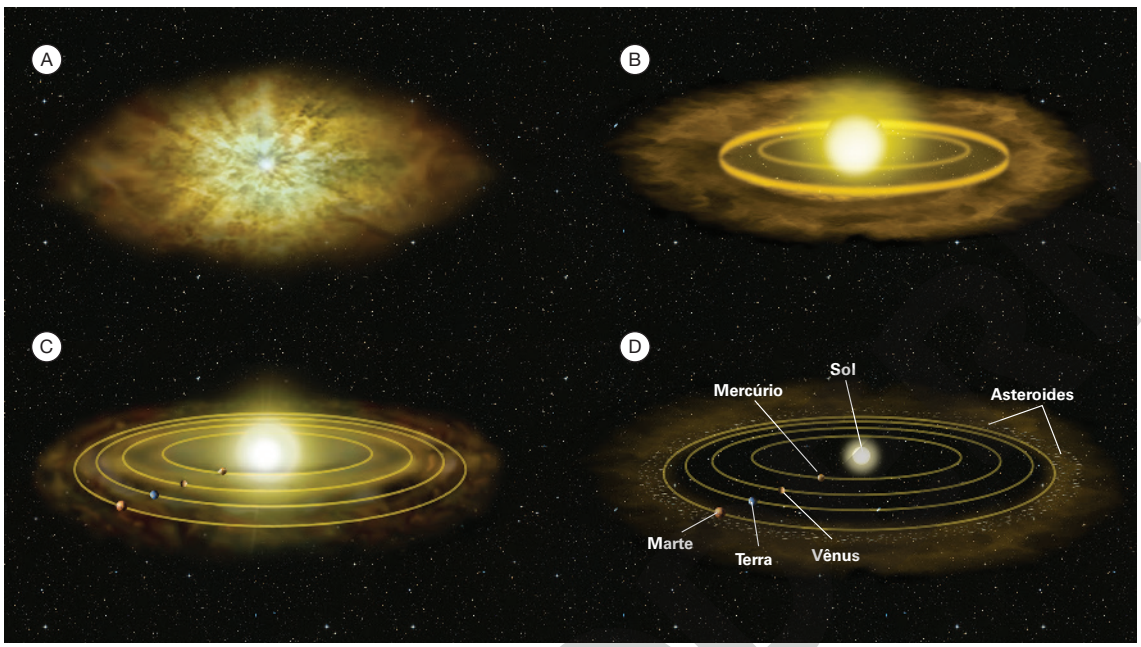
Sendo este um livro de Ciências Naturais, tratamos apenas de visões científicas para a origem do Universo, da Terra e da vida. É interessante, porém, conhecer as diferentes explicações para a origem do mundo em diversas religiões – cristãs, indígenas, hindus, chinesas, africanas etc. – o que possibilita apreciar aspectos semelhantes e diferentes nessas culturas. Nossa sugestão, nesta atividade, é que você forme um grupo com colegas de classe para descobrir o que pensam diferentes religiões sobre a origem do Universo, da Terra e da vida. Combine com o professor a possibilidade de apresentar os resultados das pesquisas em classe ou por meio de ferramentas digitais. (Sugestões 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.

MODERNA

A atração gravitacional entre as partículas da nebulosa que originou o Sistema Solar fez com que ela se tornasse gradativamente mais densa e compacta. Após alguns milhões de anos de compactação, os cientistas imaginam que a temperatura no centro da nebulosa teria atingido cerca de 10 milhões de graus Celsius (10.000.000 °C), desencadeando reações de **fusão nuclear** em cadeia, com liberação de grande quantidade de energia. A massa central compactada da nebulosa passou a emitir luz, constituindo uma nova estrela amarela – o nosso Sol –, uma entre os mais de 100 milhões de estrelas presentes na Via Láctea.

Os cientistas acreditam que, ao mesmo tempo que o Sol se formava no centro da nebulosa, também teriam ocorrido condensações em pontos mais periféricos do disco de matéria que girava em torno do Sol em formação, originando os planetas e outros corpos celestes do Sistema Solar, como satélites, asteroides e cometas (Fig. 1).



SELMA CAPARROZ

Figura 1 Concepção artística da formação do Sistema Solar. (A) Nebulosa primordial. (B) Condensação da matéria na região central originando o Sol, com um disco de matéria girando ao redor. (C) Condensações em pontos isolados do disco periférico teriam originado os demais corpos do Sistema Solar. (D) Parte mais interna do Sistema Solar, com o Sol, os planetas mais próximos e o cinturão de asteroides orbitando ao redor. (Representação fora de proporção; cores meramente ilustrativas.)

Fonte: adaptada de TREFIL, J.; HAZEN, R. *The sciences*: an integrated approach. 6. ed. New Jersey: John Wiley & Sons, 2010.

A formação da Terra

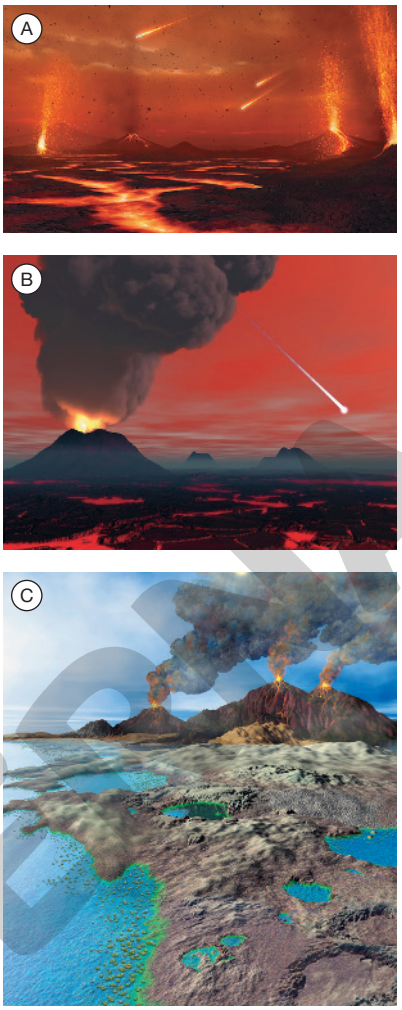
Evidências científicas sugerem que a Terra se formou entre 4,6 e 4,5 bilhões de anos atrás, a partir da aglomeração de minerais, poeira cósmica e gases presentes no disco de matéria que orbitava o Sol. A agregação progressiva desse material gerou grande pressão no interior do planeta em formação, com aumento da temperatura e derretimento de materiais rochosos mais internos, que escapavam para a superfície terrestre na forma de lava incandescente. Além dessa intensa atividade interna, a jovem Terra era continuamente bombardeada por asteroides vindos do espaço, que se chocavam com a superfície em eventos catastróficos, contribuindo ainda mais para o aumento da temperatura e da massa do planeta. Nenhum tipo de vida como a que conhecemos hoje poderia ter existido em condições tão adversas quanto as reinantes na Terra em seus primeiros 700 milhões de anos de existência.

A Terra em formação estaria envolta por uma atmosfera constituída principalmente de gás carbônico (CO_2), gás metano (CH_4), monóxido de carbono (CO) e gás nitrogênio (N_2), além de vapor de água (H_2O). Embora a maioria dos cientistas concorde com essa suposta composição da atmosfera da Terra primitiva, ainda há discordância sobre a origem dos gases atmosféricos. Uma corrente científica defende a hipótese de que a água e os gases da atmosfera terrestre originaram-se no interior do próprio planeta e foram expelidos pela atividade vulcânica. Outros, com base em recentes descobertas na pesquisa espacial, defendem a ideia de que parte significativa da água e dos gases atmosféricos da Terra primitiva teria chegado a bordo de cometas e asteroides.

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

A superfície da Terra primitiva foi esfriando em razão da contínua perda de calor para o espaço. O resfriamento possibilitou a formação de uma fina camada de material rochoso sólido em torno do planeta, a **crosta terrestre**. No princípio a crosta devia ser tão quente que água em estado líquido vaporizava-se imediatamente em contato com ela. Nas camadas superiores da atmosfera, mais frias, o vapor de água se condensava e se precipitava em forma de chuva. Na superfície, devido às altas temperaturas, toda a água voltava a evaporar e o processo se repetia. Acredita-se que na Terra de pouco mais de 500 milhões de anos de idade ocorriam tempestades torrenciais sem intervalos, durante milhões de anos seguidos.

A partir de determinado momento, a crosta terrestre teria esfriado o suficiente para que água líquida pudesse se acumular em suas depressões, formando imensas áreas alagadas precursoras dos oceanos. Esse teria sido o cenário em que surgiram os primeiros seres vivos, dos quais descendem todas as formas de vida (Fig. 2).



MARK GARLICK/SCIENCE PHOTO LIBRARY/GETTY IMAGES

STOCKTREK IMAGES/GETTY IMAGES

LYNETTE COOK/SCIENCE PHOTO LIBRARY/FOTOARENA

Figura 2 Representações artísticas das mudanças que teriam ocorrido gradualmente no ambiente da Terra primitiva. (A) Resfriamento superficial suficiente para início da formação da crosta terrestre, com intensa atividade vulcânica e bombardeamento da superfície por corpos celestes. (B) O resfriamento da crosta progride, mas ainda não permite acúmulo de água líquida. (C) A crosta fica suficientemente fria, o que permite a formação dos primeiros mares.

2. A origem da vida na Terra

Até meados do século XVII, era muito difundida a crença de que os seres vivos haviam sido criados por divindades. Doutrinas desse tipo são denominadas **criacionistas**. Admitia-se também que alguns tipos de seres vivos podiam surgir espontaneamente a partir da matéria sem vida, ou mesmo pela transformação de outros seres vivos. Essa era a base da **teoria da geração espontânea**, também chamada de **teoria da abiogênese**.

A teoria da abiogênese não resistiu à expansão do conhecimento científico e aos rigorosos testes realizados por cientistas criteriosos como Redi, Spallanzani e Pasteur, entre outros (veja no item 3 do capítulo). Esses pesquisadores forneceram as primeiras evidências científicas de que os seres vivos surgem somente pela reprodução de seres de sua própria espécie, ideia que ficou conhecida como **teoria da biogênese**.

Com o descrédito da teoria da geração espontânea e a consolidação da teoria da biogênese, sobressaiu uma nova questão: se os seres vivos não surgem espontaneamente da matéria inanimada, e sim apenas por reprodução de seres semelhantes, como os primeiros seres vivos surgiram na Terra? Alguns cientistas sugeriram que substâncias inorgânicas presentes na atmosfera da Terra primitiva teriam se reunido e originado moléculas orgânicas precursoras da vida.

Em 1953, o estadunidense Stanley Miller (1930-2007), então jovem aluno do eminente químico Harold C. Urey (1893-1981), construiu um aparelho no qual tentava simular as condições supostamente presentes na Terra primitiva. Nesse aparelho, formado por tubos e balões de vidro interligados, Miller injetou uma mistura gasosa composta por metano (CH_4), amônia (NH_3), hidrogênio (H_2) e vapor de água (H_2O), gases que, supunha-se na época, constituiriam a atmosfera da Terra primitiva.

A mistura gasosa injetada no aparelho foi aquecida e submetida a fortes descargas elétricas durante alguns dias. Assim, Miller tentava simular as condições atmosféricas reinantes no início de nosso planeta. No aparelho havia também um condensador, no qual a mistura de gases em circulação era resfriada.

O vapor de água presente na mistura gasosa condensava-se e escorria para a parte inferior do aparelho, onde se acumulava. Com isso Miller tentava simular as chuvas e o acúmulo de água nos mares e lagos da Terra primitiva. Por fim, um aquecedor fazia ferver a água em estado líquido acumulada no fundo do aparelho, vaporizando-a, o que simulava a evaporação da água na superfície quentíssima da jovem Terra. Após deixar o aparelho funcionando por cerca de uma semana, Miller

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

MODELO

realizou testes químicos no líquido que se acumulara na parte inferior do aparelho; nele haviam substâncias ausentes no início do experimento, entre elas os aminoácidos alanina e glicina, além de substâncias orgânicas mais simples (Fig. 3).

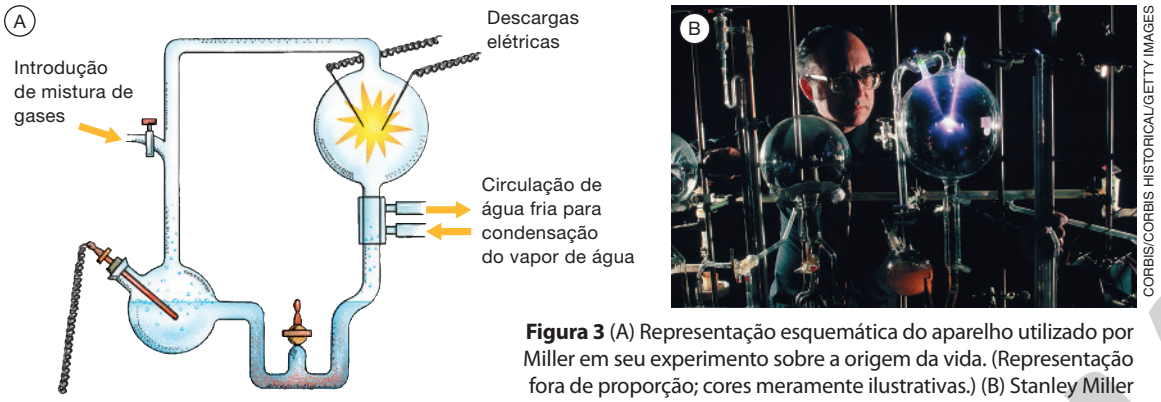


ILUSTRAÇÃO: ADILSON SECCO

CORBIS/CORBIS HISTORICAL/GETTY IMAGES

Figura 3 (A) Representação esquemática do aparelho utilizado por Miller em seu experimento sobre a origem da vida. (Representação fora de proporção; cores meramente ilustrativas.) (B) Stanley Miller junto aos equipamentos originais do laboratório em que ele tentou reproduzir, na década de 1950, as condições da atmosfera da Terra primitiva. (Fotografia de 1983.)

Fonte: adaptada de REECE, J. B. *et al. Biologia de Campbell*. 10. ed. Porto Alegre: Artmed, 2015.

Novas descobertas sugerem que a composição atmosférica da Terra primitiva era diferente da mistura de gases empregada por Miller em sua simulação (relembre, no item anterior do capítulo, quais seriam os gases atmosféricos que teriam constituído a atmosfera da Terra primitiva de acordo com os conhecimentos atuais).

Diversos experimentos tentaram simular as condições supostamente existentes na Terra primitiva. Em alguns deles conseguiu-se obter substâncias orgânicas semelhantes às dos seres vivos. Isso dá sustentação à hipótese de que, nas condições reinantes nos primórdios de nosso planeta, a matéria precursora da vida poderia ter surgido por um processo abiogênico, ou seja, sem a participação de seres vivos.

Outra possibilidade é que substâncias precursoras da vida tenham vindo do espaço sideral, trazidas por cometas e asteroides. Descobertas recentes têm fortalecido essa hipótese.

Aplicando conhecimentos

Registre as respostas em seu caderno.

1. Os cientistas acreditam que a vida na Terra surgiu há aproximadamente
1. d
a) 10 mil anos.
b) 5 milhões de anos.
c) 65 milhões de anos.
d) 3,5 bilhões de anos.

2. A importância do trabalho de Miller foi ter demonstrado, pela primeira vez, que
2. c
a) os primeiros seres vivos vieram do espaço.
b) a vida surgiu nos mares primitivos.
c) moléculas orgânicas poderiam ter se formado a partir de gases da atmosfera primitiva.
d) os primeiros seres vivos eram heterotróficos.

Teoria da evolução molecular

De que maneira os ingredientes precursores da vida, que seriam moléculas orgânicas simples formadas abioticamente, puderam originar seres vivos dotados de metabolismo, de capacidade de reprodução e dos demais atributos dos seres organizados?

Atualmente a maioria dos cientistas defende a ideia de que a vida surgiu por um longo processo de **evolução molecular**, no qual, inicialmente, compostos inorgânicos reagiram entre si, originando moléculas orgânicas relativamente simples, como aminoácidos, pequenos açúcares, bases nitrogenadas, ácidos graxos etc. Em condições adequadas, essas primeiras moléculas orgânicas teriam se combinado de várias maneiras, produzindo moléculas mais complexas como proteínas, lipídios e ácidos nucleicos. Finalmente essas moléculas orgânicas teriam originado estruturas capazes de controlar suas próprias reações químicas e de se autoduplicar. Tais atributos seriam os primeiros esboços do metabolismo e da reprodução, duas características fundamentais dos seres vivos.

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

MODERNA

Alguns cientistas defendem a ideia de que a vida na Terra tenha surgido a partir da chegada de substâncias precursoras de vida (ou mesmo de seres vivos) provenientes de outros locais do cosmo. Essa é a base da **hipótese da panspermia**, que voltou a ganhar força nos últimos anos com a descoberta de substâncias orgânicas em meteoritos, asteroides e cometas. Mesmo que isso tenha ocorrido, não se pode deixar de perguntar como substâncias precursoras da vida teriam surgido fora da Terra (Fig. 4).

Estudos da origem da vida são ainda muito incompletos porque os vestígios dos primeiros seres vivos foram quase totalmente destruídos pelas drásticas transformações ocorridas na crosta terrestre, nos milhões de anos de sua existência. Já foram encontrados vestígios de atividade biológica em rochas datadas de 2,7 bilhões de anos, provavelmente deixados por ancestrais das cianobactérias atuais. Novas descobertas, entretanto, sugerem que a vida na Terra teve início muito antes disso, há aproximadamente 3,5 bilhões de anos ou ainda antes, possivelmente nos oceanos. Recentemente uma equipe de cientistas descobriu, na África do Sul, evidências de microrganismos fossilizados que teriam vivido há mais de 3,2 bilhões de anos.

HENRY BORTMAN/NASA

Figura 4 Astrobióloga coletando amostras no Lago Mono (Califórnia, EUA, 2010). Nesse local foram encontrados microrganismos vivendo em condições até então consideradas impróprias à existência de vida. A descoberta sugere ser possível existir vida em lugares inóspitos do cosmo, o que de certa forma apoia a hipótese da panspermia.

A origem das primeiras células vivas

Nos seres vivos atuais, os processos que caracterizam a vida ocorrem no interior de **células**, compartimentos microscópicos isolados do ambiente externo por uma finíssima película envolvente, a **membrana plasmática**. Esse envoltório permite a manutenção de um ambiente celular interno diferenciado, adequado à ocorrência de processos e reações químicas essenciais à vida – o metabolismo. A ruptura da membrana celular leva à desorganização da estrutura celular e à morte da célula.

A importância da membrana celular leva à ideia de que uma etapa fundamental na origem da vida deve ter sido a formação de sistemas químicos delimitados por membranas, que os isolavam do meio externo. Tais sistemas podem ter se formado em charcos, lagos e oceanos primitivos, seja a partir de aglomerados de moléculas orgânicas originadas na própria Terra, como acreditam os defensores da hipótese da evolução molecular, seja a partir de moléculas vindas do espaço em corpos celestes que atingiram a Terra, como pensam os defensores da panspermia.

Experimentos de laboratório dão pistas sobre o que pode ter ocorrido com as moléculas precursoras da vida acumuladas na Terra primitiva. Quando se adicionam proteínas a soluções aquosas que apresentam certo grau de acidez e salinidade, é possível obter aglomerados proteicos microscópicos – os **coacervatos** –, graças à formação de uma película de moléculas de água ao redor das proteínas. Também se observou que, em determinados casos, proteínas podem se organizar formando películas ao redor de aglomerados de moléculas orgânicas. Esses fatos levaram os cientistas a pensar que, nas condições da Terra primitiva, moléculas orgânicas poderiam ter se isolado e se organizado, originando glóbulos microscópicos estáveis, quem sabe precursores da vida (Fig. 5).

ILUSTRAÇÃO: PAULO MANZI

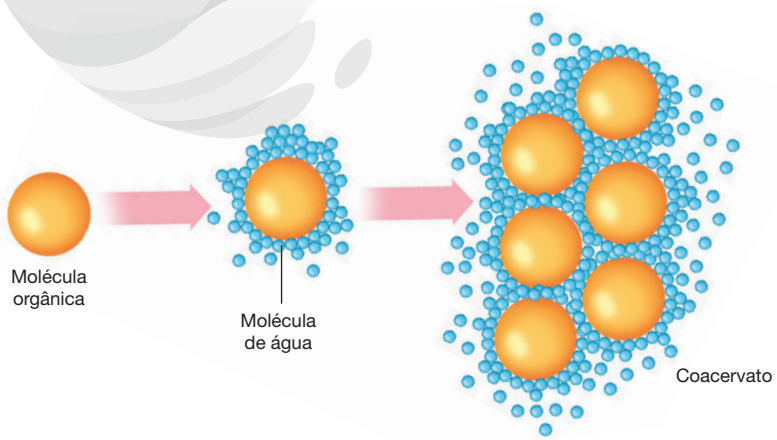


Figura 5 Representação esquemática da formação de coacervatos, como são chamados os aglomerados microscópicos de moléculas orgânicas (geralmente proteínas) mantidas juntas pela formação de películas de água ao redor. O processo de coacervação ganhou destaque ao ser proposto como um passo importante na origem da vida pelo bioquímico russo Aleksandr Oparin (1894-1980) e pelo geneticista britânico J. B. S. Haldane (1892-1964), no final da década de 1920. (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

O salto definitivo rumo aos seres vivos teria ocorrido há cerca de 3,5 bilhões de anos, quando glóbulos orgânicos microscópicos foram capazes de produzir seus próprios componentes, de modo a crescer e se reproduzir. Como teria se dado esse passo crucial na evolução da vida? Essa é uma pergunta para a qual a Ciência ainda não têm resposta.

As hipóteses heterotrófica e autotrófica

Embora não se saiba exatamente como moléculas orgânicas originaram seres vivos, supõe-se que as primeiras formas de vida eram microscópicas e delimitadas por uma membrana. No interior dos glóbulos precursores da vida, reações químicas ordenadas e controladas forneciam energia para transformar moléculas nutritivas em componentes desses proto-seres, possibilitando seu crescimento e sua reprodução.

Como os primeiros seres vivos obtinham a energia necessária para manter sua organização? Em outras palavras, de que eles se alimentavam? Para tentar responder a essa pergunta podemos analisar a alimentação dos seres atuais. Hoje há duas estratégias alimentares básicas entre os seres vivos: ou eles mesmos produzem seu alimento, ou o obtêm do meio onde vivem. No primeiro caso fala-se em **seres autotróficos** (do grego *autós*, "próprio", e *trophos*, "alimento"), capazes de produzir substâncias orgânicas a partir de gás carbônico (CO_2) e de energia do ambiente. São autotróficos alguns tipos de bactérias, todas as algas e quase todas as plantas atuais.

No segundo caso fala-se em **seres heterotróficos** (do grego *heteros*, "diferente"). Sendo incapazes de produzir o próprio alimento, esses seres têm de obtê-lo do meio externo, na forma de moléculas orgânicas. São heterotróficos os fungos, diversas bactérias, a quase totalidade dos protozoários e todos os animais.

Durante muito tempo predominou a ideia de que os primeiros seres vivos seriam heterotróficos. Os defensores dessa ideia, conhecida como **hipótese heterotrófica**, acreditavam que as mesmas substâncias que originaram os primeiros seres vivos também podiam ter-lhes servido de alimento. A energia obtida a partir dessas substâncias nutritivas ocorreria por um processo semelhante à fermentação, realizada por certos fungos e bactérias que conhecemos hoje.

Entretanto, a proposta atualmente mais aceita sobre a nutrição dos primeiros seres vivos é a **hipótese autotrófica**. Seus defensores argumentam que na Terra primitiva não haveria moléculas orgânicas em quantidade suficiente para sustentar a multiplicação dos primeiros seres vivos. Os primeiros habitantes da Terra poderiam ter sido **quimiolitoautotróficos** (do grego *litós*, "rocha"), ou seja, capazes de produzir suas substâncias alimentares a partir da energia liberada em reações entre componentes inorgânicos presentes nas rochas.

A **hipótese quimiolitoautotrófica** vem se consolidando graças à descoberta de microrganismos capazes de viver em ambientes inóspitos, como fontes de água quente e vulcões submarinos. Certos microrganismos quimiolitoautotróficos atuais conseguem viver ao redor de fendas vulcânicas submersas, onde há liberação de sulfeto de hidrogênio (H_2S). A existência de organismos em condições tão extremas reforça a ideia de que a vida pode ter surgido em ambientes semelhantes, supostamente abundantes na Terra primitiva (Fig. 6).

De acordo com a hipótese quimiolitoautotrófica, a partir dos primeiros seres quimiolitoautotróficos teriam surgido os outros tipos de seres vivos: inicialmente os que realizam fermentação, depois os fotossintetizantes e, por fim, os que respiram gás oxigênio (aeróbicos).

PACIFIC RING OF FIRE 2004 EXPEDITION, NOAA OFFICE OF OCEAN EXPLORATION; DR. BOB EMBLEY, NOAA PMEL, CHIEF SCIENTIST/SCIENCE PHOTO LIBRARY/FOTOARENA

Figura 6 Fonte hidrotermal submarina na região das Ilhas Marianas, no Oceano Pacífico Ocidental, fotografada em 2004. Em meados da década de 1970 foram descobertas comunidades biológicas vivendo em condições oceânicas como essas, a mais de 2.500 m de profundidade. A base da cadeia alimentar dessas comunidades é formada por bactérias quimiolitoautotróficas. Essa descoberta reforça a hipótese de que seres como esses poderiam ter sido as primeiras formas de vida na Terra.

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

MODERNA

3. Um pouco de história: abiogênese *versus* biogênese

A queda da teoria da geração espontânea (abiogênese)

Um dos primeiros experimentos científicos sobre a origem de seres vivos foi realizado em meados do século XVII pelo médico italiano Francesco Redi (1626-1697). Na época muitos acreditavam que os seres vermiformes, sempre presentes em cadáveres humanos e de animais, surgiam por transformação espontânea da carne em putrefação.

Redi discordava dessa ideia. Em seu livro intitulado *Experimentos sobre a geração de insetos* (em latim, *Experimenta circa generationem insectorum*), Redi conta como teve a ideia de que os seres vermiformes presentes nos cadáveres eram parte do ciclo de vida de moscas. Ao ler o poema épico *Ilíada*, datado do século IX ou VIII a.C., cuja autoria é atribuída ao grego Homero, o médico italiano se perguntou por que, no canto XIX da *Ilíada*, Aquiles teme que o corpo de Pátroclo se torne presa das moscas. Por que, questiona Redi, Aquiles pede a Tétis que proteja o corpo contra os insetos que poderiam originar vermes e corromper a carne do morto? Redi concluiu que os antigos gregos já sabiam que as larvas encontradas nos cadáveres se originavam de moscas que pousavam neles e ali depositavam seus ovos. Com base nessa premissa, formulou a hipótese de que tais "vermes" eram estágios imaturos, ou larvas, do ciclo de vida de moscas. As larvas nasciam de ovos colocados por moscas na carne e não por geração espontânea (Fig. 7).

Seguindo os procedimentos da ciência moderna, Redi raciocinou que, se os seres vermiformes realmente surgem de ovos colocados por moscas – essa é a hipótese –, então eles não apareceriam se as moscas fossem impedidas de pousar na carne – essa é uma dedução a partir da hipótese. Para testar sua hipótese, Redi realizou o seguinte experimento: distribuiu animais mortos em diversos frascos de boca larga, vedando alguns deles com uma gaze e deixando outros abertos. Nestes últimos, nos quais as moscas podiam entrar e sair livremente, logo surgiram seres vermiformes. Nos frascos vedados com gaze, nos quais as moscas eram impedidas de entrar, não apareceu nenhuma larva, mesmo após muitos dias. Desse modo a dedução a partir da hipótese foi confirmada e a hipótese, aceita (Fig. 8).

Embora a teoria da geração espontânea tenha perdido credibilidade com os experimentos de Redi, ela voltou a ser cogitada para explicar a origem dos seres microscópicos, ou microrganismos, descobertos em meados do século XVII pelo naturalista holandês Antonie van Leeuwenhoek (1632-1723) (Fig. 9).

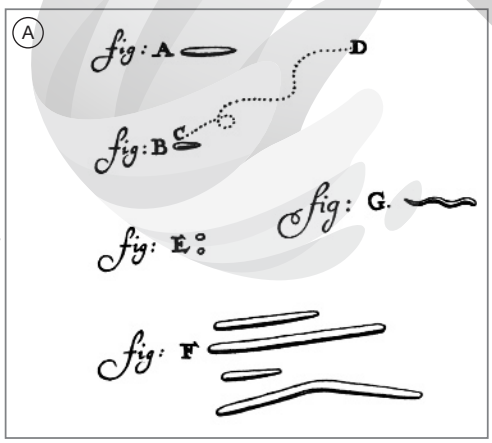
GIOVANNI ANTONIO PELLEGRINI - MUSEE MUNICIPAL, SOISSONS, FRANCE

Figura 7 *Aquiles contemplando o corpo de Pátroclo,* pintura de Giovanni Antonio Pellegrini, 1700. (Óleo sobre tela, 152,5 cm × 195,5 cm. Museu Municipal de Soissons, França.) A cena retrata uma passagem do poema *Ilíada*, atribuído a Homero, que serviu de inspiração para Redi idealizar seu experimento.

JURANDIR RIBEIRO

Figura 8 Representação do experimento de Redi que contribuiu para descartar a hipótese da geração espontânea dos "vermes" (larvas) que surgem na carne em putrefação. No frasco à esquerda, tampado com gaze, não surgiram larvas. No frasco à direita, no qual as moscas puderam entrar, surgiram larvas, que se alimentavam da carne. (Representação fora de proporção; cores meramente ilustrativas.)

Fonte: adaptada de ENCYCLOPAEDIA BRITANNICA. Disponível em: <https://www.britannica.com/science/spontaneous-generation>. Acesso em: 30 jun. 2020.



REPRODUÇÃO - ANTONIE VAN LEEUWENHOEK

ANTONIE VAN LEEUWENHOEK - MUSEUM BOERHAAVE, LEIDEN, NETHERLANDS

Figura 9 (A) Desenhos de seres microscópicos, popularmente chamados de micróbios, realizados por Leeuwenhoek em 1683. (B) *Retrato de Antonie van Leeuwenhoek*, em Delft, c. 1680, de Jan Verkolje, c. 1680. (Óleo sobre tela, 56 cm × 47,5 cm. Museu Boerhaave, Holanda.)

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

Em 1745 o naturalista inglês John Needham (1713-1781) realizou o seguinte experimento: distribuiu caldo nutritivo em diversos frascos, fervendo-os por 30 minutos e imediatamente fechando-os com rolhas de cortiça. Depois de alguns dias, os caldos estavam turvos, repletos de seres microscópicos. Assumindo que a fervura teria eliminado os seres eventualmente presentes no caldo original e que nenhum ser vivo poderia ter penetrado através das rolhas, Needham argumentou que só havia uma explicação para a presença de microrganismos nos frascos: eles haviam surgido por geração espontânea.

O padre e pesquisador italiano Lazzaro Spallanzani (1729-1799) não ficou convencido pelas conclusões de Needham e refez os experimentos. Preparou oito frascos com caldos nutritivos previamente fervidos durante longo tempo; quatro deles foram fechados com rolhas de cortiça, como fizera Needham, e os outros quatro tiveram seus gargalos derretidos ao fogo, de forma a garantir vedação hermética. Após alguns dias, o líquido dos frascos tampados com rolhas de cortiça estava turvo, repleto de microrganismos, enquanto nos frascos cujos gargalos tinham sido hermeticamente fechados no fogo não surgiram microrganismos. Spallanzani concluiu que a vedação ou o tempo curto de fervura utilizados por Needham, ou ambos, haviam sido incapazes de impedir a contaminação do caldo. Para Spallanzani os seres que surgiam nos caldos vinham do ar ou do recipiente, e não gerados espontaneamente.

Em resposta a Spallanzani, Needham alegou que a fervura prolongada dos caldos nos experimentos de Spallanzani poderia ter destruído sua "força vital", um princípio imaterial que seria indispensável ao surgimento de vida. Em réplica, Spallanzani quebrou os gargalos fundidos de alguns frascos, cujo caldo ainda se mantinha livre de microrganismos, expondo seu conteúdo ao ar. Em pouco tempo os caldos tornaram-se turvos e repletos de microrganismos. Se a fervura prolongada tivesse mesmo destruído a "força vital" do caldo, argumentou Spallanzani, não deviam surgir microrganismos. Needham contra-argumentou mais uma vez, explicando que o princípio ativo, embora deteriorado pelo longo tempo de fervura, se restabelecera com a entrada de ar fresco, o que permitiu a geração espontânea de microrganismos. Spallanzani não conseguiu elaborar um experimento para descartar o contra-argumento de Needham e a controvérsia continuou.

Pasteur e a refutação definitiva da abiogênese

No início da década de 1860, a Academia Francesa de Ciências ofereceu um prêmio em dinheiro para quem realizasse um experimento definitivo sobre a origem dos microrganismos. Estimulado pelo desafio, o pesquisador francês Louis Pasteur (1822-1895) começou a trabalhar no assunto.

Em um de seus muitos experimentos, Pasteur distribuiu caldo nutritivo em quatro frascos de vidro, cujos gargalos foram amolecidos ao fogo, esticados e curvados na forma de um "longo pescoço de cisne". Na sequência, o cientista francês aqueceu o caldo até que saísse vapor pelas extremidades dos gargalos curvos; cessado o aquecimento, Pasteur deixou que o caldo resfriasse lentamente. O objetivo de Pasteur, ao curvar os gargalos dos frascos, era permitir a entrada de ar, mas impedir que partículas em suspensão (poeira, microrganismos etc.) chegassem ao caldo, contaminando-o. A expectativa era que microrganismos eventualmente presentes no ar ficassem retidos nas paredes do gargalo curvo, que atuaria como um filtro.

Apesar de o caldo estar em contato com o ar, não surgiram microrganismos em nenhum dos quatro frascos com "pescoço de cisne" preparados por Pasteur. De fato, microrganismos presentes no ar ficavam retidos nas curvas do gargalo e não conseguiam contaminar o caldo dos frascos.

Veja respostas e comentários sobre essa atividade no Suplemento do Professor.

Atividade prática

Reproduzindo a experiência de Francesco Redi

Material e métodos

Peça aos estudantes que se organizem em grupos e providenciem dois potes de vidro de boca larga, como os utilizados nas embalagens de palmito, duas bananas maduras com as cascas, cortadas em pedaços, algumas unidades de gaze (de ataduras) para tampar os potes e barbante ou fita-crepe.

Os pedaços de banana devem ser distribuídos entre os dois vidros. Tampe um deles com gaze, prendendo-a à borda do vidro com barbante ou fita-crepe, e deixe o outro aberto. Os vidros devem ser deixados em local sombreado e de fácil acesso a moscas drosófilas, que são atraídas pelas leveduras que se desenvolvem na banana em decomposição. Observe os frascos diariamente, anotando se há moscas voando ao redor dos dois frascos.

Resultados observados e questões

Observe, após uma semana, se houve o aparecimento de larvas em algum dos vidros. Em caso afirmativo anote os resultados e documente-os fotograficamente ou por meio de desenhos. Se não aparecerem larvas, espere mais alguns dias. Responda:

a) Que hipótese está sendo testada nessa experiência, semelhante à realizada por Francesco Redi?

b) De que maneira os resultados enfraquecem a teoria da geração espontânea e fortalecem a biogênese?

A sugestão é que seu grupo elabore um relatório da experiência apresentando a montagem experimental, a hipótese testada, os resultados obtidos e a discussão do grupo.

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

MODERNA

Para confirmar essa hipótese, Pasteur quebrou o gargalo de alguns frascos, verificando que, em poucos dias, os caldos ficaram turvos e repletos de microrganismos. O experimento demonstrou que o surgimento de microrganismos em caldos nutritivos fervidos era devido à contaminação por microrganismos provenientes do ambiente externo, e não por geração espontânea (Fig. 10).

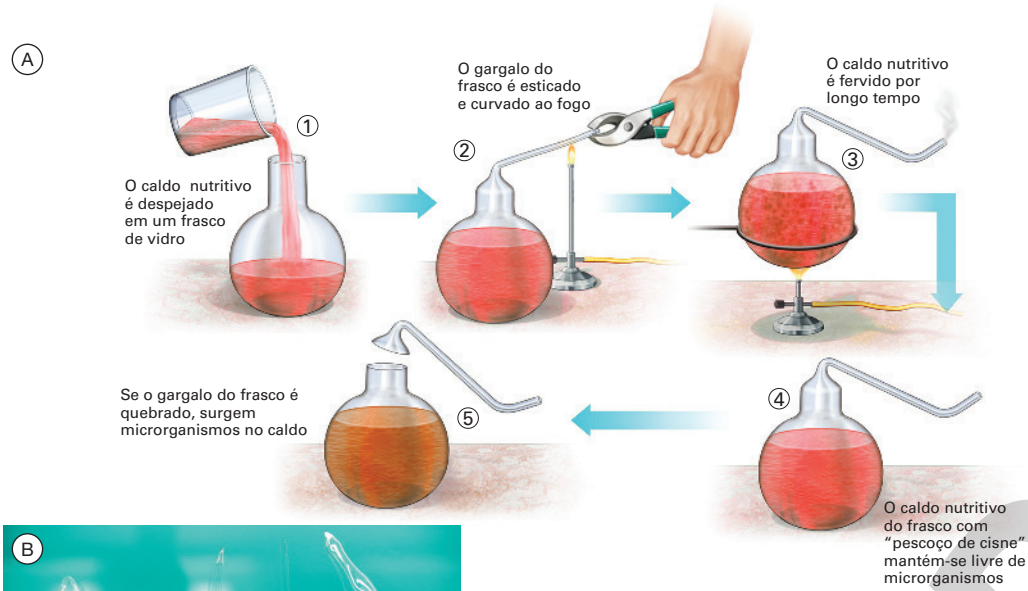


Figura 10 (A) Etapas do experimento realizado por Pasteur que descartou definitivamente a teoria da geração espontânea. (Representação fora de proporção; cores meramente ilustrativas.) (B) Alguns dos frascos utilizados por Pasteur em seus experimentos, até hoje mantidos no Museu do Instituto Pasteur, em Paris, França (Fotografia de 2008).

Fonte: adaptada de TORTORA, G. J.; FUNKE, B. R.; CASE, C. L. *Microbiologia*. 12. ed. Porto Alegre: Artmed, 2018.

Aplicando conhecimentos

Registre as respostas em seu caderno.

Escreva, em seu caderno, o termo abaixo que substitui corretamente a tarja entre parênteses das frases de 3 a 8.

a) célula
b) hipótese autotrófica
c) hipótese da panspermia
d) hipótese heterotrófica
e) quimiolitoautotrófico
f) teoria da evolução molecular

3. A denominação (■) aplica-se a organismos capazes de obter energia a partir de reações químicas entre componentes minerais.
3. e

4. (■) é considerada a unidade dos seres vivos, onde ocorrem as reações químicas essenciais à vida.
4. a

5. A frase "A Terra foi colonizada por vida proveniente do espaço" resume o(a) (■).
5. c

6. A descoberta de bactérias capazes de obter energia a partir de componentes inorgânicos da crosta terrestre reforça o(a) (■).
6. b

7. A ideia de que substâncias originalmente presentes na Terra primitiva formaram substâncias precursoras da vida e os primeiros seres vivos resume o(a) (■).
7. f

8. Os primeiros seres vivos obtinham alimento a partir de substâncias orgânicas presentes no meio em que tinham surgido. Essa frase resume o(a) (■).
8. d

Pesquisas sobre geração espontânea levam a novas tecnologias

Quantos alimentos já se estragaram por terem sido deixados expostos ao ar e contaminados por microrganismos? Esse pensamento ocorreu ao confeiteiro francês Nicolas Appert (1749-1841) ao conhecer as pesquisas e controvérsias sobre a origem dos microrganismos. Appert suspeitou que seres microscópicos poderiam ser os responsáveis pela deterioração dos alimentos, problema então enfrentado pelos fabricantes de produtos alimentícios.

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

Partindo do princípio de que caldos nutritivos previamente fervidos podiam ser guardados sob vedação hermética sem estragar, como Spallanzani havia demonstrado, Appert desenvolveu uma tecnologia para produzir alimentos em conserva que podiam ser armazenados por longo tempo sem sofrer deterioração. Surgia, assim, a indústria de alimentos enlatados.

Em 1850 Louis Pasteur, já famoso por seus estudos sobre os microrganismos, interessou-se pelo problema de deterioração do vinho que afetava a indústria vinícola de Arbois (França), sua terra natal. Em experimentos anteriores ele próprio já demonstrara que a transformação do suco de uvas em vinho resulta da atividade de microrganismos denominados leveduras, ou fermentos. Sua hipótese, agora, era que a deterioração do vinho decorria da contaminação por outro tipo de microrganismo, que se desenvolvia no vinho e o estragava.

Ao observar ao microscópio amostras de vinhos estragados, Pasteur encontrou microrganismos diferentes das leveduras naturais do vinho, o que reforçava sua hipótese. A questão era: como se livrar desses invasores indesejáveis sem alterar o sabor do vinho? Este não podia ser fervido, pois perderia totalmente suas qualidades. Entretanto, Pasteur descobriu que o aquecimento do vinho por apenas alguns minutos a 57 °C era suficiente para eliminar os microrganismos indesejáveis sem alterar o sabor da bebida; com isso ele inventava o processo que, em sua homenagem, recebeu o nome de pasteurização.

A **pasteurização**, tecnologia para a eliminação seletiva de microrganismos pelo aquecimento brando, é largamente empregada na indústria de alimentos atualmente. Em diversos países, incluindo o Brasil, é obrigatório pasteurizar o leite e seus derivados antes de comercializá-los. Nesse processo, o leite é mantido a 62 °C por 30 minutos, o que elimina a bactéria *Mycobacterium tuberculosis*, microrganismo frequentemente presente no gado bovino e que pode causar tuberculose no ser humano. A pasteurização elimina também outros microrganismos responsáveis pela deterioração do leite, prolongando sua vida útil.

Veja respostas e comentários sobre essa atividade no Suplemento do Professor.

Dialogando com o texto

O leite fresco submetido ao processo de pasteurização pode ser encontrado embalado em saquinhos ou garrafas, armazenados em locais refrigerados; sua validade é de poucos dias. O leite "longa vida", geralmente acondicionado em caixas de papelão aluminizado hermeticamente fechadas, é submetido a um processo diferente denominado método UHT (é fácil achar essa sigla nessas caixas de leite), que significa "*Ultra High Temperature*" (temperatura ultra-alta). Seu desafio, neste exercício, é pesquisar na internet os verbetes "leite pasteurizado" e "leite UHT". Em seguida escreva um pequeno texto sobre esses processos, que têm como objetivo manter o leite livre de microrganismos indesejáveis. Inclua ainda em sua resposta por que o leite (e outros alimentos) guardado na geladeira dura mais tempo.

Atividades finais

Registre as respostas em seu caderno.

Veja respostas e comentários no Suplemento do Professor.

1. (Enem) Apesar da grande diversidade biológica, a hipótese de que a vida na Terra tenha tido uma única origem comum é aceita pela comunidade científica. Uma evidência que apoia essa hipótese é a observação de processos biológicos comuns a todos os seres vivos atualmente existentes.

1. e

Um exemplo de tal processo é o(a)

a) desenvolvimento embrionário.
b) reprodução sexuada.
c) respiração aeróbica.
d) excreção urinária.
e) síntese proteica.

2. (UEA-AM)

2. a

> Embora não se tenha um retrato exato dos primeiros seres vivos a aparecerem na Terra, é provável que tivessem tamanho microscópico e fossem delimitados por uma membrana. Mas, do que se alimentavam os primeiros seres vivos? Duas hipóteses dominam as discussões: a hipótese heterotrófica e a hipótese autotrófica.
>
> (Fonte: AMABIS, José Mariano, MARTHO, Gilberto Rodrigues. *Biologia das células*, 2004. Adaptado.)

Segundo a hipótese

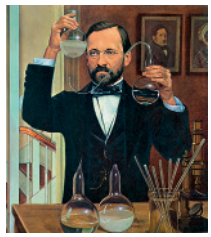
a) autotrófica, os primeiros organismos sintetizavam suas próprias substâncias alimentares a partir da energia liberada por reações químicas entre compostos inorgânicos da crosta terrestre.
b) heterotrófica, os primeiros organismos sintetizavam moléculas orgânicas a partir das moléculas inorgânicas que naturalmente se formavam no ambiente, utilizando a energia da luz.
c) autotrófica, os primeiros organismos sintetizavam moléculas orgânicas a partir de substâncias inorgânicas simples, utilizando a energia produzida em reações de fermentação.
d) heterotrófica, os primeiros organismos se alimentavam de moléculas orgânicas naturalmente produzidas no ambiente e das quais obtinham energia através da respiração celular.
e) autotrófica, os primeiros organismos se alimentavam de protocélulas ricas em moléculas orgânicas e abundantes nos mares primitivos, das quais obtinham a energia para a síntese de suas próprias moléculas.

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

MODELO

3. (FGV-SP) No século XIX, Louis Pasteur realizou experimentos utilizando frascos com e sem pescoços alongados (pescoços de cisne), com o objetivo de compreender a origem da contaminação por microrganismos em meios de cultura, conforme ilustrado ao lado.

3. e



EVERETT/SHUTTERSTOCK - COLEÇÃO PARTICULAR

Tais experimentos embasaram Pasteur a comprovar a teoria

a) da abiogênese, observando que os microrganismos são gerados constantemente em meios nutritivos adequados, desde que em contato direto com o ar.

b) da geração espontânea, observando que os microrganismos se proliferam em meios nutritivos adequados, independentemente do contato direto com ar.

c) da evolução biológica, observando que o ambiente adequado proporciona o surgimento de diversidade biológica, desde que em contato direto com o ar.

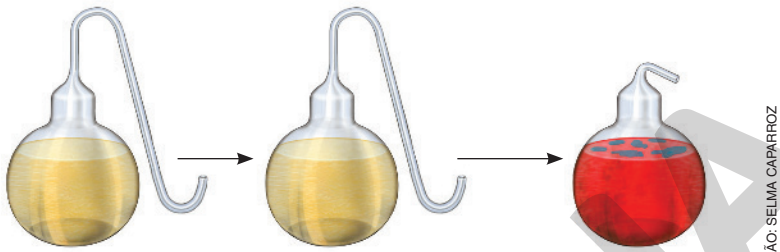


ILUSTRAÇÃO: SELMA CAPARROZ

d) celular, observando que todos os organismos são formados por algum tipo de organização celular, independentemente do contato direto com o ar.

e) da biogênese, observando que todo organismo vivo provém de outro preexistente, independentemente do contato direto com o ar.

4. (UPE) Para explicar os fenômenos naturais, a ciência precisa de um bom observador e de experimentos que reproduzam, em parte, tais fenômenos. E foi o que Francesco Redi (1626-1698) fez para provar a teoria da biogênese. Nessa mesma época, havia outros cientistas que reforçavam a hipótese da geração espontânea com diferentes experimentos.

4. a

Escolha a alternativa que relaciona corretamente o primeiro experimento de Redi, para provar a biogênese, com o segundo experimento, que sustentava a abiogênese.

	Biogênese	Abiogênese
a)	Frascos contendo pedaços de carne, tampados com gaze e abertos.	Caldo de carne fervido em frascos de vidro e, depois, tampados e repousados por alguns dias.
b)	Caldo nutritivo fervido num recipiente até ficar estéril e fechado por algumas semanas. Posteriormente aberto.	Farrapos de tecidos guardados e monitorados, observando a presença de organismos.
c)	Substâncias nutritivas fervidas em balões de vidros hermeticamente fechados e, posteriormente levadas ao microscópio.	Observação de insetos em diferentes estágios de putrefação de animais mortos.
d)	Gases e vapor de água injetados em balões de vidro para simular a atmosfera.	Frutos deixados ao ar livre e abertos após alguns dias.
e)	Substâncias naturais orgânicas, injetadas em pedaços de carne.	Pedaços de carne e frutas frescas levados *in natura* para o microscópio.

5. (Uece) Em relação às teorias sobre a origem da vida, é correto afirmar que a

5. c

a) teoria da geração espontânea ou biogênese motivou Jean Baptista van Helmont a propor uma receita para produzir ratos usando camisas sujas e grãos de trigo.

b) expansão do conhecimento científico e a realização de experimentos rigorosos por Redi, Spallanzani, Pasteur e outros forneceram evidências da abiogênese.

c) panspermia afirma que a vida na Terra originou-se a partir de seres vivos ou substâncias precursoras da vida oriundas de outros locais do cosmo.

d) teoria da evolução química ou molecular admite que a vida é resultado da evolução química de compostos orgânicos em inorgânicos.

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

MODERNA

CAPÍTULO 2

ONDAS ELETROMAGNÉTICAS E TECNOLOGIA DAS TELECOMUNICAÇÕES

VO TRUNG DUNG/EURELIOS/LOOK AT SCIENCES SCIENCE PHOTO LIBRARY/FOTOARENA

Com a tecnologia do radiotelescópio do Institut de Radioastronomie Millimétrique (IRAM), localizado na Espanha, cientistas identificaram a molécula formamida (NH_2CHO) em uma estrela em formação à distância de 800 anos-luz da Terra. A molécula é um composto orgânico essencial aos organismos vivos para a síntese de aminoácidos e proteínas. Foto de 2016.

A discussão sobre a existência de vida fora da Terra perdurou por muitos séculos, atravessou diversas culturas e permitiu o desenvolvimento de diferentes visões por pensadores, filósofos, teólogos, escritores e cientistas, que seguem discutindo sobre o assunto até hoje.

Uma das maneiras de identificar se há vida fora da Terra é buscar e analisar as moléculas ou os elementos químicos dos ambientes espaciais. Ainda não temos tecnologia para realizar missões espaciais que possam retornar à Terra com as amostras biológicas dos planetas e, por essa razão, essa busca é feita de forma indireta, por meio das bioassinaturas, que são sinais indicadores da possibilidade de vida, como as moléculas do metabolismo de organismos vivos.

A procura por moléculas no espaço, utilizando a bioassinatura tecnológica, é feita por meio da detecção de sinais em diversos comprimentos de onda, principalmente de sinais nas frequências das ondas de rádio e do infravermelho. Na frequência do infravermelho, os telescópios espaciais, como o Infrared Space Observatory (ISO), o Spitzer, os espectrômetros da sonda espacial Galileo e o jipe-robô Curiosity, pesquisam sinais de indícios de vida fora da Terra.

Até o momento, há um enorme banco de dados com as descobertas de moléculas, cujas detecções são capazes de determinar parâmetros físicos e físico-químicos das regiões de interesse.

Neste capítulo, vamos aprofundar o estudo de conceitos, como as ondas eletromagnéticas e o espectro eletromagnético, que permitem explorar temas tanto dentro quanto fora da Terra.

De olho na BNCC:

- **EM13CNT103**
- **EM13CNT104**
- **EM13CNT301**
- **EM13CHS102**
- **EM13MAT313**
- **EM13MAT314**

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

MODERNA

1. Introdução

Em 1800, o astrônomo Frederick William Herschel (1738-1822) relatou a descoberta de uma radiação eletromagnética invisível, com frequência abaixo da frequência do vermelho do espectro visível, denominada **radiação infravermelho**. Aproximadamente um ano depois, o físico Johann Wilhelm Ritter (1776-1810) detectou uma radiação invisível, situada logo após o extremo violeta do espectro visível, denominada **radiação ultravioleta**.

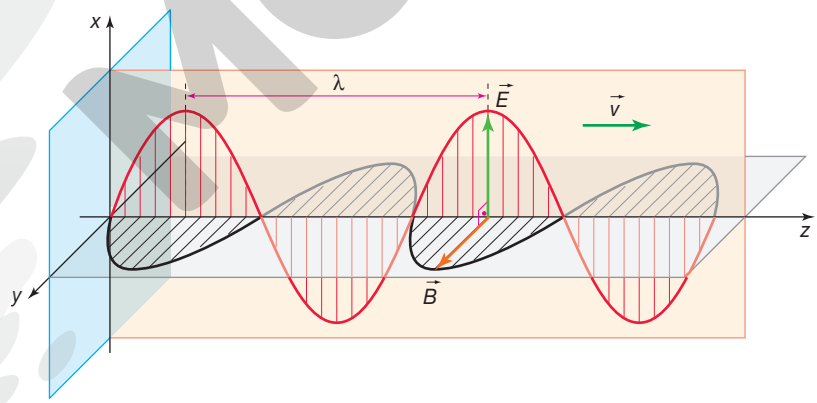
Entre 1861 e 1868, o físico e matemático escocês James C. Maxwell (1831-1879) sintetizou os conhecimentos sobre eletricidade, magnetismo e luz, até então considerados independentes, em um conjunto de quatro equações, hoje denominadas equações de Maxwell. Nascia, assim, o Eletromagnetismo. As equações de Maxwell previram a existência de campos elétricos e magnéticos oscilantes que se propagam pelo espaço na velocidade da luz. Essa propagação foi denominada **onda eletromagnética**.

2. Características das ondas eletromagnéticas

De acordo com as equações de Maxwell, um campo magnético variável induz o aparecimento de um campo elétrico, também variável. Esse campo elétrico variável, por sua vez, produz um campo magnético variável, que induzirá a produção de outro campo elétrico variável, e assim por diante.

Ao aplicar as equações a esses campos, Maxwell descobriu que o resultado da interação entre esses campos variáveis era a produção de **campos elétricos** e **magnéticos** que se propagavam pelo espaço como ondas. Com base em seus cálculos, Maxwell concluiu que as ondas poderiam se propagar até mesmo no vácuo, apresentando propriedades semelhantes às de uma onda mecânica, como reflexão, refração, difração, interferência e transporte de energia. Maxwell chamou-as de **ondas eletromagnéticas**, também conhecidas como **radiações eletromagnéticas**.

Em uma onda eletromagnética, os campos oscilantes $\vec{E}$ e $\vec{B}$ estão diretamente ligados: ambos oscilam em fase, ou seja, quando um deles atinge sua intensidade máxima ou mínima, o mesmo ocorre com o outro; quando um deles se anula, o outro também se anula. Além disso, os campos $\vec{E}$ e $\vec{B}$ oscilam em direções perpendiculares entre si, cada um determina um plano perpendicular à direção de propagação da onda, que se desloca com velocidade v. Essas ondas podem ser polarizadas, por isso podemos classificar as ondas eletromagnéticas como ondas transversais. A figura 1 mostra, esquematicamente, a disposição dos planos de oscilação dos campos elétrico e magnético de uma onda eletromagnética em relação à direção e ao sentido de sua propagação.



ADILSON SECCO

Figura 1 Representação esquemática do modelo da oscilação dos campos elétrico e magnético de uma onda eletromagnética. (Representação fora de proporção; cores meramente ilustrativas.)

A partir de suas equações, Maxwell estabeleceu uma relação entre as intensidades E e B dos campos elétrico e magnético em um dado ponto e a velocidade v de propagação desses campos:

$$\frac{E}{B} = v$$

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

Portanto, v é a velocidade de propagação da onda eletromagnética. No vácuo, essa velocidade tem valor igual ao da velocidade de propagação da luz no vácuo: $c \simeq 3{,}0 \cdot 10^8$ m/s. O valor exato dessa velocidade é 299.792.458 m/s, considerado uma **constante universal**. Todas as ondas eletromagnéticas propagam-se no vácuo com essa velocidade.

O exemplo a seguir aplica os conceitos estudados até aqui e mostra como aplicar essa teoria em exercícios que envolvem cálculos.

Considere uma onda luminosa cujo comprimento de onda, no vácuo, é de 600 nm. A intensidade máxima do campo elétrico dessa onda é de $9 \cdot 10^{-4}$ V/m.

Adote $3{,}0 \cdot 10^8$ m/s para a velocidade de propagação da luz no vácuo.

Determine para essa onda:

a) a sua frequência, em Hz;

b) a intensidade máxima do campo magnético oscilante.

Resolução:

Como a onda luminosa se propaga no vácuo, podemos concluir que sua velocidade de propagação é de $3 \cdot 10^8$ m/s. Vamos, então, aplicar as relações entre v, λ e f e, depois, entre v, E e B.

a) Pela equação fundamental da propagação ondulatória, temos:

$$v = \lambda \cdot f \Rightarrow 3 \cdot 10^8 = 600 \cdot 10^{-9} \cdot f \therefore f = 5 \cdot 10^{14}\ \text{Hz}$$

b) Para qualquer onda eletromagnética, sabemos que $\frac{E}{B} = v$. Então:

$$\frac{9 \cdot 10^{-4}}{B} = 3 \cdot 10^8 \Rightarrow B = \frac{9 \cdot 10^{-4}}{3 \cdot 10^8} \therefore B = 3 \cdot 10^{-12}\ \text{T} = 3\ \text{pT}$$

Aplicando conhecimentos

Veja respostas e comentários no Suplemento do Professor.

Registre as respostas em seu caderno.

1. Durante as missões Apollo, os astronautas se comunicavam com a base na Terra, em Houston, no Texas, por meio de ondas de rádio. Sabe-se que as ondas de rádio são ondas eletromagnéticas que se propagam, no vácuo, com velocidade de 300.000 km/s e que a distância da superfície da Terra à superfície da Lua é de aproximadamente 375.000 km. Qual era o intervalo de tempo médio entre a emissão de um sinal de rádio por Houston e sua recepção por um astronauta na Lua?

2. Uma onda eletromagnética propagando-se no vácuo tem pico de intensidade do campo elétrico de $9{,}6 \cdot 10^{-4}$ V/m. Qual é o valor do pico de intensidade do campo magnético?

Adote $3 \cdot 10^8$ m/s para a velocidade de propagação da onda eletromagnética no vácuo.

3. Espectro eletromagnético

Durante a primeira década do século XIX, o cientista Thomas Young já havia determinado que o comprimento de onda das radiações visíveis estava situado entre 400 nm (violeta) e 750 nm (vermelho).

Em 1887, o físico alemão Heinrich Hertz (1857-1894) conseguiu gerar e detectar experimentalmente ondas eletromagnéticas de vários comprimentos de onda, porém não visíveis. Posteriormente, Hertz demonstrou que essas ondas se propagavam com velocidade igual à da luz no vácuo e tinham todas as características semelhantes às da luz. Essas ondas, por muito tempo denominadas **ondas hertzianas**, confirmaram as previsões de Maxwell e são conhecidas hoje como **ondas de rádio**, por serem usadas para transmitir sinais de rádio e TV.

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

MODERNA

As ondas de rádio e as ondas luminosas são apenas dois componentes de um amplo conjunto de radiações eletromagnéticas denominado **espectro eletromagnético** (Fig. 2).

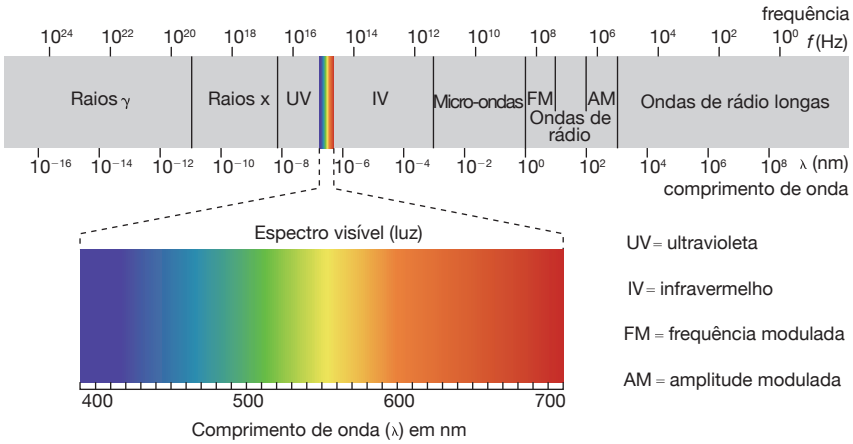


ILUSTRAÇÃO: NELSON MATSUDA

Figura 2 Espectro eletromagnético, com destaque para as radiações luminosas.

Ondas de rádio

As ondas de rádio podem ser geradas pelo movimento oscilatório de elétrons, como o que ocorre em uma antena transmissora submetida a uma tensão elétrica alternante. Os comprimentos de onda das ondas de rádio têm valores que vão desde alguns milímetros até centenas de milhares de quilômetros. É a faixa mais extensa do espectro eletromagnético.

Ondas de rádio são usadas para a comunicação entre dois pontos não conectados fisicamente. A comunicação se baseia na emissão de ondas eletromagnéticas a partir de uma antena transmissora e sua posterior captação por uma antena receptora. Quando as ondas são captadas, uma pequena força eletromotriz é induzida no circuito da antena receptora em razão da variação do campo magnético. A força eletromotriz é, então, amplificada e as informações originais, contidas nas ondas de rádio, são recuperadas e apresentadas de maneira que sejam entendidas, como um som, em um rádio, ou uma imagem, em uma tela de televisão.

Micro-ondas

As micro-ondas, cujos comprimentos de onda estão entre 1,0 milímetro e 1,0 metro, são geradas em válvulas eletrônicas especiais. No campo das telecomunicações, são empregadas para carregar informações do sistema de telefonia e de televisão. A vantagem na utilização das micro-ondas é que, por terem maior frequência, transportam mais informações que as ondas de rádio.

As micro-ondas, assim como as ondas de rádio, são classificadas como radiações não ionizantes, pois seus efeitos são estritamente térmicos e, portanto, não alteram a estrutura molecular do material a elas exposto.

Aplicando conhecimentos

Veja respostas e comentários no Suplemento do Professor.

Registre as respostas em seu caderno.

3. Um aparelho de rádio é sintonizado em uma emissora A (950 kHz) e, logo depois, em uma emissora B (98 MHz). Compare numericamente os comprimentos de onda, λ_A e λ_B, das ondas emitidas por essas duas emissoras de rádio.

4. O aquecimento dos alimentos em um forno de micro-ondas é provocado pela absorção de energia por alguns tipos de moléculas de água, gorduras e açúcares, devido ao fenômeno da ressonância. A frequência das micro-ondas utilizadas nesses fornos é de 2,45 GHz. Considere que a velocidade de propagação das micro-ondas no ar seja igual a $3{,}0 \cdot 10^8$ m/s.

a) Por que os fabricantes de fornos de micro-ondas aconselham os usuários a não colocar objetos metálicos no interior do forno durante seu funcionamento?

b) Qual é o comprimento de onda dessas micro-ondas em cm? Utilize uma calculadora simples para resolver a questão.

Luz (espectro visível)

A **luz** é o conjunto das ondas eletromagnéticas que, ao penetrarem em nossos olhos, podem sensibilizar a retina e desencadear o mecanismo da visão. Essas ondas, como qualquer outra radiação eletromagnética, são originadas pelas oscilações de cargas elétricas.

MODERNA

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

Isaac Newton percebeu que a luz se propagava em linha reta e descobriu também que, ao atravessar um prisma de vidro, a luz solar branca sofria dispersão e se decompunha nas cores do arco-íris (Fig. 3). Newton defendia a hipótese de que a luz era constituída por partículas que obedeciam às leis da Mecânica.

A ideia de que a luz pode ser explicada pela atividade oscilatória de um meio não identificado levou o físico e astrônomo holandês Christiaan Huygens (1629-1695) a propor, em 1687, a **teoria ondulatória da luz**.

Como as frequências das ondas do espectro eletromagnético variam de modo contínuo, temos naquela faixa do espectro um número infinito de cores variando em tons degradê. Nesse degradê contínuo de cores, destacam-se sete regiões. O diagrama da figura 4 mostra os intervalos de comprimento de onda em cada uma das sete regiões do espectro e suas respectivas frequências.

A luz solar branca resulta da superposição das infinitas cores do espectro visível, e isso pode ser evidenciado quando um feixe de luz solar atravessa um prisma de vidro. A decomposição da luz branca é explicada pela diferença no valor da velocidade de propagação de cada radiação (cor) em meios materiais. Assim, temos:

$$\lambda_{violeta} < \lambda_{anil} < \lambda_{azul} < \lambda_{verde} < \lambda_{amarelo} < \lambda_{laranja} < \lambda_{vermelho}$$

ou

$$V_{violeta} < V_{anil} < V_{azul} < V_{verde} < V_{amarelo} < V_{laranja} < V_{vermelho}$$

Da segunda desigualdade acima, decorre que os valores correspondentes do índice de refração de um material são diferentes para cada cor, fazendo cada uma refratar de modo diferente ao penetrar nesse material ou emergir dele.

A luz permite o funcionamento de muitos instrumentos ópticos, como um espelho, um microscópio óptico ou uma fonte de *laser* (***l**ight **a**mplification by **s**timulated **e**mission of **r**adiation*), luz amplificada pela emissão estimulada de radiação.

No campo das telecomunicações, o *laser* é usado para transmitir informações por meio de cabos de fibra óptica. Na Medicina, os feixes de luz *laser* são amplamente usados em tratamentos dermatológicos e oftalmológicos.

Raios X

Os raios X, invisíveis aos olhos humanos, são ondas eletromagnéticas com comprimentos de ondas de 100 Å (10 nm) a 0,03 Å (3,0 pm) e intervalo de frequência entre $3{,}0 \cdot 10^{16}$ Hz e $1{,}0 \cdot 10^{20}$ Hz. Os raios X podem ser produzidos por transições de elétrons nas camadas mais internas dos átomos ou por colisões de elétrons de alta energia com os átomos de um alvo metálico (Fig. 5).

Essa radiação foi descoberta acidentalmente, em novembro de 1895, pelo físico alemão Wilhelm Conrad Röntgen (1845-1923). No esquema da figura 6, são mostrados os componentes de um equipamento de raios X usado para obter radiografias.

As radiografias são pouco eficientes para a visualização de tecidos moles, como músculos ou órgãos internos, como o fígado, pois os contrastes são pouco definidos. O uso dos raios X para a visualização de tecidos moles só foi possível a partir de 1972 com a invenção da **tomografia computadorizada**. Pela invenção do tomógrafo de raios X, que representou uma evolução no emprego dessa radiação, o engenheiro britânico Godfrey Newbold Hounsfield e o físico sul-africano naturalizado estadunidense Allan MacLeod Cormack receberam o Prêmio Nobel de Fisiologia ou Medicina em 1979.

BIBLIOTECA NACIONAL DA FRANÇA, PARIS

Figura 3 Gravura sobre a descoberta da dispersão da luz branca por Newton.

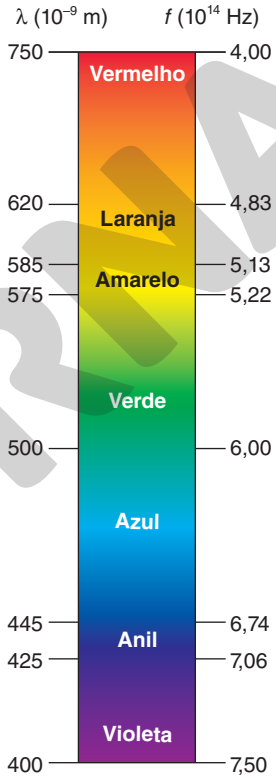


Figura 4 Diagrama do espectro visível.

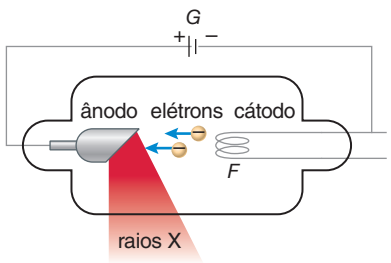


Figura 5 Esquema simplificado de uma ampola de raios X. (Representação fora de proporção; cores meramente ilustrativas.)

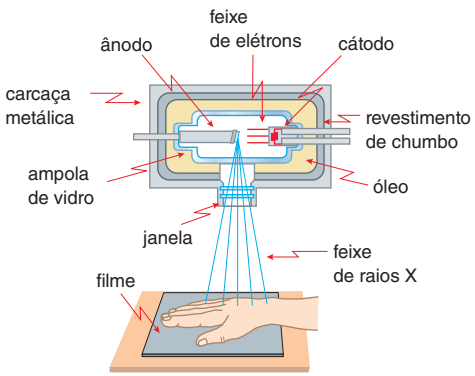


Figura 6 Esquema de obtenção de uma radiografia. (Representação fora de proporção; cores meramente ilustrativas.)

ILUSTRAÇÕES: ADILSON SECCO

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

MODERNA

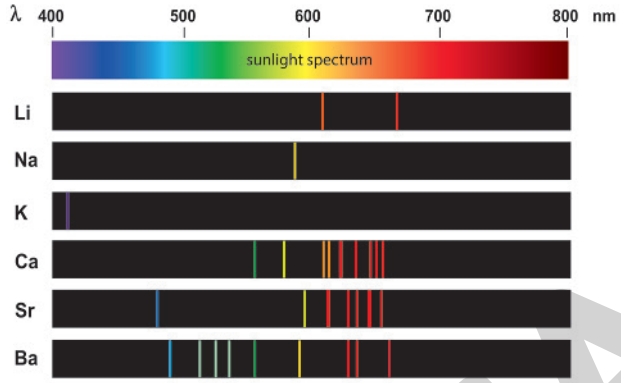
Veja comentários sobre essa atividade no Suplemento do Professor.

Espectroscópio caseiro

Atenção: Não aponte seu espectroscópio diretamente para o Sol.

Nesta atividade, vamos construir um espectroscópio caseiro e analisar a formação de algumas linhas espectrais encontradas no cotidiano. Um espectroscópio é um instrumento que mostra a composição espectral, isto é, o conjunto de frequências presentes na luz emitida por uma determinada fonte.

A espectroscopia é uma das ferramentas utilizadas para estudar o Universo. Cada elemento da tabela periódica, na fase gasosa, produz uma série de linhas brilhantes características. Assim, cada elemento químico tem uma "assinatura" única na Natureza. Por meio dessa técnica, pode-se identificar quais elementos químicos estão presentes na fonte que emitiu a luz analisada, além de outras características físicas dessa fonte (Fig. A).



MAGNETIX/SHUTTERSTOCK

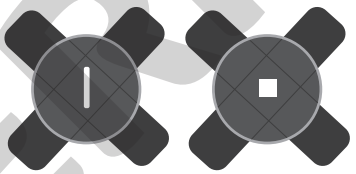
Figura A Espectro de emissão de alguns elementos químicos.

Materiais

- Fita isolante
- Fita adesiva comum
- Tubo de papel-toalha ou de papel-alumínio
- Papel *color set* preto
- CD
- Cola
- Régua
- Estilete
- Tesoura

Procedimento

1. Corte o tubo de papel deixando-o com 10 cm de comprimento, aproximadamente, e utilize o papel *color set* preto para revestir toda a sua superfície.
2. Faça duas tampas com abas para o cilindro de papel utilizando o papel preto, como indicado no exemplo ao lado. Em uma das tampas, faça uma fenda fina de 2 cm × 1 mm e, a seguir, faça uma abertura de 1 cm × 1 cm no centro da outra tampa (Fig. B).
3. Com a fita adesiva, retire a película refletora do CD (Fig. C).
4. Depois de retirar a película do CD, recorte um pedaço da borda de 2 cm × 2 cm, como na figura D.
5. Com a fita adesiva, fixe o pedaço recortado do CD na tampa com a abertura quadrada.
6. Com a fita isolante, fixe as duas tampas nas bordas do cilindro de papel, deixando-as alinhadas.



NELSON MATSUDA

Figura B

É importante deixar as linhas de gravação do CD paralelas à fenda do espectroscópio (Fig. E). Utilize a fita isolante para vedar os pontos de união entre o cilindro e as tampas para impedir a entrada de luz por essas regiões.

AKIKO AOKI/MOMENT RF/GETTY IMAGES

Figura C

Conclusões

Observe o padrão de formação das linhas apontando seu espectroscópio para algumas fontes de luz, como uma lâmpada fluorescente branca, uma lâmpada fluorescente azul e para lâmpadas incandescentes branca, amarela, verde e vermelha (nunca para o Sol!). Anote as principais diferenças e tire uma foto de sua observação.

1) Qual é a função do CD no espectroscópio? E a da fenda?
2) Quais são as diferenças entre o espectro da lâmpada fluorescente e o da lâmpada incandescente? Qual é a razão de os espectros serem tão distintos?
3) Explique as diferenças entre os espectros das lâmpadas incandescentes coloridas.
4) Se os telescópicos por espectroscopia encontrassem um espectro de emissão nunca detectado anteriormente, o que isso poderia significar?
5) Pesquise quais outras informações as linhas de emissão espectral podem fornecer.

Reúna-se em grupo e publique as informações que acharem mais interessantes em um *blog* ou em um vídeo.

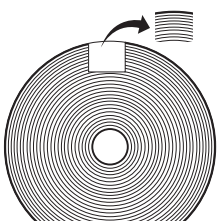
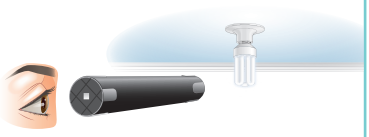


Figura D



ILUSTRAÇÕES: NELSON MATSUDA

Figura E

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

4. Tecnologia das comunicações

No que diz respeito às comunicações, o século XIX assistiu ao início de uma revolução na maneira de transmitir e receber informações, e o uso da eletricidade foi fundamental para esse salto. Com a invenção do telégrafo, pela primeira vez a informação pôde ser transmitida quase instantaneamente entre pontos afastados por centenas de quilômetros. Isso provocou profundas mudanças nas relações sociais e econômicas.

Telefone

Atualmente, fazer uma chamada telefônica é algo tão comum que não nos damos conta da complexidade envolvida em uma comunicação entre duas pessoas com o uso do telefone. A atribuição da invenção do telefone é um tema bastante controverso dentro da história da comunicação. Entretanto, em 11 de junho de 2002, o Congresso dos Estados Unidos reconheceu que a invenção do telefone cabe ao engenheiro italiano Antonio S. Giuseppe Meucci (1808-1889).

A figura 7 mostra, resumidamente, a evolução visual e funcional do telefone.

Figura 7 (A) Aparelho telefônico usado no século XIX; (B) aparelho usado nas primeiras décadas do século XX; (C) modelo de um dos aparelhos usados no final do século XX; (D) telefone móvel do século XXI, que reúne funções mais amplas que um simples aparelho para receber e fazer ligações.

Rádio

Conforme vimos anteriormente, em 1887, o físico alemão Heinrich Hertz gerou e detectou ondas eletromagnéticas e concluiu que existia a propagação de algum tipo de onda entre a fonte de cargas oscilantes e a bobina. Essas ondas eletromagnéticas, conhecidas hoje como **ondas de rádio** ou **ondas de radiofrequência** (**RF**), são usadas, entre outras aplicações, para a transmissão de sinais de rádio e TV, transmissões telefônicas e rádio amador.

De maneira independente, o padre brasileiro Roberto Landell de Moura construiu aparelhos para comunicação que utilizavam ondas de rádio. Em 3 de junho de 1900, ele realizou uma demonstração pública de telegrafia e telefonia sem fio entre o alto da avenida Paulista e o bairro de Santana, na cidade de São Paulo, distantes 8 km em linha reta. Em 1904, depois de inúmeros contratempos, o padre Landell de Moura conseguiu patentear nos Estados Unidos três de seus inventos: o telégrafo sem fio, o telefone sem fio e o transmissor de ondas de rádio. O padre Landell é considerado, portanto, o maior inventor brasileiro na área das telecomunicações.

Televisão

Ingleses e estadunidenses consideram que o inventor da televisão é o engenheiro escocês John Logie Baird. Em 1925, ele conseguiu transmitir contornos de imagens em movimento, tendo feito, então, a primeira transmissão transatlântica de televisão entre Londres e Nova York, em 1928. De 1925 até atualmente, a TV evoluiu muito na aparência, na qualidade das imagens, nos processos de geração dessas imagens, no alcance das transmissões e nas suas aplicações.

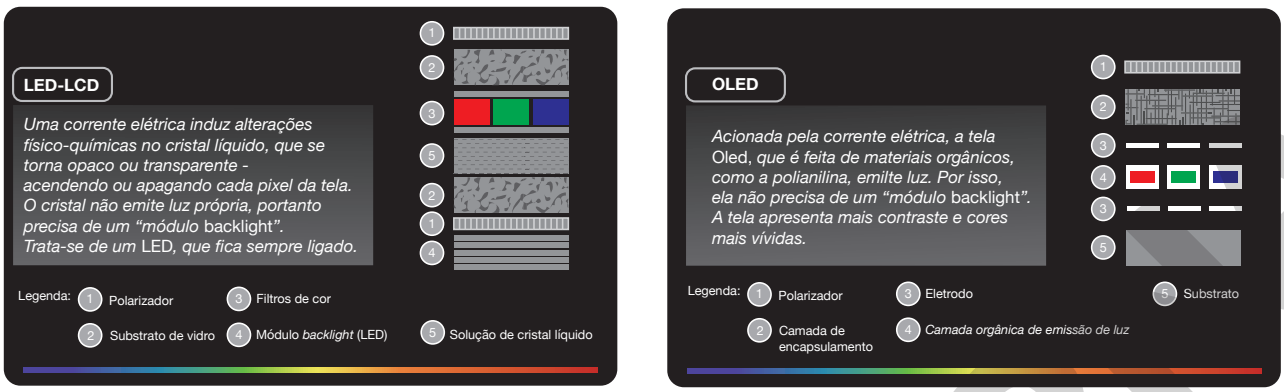
Figura 8 (A) Chassi de um aparelho de televisão de 1949; (B) televisão de LED; (C) televisão de OLED.

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

Televisão de LED

A sigla LED (***L**ight-**E**mitting **D**iod*) significa diodo emissor de luz. Os televisores de LED utilizam um painel de diodos emissores de luz como *backlight* (luz de fundo). Com a luz dos Leds, tem-se uma reprodução de cores com melhor definição e mais uniformidade, o que aumenta consideravelmente a qualidade da imagem. Atualmente, uma nova técnica está sendo desenvolvida: as telas de diodo orgânico emissor de luz ou simplesmente OLED (***O**rganic **L**ight-**E**mitting **D**iode*). Essas telas são ainda mais finas, mais leves e consomem menos energia elétrica.

Figura 9 Comparativo da tecnologia utilizada entre aparelhos de TV de LED e de OLED.



NELSON MATSUDA

Aplicando conhecimentos

Veja respostas e comentários no Suplemento do Professor.

Registre as respostas em seu caderno.

5. Pedro é torcedor de um grande time de futebol e vai assistir pela TV, com seus colegas de classe, a mais um jogo do Campeonato Brasileiro. Alunos aplicados de Física, antes de o jogo começar, o grupo comenta de que maneira o som e a imagem chegam ao aparelho. Quatro explicações foram apresentadas:

I. O som e a imagem chegam pela tomada.
II. O som chega pela antena e a imagem, pela tomada.
III. O som chega pela tomada e a imagem, pela antena.
IV. O som e a imagem chegam pela antena.

Qual é a explicação correta?

6. 6. d Considere as afirmações a seguir.

I. Os televisores de LED possuem estruturas análogas às dos televisores de LCD, utilizando um painel de diodos emissores de luz como *backlight*.
II. Os televisores de LCD possuem telas de cristal líquido.
III. Cristal líquido é um estado no qual uma substância, embora no estado líquido, apresenta propriedades de cristal sólido.

É correto afirmar que

a) somente a afirmação I é correta.
b) somente as afirmações I e II são corretas.
c) somente as afirmações II e III são corretas.
d) todas as afirmações são corretas.
e) todas as afirmações são incorretas.

Computador

A tecnologia evoluiu mais nos últimos três séculos do que em toda a existência do ser humano na Terra. Os inegáveis benefícios da informática e da ciência da informação aumentam incessantemente com a evolução dos computadores que, a cada dia, se tornam mais rápidos e eficientes.

Uma breve história do computador

No conceito atual, **computador** é um sistema, ou um conjunto de sistemas, que coleta, armazena e processa dados e informações seguindo rotinas de instruções, logicamente ordenadas, denominadas programas.

Os ábacos, instrumentos manuais ainda hoje utilizados para sistematizar e acelerar cálculos numéricos, existem desde 2700 a.C. Considerados as primeiras máquinas de calcular da humanidade, os ábacos reinaram absolutos até o século XVII (Fig. 10).

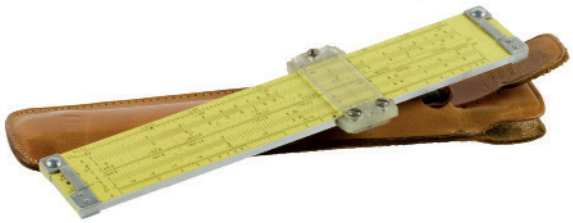
CHANG W. LEE/THE NEW YORK TIMES/FOTOARENA

Figura 10 Ábaco, em língua portuguesa, ou *Soroban*, em japonês. Essa é uma verdadeira calculadora digital, pois os valores são introduzidos e processados com os dedos (*digitus*, em latim).

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

MODERNA

Outro engenhoso instrumento de calcular muito usado por cientistas e engenheiros até meados dos anos 1970 era a régua de cálculo. Tecnicamente classificada como um computador analógico, a régua de cálculo foi idealizada em 1630 pelo matemático inglês William Oughtred (1574-1660). A figura 11 mostra uma régua de cálculo em uma versão de 1969.



123RF/EASYPIX BRASIL

Figura 11 Régua de cálculo. Esse modelo foi utilizado por astronautas na missão Apollo 11, em 1969. Em alguns cálculos, ela assegurava precisão até o décimo de milésimo.

Em 1642, o matemático e filósofo francês Blaise Pascal (1623-1662) criou a Pascaline, que era constituída de pequenas engrenagens rotativas montadas em eixos e executava automaticamente as operações de adição e subtração, usando os mesmos procedimentos do ábaco. A figura 12 mostra a Pascaline por fora (Fig. 12.A) e por dentro (Fig. 12.B).

Em 1672, o matemático alemão Gottfried Wilhelm von Leibniz (1646-1716) expandiu a capacidade da Pascaline incorporando-lhe as operações de multiplicação e divisão. Somente em 1936, Claude Shannon percebeu que os circuitos de chaveamento por relés, usados em telefonia, poderiam utilizar a álgebra binária de Leibniz e Boole para executar cálculos numéricos e operações lógicas, dando início ao que viria ser a **eletrônica digital**.

Em 1943, na Universidade da Pensilvânia, era iniciada a construção do ***E**lectronic **N**umerical **I**ntegrator **a**nd **C**omputer* (*ENIAC*), o "gigantesco cérebro", como era chamado.

Concluído em 1946, o ENIAC (Fig. 13) dissipava 174 kW de energia elétrica para alimentar suas 27 toneladas, que ocupavam uma área de aproximadamente 70 m^2. O ENIAC esteve em operação até outubro de 1955.

ARCHIVES CHARMET/ BRIDGEMAN IMAGES/ FOTOARENA

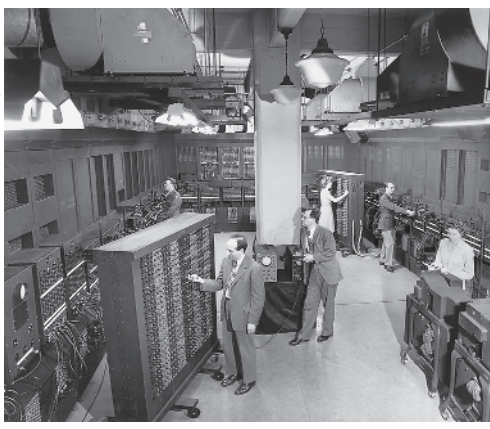
SSPL/GETTY IMAGES

Figura 12 (A) Vista externa de uma Pascaline; (B) vista interna.

Computadores e comunicação

Com a evolução da tecnologia, a comunicação tornou-se mais acessível, mais rápida na emissão e recepção das informações e atingiu maior alcance geográfico.

Os pesquisadores dividem a evolução da comunicação em três grandes revoluções. A primeira revolução foi a comunicação visual primitiva, que inclui as pinturas e escritas nas paredes das cavernas e nas rochas (inscrições rupestres). A segunda revolução foi a invenção da escrita impressa por Johannes Gutenberg. Assim, a informação pôde ser armazenada, deslocada, replicada e compartilhada por muitos em todo o mundo. A terceira revolução na comunicação da informação foi a possibilidade da transmissão das informações por ondas eletromagnéticas, por impulsos elétricos (bits) ou por impulsos luminosos (fibras ópticas).



MUSEU DA HISTÓRIA DO COMPUTADOR, MOUNTAIN VIEW, CALIFÓRNIA

Figura 13 ENIAC, Filadélfia, Estados Unidos, 1946.

Uma breve história da internet

A internet tem suas origens por volta de 1960, época em que o governo dos Estados Unidos financiou grandes projetos de redes de computadores para suas agências militares. Esse modelo local foi seguido por outros, em escala mundial, com objetivos civis e comerciais. Em meados da década de 1990, disseminaram-se inúmeras aplicações práticas dessa rede em todas as atividades da sociedade.

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

MODERNA

Telefonia móvel

A origem dos sistemas que operam os aparelhos de telefonia móvel, que hoje denominamos telefones celulares, teve início no século XX, em 1908, quando o fazendeiro e inventor Nathan Stubblefield registrou a primeira patente de telefonia sem fio em Kentucky, nos Estados Unidos.

O termo celular deve-se ao modo como as informações são transmitidas: de uma célula para outra célula. Cada célula é uma região com área que varia conforme a disponibilidade de recursos de transmissão (canais de frequência) e a população atendida por esses recursos, para permitir a utilização simultânea do serviço por milhares de usuários.

Os elementos básicos da telefonia celular são: a estação móvel (EM), constituída pelo próprio telefone celular; a estação rádio base (ERB), uma em cada célula, composta de uma antena e um pequeno equipamento de rádio transmissão (Fig.14) e a central de comutação e controle (CCC) da operadora.

A vantagem da telefonia celular é que ela opera com várias antenas de baixa potência espalhadas por uma região, em vez de uma única estação operando em alta potência.

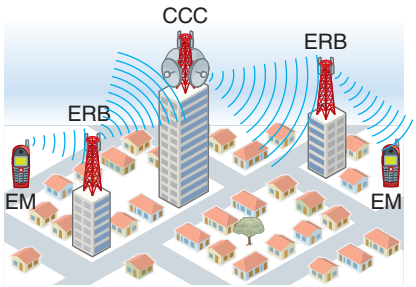


ILUSTRAÇÃO: ADILSON SECCO

Figura 14 Representação esquemática da interação dos elementos básicos de um sistema de telefonia celular.

Atividades finais

Registre as respostas em seu caderno.

Veja respostas e comentários no Suplemento do Professor.

1. 1. c (Enem) A passagem de uma quantidade adequada de corrente elétrica pelo filamento de uma lâmpada o deixa incandescente, produzindo luz. O gráfico abaixo mostra como a intensidade da luz emitida pela lâmpada está distribuída no espectro eletromagnético, estendendo-se desde a região ultravioleta (UV) até a região do infravermelho.

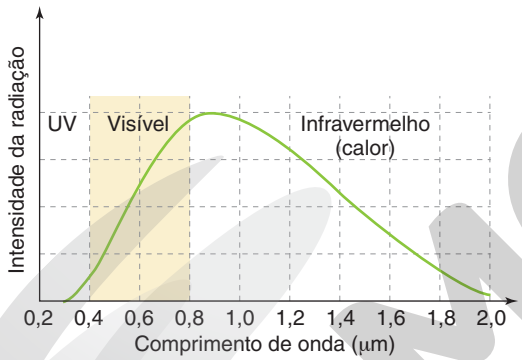
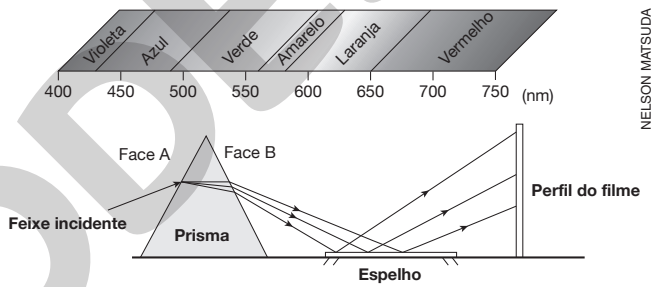


ILUSTRAÇÃO: ADILSON SECCO

A eficiência luminosa de uma lâmpada pode ser definida como a razão entre a quantidade de energia emitida na forma de luz visível e a quantidade total de energia gasta para o seu funcionamento. Admitindo-se que essas duas quantidades possam ser estimadas, respectivamente, pela área abaixo da parte da curva correspondente à faixa visível do espectro e pela área abaixo de toda a curva, a eficiência luminosa dessa lâmpada seria de aproximadamente:

a) 10%
b) 15%
c) 25%
d) 50%
e) 75%

2. 2. a (Enem) A figura representa um prisma óptico, constituído de um material transparente, cujo índice de refração é crescente com a frequência da luz que sobre ele incide. Um feixe luminoso, composto por luzes vermelha, azul e verde, incide na face *A*, emerge na face *B* e, após ser refletido por um espelho, incide num filme para fotografia colorida, revelando três pontos.

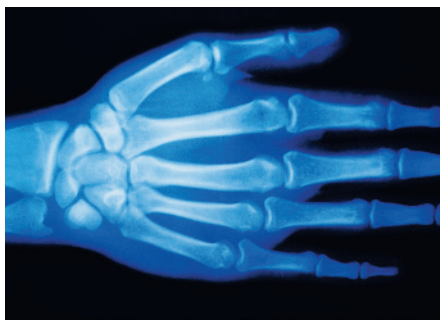


NELSON MATSUDA

Observando os pontos luminosos revelados no filme, de baixo para cima, constatam-se as seguintes cores:

a) vermelha, verde, azul.
b) verde, vermelha, azul.
c) azul, verde, vermelha.
d) verde, azul, vermelha.
e) azul, vermelha, verde.

3. 3. a Quando se olha para a radiografia de uma mão, observa-se que, na chapa, as posições correspondentes aos ossos são claras.

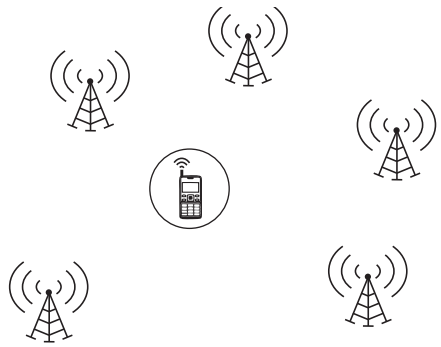

EDWARDOLIVE/SHUTTERSTOCK

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

Isso se deve ao fato de que nos tecidos mais densos:

a) há maior absorção dos raios X.
b) há menor absorção dos raios X.
c) os raios X são refletidos com mais intensidade.
d) há maior refração dos raios X.

4. 4. c Para obter a posição de um aparelho de telefonia celular, a polícia se baseia em informações do tempo de resposta do aparelho em relação às torres de celular da região de onde se originou a ligação. Em uma região, um aparelho está na área de cobertura de cinco torres, conforme o esquema.



ERICSON GUILHERME LUCIANO

Considerando que as torres e o celular são puntiformes e que estão sobre um mesmo plano, qual é o número mínimo de torres necessárias para localizar a posição do telefone celular que originou a ligação?

a) uma
b) duas
c) três
d) quatro
e) cinco

5. 5. e (Enem) Para que uma substância seja colorida ela deve absorver luz na região do visível. Quando uma amostra absorve luz visível, a cor que percebemos é a soma pelo objeto. A Figura 1 mostra o espectro de absorção para uma substância, e é possível observar que há um comprimento de onda em que a intensidade de absorção é máxima. Um observador pode prever a cor dessa substância pelo uso da roda de cores (Figura 2): o comprimento de onda correspondente à cor do objeto é encontrado no lado oposto ao comprimento de onda da absorção máxima.

Figura 1

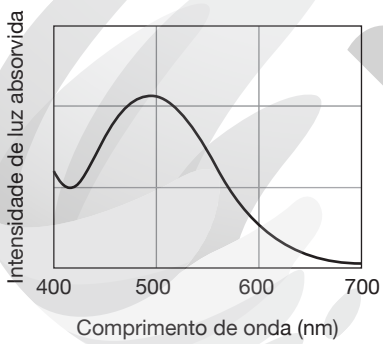
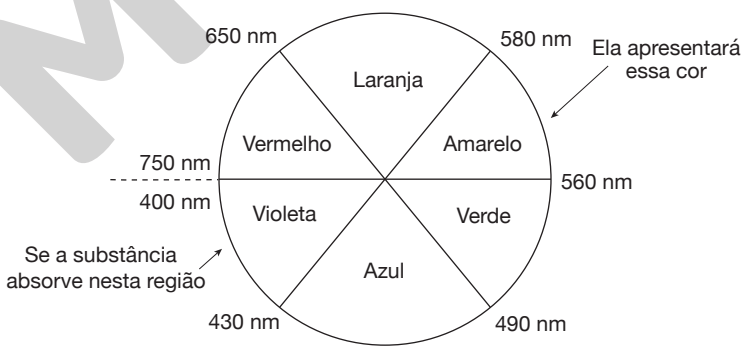


Figura 2



ILUSTRAÇÕES: NELSON MATSUDA

BROWN, T. *Química*: a Ciência Central. 2005 (adaptado).

Qual é a cor da substância que deu origem ao espectro da Figura 1?

a) Azul.
b) Verde.
c) Violeta.
d) Laranja.
e) Vermelho.

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

MODERNA

CAPÍTULO 3

FUNDAMENTOS DA EVOLUÇÃO BIOLÓGICA

VATICAN MUSEUMS AND GALLERIES, VATICAN CITY

Pintura do artista italiano Michelangelo (1475-1564) denominada *A Criação de Adão*, executada entre 1508 e 1512 no teto da Capela Sistina, no Vaticano. O trabalho retrata a visão criacionista do ser humano por Deus. Cerca de 350 anos depois, o naturalista inglês Charles Darwin apresentou sua teoria evolucionista, segundo a qual a humanidade teria se originado, por evolução, da mesma linhagem que originou os grandes macacos atuais.

Religião e Ciência têm objetivos distintos: a religião busca, de uma maneira geral, descobrir um sentido para a existência humana, estruturando-se em dogmas, que são verdades admitidas como absolutas e inquestionáveis, pertencentes ao domínio sobrenatural. A Ciência, por sua vez, tenta explicar fatos da natureza com base exclusivamente no domínio natural, ou seja, da própria natureza. O principal mentor do evolucionismo, o naturalista britânico Charles Darwin (1809-1882), era um homem religioso e, segundo consta, por toda a vida sentiu-se intimamente pressionado entre aceitar os dogmas religiosos ou a visão evolucionista que ele vislumbrava em seu trabalho de naturalista.

Visões criacionistas do mundo estão presentes em praticamente todas as culturas e refletem o contexto histórico em que surgiram. Além disso, os mitos da criação demonstram uma necessidade essencialmente humana: explicar a natureza e a origem dos seres vivos. As explicações de natureza mística ou sobrenatural pressupõem a existência de entidades onipotentes – deuses ou divindades –, responsáveis pela criação, manutenção e controle da natureza.

O mito de criação mais difundido entre os povos ocidentais de tradição judaico-cristã surgiu em antigas tribos hebraicas do Oriente Médio e aparece no livro Gênesis, o primeiro das bíblias hebraica e cristã. O livro narra detalhadamente a visão de um mundo criado por um deus único, eterno e soberano. Atualmente, muitos cristãos e judeus consideram o mito da criação descrito na Bíblia uma explicação alegórica para a criação do Universo. No entanto, há correntes fundamentalistas que defendem a interpretação literal da Bíblia e rejeitam explicações científicas para as origens do Universo e dos seres vivos, particularmente da espécie humana.

O desenvolvimento do pensamento científico no Renascimento possibilitou o emprego dos métodos e pressupostos da Ciência na elaboração de uma teoria cientificamente fundamentada para a origem do Universo, da Terra e dos seres vivos. Para a ciência atual, o Universo surgiu há 13,8 bilhões de anos em uma grande explosão, e não há nenhuma evidência de intervenção

De olho na BNCC

- EM13CNT103
- EM13CNT201
- EM13CNT205
- EM13CNT208
- EM13CNT301
- EM13CNT302
- EM13CHS106

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

MODELO

sobrenatural. Desde então, a expansão e a evolução do Universo continuam. Durante essa evolução surgiram estrelas, galáxias e planetas, um dos quais é a Terra, onde a vida surgiu, evoluiu e continua a evoluir.

Neste capítulo estudaremos as bases da teoria evolucionista, que tem como objetivo explicar as mudanças adaptativas pelas quais os seres vivos têm passado ao longo desses mais de 3,5 bilhões de anos de sua existência na Terra. Inicialmente é abordada a essência do pensamento evolucionista, com ênfase nas ideias e nos trabalhos de Charles Darwin. Em seguida são discutidas evidências em favor da teoria da evolução biológica. Além dos fósseis, que revelam como era a vida no passado geológico da Terra, as semelhanças entre os seres vivos, principalmente em níveis básicos – bioquímico, genético, celular, embrionário etc. –, fortalecem a ideia de que todos os seres vivos estão conectados pelo parentesco evolutivo. Finalmente são apresentados os fundamentos da moderna teoria evolucionista, denominada **teoria sintética da evolução**, que se estruturou pela contribuição de muitos cientistas, que sintetizaram conhecimentos modernos da Genética com as ideias de ancestralidade comum e seleção natural propostas por Darwin. O desenvolvimento do pensamento evolucionista mostra que o empreendimento científico resulta de contribuições integradas de muitos cientistas ao longo de séculos de cultura. Conhecer o que a Ciência diz a respeito de nossas origens ajuda a refletir sobre a história humana e sua relação com o Universo, do qual fazemos parte.

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

1. O pensamento evolucionista

Até o início da primeira metade do século XIX, a maioria dos naturalistas europeus acreditava que as espécies de seres vivos não se alteraram ao longo do tempo, doutrina que ficou conhecida como **fixismo**. De acordo com essa doutrina, as espécies atuais de seres vivos seriam as mesmas que existiram no passado, quando foram criadas, embora pudesse haver pequenas variações entre os membros de uma espécie.

A maior parte dos naturalistas europeus, inclusive o sueco Carl von Linné (1707-1778), pioneiro na classificação biológica, aceitava o **criacionismo**, doutrina que atribui o surgimento das espécies biológicas a um ato divino de criação.

O desenvolvimento da Ciência e a descoberta de novos continentes, com faunas e floras distintas das europeias, começaram a abalar as explicações religiosas para os fenômenos naturais. No século XVIII já havia naturalistas não fixistas, ou seja, que admitiam a transformação das espécies. No decorrer do século XIX foram publicadas as primeiras obras que defendiam a possibilidade de os seres vivos passarem por mudanças ao longo do tempo, com certas espécies originando outras. Surgiam assim as primeiras ideias evolucionistas, reunidas sob o rótulo de **evolucionismo**.

O evolucionismo vem passando por rigorosos testes e é atualmente apoiado por evidências científicas de ordem cosmológica, geológica, arqueológica e antropológica. Por enquanto, do ponto de vista da Ciência, a teoria evolucionista é a única a explicar racional e coerentemente o conjunto de fatos relacionados à origem e à diversidade de seres vivos na Terra.

As ideias evolucionistas de Lamarck

Um importante pioneiro na história do pensamento evolucionista foi o naturalista francês Jean-Baptiste Antoine de Monet (1744-1829). Por seu título de Cavaleiro de Lamarck, ele ficou conhecido como Jean-Baptiste Lamarck. De 1800 a 1822 Lamarck publicou diversas versões de sua teoria evolucionista. A mais conhecida delas está no livro *Philosophie zoologique* (*Filosofia zoológica*), de 1809. Os historiadores da Ciência costumam se referir às ideias e aos pressupostos evolucionistas de Lamarck como **lamarckismo** (Fig. 1).

ART IMAGES/GETTY IMAGES – COLEÇÃO PARTICULAR

Figura 1 Retrato de Jean-Baptiste Antoine de Monet, Cavaleiro de Lamarck. (Gravura do século XIX.)

MODERNA

De acordo com o lamarckismo, cada espécie atual de ser vivo teria surgido por transformações sucessivas de uma forma primitiva, esta, por sua vez, originada de matéria não viva. Lamarck acreditava que formas primitivas de vida surgiram por geração espontânea em diversos momentos da existência da Terra. Esses primeiros seres teriam se modificado ao longo das gerações como consequência de uma tendência inerente à natureza de aumentar sua complexidade. As ideias lamarckistas sofreram críticas desde sua publicação, principalmente por não se apoiarem em fatos observáveis e testáveis.

Lamarck ficou conhecido também por suas explicações sobre a influência do ambiente nas transformações evolutivas dos seres vivos. Segundo ele, o ambiente pode levar a mudanças de hábitos de um organismo, com desenvolvimento exacerbado de certas estruturas e atrofia de outras, em função de seu uso ou desuso; essas explicações resumem o que Lamarck denominou **lei do uso e desuso**.

Para ilustrar essa ideia, Lamarck citou a ausência de pernas nas serpentes atuais, atribuindo essa característica à falta de uso dos membros locomotores na ancestralidade desses animais. A adaptação a um modo de vida rastejante teria levado os ancestrais das serpentes a utilizarem cada vez menos as pernas, que se atrofiaram. Essa característica – a atrofia das pernas – teria sido transmitida ao longo das gerações, exemplificando o que Lamarck denominou **lei da transmissão das características adquiridas** (Fig. 2).

Hoje se sabe que alterações decorrentes do uso ou desuso de órgãos corporais não são transmitidas à descendência. Consequentemente, o pressuposto central da teoria lamarckista não tem validade científica.

Isso não significa, porém, que Lamarck não tenha sido importante para o evolucionismo. Sua principal contribuição foi destacar o fenômeno da adaptação dos seres vivos ao ambiente, o que determinaria modificações lentas e graduais ao longo de inúmeras gerações. A importância de Lamarck para o pensamento evolucionista foi destacada pelo próprio Darwin, segundo o qual o naturalista francês foi o primeiro a chamar a atenção para a possibilidade de todas as mudanças, tanto as do mundo orgânico quanto as do mundo inorgânico, serem decorrentes de leis naturais e não de interferência divina.

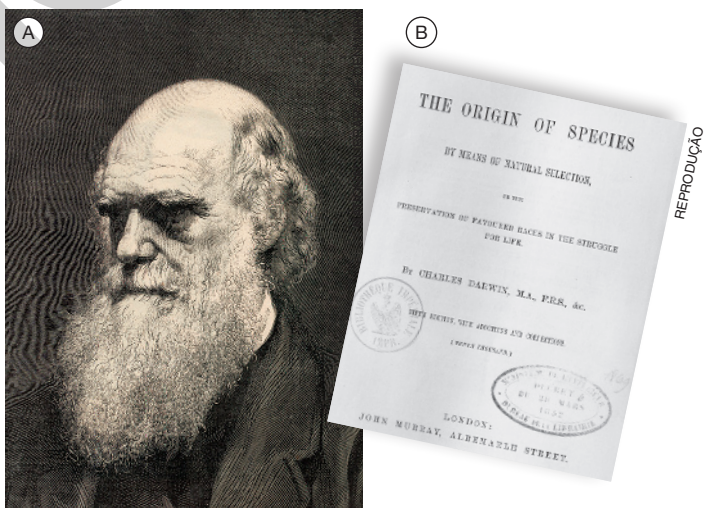
MIGUEL TREFAUT RODRIGUES

Figura 2 O lagarto *Calyptommatus leiolepis*, da região de dunas de Alagoado (PI), atinge cerca de 7 cm de comprimento. As pernas, nessa espécie, teriam sofrido redução evolutiva (note uma pequena perna traseira). Na visão lamarckista, a redução das pernas desse animal seria explicada pelas leis do uso e desuso e da transmissão das características adquiridas. Para a moderna teoria evolucionista, a redução das pernas resultou da adaptação ao ambiente por ação da seleção natural.

As ideias evolucionistas de Darwin

O naturalista inglês Charles Robert Darwin nasceu em 12 de fevereiro de 1809, coincidentemente o mesmo ano da publicação do livro *Filosofia zoológica* de Lamarck. Diz o evolucionista alemão naturalizado estadunidense Ernst Mayr (1904-2005) que Darwin não se limitou a defender a evolução biológica, mas a explicou com base em fenômenos e processos cotidianos, que qualquer pessoa poderia observar por si mesma na natureza (Fig. 3).

Muitas das observações que levaram Charles Darwin a elaborar sua teoria evolucionista ocorreram durante uma viagem de cinco anos que ele fez pelo mundo como naturalista do navio inglês H. S. S. Beagle. Após diversas paradas na costa da América do Sul, o navio seguiu para o arquipélago de Galápagos, situado a cerca de 800 quilômetros da costa do Equador. Nas ilhas pequenas e áridas de Galápagos, Darwin notou que a fauna e a flora apresentavam pequenas variações de uma ilha para outra.



REPRODUÇÃO

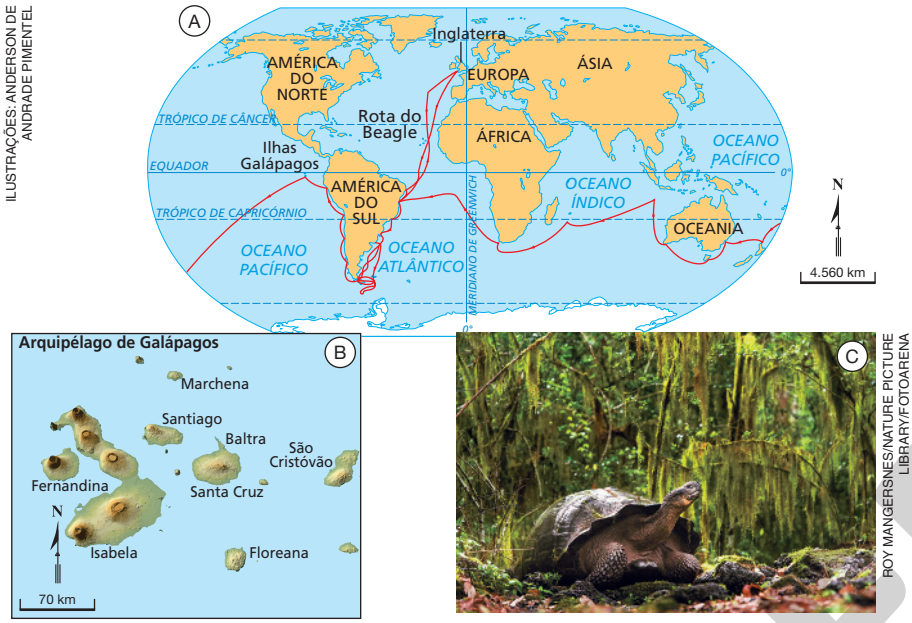
Figura 3 (A) Retrato de Charles Robert Darwin em 1874. (B) Página de rosto da edição de 1869 do livro de Darwin *On the origin of species by means of natural selection* (*A origem das espécies*).

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

MODERNA

Ao rever suas anotações e submeter o material coletado à sua própria análise e também à de diversos especialistas, Darwin compreendeu o significado das observações em Galápagos e em outros locais, convencendo-se da evolução biológica. No dia 10 de maio de 1837, cerca de sete meses após o retorno à Inglaterra, ele começou a escrever o primeiro caderno de anotações sobre a transmutação das espécies, no qual registrou suas ideias sobre o parentesco evolutivo entre as espécies de seres vivos (Fig. 4).

ILUSTRAÇÕES: ANDERSON DE ANDRADE PIMENTEL



ROY MANGERSNES/NATURE PICTURE LIBRARY/FOTOARENA

Figura 4 (A) As linhas vermelhas no mapa indicam o roteiro percorrido pelo navio britânico H. S. S. Beagle em sua viagem de cinco anos pelo mundo, de 7 de dezembro de 1831 a 2 de outubro de 1836. (B) Conjunto de ilhas de Galápagos, um dos pontos marcantes do roteiro do Beagle; o arquipélago fica perto da costa oeste da América do Sul, em águas territoriais do Equador. (C) Entre as espécies de Galápagos que chamaram a atenção de Darwin, estava o jabuti-gigante da espécie *Chelonoidis nigra*, que pode atingir 1,3 m de comprimento e 300 kg de massa corporal.

Fonte: adaptado de REECE, J. B. *et al. Biologia de Campbell*. 10. ed. Porto Alegre: Artmed, 2015.

Ao refletir sobre suas observações na viagem que realizou pelo mundo, Darwin fez a si mesmo as seguintes perguntas:

- Por que espécies distintas, mas nitidamente semelhantes, como as espécies de pássaros e de jabutis de Galápagos, foram colocadas pelo Criador apenas em ilhas próximas, e não distribuídas homogeneamente pelo mundo?
- Por que ilhas com clima e condições físicas semelhantes, mas distantes entre si, como Galápagos e Cabo Verde, não apresentam espécies semelhantes?
- Por que fósseis se parecem com espécies de seres vivos que habitam atualmente os locais onde tais fósseis são descobertos?

A resposta a essas perguntas foi a base da teoria evolucionista de Darwin, que ressalta a "descendência com modificação". Darwin concluiu que a semelhança entre a flora e a fauna de ilhas vizinhas deve-se a elas terem se originado das mesmas espécies ancestrais, provenientes de continentes próximos. A partir das espécies continentais, em cada uma das ilhas, as populações colonizadoras sofreram adaptações específicas ao longo das gerações, dando origem a diferentes variedades ou espécies.

Estudos realizados com a ajuda de técnicas recentes de Biologia Molecular têm confirmado as hipóteses de Darwin. Os jabutis-gigantes de Galápagos, por exemplo, pertencem a onze espécies muito semelhantes entre si. Para o evolucionismo darwiniano, a explicação para essa semelhança é que todas as onze espécies de jabuti se originaram de uma mesma espécie ancestral, proveniente do continente americano.

O conceito darwiniano de seleção natural

Sabia-se, na época de Darwin, que certos animais domesticados e certos vegetais cultivados pertenciam a espécies com representantes ainda na condição selvagem (Fig. 5).

Figura 5 (A) *Sus scrofa*, porco-selvagem que atinge entre 1,2 m e 1,8 m de comprimento, 90 cm de altura e entre 50 kg e 90 kg de massa corporal. (B) Porco domesticado (*Sus scrofa domesticus*) que pode atingir comprimento e altura semelhantes aos do porco-selvagem e ter entre 200 kg e 300 kg de massa corporal. O porco-selvagem originou o porco domesticado e as diferenças entre eles resultam da seleção realizada pelos criadores, que cruzam espécimes com características comercialmente desejáveis, entre as quais, por exemplo, maior massa corporal.

ROBERT PICKETT/ ALAMY/ FOTOARENA

BILDAGENTUR GEDULDIG / ALAMY/FOTOARENA

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

MODERNA

Comparando organismos domesticados com as formas selvagens das quais eles vieram, Darwin notou que as diferenças poderiam ser tão expressivas que, em certos casos, seria possível até mesmo considerar os organismos domesticados e os selvagens como espécies diferentes.

Para Darwin, a natureza exerce um papel seletivo semelhante ao dos agricultores e criadores de animais. Nas espécies selvagens são selecionados e sobrevivem, ou vivem melhor, indivíduos que apresentem características vantajosas nas condições ambientais então reinantes. Esses indivíduos tendem a deixar proporcionalmente mais descendentes do que outros, contribuindo significativamente para a formação da geração seguinte. Em linhas gerais é esse o conceito darwiniano de **seleção natural**.

Darwin concluiu seu mais longo trabalho sobre a origem das espécies e a seleção natural em 1844, mas não o publicou, receoso de que suas ideias não fossem bem aceitas em virtude de seu teor um tanto revolucionário. Entretanto, em junho de 1858, Darwin recebeu do naturalista inglês Alfred Russel Wallace (1823-1913) uma carta acompanhada de um manuscrito no qual ele relatava que, ao estudar as faunas da Amazônia e das Índias Orientais, havia chegado à conclusão de que as espécies se modificam pela "seleção dos mais aptos". Impressionado com as semelhanças entre seu trabalho e o de Wallace, Darwin finalmente se dispôs a escrever um resumo de suas ideias, apresentando-as juntamente com as de Wallace em uma reunião da Linnean Society of London, em julho de 1858. Um ano mais tarde, Darwin publicou o livro que ficou conhecido como *A origem das espécies*. A concepção da teoria de evolução por Darwin ocorreu aproximadamente 15 anos antes de receber a carta de Wallace, e este admitiu publicamente o pioneirismo do colega. O livro de Charles Darwin gerou grandes debates e consolidou seu nome como o principal autor da teoria da evolução com base na seleção natural.

2. Evidências da evolução biológica

Pesquisas em diferentes áreas da Biologia e também em outras ciências vêm fornecendo inúmeras evidências a favor da evolução biológica. Entre as principais destacam-se: a) o documentário fóssil; b) as semelhanças embrionárias, anatômicas, fisiológicas e genéticas entre as espécies; c) a adaptação dos seres vivos a seus ambientes. A seguir, acompanhe mais detalhadamente o significado dessas evidências.

O documentário fóssil

Em condições consideradas normais, logo que um organismo morre entram em ação agentes saprófagos que destroem o cadáver. Entretanto, no passado ocorreram circunstâncias em que as condições foram favoráveis à preservação do cadáver ou de algum vestígio deixado por um organismo. Assim se originaram os **fósseis** (do latim *fossilis*, "tirado da terra"), restos ou vestígios deixados por seres que viveram no passado e que revelam semelhanças e diferenças com os seres atuais.

Os vestígios fósseis podem ser ossos, dentes, pegadas impressas em rochas, fezes petrificadas, animais conservados no gelo, troncos de árvores petrificados etc. O estudo dos fósseis permite deduzir, entre outras coisas, o tamanho e a forma dos organismos que os deixaram, possibilitando a reconstituição de imagens mentais, possivelmente bem aproximadas, desses organismos quando vivos. Os fósseis constituem a mais forte evidência de que nosso planeta foi habitado no passado por seres bem diferentes dos que vivem atualmente. A comparação entre os fósseis e os seres atuais permite estabelecer correlações que fortalecem a teoria da evolução das espécies (Fig. 6).

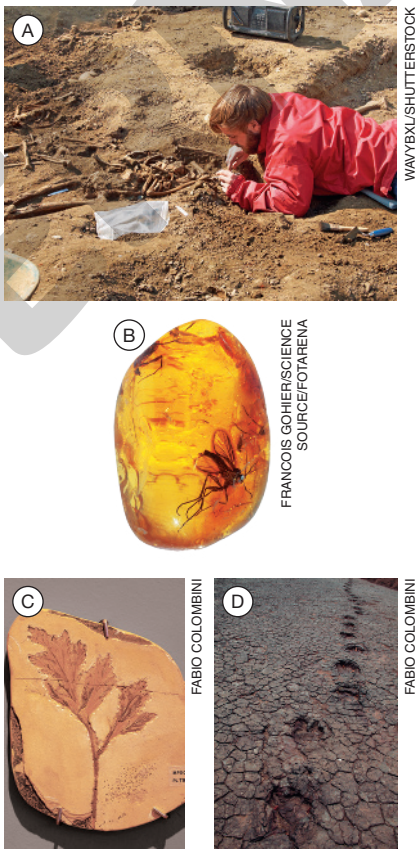


Figura 6 (A) Paleontólogo escavando fóssil na Bélgica, em 2017. (B) Pedaço de âmbar datado em 45 milhões de anos, contendo fóssil de mosquito. (C) Fóssil da pteridófita *Anemia* sp., do período Cretáceo, com cerca de 100 milhões de anos de idade (Chapada do Araripe, Ceará, 2012); esse fóssil mede cerca de 12 cm de comprimento. (D) Pegadas fossilizadas de dinossauro (*Iguanodonte mantelli*) em lama petrificada (Vale dos Dinossauros, Sousa, PB, 2012); esse dinossauro supostamente media cerca de 9 m de comprimento.

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

MODERNA

Um dos grandes desafios da Ciência foi desenvolver métodos para descobrir a idade de um fóssil ou da rocha que o contém, o que indica indiretamente sua idade. O primeiro método para datar fósseis foi a **datação relativa**, desenvolvido no século XIX com base nas ideias do geólogo inglês William Smith (1769--1839). Partindo do princípio de que as rochas sedimentares sempre se formam no fundo de mares e de lagos pela deposição sucessiva de camadas de sedimentos, Smith concluiu que as camadas localizadas em posições mais inferiores na pilha sedimentar deviam ter-se formado antes das superiores. Isso tornou possível determinar as idades relativas das camadas de rocha e dos fósseis nelas contidos, sabendo quais são mais antigas e quais são mais recentes.

Em meados do século XX, com o desenvolvimento de métodos fundamentados na análise de elementos radioativos, a datação dos fósseis e das camadas da Terra tornou-se mais precisa. A técnica, denominada **datação radiométrica**, ou **datação absoluta**, permite estabelecer com razoável precisão há quanto tempo um fóssil ou uma rocha se formaram.

A datação radiométrica baseia-se em conhecimentos científicos sobre os **isótopos radioativos** de certos elementos químicos. Isótopos são átomos de mesma natureza química, com o mesmo número de prótons no núcleo atômico, mas com diferente número de nêutrons, o que lhes confere massas atômicas diferentes e, em certos casos, propriedades radioativas. Os isótopos radioativos passam pelo que os cientistas chamam de **decaimento radioativo**, que é sua transformação em outro isótopo ou em outro elemento químico.

Um exemplo: a forma mais comum de átomos de carbono na natureza é o isótopo ^{12}C, que apresenta 6 prótons e 6 nêutrons no núcleo atômico; esse isótopo tem, portanto, número de massa igual a 12 (6 prótons + 6 nêutrons). Uma pequena porcentagem dos átomos de carbono da natureza está na forma do isótopo radioativo ^{14}C (carbono-14), que tem 6 prótons e 8 nêutrons, com número de massa igual a 14. Com o tempo, devido ao decaimento radioativo, um dos nêutrons do carbono-14 tende a se transformar em um próton e, com isso, o isótopo ^{14}C transforma-se em nitrogênio-14 (^{14}N), cujo núcleo apresenta 7 prótons e 7 nêutrons. Entretanto, radiações vindas do espaço transformam ^{12}C em ^{14}C, de tal maneira que a proporção entre esses isótopos mantém-se praticamente constante na atmosfera.

Como os organismos fotossintetizantes incorporam um ou outro desses isótopos de carbono, há nas moléculas orgânicas dos seres vivos a mesma proporção entre os dois isótopos de carbono existentes na atmosfera. Ao morrer, porém, o organismo deixa de incorporar novos átomos de carbono e o ^{14}C presente em sua matéria pouco a pouco se transforma em nitrogênio, em decorrência do decaimento radioativo. Por isso, a quantidade residual do ^{14}C nas moléculas orgânicas de um fóssil possibilita sua datação.

Os físicos verificaram que a cada 5.730 anos cerca de metade dos átomos de ^{14}C de uma amostra decai para ^{14}N. Assim, se partíssemos de uma amostra com 1.000 átomos, 5.730 anos depois teríamos na amostra cerca de 500 átomos de ^{14}C e 500 de ^{14}N; passados mais 5.730 anos (11.460 anos depois), encontraríamos na amostra cerca de 250 átomos de ^{14}C e 750 de ^{14}N; e assim por diante. O tempo em que metade dos isótopos radioativos de um elemento químico decai para outro isótopo ou elemento químico é denominado **meia-vida** do isótopo radioativo. A meia-vida do ^{14}C é de 5.730 anos, como já mencionamos. Por ocorrer em uma taxa constante, típica de cada isótopo, o decaimento radioativo constitui uma espécie de "relógio geológico" e pode ser utilizado para determinar a idade de rochas e de fósseis.

Por exemplo, se um fóssil apresenta 1/16 do ^{14}C que existia no organismo quando vivo, pode-se concluir que sua morte ocorreu há aproximadamente 23 mil anos ($4 \times 5.730 = 22.920$) (Fig. 7).

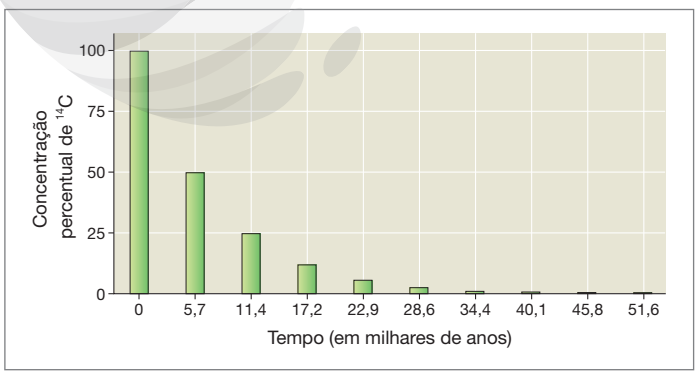


Figura 7 Gráfico que mostra o decaimento do ^{14}C, cuja meia-vida é de 5.730 anos. O índice de 100% é estimado com base na concentração de ^{14}C na atmosfera, na forma de CO_2.

Fonte: adaptado de NATIONAL OCEANIC AND ATMOSPHERIC ADMINISTRATION. Disponível em: <https://www.esrl.noaa.gov/gmd/ccgg/isotopes/decay.html>. Acesso em: 30 jun. 2020.

FERNANDO JOSÉ FERREIRA

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

MODERNA

Como a meia-vida do carbono-14 é relativamente curta, a datação por meio desse isótopo é possível apenas para fósseis com idade inferior a 50 mil anos. Para datar fósseis mais antigos, são usados isótopos com meia-vida mais longa, presentes em rochas em que o fóssil é encontrado. Nesses casos, em vez de datar diretamente o fóssil, estima-se a idade da rocha que o contém. Exemplos de isótopos utilizados na datação radiométrica de rochas são o potássio-40, com meia-vida de 1,26 bilhão de anos, que decai para argônio-40, e o urânio-235, com meia-vida de 704 milhões de anos, que decai para chumbo-207.

Aplicando conhecimentos

Registre as respostas em seu caderno.

1. A que se refere o termo fóssil?
1. d

a) A ossos petrificados, apenas.
b) A todo organismo que viveu em passado remoto.
c) Aos organismos que surgiram pela evolução de ancestrais remotos.
d) A qualquer vestígio de um organismo que viveu em passado remoto.

2. Considere as afirmações a seguir.
2. d

I. Fósseis são vestígios de seres que viveram no passado.
II. Muitos fósseis são pertencentes a espécies ancestrais das atuais.

Qual teoria aceita essas afirmações?

a) Apenas o criacionismo.
b) Apenas o darwinismo.
c) Apenas o lamarckismo.
d) Tanto o darwinismo quanto o lamarckismo.

Anatomia comparada e evolução

O evolucionismo explica eventuais semelhanças entre certos organismos atuais admitindo que eles tiveram um ancestral comum em um passado remoto, do qual herdaram o padrão anatômico e fisiológico. Estruturas corporais que se desenvolvem de modo semelhante em embriões de diferentes espécies são denominadas **estruturas homólogas**. É esse o caso, por exemplo, do braço humano, da nadadeira do golfinho, da asa do morcego e da asa de aves, todos eles órgãos homólogos.

Por outro lado, há estruturas corporais em diferentes espécies que desempenham funções semelhantes, mas têm origens embrionárias totalmente distintas, sendo chamadas de **estruturas análogas**. Um exemplo é observado nas asas de aves e de insetos: ambas são estruturas adaptadas ao voo, com ampla superfície para sustentação no ar. Entretanto, as asas das aves são estruturas dotadas de ossos e músculos, enquanto as dos insetos são expansões da epiderme corporal, com os músculos relacionados ao voo localizados dentro do tórax (Fig. 8).

De acordo com a teoria evolucionista, os órgãos homólogos sinalizam parentesco evolutivo. Eles podem, porém, apresentar diferentes funções em razão da diversificação e da adaptação ocorridas ao longo da evolução. A diversificação evolutiva de estruturas homólogas, decorrente da adaptação a modos de vida diferentes, constitui o que os biólogos evolucionistas denominam **divergência evolutiva**.

Estruturas análogas, por sua vez, surgem de maneira independente na evolução de diferentes grupos de organismos, constituindo adaptações a modos de vida semelhantes, sem relação com o parentesco evolutivo. O fenômeno de organismos pouco aparentados evolutivamente desenvolverem estruturas e formas corporais semelhantes é conhecido como **convergência evolutiva**.

Veja comentários sobre essa atividade no Suplemento do Professor.

Dialogando com o texto

Você sabia que a falta de controle da exploração fossilífera levou ao contrabando de fósseis brasileiros para colecionadores, museus e *sites* de venda no exterior? Pesquise esse assunto na internet. Escreva um texto argumentativo quanto às possíveis implicações dessas ações delituosas para a Ciência e a pesquisa brasileira.

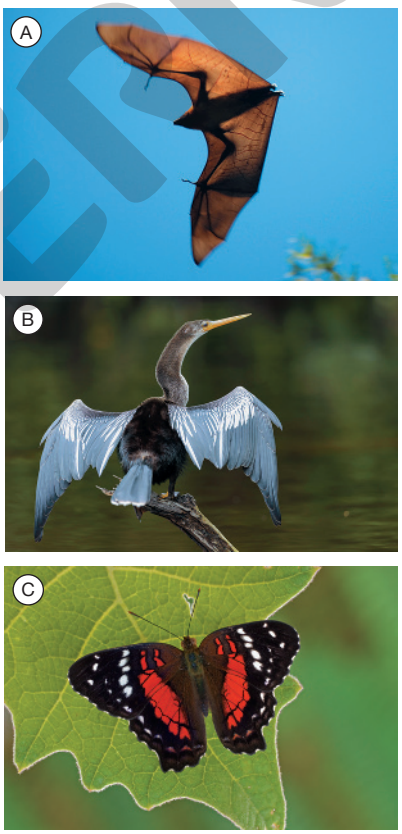


IMAGE SOURCE/CULTURA/GLOW IMAGES

MARCOS AMEND/PULSAR IMAGENS

LEROY SIMON/VISUALS UNLIMITED, INC./GLOW IMAGES

Figura 8 Enquanto as asas dos morcegos e das aves são estruturas homólogas – têm mesma origem embrionária –, as asas dos insetos são estruturas análogas às dos animais anteriormente citados: desempenham a mesma função, mas têm origens embrionárias distintas. (A) Morcego da espécie *Pteropus rufus*, com 1,1 m de envergadura; (B) Biguatinga da espécie *Anhinga anhinga*, com 1,3 m de envergadura; (C) Borboleta da espécie *Anartia amathea*, com 4 cm de envergadura.

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

MODERNA

Evidências genéticas da evolução

As características típicas de cada espécie de ser vivo são hereditárias. É a atividade de genes específicos, herdados dos pais, que determina o destino das células embrionárias e dirige a formação das diversas estruturas corporais próprias da espécie. Os cientistas estão começando a identificar o modo como os genes atuam na construção do corpo dos organismos; os resultados são surpreendentes, constituindo talvez a mais importante evidência do parentesco evolutivo entre as espécies.

Um conjunto de genes descobertos originalmente na mosca drosófila, denominados **genes homeóticos**, determina o padrão e a sequência em que o desenvolvimento embrionário ocorre. Alguns desses genes, conhecidos pela sigla *Hox*, são ativados no início do desenvolvimento embrionário. Quando o embrião começa a apresentar segmentação corporal, apesar de todos os segmentos parecerem iguais, cada um deles já apresenta um conjunto particular de genes *Hox* em atividade e está destinado a se tornar determinada parte do corpo da mosca. São esses genes que "dizem" às células de cada segmento o que elas devem originar: asas, pernas, antenas ou partes do abdome. Os genes *Hox* atuam comandando a ação de outros genes durante o processo embrionário.

A grande surpresa dos cientistas foi descobrir que há genes *Hox* muito parecidos aos das moscas em outros animais, como camundongos, estrelas-do-mar, crustáceos e seres humanos. Esses genes desempenham função semelhante em todos esses animais, determinando as diferentes estruturas corporais ao longo do eixo cabeça-cauda. Assim, a formação da cabeça na região anterior do corpo, tanto no embrião de uma mosca como em um embrião humano, ocorre porque ali atuam genes *Hox* semelhantes.

Segundo a teoria evolucionista, a semelhança entre os genes homeóticos de diferentes espécies mostra que tais genes foram herdados de um ancestral comum a todos os animais. Nas diversas linhagens que originaram os diferentes grupos animais, os genes homeóticos adaptaram-se, passando a determinar diferentes tipos de partes corporais.

3. A teoria evolucionista moderna

Durante as décadas de 1930 e 1940, conceitos genéticos foram incorporados ao conceito de seleção natural, ponto central do darwinismo. Essa síntese de conhecimentos resultou no surgimento da **teoria sintética da evolução**, que incorporou os novos conhecimentos genéticos ao darwinismo. Alguns autores também costumam denominar essa teoria de neodarwinismo.

A teoria sintética da evolução considera três fatores evolutivos principais: a) mutação gênica; b) recombinação gênica; c) seleção natural. Os dois primeiros fatores atuam na produção de diferenças genéticas entre os indivíduos de uma população, promovendo sua **variabilidade genética**, ou diversidade genética. O conceito de variabilidade genética refere-se não só à diversidade em determinado momento, mas também à capacidade intrínseca aos seres vivos de variar. A seleção natural, atuando sobre as variantes genéticas da população, seleciona os indivíduos mais capazes de sobreviver e se reproduzir em cada contexto evolutivo.

A variabilidade genética

A única maneira de surgirem novos genes em uma população é por meio da **mutação gênica**, definida como algum tipo de alteração na sequência de bases nitrogenadas do DNA que pode originar novas versões – alelos – de um gene. Se a característica controlada pelo alelo mutante conferir alguma vantagem ao seu portador, o novo alelo tenderá a ser preservado pela seleção natural e ter sua frequência aumentada na população.

O conjunto de genes típico de cada espécie é resultado do acúmulo de mutações vantajosas que vêm ocorrendo e se mantendo por ação da seleção natural durante os bilhões de anos de evolução biológica. Grande parte das mutações vantajosas possíveis já foram selecionadas, o que explica por que a maioria das mutações atuais tem efeitos deletérios, ou seja, prejudiciais a seus portadores.

As mutações gênicas podem ocorrer espontaneamente, pela própria dinâmica das moléculas de DNA, sendo por isso chamadas de **mutações espontâneas**. Uma mutação espontânea pode resultar, por exemplo, da transformação temporária de uma base nitrogenada em outra, fenômeno que os químicos denominam **tautomeria**. Por exemplo, a citosina (C) de uma cadeia de DNA pode eventualmente perder seu grupo amina e se transformar em uracila (U). Se isso ocorrer no momento em que está acontecendo a duplicação do DNA, a uracila tautomérica orientará a incorporação de um nucleotídio com adenina (A) na nova cadeia de

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

MODERNA

DNA que está sendo produzida, e não de um com guanina (G), como deveria ser. Consequentemente, uma das moléculas de DNA proveniente dessa duplicação terá uma cadeia com a sequência de bases alterada em relação à original. Ao se reproduzir corretamente, a molécula mutante tende a se perpetuar (Fig. 9).

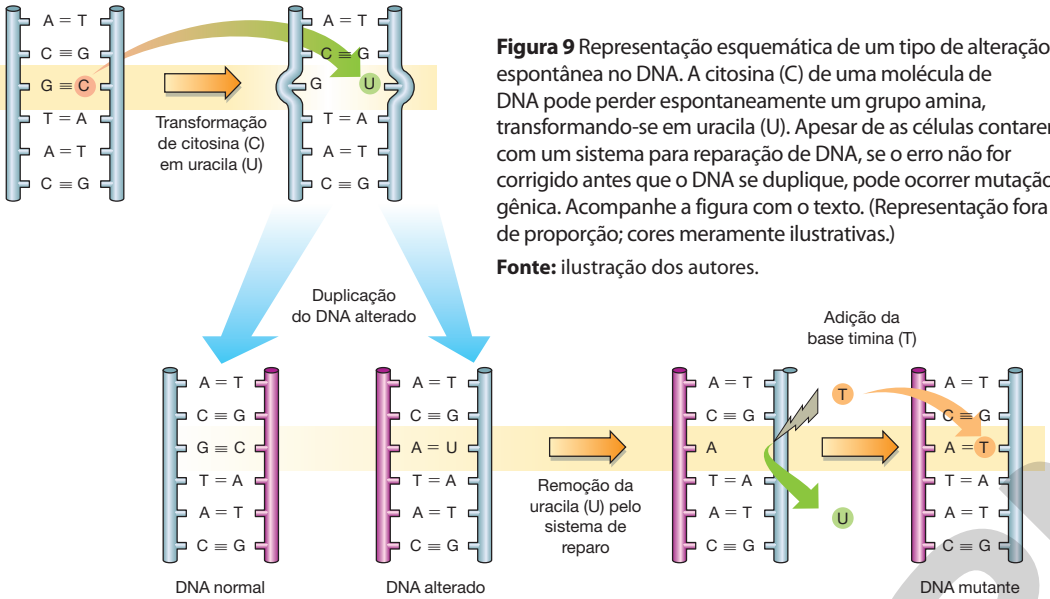


Figura 9 Representação esquemática de um tipo de alteração espontânea no DNA. A citosina (C) de uma molécula de DNA pode perder espontaneamente um grupo amina, transformando-se em uracila (U). Apesar de as células contarem com um sistema para reparação de DNA, se o erro não for corrigido antes que o DNA se duplique, pode ocorrer mutação gênica. Acompanhe a figura com o texto. (Representação fora de proporção; cores meramente ilustrativas.)

Fonte: ilustração dos autores.

ILUSTRAÇÕES: ADILSON SECCO

As mutações gênicas também podem ser induzidas por agentes físicos e químicos, genericamente chamados de **agentes mutagênicos**. Por exemplo, radiações ionizantes como os raios X, os raios gama e a radiação ultravioleta levam à formação de íons intracelulares que aumentam a taxa de mutação dos genes. Além das radiações ionizantes, há também fatores físicos e diversas substâncias químicas capazes de aumentar a taxa de mutação gênica.

Recombinação gênica

Recombinação gênica é a mistura de genes que ocorre na reprodução sexuada, quando genes provenientes dos pais se rearranjam na descendência. Embora a mutação seja o fenômeno responsável pelo surgimento de novos alelos na população, é por meio da recombinação gênica que os genes de um conjunto se organizam em novos arranjos, peculiares em cada indivíduo e sobre os quais a seleção natural atua.

Nos organismos eucarióticos, a recombinação gênica ocorre na meiose de duas maneiras: a) pela segregação independente dos cromossomos; b) pela permutação, ou *crossing-over*. Quando as células germinativas de um indivíduo passam por meiose, os homólogos de cada par se combinam livremente, de maneira que as células haploides formadas (gametas ou esporos) podem conter desde cromossomos provenientes exclusivamente do lado materno até cromossomos provenientes exclusivamente do lado paterno, passando por todas as misturas entre eles. O número de combinações possíveis entre cromossomos maternos e paternos pode ser calculado pela expressão 2^n, em que n é o número de pares de cromossomos da espécie considerada (Fig. 10).

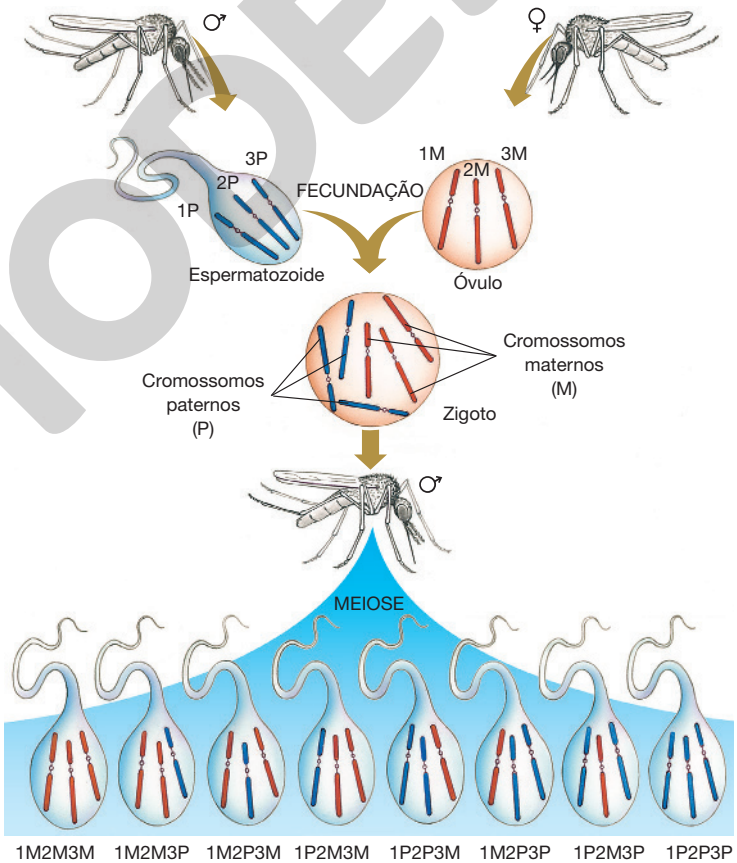


Figura 10 Representação esquemática da segregação independente dos cromossomos homólogos de origem materna (em vermelho) e paterna (em azul). Uma espécie como o pernilongo, que apresenta apenas três pares de cromossomos, produz oito combinações cromossômicas diferentes nos gametas ($2^3 = 8$). (Representação fora de proporção; cores meramente ilustrativas.)

Fonte: ilustração dos autores.

ILUSTRAÇÕES: CECÍLIA IWASHITA

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

MODERNA

Na espécie humana, em que $n = 23$, uma pessoa pode produzir 2^{23} (8.388.608) tipos de gameta diferentes, levando em conta apenas as combinações possíveis entre cromossomos da mãe e do pai. A probabilidade de um gameta humano apresentar apenas cromossomos de origem paterna é 1/8.388.608, algo em torno de 0,000001%, a mesma de que o gameta apresente apenas cromossomos de origem materna.

Além da segregação independente dos cromossomos, a diversidade de gametas produzidos aumenta enormemente com a ocorrência da **permutação**, fenômeno em que cromossomos homólogos maternos e paternos trocam pedaços entre si durante a meiose.

A seleção natural

Todos os organismos, sejam plantas, fungos, protoctistas, animais, arqueas ou bactérias, "lutam" para sobreviver a cada instante. Os mais aptos a enfrentar os desafios de seu contexto particular têm maior chance de sobreviver.

A "luta pela sobrevivência", metáfora utilizada por Darwin para a seleção natural, inspira-se no fato de que, entre os animais, alguns são presas e têm de evitar ser devorados; outros são predadores e necessitam capturar animais que lhes sirvam de alimento.

Entretanto, Darwin ressaltou que há formas menos evidentes de luta pela vida. Em diversas espécies animais, por exemplo, os machos disputam entre si a atenção das fêmeas e o direito de acasalar com elas, o que lhes permite perpetuar suas características. Plantas competem umas com as outras pela umidade do solo, por nutrientes e pela luz solar. A seleção natural implica na reprodução diferencial dos indivíduos de uma população, com os mais bem adaptados tendo maior chance de deixar descendentes (Fig. 11).

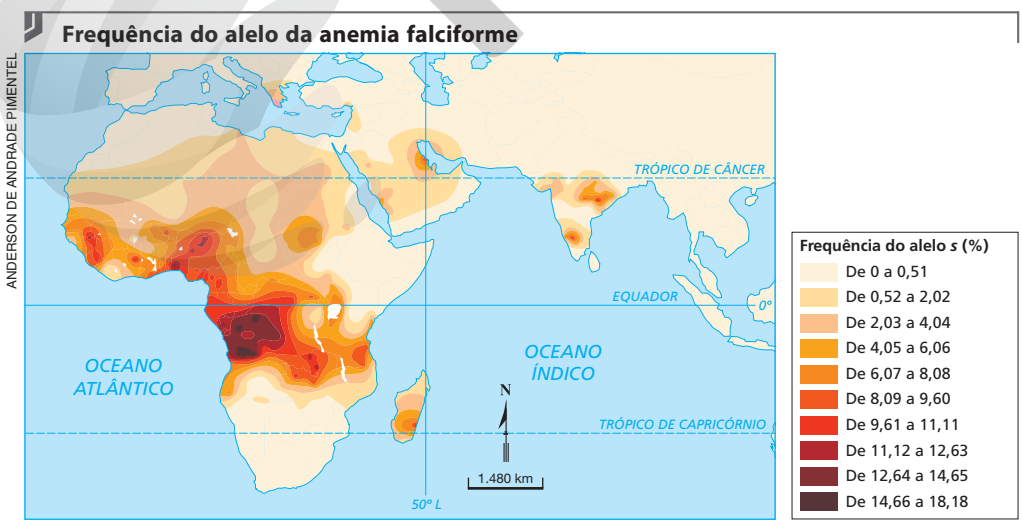
A seleção decorre das restrições que o meio impõe à sobrevivência dos organismos, como disponibilidade de alimento, disputa por recursos com outros seres vivos, ação de predadores e parasitas, doenças etc. Nessas condições, os mais aptos a sobreviver são aqueles que herdaram combinações gênicas mais favoráveis à vida e à reprodução em um ambiente específico.

DAVE WATTS/GAMMA-RAPHO/GETTY IMAGES

Figura 11 Na corte nupcial do pássaro *Ptilonorhynchus violaceus*, com cerca de 33 cm de comprimento, os machos esmeram-se na decoração de um ninho que agrade às fêmeas. Os que conseguirem fazer ninhos mais bem decorados, na visão das fêmeas da espécie, terão maior chance de se acasalar e deixar descendentes.

Um exemplo bem estudado de seleção natural na espécie humana refere-se ao alelo da **siclemia**, ou **anemia falciforme**, uma forma hereditária de anemia. Pessoas homozigóticas para o alelo condicionante da siclemia (***ss***) têm anemia severa e, se não receberem tratamento, podem morrer antes de atingir a idade adulta. Pessoas heterozigóticas ***Ss*** apresentam anemia leve. A seleção natural, ao atuar sobre esse alelo, tenderia a eliminá-lo da população. E realmente é isso o que ocorre na maior parte do mundo. Entretanto, em locais onde a malária é endêmica, a frequência do alelo mutante ***s*** é surpreendentemente elevada. Por que isso ocorre?

Descobriu-se que as pessoas heterozigóticas (***Ss***) são mais resistentes à malária que as pessoas homozigóticas normais (***SS***), que tendem a morrer de malária em maior frequência que as heterozigóticas; por sua vez, pessoas homozigóticas siclêmicas (***ss***) tendem a morrer de anemia. Assim, quem tem maior chance de sobreviver e se reproduzir são as pessoas heterozigóticas ***Ss***, que podem transmitir o alelo mutante ***s*** à geração seguinte. Isso explica por que o alelo para a siclemia se mantém em frequências relativamente elevadas em populações em que a malária é endêmica (Fig. 12).



ANDERSON DE ANDRADE PIMENTEL

Figura 12 Frequência do alelo que condiciona a anemia falciforme (***s***) na África, no Oriente Médio, no sul da Europa e na Índia. As populações em que o alelo causador da doença está presente em frequência alta vivem em regiões em que há grande incidência de malária.

Fonte: adaptado de PIEL, F. B. *et al*. Global distribution of sickle cell gene and geographical confirmation of the malaria hypothesis. *Nature Communications*. 2 nov. 2010. Disponível em: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3060623/>. Acesso em: 18 ago. 2020.

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

EM MODERNA

Seleção natural e adaptação

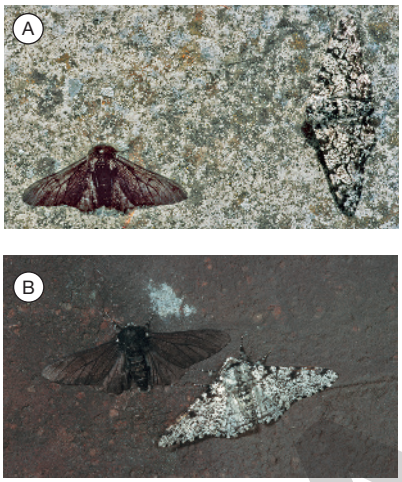
O termo **adaptação** (do latim *adaptare*, "tornar apto") significa, em Biologia, a capacidade inerente aos seres vivos de se ajustar ao ambiente, respondendo a mudanças ambientais.

A adaptação refere-se tanto ao nível individual quanto ao nível populacional. No primeiro caso, a adaptação consiste no ajustamento de um organismo a determinada mudança ambiental, sendo mais apropriadamente denominada **homeostase** (do grego *homoios*, "igual", e *stasis*, "estabilidade"). Por exemplo, quando a temperatura ambiental sobe muito, as pessoas tendem a ficar ruborizadas e a transpirar. A vermelhidão da pele deve-se à dilatação dos vasos sanguíneos periféricos, que passam a irradiar mais calor, o que resfria o corpo; esse processo é auxiliado pela sudorese, uma vez que a evaporação do suor também diminui a temperatura corporal.

Do ponto de vista populacional, a **adaptação evolutiva** refere-se ao ajustamento da população ao ambiente, ao longo de sucessivas gerações, por efeito da seleção natural.

O intervalo de tempo em que uma população muda por seleção natural é quase sempre muito longo para os padrões temporais humanos. Por isso é difícil observarmos o processo evolutivo em tempo real. Entretanto, um exemplo da seleção natural em ação foi observado no estudo da dinâmica de populações da mariposa *Biston betularia*, em áreas industriais da Inglaterra e do norte dos Estados Unidos, ao longo de 160 anos. A partir de 1850, observou-se que a forma escura, ou melânica (do grego *mélas*, "escuro", "negro"), dessa mariposa, então bastante rara, foi se tornando gradativamente mais comum nas áreas industrializadas, até suplantar as mariposas claras. O fenômeno foi denominado **melanismo industrial** porque a predominância das mariposas melânicas estava nitidamente associada ao avanço da industrialização, responsável pela liberação de poluentes atmosféricos, que matam os liquens dos troncos das árvores e os tornam enegrecidos pela fuligem.

Estudos realizados em bosques poluídos e não poluídos das regiões observadas mostraram que as mudanças na frequência de mariposas claras e escuras eram resultado de sua predação seletiva por pássaros. Em bosques não poluídos, mariposas melânicas ficam bem visíveis quando pousadas nos troncos cobertos de liquens, sendo mais facilmente percebidas e capturadas por seus predadores; isso explica por que as formas melânicas eram raras nesses locais. Nos bosques poluídos, porém, em que os troncos das árvores ficaram enegrecidos por causa da fuligem, as mariposas claras tornam-se mais visíveis que as melânicas. A industrialização favoreceu a sobrevivência das mariposas escuras, menos percebidas pelos pássaros predadores. Estes foram os agentes seletivos que levaram à predominância da variedade melânica sobre a variedade clara, nas áreas poluídas (Fig. 13).



BILL COSTER/ALAMY/FOTOARENA

STEPHEN DALTON/NATURE PL/ FOTOARENA

Figura 13 Variedades clara e melânica da mariposa *Biston betularia*, cujos indivíduos adultos têm aproximadamente 6 cm de envergadura. (A) Em troncos de árvores cobertos por liquens, a forma melânica é bem visível, enquanto a forma clara é imperceptível. (B) Em troncos cobertos por fuligem, a situação se inverte: as mariposas melânicas ficam menos visíveis do que as claras.

Atividade em grupo

O objetivo desta atividade é investigar a informação de que muitas bactérias se tornam resistentes à ação de antibióticos. Fenômeno análogo é observado em alguns insetos, que se tornam resistentes à ação de inseticidas. Forme um grupo com colegas para dividir as tarefas de pesquisa. Uma possibilidade é que parte do grupo pesquise na internet sobre o tema e outra parte do grupo entreviste médicos ou outros profissionais de saúde. Se houver possibilidade, peça permissão aos entrevistados para filmar ou gravar o áudio da entrevista. O grupo deve descobrir se realmente existe o fenômeno de aparecimento de bactérias resistentes a antibióticos e sua explicação biológica. Será que há relação entre o fenômeno da resistência e a prescrição pelos médicos, em determinados casos, de um exame clínico denominado antibiograma? Consulte o professor sobre a possibilidade de os grupos apresentarem os resultados de suas pesquisas e entrevistas para toda a turma por meio de infográficos ou outras formas digitais. (Sugestões de uso de mídias digitais estão disponíveis no início do livro.)

Veja comentários sobre essa atividade no Suplemento do Professor.

Aplicando conhecimentos

Registre as respostas em seu caderno.

3. Um dos mais preciosos e importantes sítios paleontológicos, com cerca de meio bilhão de anos, foi descoberto em 1909 no alto das Montanhas Rochosas canadenses, no interior do Parque Nacional de Yoho, próximo à fronteira oriental da Colúmbia Britânica. São impressões na rocha de carapaças e das partes moles de diversos tipos de animais invertebrados, o que permite inferir sua organização anatômica. Vestígios como esses são exemplos de

3. b

a) adaptação.
b) fósseis.
c) mimetismo.
d) seleção natural.

4. A diversidade de fenótipos existente em uma população, sobre os quais atua a seleção natural, é mantida por mutação e por recombinação gênica.

4. d

A frase resume os aspectos fundamentais de qual teoria?

a) Do criacionismo.
b) Do lamarckismo.
c) Do darwinismo.
d) Da teoria sintética de evolução.

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

MODENA

Atividades finais

Registre as respostas em seu caderno. Veja respostas e comentários no Suplemento do Professor.

1. 1. d Como é conhecida a atual teoria da evolução que incorpora os conhecimentos advindos do desenvolvimento da Genética à teoria da seleção natural de Darwin?

a) Darwinismo.
b) Lamarckismo.
c) Teoria da seleção natural.
d) Teoria sintética da evolução.

2. 2. b Em que se baseia o princípio da datação radiométrica de fósseis pelo método do carbono-14 (^{14}C)?

a) Em detectar presença ou ausência de ^{14}C em uma amostra fóssil.
b) Em estimar a quantidade residual de ^{14}C na amostra fóssil.
c) Em estimar quanto de ^{12}C se transformou em ^{14}C.
d) Nas variações que ocorrem na meia-vida do ^{14}C da amostra fóssil.

As frases a seguir referem-se às questões 3 e 4.

I. A adaptação evolutiva resulta do sucesso reprodutivo diferencial.
II. A adaptação resulta da interação dos organismos com o ambiente.
III. A adaptação resulta do uso e do desuso de estruturas anatômicas.
IV. O documentário fóssil sustenta a ideia de que as espécies são fixas.

3. 3. a A teoria evolucionista de Darwin admite as ideias expressas em

a) I e II.
b) II e III.
c) I e III.
d) III e IV.

4. 4. c A teoria evolucionista de Lamarck admite as ideias expressas em

a) I e II.
b) I e III.
c) II e III.
d) III e IV.

5. 5. d Considere as afirmações a seguir.

I. Alguns acreditam que o bico longo dos beija-flores surgiu da necessidade de eles alcançarem as glândulas produtoras de néctar no interior de flores tubulares.
II. Alguns admitem que os bicos alongados dos beija-flores surgiram porque as aves que eventualmente nasciam com bicos mais longos tinham mais facilidade de obter alimento e maior chance de sobreviver e deixar descendentes, que herdavam a nova característica.

As interpretações I e II para a origem dos longos bicos dos beija-flores podem ser creditadas a quais teorias, respectivamente?

a) Criacionismo e lamarckismo.
b) Criacionismo e darwinismo.
c) Darwinismo e lamarckismo.
d) Lamarckismo e darwinismo.

6. Algumas ilhas de Galápagos são habitadas por iguanas (um tipo de lagarto de terra firme), que comem flores de cactos. Nas ilhas onde esses animais não estão presentes, os cactos são rasteiros e têm flores bem próximas ao chão. Nas ilhas onde vivem iguanas, os cactos são arborescentes e suas flores ficam no alto, bem distantes do chão. Como é possível explicar, pela seleção natural, o fato de as plantas de cactos serem arborescentes nas ilhas onde vivem iguanas e rasteiras nas ilhas onde esses lagartos não existem? Escreva um texto objetivo e fundamentado nos conceitos de evolução estudados neste capítulo.

7. 7. a (Enem) Embora seja um conceito fundamental para a biologia, o termo "evolução" pode adquirir significados diferentes no senso comum. A ideia de que a espécie humana é o ápice do processo evolutivo é amplamente difundida, mas não é compartilhada por muitos cientistas. Para esses cientistas, a compreensão do processo citado baseia-se na ideia de que os seres vivos, ao longo do tempo, passam por

a) modificação de características.
b) incremento no tamanho corporal.
c) complexificação de seus sistemas.
d) melhoria de processos e estruturas.
e) especialização para uma determinada finalidade.

8. 8. c (Unesp)

Aristóteles procurou explicar os fenômenos naturais a partir de argumentos teleológicos. A palavra teleologia provém de dois termos gregos, *telos* (fim, meta, propósito) e *logos* (razão, explicação), ou seja, uma "razão de algo em função de seus fins" ou uma "explicação que se serve de propósitos ou de fins". Na explicação teleológica, se algo existe e tem uma finalidade, é porque existe uma razão para essa finalidade. Neste sentido, uma explicação teleológica estará centralizada na finalidade de alguma coisa. Por exemplo, na explicação teleológica, nossos dedos são articulados para que possamos manipular objetos, ao contrário da explicação não teleológica, que afirma que manipulamos objetos porque nossos dedos são articulados.

Fonte: Matheus de M. Silveira *et al.* Argumentos. *Revista de Filosofia*, jul./dez. 2016. Adaptado.

Considerando as características adaptativas dos organismos, a teleologia

a) refuta a proposta de Lamarck, no que concerne à transmissão dos caracteres adquiridos.
b) contribui para a explicação da origem da variabilidade a partir da ocorrência de mutações.
c) contraria as fundamentações teóricas propostas pela Teoria Sintética da Evolução.
d) fortalece as explicações da Teoria Sintética da Evolução, quanto ao resultado da ação da Seleção Natural.
e) sustenta tanto as ideias evolucionistas de Lamarck como as de Charles Darwin e da Teoria Sintética da Evolução.

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

MODERNA

CAPÍTULO

4 CLASSES FUNCIONAIS ORGÂNICAS

MOEHRING/SHUTTERSTOCK

Apesar das aparentes diferenças, a capivara, o pássaro e a vegetação dessa foto têm muitas similaridades quando consideramos aspectos bioquímicos de seus organismos. (Pantanal, MT.)

A diversidade da vida é impressionante. Uma baleia não dá à luz morcegos, tampouco uma ursa tem jacarés como filhotes. Um pé de milho não dá mangas como frutos, e um abacateiro não produz bananas. Contudo, por mais acentuadas que possam parecer as diferenças entre as espécies viventes, todas têm em comum grande quantidade de aspectos químicos.

A análise de como os organismos funcionam em nível molecular revelou que todos compartilham características como diversas reações químicas que produzem moléculas necessárias à manutenção e à reprodução das células, e também a forma de codificar e expressar informações genéticas. A existência dessas e outras similaridades químicas entre os seres vivos é uma importante evidência de que todos descendem de um ancestral comum.

As investigações sobre aspectos químicos da constituição e do metabolismo dos organismos são largamente empregadas nos estudos sobre a evolução da vida. Essas investigações são realizadas pela Bioquímica, área que estuda as **biomoléculas** (moléculas que constituem os seres vivos), as interações que acontecem entre elas, a maneira como são sintetizadas e organizadas nas estruturas celulares, os mecanismos para armazenar e expressar informações genéticas, e os processos químicos envolvidos na obtenção de energia para sobrevivência.

Nos estudos bioquímicos, um papel de grande destaque é desempenhado pelos **compostos orgânicos**. Neste capítulo, veremos inicialmente como tais substâncias podem ser categorizadas em grandes grupos que recebem o nome de **classes funcionais orgânicas**.

O conhecimento desse conceito facilita a sistematização do estudo dos compostos orgânicos e será relevante, neste capítulo, para a compreensão da estrutura química de classes importantes de biomoléculas, como lipídios, proteínas, carboidratos e ácidos nucleicos.

De olho na BNCC:

- **EM13CNT201**
- **EM13CNT207**
- **EM13CNT302**
- **EM13CNT303**

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

MODERNA

1. Conceito de classe funcional

Ligações químicas covalentes são estabelecidas entre átomos por meio do compartilhamento de pares de elétrons; cada par eletrônico compartilhado por eles 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 representam-se 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. 1). Outra representação é a **fórmula estrutural**, em que cada ligação covalente é representada por um traço (Fig. 2).

Os compostos que contêm o elemento químico carbono são, em sua maioria, estudados pela área das Ciências da Natureza chamada Química Orgânica. Essas substâncias, que nesse contexto são denominadas **compostos orgânicos**, contêm também átomos de outros elementos químicos além do carbono, sendo os mais frequentes o hidrogênio (H), o oxigênio (O), o nitrogênio (N), o fósforo (P) e o enxofre (S).

Em função da complexidade de muitas das moléculas estudadas em Química Orgânica e em Bioquímica, é comum empregar simplificações ao escrever as fórmulas estruturais orgânicas, como as que você pode perceber ao comparar as Figuras 2 e 3.

Os compostos orgânicos apresentam propriedades muito diversificadas. Para estudá-las, uma das sistematizações feitas consiste na divisão em categorias, as **classes funcionais orgânicas** (anteriormente chamadas *funções orgânicas*), cujos membros apresentam propriedades químicas similares.

Para considerar que determinado composto pertence a uma classe funcional orgânica, deve existir, em sua molécula, o **grupo funcional** característico dessa classe (Tabela 1). Um grupo funcional é constituído por um átomo ou grupo de átomos cuja presença determina as propriedades típicas de uma classe funcional.

Tabela 1 Grupos funcionais de algumas classes funcionais orgânicas. O que está em verde corresponde à vizinhança necessária para o grupo funcional caracterizar a classe funcional.

Classe funcional	Grupo funcional
hidrocarboneto	somente C e H
haleto	—F —Cl —Br —I
álcool	— C — OH
fenol	—OH
enol	OH, =C
éter	C — O — C
aldeído	O, — C, H
cetona	O, C — C — C
ácido carboxílico	O, — C, OH
éster	O, — C, O — C
anidrido	O, O, — C — O — C —
amida	O, — C, N —
nitrocomposto	$—NO_2$
amina	$—NH_2$ —NH— —N—
nitrila	—CN
ácido sulfônico	$—SO_3H$
tiol	—SH
sulfeto	C — S — C
organometálico	metal ligado diretamente a átomo de carbono

Fonte consultada: CAREY, F. A. *et al*. *Organic Chemistry*. 11. ed. Nova York: McGraw-Hill, 2020.

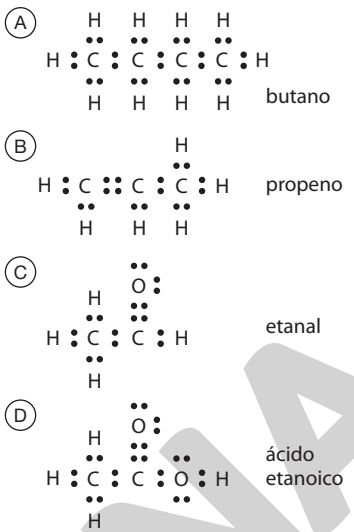


Figura 1 Exemplos de fórmulas eletrônicas de substâncias orgânicas.

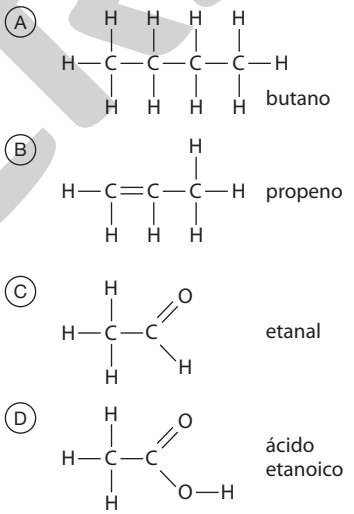


Figura 2 Exemplos de fórmulas estruturais de substâncias orgânicas.

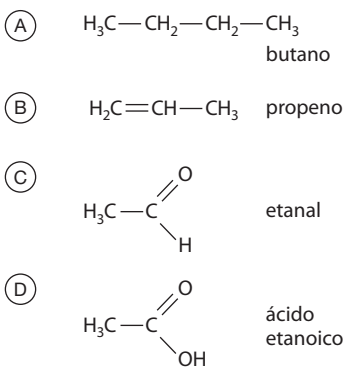


Figura 3 Exemplos de fórmulas estruturais simplificadas de substâncias orgânicas.

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

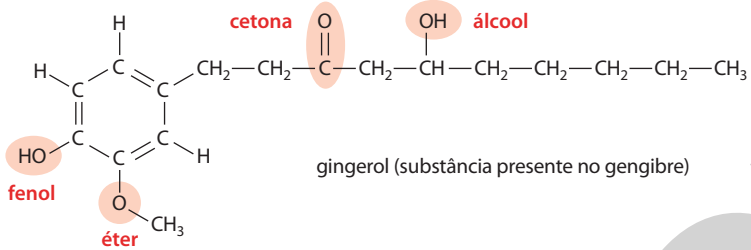
ILUSTRAÇÕES DOS AUTORES

MODERNA

Vamos exemplificar considerando o etanal (Fig. 4.A) e o ácido etanoico (Fig. 4.B). Embora as fórmulas estruturais não sejam muito diferentes (o ácido etanoico apresenta um átomo de oxigênio a mais), verifica-se experimentalmente que suas propriedades químicas são bem distintas. O etanal reage com permanganato de potássio e não reage com bicarbonato de sódio. Já o ácido etanoico não reage com permanganato de potássio, mas reage com bicarbonato de sódio. Consultando a Tabela 1, podemos concluir que as moléculas dessas duas substâncias apresentam grupos funcionais diferentes e, portanto, pertencem a classes funcionais distintas: o etanal é um aldeído e o ácido etanoico é um ácido carboxílico.

Consideremos, agora, as substâncias propanal (Fig. 4.C) e ácido propanoico (Fig. 4.D). Verifica-se que o propanal apresenta propriedades químicas similares às do etanal, enquanto o ácido propanoico tem propriedades químicas semelhantes às do ácido etanoico. Isso é consistente com o fato de o propanal ser um aldeído e o ácido propanoico ser um ácido carboxílico.

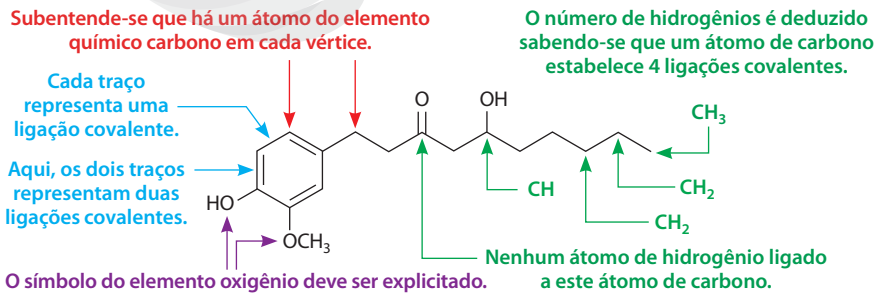
Uma substância pode apresentar grupos funcionais característicos de mais de uma classe funcional. Para exemplificar, consideremos o gingerol, substância que existe no gengibre e é responsável pelo sabor pungente dessa especiaria. A fórmula estrutural do gingerol, destacando os grupos funcionais presentes e nomeando as respectivas classes funcionais, é a seguinte:

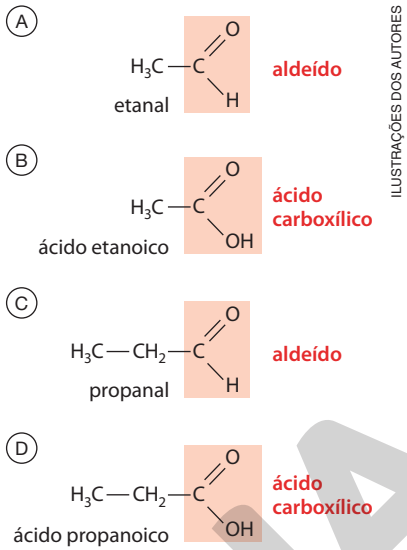


gingerol (substância presente no gengibre)

Consulte a Tabela 1 para confirmar cada uma dessas indicações. O átomo de oxigênio ligado a dois átomos de carbono caracteriza a classe funcional éter. A presença de um grupo hidroxila, —OH, ligado covalentemente a um átomo de carbono pode caracterizar diferentes classes funcionais, entre elas **álcool** (se o átomo de carbono for saturado, isto é, estabelecer apenas ligações simples) e **fenol** (se o átomo de carbono pertencer a um anel benzênico; sobre essa estrutura veja a Figura 5). Um dos grupos funcionais hidroxila presentes na molécula de gingerol, o que está ligado a um átomo de carbono saturado, caracteriza a classe funcional álcool, e outro, ligado ao anel benzênico, caracteriza a classe funcional fenol. O agrupamento de átomos denominado carbonila, $>C=O$, está presente em diferentes classes funcionais (confira na Tabela 1). No caso da molécula de gingerona, ele está posicionado entre dois átomos de carbono, o que caracteriza a classe funcional cetona.

A molécula de gingerol pode ser representada de maneira um pouco mais simplificada do que foi feito anteriormente, empregando linhas e não representando explicitamente diversos átomos de carbono, conforme mostrado a seguir. Junto dessa representação (em preto), apresentamos alguns comentários (em cores) para auxiliá-lo na compreensão.





ILUSTRAÇÕES DOS AUTORES

Figura 4 Fórmulas estruturais de dois exemplos de aldeído, etanal (A) e propanal (C), e de dois exemplos de ácido carboxílico, ácido etanoico (B) e ácido propanoico (D). Nas quatro fórmulas estruturais, os grupos funcionais estão destacados com fundo colorido.

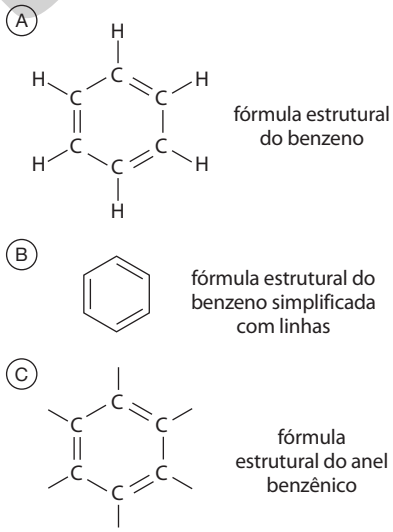


Figura 5 O benzeno (C_6H_6) é um composto orgânico constituído dos elementos químicos carbono e hidrogênio. Duas representações possíveis para sua molécula são a fórmula estrutural (A) e a fórmula estrutural simplificada com linhas (B), na qual os átomos de carbono e de hidrogênio ficam subentendidos. Uma sequência de átomos de carbono similar à existente na molécula de benzeno é denominada **anel benzênico** (C) e é encontrada em diversos compostos orgânicos.

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

EM MODERNA

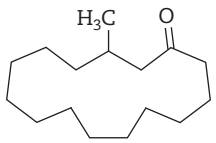
Aplicando conhecimentos

Registre as respostas em seu caderno.

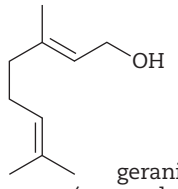
Veja respostas e comentários no Suplemento do Professor.

Ao realizar as atividades, consulte a Tabela 1 deste capítulo sempre que for necessário.

1. Durante uma pesquisa na internet sobre substâncias utilizadas na elaboração de perfumes, uma estudante encontrou as seguintes fórmulas estruturais:



muscona
(aroma de almíscar)

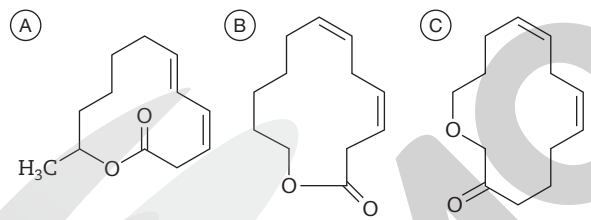


geraniol
(aroma de rosas)

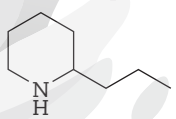
Ela concluiu que a muscona pertence à classe funcional cetona, e o geraniol, à classe funcional álcool. A conclusão dela está correta? Explique.

2. A estudante deduziu também que o número de átomos de hidrogênio na molécula de muscona é maior que na molécula de geraniol. Verifique se essa dedução é correta e explique por quê.

3. Uma das maneiras de evitar que determinados insetos ataquem plantações agrícolas ou grãos estocados é usar armadilhas que contêm substâncias cujo aroma os atraia. Em uma pesquisa a esse respeito, cientistas ingleses descobriram que as três substâncias cujas fórmulas são mostradas a seguir podem ser empregadas para atrair besouros que atacam trigo estocado em celeiros. Analise as fórmulas e determine quais são ésteres. Justifique.

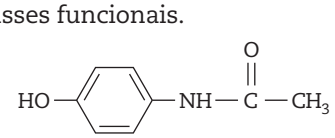


4. Cicuta é um gênero de plantas extremamente venenosas nativas de regiões do Hemisfério Norte. A toxicidade deve-se, entre outras substâncias, à coniina, cuja fórmula estrutural é mostrada a seguir. Essa substância deve ser classificada como amida ou como amina? Por quê?



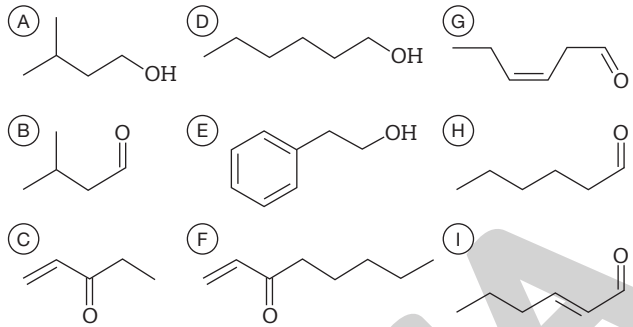
coniina

5. A fórmula estrutural a seguir representa a molécula do fármaco antitérmico cujo nome genérico é paracetamol. Transcreva a fórmula no caderno, destaque os grupos funcionais e dê o nome das respectivas classes funcionais.



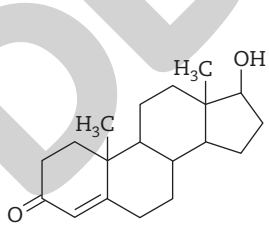
paracetamol

6. Os aromas dos tomates e dos molhos elaborados com esses frutos devem-se a diversas substâncias, das quais algumas estão representadas a seguir.

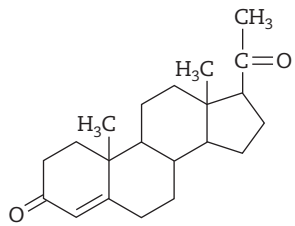


Usando como critério a classe funcional, como essas moléculas podem ser agrupadas? Explique.

7. A testosterona é um hormônio sexual masculino, responsável, entre outros efeitos, pelo aparecimento de características sexuais secundárias (modificação da voz, aumento da massa muscular, crescimento de pelos no rosto e na região genital). Já a progesterona é um hormônio sexual feminino relacionado, entre outros aspectos, à preparação do útero para a gravidez. As fórmulas estruturais desses hormônios são as seguintes:



testosterona



progesterona

Compare a testosterona e a progesterona quanto aos seguintes quesitos:

a) classes funcionais;

b) número de átomos de carbono na molécula;

c) número de átomos de hidrogênio na molécula;

d) existência de anel benzênico na molécula.

8. A vanilina é uma substância natural encontrada em uma espécie de orquídea (*Vanilla planifolia*) e que apresenta aroma de baunilha. Atualmente, é produzida de modo artificial e largamente empregada na produção de sorvetes, doces, bolos e até mesmo em cosméticos e produtos de higiene.

A molécula de vanilina é constituída de um anel benzênico com um grupo funcional hidroxila e um grupo $-OCH_3$ ligados a átomos vizinhos de carbono do anel. No átomo de carbono do lado oposto ao que contém o grupo hidroxila, está ligado um grupo funcional aldeído. Represente a fórmula estrutural da vanilina e diga a que outras classes funcionais ela pertence, além de aldeído.

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

MODERNA

2. Exemplos de algumas classes funcionais

Neste item, vamos apresentar alguns compostos representativos de algumas classes funcionais. Durante seu estudo, lembre-se sempre de consultar a Tabela 1.

Hidrocarbonetos

Os **hidrocarbonetos** são compostos formados exclusivamente por átomos dos elementos químicos carbono e hidrogênio. Exemplos de compostos dessa classe funcional estão na Figura 6. O metano (CH_4) é um gás incolor e inodoro constituinte do gás natural. É produzido na decomposição de restos de organismos sob ação microbiana na ausência de gás oxigênio (Fig. 7), razão pela qual é conhecido como gás dos pântanos. O etano também é componente do gás natural. O propano e o butano são os constituintes principais do gás liquefeito de petróleo, usado como combustível em fogões.

Os nomes desses exemplos apresentados são constituídos de três partes, um prefixo, um infixo e um sufixo. O prefixo (parte inicial do nome) indica o número de átomos de carbonos: met (1), et (2), prop (3), but (4), pent (5), hex (6), hept (7), oct (8), non (9) e dec (10). O infixo (parte intermediária), que nesse caso é "**an**", indica que os hidrocarbonetos são **saturados**, ou seja, só existem ligações covalentes simples entre os átomos de carbono. O sufixo (parte final), que nesse caso é "**o**", indica se tratar de hidrocarbonet**o**.

A Figura 8 apresenta exemplos de fórmulas estruturais de hidrocarbonetos **insaturados**, designação usada para indicar a presença de ao menos uma ligação covalente dupla ou tripla entre átomos de carbono. Nesse caso, o infixo "**en**" indica a existência de uma dupla e "**in**" designa a presença de uma ligação tripla.

O eteno, obtido como subproduto do processamento do petróleo, é uma importante matéria-prima para indústrias químicas. É liberado por certas plantas, atuando como hormônio vegetal responsável, entre outros eventos, pelo amadurecimento de frutos. Fruticultores se aproveitam dessa propriedade do eteno; eles podem apanhar frutos ainda verdes, transportá-los sem que haja perda apreciável por apodrecimento e forçar a maturação submetendo-os a um ambiente contendo esse gás.

O etino possui largas aplicações. Pode ser utilizado como combustível em maçaricos destinados a soldar ferragens ou cortar chapas metálicas. Sob o ponto de vista industrial, o etino constitui uma das mais importantes matérias-primas, a partir da qual pode-se obter grande diversidade de outros compostos usados para fabricar plásticos, tintas, adesivos e fibras têxteis, por exemplo.

Modelos moleculares de alguns hidrocarbonetos estão na Figura 9.

Dialogando com o texto

Veja comentários sobre essa atividade no Suplemento do Professor.

O uso de prefixos, infixos e sufixos é parte das regras de **nomenclatura sistemática** de compostos orgânicos elaboradas pela União Internacional de Química Pura e Aplicada (IUPAC). Esse tipo de nomenclatura emprega regras que se fundamentam na estrutura da molécula, tais como número de átomos de carbono, presença de insaturações e classe funcional. As primeiras regras sistemáticas de nomenclatura orgânica foram elaboradas em 1892 e, desde então, são aprimoradas periodicamente.

Existem diversos casos de compostos orgânicos que recebem **nomes triviais**, isto é, nomes não sistemáticos, muitos dos quais foram criados antes da elaboração das regras sistemáticas. Alguns deles são, inclusive, aceitos pela IUPAC como formas alternativas para a denominação desses compostos.

Nomes sistemáticos e nomes triviais podem ser encontrados mediante uma busca na internet ou, então, em livros específicos sobre Química Orgânica.

Para você perceber como esse tipo de consulta é bem simples, busque na internet o nome trivial do eteno e o do etino.

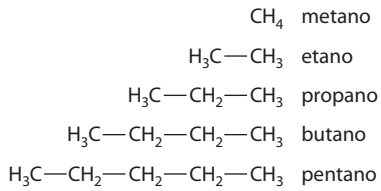


Figura 6 Fórmulas estruturais de alguns hidrocarbonetos saturados.

FLYSTOCK/SHUTTERSTOCK

Figura 7 Bolhas de gás metano produzidas por microrganismos no fundo de um lago (em condições anaeróbicas, isto é, ausência de gás oxigênio) e que ficaram retidas quando o lago congelou. (Lago Abraham, Alberta, Canadá.)

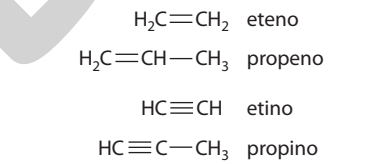
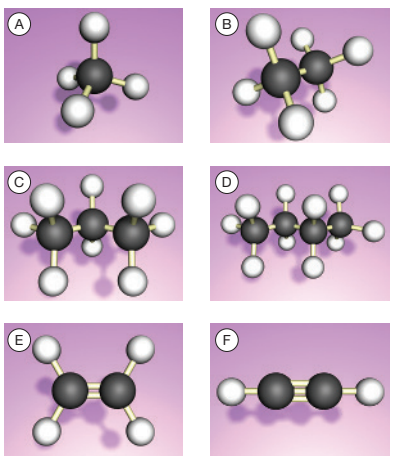


Figura 8 Fórmulas estruturais de alguns hidrocarbonetos insaturados.



ILUSTRAÇÕES DOS AUTORES

Figura 9 Modelo molecular de alguns hidrocarbonetos (átomos representados por esferas e ligações, por varetas): (A) metano, (B) etano, (C) propano, (D) butano, (E) eteno e (F) etino. (Representações fora de proporção; cores meramente ilustrativas: branco – hidrogênio, preto – carbono.)

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

MOBERN

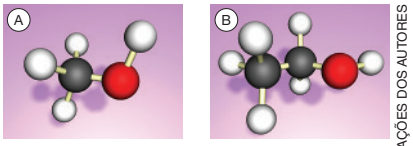
Álcoois

Os **álcoois** são compostos orgânicos em que existe grupo hidroxila (—OH) covalentemente ligado a um átomo de carbono saturado (aquele que estabelece somente ligações simples). Dois exemplos são o metanol ($H_3C—OH$) e o etanol ($H_3C—CH_2—OH$), cujos modelos moleculares são mostrados na Figura 10. Nos nomes sistemáticos metanol e etanol, o sufixo "**ol**" indica se tratar de um álco**ol**.

O metanol é um composto extremamente tóxico. A ingestão de pequena quantidade, 30 mL ou menos, provoca morte. Quantidades ainda menores causam intoxicação severa e cegueira. Apesar de tóxico, o metanol é importante em laboratórios e indústrias, onde são adotados procedimentos apropriados para trabalhar com ele de forma segura.

O etanol tem toxicidade inferior à do metanol. É usado na desinfecção de mãos e superfícies, como combustível automotivo (Fig. 11) e está presente nas bebidas alcoólicas. O consumo dessas bebidas alcoólicas pode exercer efeitos terríveis sobre a saúde de um indivíduo. Elas são misturas contendo etanol, água e eventualmente outras substâncias que foram propositalmente adicionadas ou que devem sua presença ao modo como foram produzidas. Cada bebida alcoólica possui um teor diferente de etanol. No rótulo desses produtos, consta a graduação alcoólica expressa em porcentagem (em volume) de etanol na bebida.

Quando um indivíduo ingere bebida contendo etanol, rapidamente começa a absorção dessa substância pelo organismo. Se o estômago estiver vazio, ela ocorrerá cerca de seis vezes mais rápido do que se estiver cheio. A substância passa facilmente para a corrente sanguínea e, devido à total solubilidade em água, distribui-se por todas as partes do organismo. Existindo etanol no sangue, vapores do composto sairão no ar expirado, no qual a concentração do álcool será proporcional à concentração sanguínea. Assim, a concentração de etanol no ar expirado permite avaliar o estado de embriaguez da pessoa, princípio usado no etilômetro (popularmente, bafômetro). Pequenas doses de etanol podem causar sensação de euforia. Doses maiores afetam seriamente o sistema nervoso e diminuem as funções cerebrais, fazendo com que a pessoa apresente instabilidade de humor, tonturas, náuseas e diminuição acentuada dos reflexos e da capacidade de avaliar situações e de tomar decisões. Doses maiores conduzem ao coma alcoólico e à morte (Tabela 2). Quando o consumo da bebida alcoólica é rápido, é frequente acontecer de o indivíduo ainda estar com muito álcool no estômago quando desmaia. Mesmo inconsciente, o nível de etanol no sangue dessa pessoa continua a aumentar, podendo conduzir à morte.



$H_3C—OH$ $H_3C—CH_2—OH$

ILUSTRAÇÕES DOS AUTORES

Figura 10 Modelo molecular e fórmula estrutural de dois álcoois: (A) metanol, (B) etanol. (Representações fora de proporção; cores meramente ilustrativas: branco – hidrogênio, preto – carbono, vermelho – oxigênio.)

LEONIDAS SANTANA/SHUTTERSTOCK

Figura 11 No Brasil, o etanol produzido a partir da cana-de-açúcar é empregado como combustível em automóveis desde o final da década de 1970. Para esse fim, o etanol não é puro, mas contém pequena porcentagem de água determinada por lei, sendo chamado de etanol hidratado. O produto também recebe adição de substâncias, chamadas agentes desnaturantes, para impedir que esse álcool, denominado álcool desnaturado, seja usado para a fabricação de perfumes ou bebidas.

Atividade em grupo

Veja comentários sobre essa atividade no Suplemento do Professor.

O etanol é uma **droga**. O texto desta página descreve brevemente os efeitos da **intoxicação aguda** causada por ele, ou seja, as consequências adversas da ingestão que surgem nos minutos e horas seguintes ao consumo. Além dos problemas sofridos pelo organismo, o fato de o etanol afetar processos cerebrais aumenta as chances de a pessoa alcoolizada se envolver em brigas e adotar comportamentos de risco, como dirigir embriagado, provocando acidentes graves de trânsito e mortes.

Outro risco se relaciona ao fato de algumas pessoas terem propensão para se tornar dependentes do etanol.

O consumo dessa substância por longos períodos, seja a pessoa dependente dele ou não, pode provocar outros problemas de saúde, que são os efeitos da **intoxicação crônica** por etanol, entre eles doenças cardíacas e lesões no fígado.

Pesquisem mais informações a respeito dos malefícios do consumo de etanol e produzam um vídeo que os esclareça à comunidade. (Sugestões de uso de mídias digitais estão disponíveis no início do livro.) Incluam **propostas** que ajudem a conscientizar as pessoas e a evitar os problemas associados a essa droga.

Incluam no vídeo informações sobre entidades locais que auxiliam dependentes do etanol a conseguirem superar a compulsão pelo consumo.

Tabela 2 Alguns efeitos fisiológicos do etanol, em função da concentração no sangue, em um indivíduo de 70 kg.

Porcentagem (em volume) de etanol no sangue	Efeito no ser humano
0,05	Euforia ou tranquilidade
0,1	Perda do controle motor
0,2	Descontrole das emoções
0,3	Inconsciência
0,4 a 0,5	Estado de coma
0,6 a 0,7	Morte

Fonte: GARRITZ, A.; CHAMIZO, J. A. *Química*. São Paulo: Prentice Hall, 2003.

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

MODELO

Aldeídos

O metanal e o etanal (Fig. 12) pertencem à classe funcional dos **aldeídos**, que se caracterizam pela presença de um grupo funcional abreviadamente representado por —CHO. Na nomenclatura sistemática, o sufixo "**al**" é empregado para indicar que se trata de um **al**deído. O metanal é um líquido tóxico e de cheiro irritante, cuja solução aquosa (conhecida como formol) é usada na conservação dos tecidos de animais e corpos humanos para estudos em Biologia e Medicina, e na fabricação de materiais sintéticos usados no revestimento de móveis. O etanal é produzido quando o organismo humano metaboliza o etanol, sendo em parte responsável pelas náuseas decorrentes da intoxicação por bebidas alcoólicas.

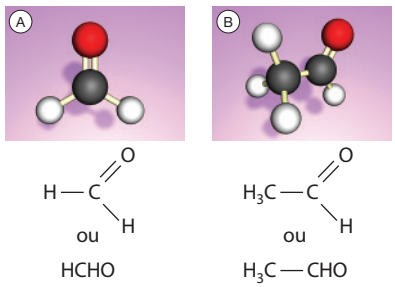
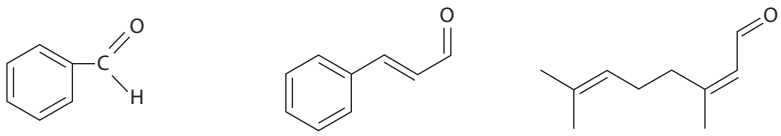


Figura 12 Modelo molecular e fórmula estrutural de dois aldeídos: (A) metanal, (B) etanal. (Representações fora de proporção; cores meramente ilustrativas: branco – hidrogênio, preto – carbono, vermelho – oxigênio.)

Alguns aldeídos possuem odor agradável e são empregados como aditivos de alimentos ou de perfumes. Entre eles estão o benzaldeído, que tem cheiro de amêndoas, o cinamaldeído (ou aldeído cinâmico), substância responsável pelo aroma de canela, e o citral, um dos responsáveis pelo odor natural dos limões.



benzaldeído (cheiro de amêndoas) cinamaldeído (odor de canela) citral (aroma de limão)

Cetonas

A substância de nome trivial acetona (Fig. 13.A) é um líquido incolor, altamente inflamável e de odor característico. Seus vapores podem causar irritação nos olhos, nariz e garganta, dor de cabeça e tontura. Só deve ser utilizada em local muito bem ventilado e longe de chamas e faíscas. O nome da acetona, de acordo com as regras sistemáticas da IUPAC, é propanona. Ela pertence à classe funcional das **cetonas**, substâncias em que o grupo $>C=O$ (denominado carbonila) está ligado a dois átomos de carbono. Outro exemplo de cetona é a butanona (Fig. 13.B). Nesses nomes, propanona e butanona, o sufixo "**ona**" indica cet**ona**.

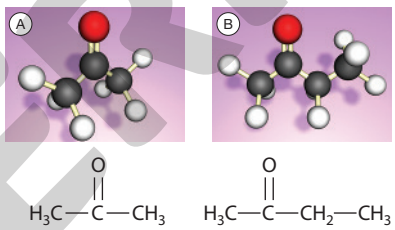
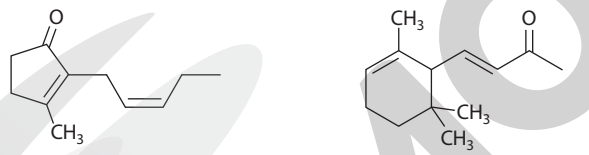


Figura 13 Modelo molecular e fórmula estrutural de duas cetonas: (A) propanona (ou acetona), (B) butanona. (Representações fora de proporção; cores meramente ilustrativas: branco – hidrogênio, preto – carbono, vermelho – oxigênio.)

Diversas substâncias que dão aroma a flores e frutos pertencem à classe funcional das cetonas, como é o caso da jasmona, que confere odor aos jasmins, e da α-ionona, um dos responsáveis pela fragrância das violetas.



jasmona (odor de jasmim) α-ionona (aroma de violeta)

Ácidos carboxílicos

Os **ácidos carboxílicos** se caracterizam pelo grupo funcional carboxila, abreviadamente representado por —COOH. Exemplos são o ácido metanoico (Fig. 14.A), responsável pelo ardor da picada de certas formigas, e o ácido etanoico (Fig. 14.B), que confere aroma e acidez ao vinagre. A terminação "**oico**" nesses nomes é indicativa de ácid**o** carboxíl**ico**. Diversas substâncias que pertencem a essa classe funcional têm odores fortes, por exemplo, o ácido butanoico, responsável pelo cheiro de manteiga rançosa, e o ácido pentanoico, presente em algumas variedades de queijos como o gorgonzola e o *roquefort*.

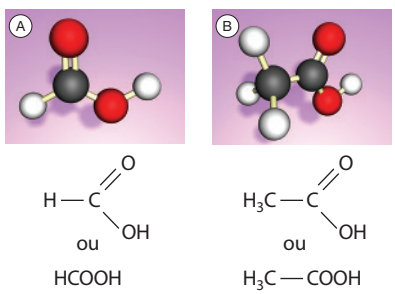
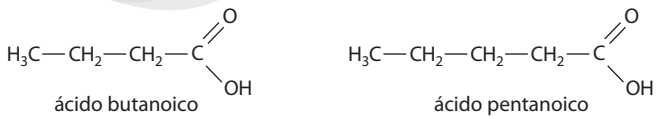


Figura 14 Modelo molecular e fórmula estrutural de dois ácidos carboxílicos: (A) ácido metanoico, (B) ácido etanoico. (Representações fora de proporção; cores meramente ilustrativas: branco – hidrogênio, preto – carbono, vermelho – oxigênio.)



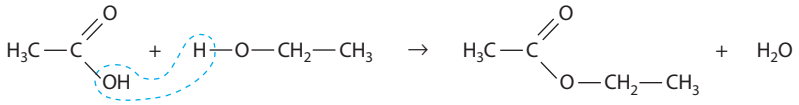
ácido butanoico ácido pentanoico

Os nomes triviais de alguns ácidos carboxílicos fazem alusão à sua origem, por exemplo, ácido fórmico (do latim *formica*, "formiga"), ácido acético (do latim *acetum*, "vinagre") e ácido butírico (do latim *boutyron*, "manteiga"), denominações que se referem, respectivamente, aos ácidos metanoico, etanoico e butanoico.

MODERNA
Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.
ILUSTRAÇÕES DOS AUTORES

Ésteres

Os **ésteres** são compostos orgânicos que podem ser considerados derivados de ácidos e álcoois. O etanoato de etila (Fig. 15), ou acetato de etila, usado para imitar artificialmente aroma de maçã, é o éster derivado do ácido etanoico e do etanol. Sua produção é realizada (em condições adequadas de pressão, temperatura e catálise) mediante a **reação de esterificação** assim equacionada:

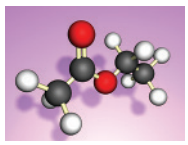


ácido etanoico (ou ácido acético) — **ácido carboxílico**

etanol — **álcool**

etanoato de etila (ou acetato de etila) — **éster**

O tracejado azul salienta, com finalidade didática, que a produção de água se dá a partir de átomos dos elementos químicos hidrogênio e oxigênio dos grupos funcionais ácido carboxílico e álcool, e a união dos fragmentos orgânicos restantes forma a molécula do produto orgânico, o éster. Misturas de ésteres são responsáveis pelos aromas naturais de muitos frutos. Industrialmente, alguns compostos dessa classe funcional são utilizados com a finalidade de imitar artificialmente aroma de frutas em balas, doces e até em xampus e outros produtos de higiene.



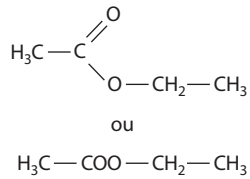


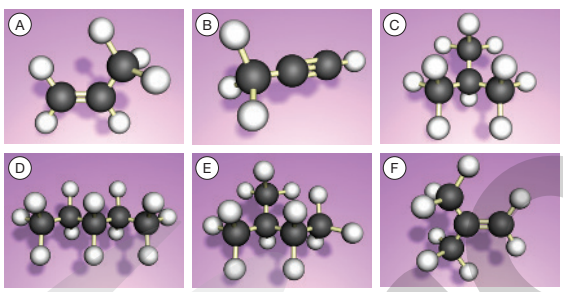
Figura 15 Modelo molecular e fórmula estrutural do éster chamado etanoato de etila, ou acetato de etila. (Representação fora de proporção; cores meramente ilustrativas: branco – hidrogênio, preto – carbono, vermelho – oxigênio.)

Aplicando conhecimentos

Registre as respostas em seu caderno.

Veja respostas e comentários no Suplemento do Professor.

9. Interprete os modelos moleculares a seguir e, fundamentado nessa interpretação, elabore a fórmula estrutural de cada um dos seis hidrocarbonetos.



Modelos moleculares de seis hidrocarbonetos. (Representações fora de proporção; cores meramente ilustrativas: branco – hidrogênio, preto – carbono.)

10. Os hidrocarbonetos but-1-eno e but-2-eno têm a mesma fórmula molecular (C_4H_8), diferindo na localização da insaturação C=C na molécula.

Para efeito de nomenclatura desses compostos, os átomos de carbono recebem uma numeração, iniciada na extremidade mais próxima à insaturação. A seguir, especifica-se, no nome, antes do infixo "en", o menor número entre os dois átomos de carbono que estabelecem a dupla ligação. Veja a esquematização a seguir.

but-1-eno

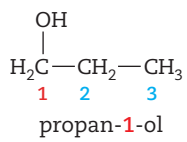
but-2-eno

Com base nessas informações:

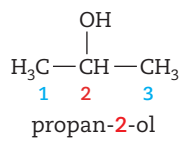
a) Explique a razão de não existir but-3-eno nem but-4-eno.

b) Elabore a fórmula estrutural do pent-2-eno.

11. Os nomes metanol e etanol designam álcoois com um e dois átomos de carbono na molécula, respectivamente. Já com três átomos de carbono, existem dois álcoois, chamados propan-1-ol e propan-2-ol, cujas fórmulas estruturais são mostradas a seguir. O número antes do sufixo "ol" indica o átomo de carbono a que a hidroxila está ligada. Com finalidade de nomenclatura desses álcoois, a numeração dos átomos de carbono é realizada a partir da extremidade mais próxima daquele ligado à hidroxila.



propan-1-ol



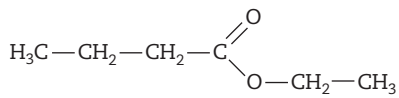
propan-2-ol

a) Por que não existe propan-3-ol?

b) Elabore a fórmula estrutural do butan-1-ol e a do butan-2-ol.

12. Propanal e propanona têm a mesma fórmula molecular (C_3H_6O), mas são compostos distintos. Elabore a fórmula estrutural desses compostos e explique que característica estrutural de cada molécula faz com que os químicos considerem o propanal um aldeído e a propanona uma cetona.

13. Uma indústria química produzirá o éster cuja fórmula estrutural está a seguir, usado como aromatizante artificial de abacaxi. A síntese será realizada por reação de esterificação, similar à apresentada no texto do capítulo. Represente as fórmulas estruturais do ácido carboxílico e do álcool que devem ser usados como matérias-primas.



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

ILUSTRAÇÕES DOS AUTORES

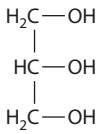
MODERNA

3. Exemplos de biomoléculas

Agora que demos uma noção geral sobre classes funcionais orgânicas, podemos apresentar uma noção sobre a composição química de algumas categorias importantes de biomoléculas, compostos importantes para a existência e a manutenção da vida: os triacilgliceróis, as proteínas, os carboidratos e os ácidos nucleicos. Lembre-se de consultar a Tabela 1 durante o estudo deste item.

Triacilgliceróis

Os óleos e as gorduras originados em seres vivos têm como importantes constituintes os triésteres de ácidos graxos e glicerol, que são denominados **triacilgliceróis** (ou **triglicéridos**, ou **glicerídios**). Como são ésteres, derivam de álcool e ácido. O álcool em questão é o **glicerol**, ou **glicerina**:



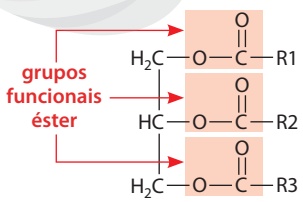
glicerol (um triálcool)

Como esse álcool possui três grupos hidroxila, ele pode formar um triéster, ou seja, um composto que possua três grupos funcionais éster (—COO—). Os ácidos que, ao reagirem com o glicerol, formam os óleos e as gorduras são os **ácidos graxos**, ácidos carboxílicos de moléculas longas, geralmente com doze ou mais átomos de carbono. São exemplos de ácidos graxos:

$H_3C[CH_2]_{12}COOH$	mirístico (14 C)
$H_3C[CH_2]_{14}COOH$	palmítico (16 C)
$H_3C[CH_2]_{16}COOH$	esteárico (18 C)
$H_3C[CH_2]_5CH{=}CH[CH_2]_7COOH$	palmitoleico (16 C)
$H_3C[CH_2]_7CH{=}CH[CH_2]_7COOH$	oleico (18 C)
$H_3C[CH_2]_4CH{=}CHCH_2CH{=}CH[CH_2]_7COOH$	linoleico (18 C)

Os ácidos graxos podem ser divididos em três grupos: **saturados**, que apresentam apenas ligações simples entre átomos de carbono, **monoinsaturados**, que possuem uma ligação dupla C=C, e **poli-insaturados**, que têm duas ou mais ligações duplas C=C na estrutura. Na condições ambientes (25 °C e 1 atm), os ácidos graxos saturados geralmente são sólidos (temperatura de fusão superior a 25 °C) e os ácidos graxos insaturados geralmente são líquidos (temperatura de fusão inferior a 25 °C). A explicação para essa diferença está ligada à estrutura molecular dos compostos. Os ácidos graxos saturados apresentam moléculas lineares, e os insaturados, moléculas recurvadas (Fig. 16). Para ocorrer solidificação, as moléculas devem se dispor em um arranjo ordenado e compactado que constitui o sólido, arranjo favorecido pela linearidade das moléculas dos ácidos graxos saturados, mas não pelo formato recurvado das moléculas dos ácidos graxos insaturados (Fig. 17). Como consequência, os primeiros se solidificam mais facilmente e apresentam temperaturas de fusão mais altas.

Em um triacilglicerol, os três grupos —OH do glicerol estão esterificados com ácidos graxos, resultando em uma molécula com a seguinte estrutura geral:



estrutura geral de um triacilglicerol

na qual R1, R2 e R3 são longos grupos formados por carbono e hidrogênio, provenientes de ácidos graxos.

Veja comentários sobre essa atividade no Suplemento do Professor.

Dialogando com o texto

As substâncias biológicas conhecidas como **lipídios** englobam outros tipos de moléculas além dos triacilgliceróis, como os **diacilgliceróis**, os **monoacilgliceróis** e o **colesterol**. Dê uma busca na internet pelas fórmulas estruturais desses compostos e deduza, pelas estruturas, quais deles podem ser considerados ésteres de ácidos graxos.

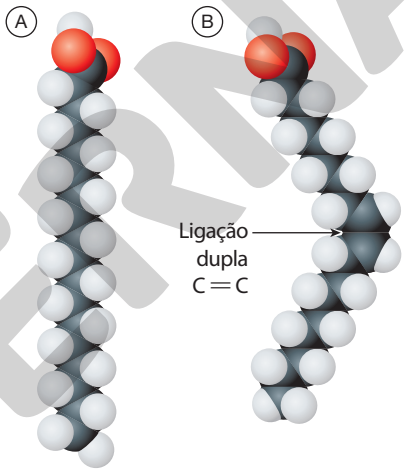


Figura 16 Modelo molecular de: (A) ácido esteárico (18 C), cuja temperatura de fusão, a 1 atm, é 69 °C; e (B) ácido oleico (18 C), cuja temperatura de fusão, a 1 atm, é 14 °C. (Átomos representados por esferas. Representações fora de proporção; cores meramente ilustrativas: branco – hidrogênio, preto – carbono, vermelho – oxigênio.)

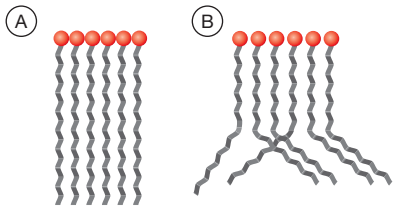


Figura 17 (A) Esquematização indicando que as moléculas do ácido esteárico (saturado) favorecem a formação de um cristal sólido e, consequentemente, a solidificação. (B) Já no caso do ácido oleico (insaturado), o formato das moléculas não favorece a formação do cristal, o que se reflete em uma temperatura de fusão mais baixa. (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.

MODERNA

Em condições ambientes, as gorduras são sólidas e os óleos são líquidos, diferença que está relacionada à estrutura dos grupos R1, R2 e R3. Nas gorduras, esses grupos são geralmente saturados, e, nos óleos, apresentam uma ou mais insaturações. Em óleos e gorduras naturais, os triacilgliceróis presentes podem ser derivados de mais de um ácido graxo diferente (Fig. 18). Quanto maior a quantidade de grupos R1, R2 e R3 saturados nos triacilgliceróis, maior a tendência de o material ser uma gordura. Por outro lado, quanto mais grupos R1, R2 e R3 insaturados, maior a propensão para ser um óleo.

Triacilgliceróis são materiais de reserva energética. Quando metabolizados, tanto os lipídios quanto os carboidratos e os aminoácidos (dois grupos de biomoléculas estudados a seguir) podem fornecer energia para o funcionamento do organismo humano. Os lipídios são, no entanto, mais calóricos que os outros dois tipos de nutrientes. Cada grama de carboidrato ou aminoácido metabolizado para obter energia fornece 4 quilocalorias. Já um grama de lipídio fornece 9 quilocalorias.

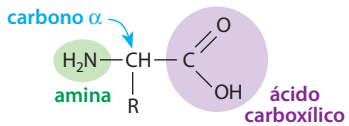
MAKS NARODENKO/SHUTTERSTOCK

Figura 18 Os triacilgliceróis presentes naturalmente no abacate são derivados de diferentes ácidos graxos, predominantemente ácido palmítico (saturado) e ácido oleico (monoinsaturado).

Aminoácidos e proteínas

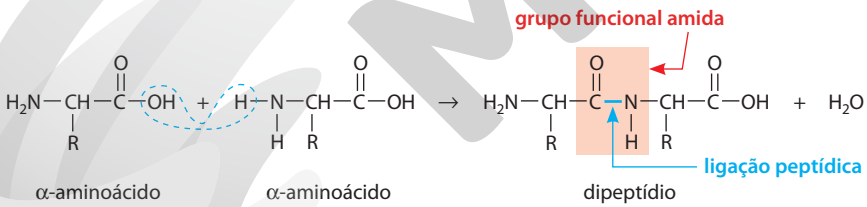
As **proteínas** são produzidas pelos organismos vivos a partir de unidades bem menores, denominadas **aminoácidos**, substâncias que, como o próprio nome indica, apresentam os grupos funcionais característicos das classes funcionais ácido carboxílico e amina.

Nos aminoácidos comumente usados na síntese de proteínas, o grupo funcional amina se encontra ligado ao átomo de carbono vizinho à carboxila (—COOH), chamado pelos químicos de carbono alfa (α). Assim, esses aminoácidos são designados como α-aminoácidos, cuja estrutura geral é:



Há vinte aminoácidos comuns na síntese proteica. A diferença entre eles está no grupo R, chamado de grupo lateral ou cadeia lateral (sobre isso, realize a atividade do *Dialogando com o texto*, ao lado).

Dois aminoácidos podem unir-se por meio de uma reação química de condensação, que resulta na formação de uma molécula de água e de uma substância orgânica com o grupo funcional amida. A ligação química C—N que se estabelece nesse grupo funcional do produto é denominada **ligação peptídica**.



As moléculas resultantes da união de aminoácidos são genericamente denominadas peptídios. Um **dipeptídio** resulta da união de dois aminoácidos; um **tripeptídio**, da união de três; um **polipeptídio**, da união de vários. Os grandes polipeptídios presentes na natureza são as proteínas, que constituem a mais variada classe de moléculas naturais, desempenhando diversas funções nos seres vivos.

As proteínas apresentam moléculas muito grandes e constituem um importantíssimo grupo de substâncias orgânicas presentes em todos os seres vivos. Isso foi percebido há muito tempo pelos cientistas e está expresso em seu nome (do grego *prôtos*, "primordial") (Fig. 19). Um número inimaginavelmente grande de proteínas diferentes é encontrado nos organismos. Estima-se que uma célula humana contenha cerca de nove mil tipos distintos de proteínas e que, ao todo, o corpo humano possua cem mil deles.

Veja comentários sobre essa atividade no Suplemento do Professor.

Dialogando com o texto

Dê uma busca na internet pela fórmula estrutural dos vinte aminoácidos comuns, aqueles utilizados pelos seres vivos na síntese de proteínas, e verifique qual é a estrutura do grupo R de cada um deles.

Aproveite essa pesquisa para descobrir qual dos vinte não segue exatamente a fórmula geral apresentada nesta página. Qual é esse composto? Em que ele difere da fórmula geral apresentada?

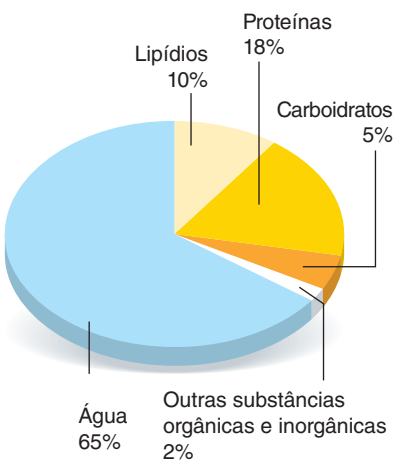


ILUSTRAÇÃO: ADILSON SECCO

Figura 19 Composição típica do organismo humano. Note que as proteínas respondem pelo segundo lugar, depois da água.

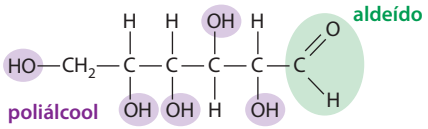
Fonte: FREEMANTLE, M. *Chemistry in action*. 2. ed. Londres: Macmillan, 1995.

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

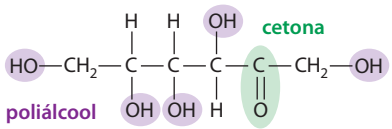
MODENA

Carboidratos

Os **carboidratos**, ou **glicídios**, são a classe de biomoléculas que inclui a glicose, a sacarose, o amido e a celulose. Os carboidratos mais simples são os **monossacarídios**. Exemplos são a glicose e a frutose.



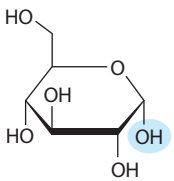
glicose



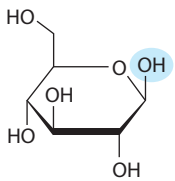
frutose

Como você pode perceber, a glicose é aldeído e poliálcool (vários grupos —OH), e a frutose é cetona e poliálcool. Quimicamente falando, os monossacarídios se dividem em aldoses – aldeído e poliálcool – e cetoses – cetona e poliálcool.

Os monossacarídios geralmente não são encontrados na natureza sob as formas mostradas anteriormente, mas como moléculas de estrutura cíclica. Tais moléculas se formam por meio de uma reação química entre grupos funcionais hidroxila e carbonila de uma mesma molécula de monossacarídio. As estruturas cíclicas da glicose (α-glicose e β-glicose) e da frutose são as seguintes:

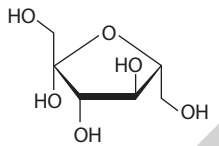


α-glicose ($C_6H_{12}O_6$)



β-glicose ($C_6H_{12}O_6$)

A diferença entre α-glicose e β-glicose está na posição de um grupo —OH em relação ao ciclo (destacada em azul).



frutose ($C_6H_{12}O_6$)

A molécula da sacarose (açúcar presente na cana) é produto de uma reação química entre uma molécula de glicose e uma de frutose, sendo um exemplo de **dissacarídio**. A formação da sacarose pode ser resumidamente representada por meio da seguinte equação química:

$$C_6H_{12}O_6 + C_6H_{12}O_6 \rightarrow C_{12}H_{22}O_{11} + H_2O$$

Outros exemplos de dissacarídios são a lactose, derivada dos monossacarídios galactose e glicose, e a maltose, derivada de duas moléculas de glicose.

Os **polissacarídios** são macromoléculas (moléculas muito grandes) formadas em reações cujos reagentes são monossacarídios. Nessa reação, chamada de **polimerização**, o monossacarídio reagente é denominado **monômero** e o polissacarídio resultante é considerado um **polímero** (do grego *poli*, "muitas", *mero*, "parte"). O amido (Fig. 20) e o glicogênio são polímeros da α-glicose e a celulose é polímero da β-glicose. Podemos representar, simplificadamente, a polimerização que resulta na formação desses polissacarídios pela seguinte equação química:

$$n\,C_6H_{12}O_6 \rightarrow (C_6H_{10}O_5)_n + n\,H_2O$$

em que *n* representa um número muito grande. O amido é um polissacarídio de reserva sintetizado por plantas, ou seja, uma forma de armazenamento de nutriente energético (glicose) para eventual uso futuro. O glicogênio é um polissacarídio de reserva sintetizado por alguns animais e fungos.

A celulose é um importante material estrutural de plantas que forma, por exemplo, a parede das células vegetais (Fig. 21). Boa parte da matéria orgânica existente em nosso planeta corresponde a esse polissacarídio. A celulose presente na madeira é usada para a fabricação de papel, em um processo que envolve muitas etapas e que pode ser resumidamente descrito assim: a celulose da polpa da madeira é separada de outros componentes (por exemplo, a lignina); forma-se uma pasta da celulose com água e outros aditivos que visam melhorar a qualidade do papel; a pasta é prensada e seca, transformando-se em lâminas de papel. A celulose encontrada no algodão é utilizada na fabricação de fibras têxteis industriais destinadas à confecção de roupas, cortinas e sacarias.

Veja comentários sobre essa atividade no Suplemento do Professor.

Dialogando com o texto

Além da glicose e da frutose, há diversos outros monossacarídios. Outros exemplos relevantes são a manose e a galactose. Pesquise na internet a fórmula estrutural desses compostos e compare-as com a da glicose e a da frutose, percebendo as diferenças.

Aproveite para pesquisar a fórmula estrutural da sacarose e perceber nela a parte derivada da glicose e a parte derivada da frutose.

YUGANOV KONSTANTIN/SHUTTERSTOCK

Figura 20 Alimentos elaborados com farinha de trigo, como o pão e outras massas, são ricos em amido.

PROSTOCK-STUDIO/SHUTTERSTOCK

Figura 21 Verduras contêm celulose. Embora não sejam digeridas pelo ser humano, as fibras celulósicas dão consistência ao bolo fecal, facilitando sua movimentação ao longo do intestino e evitando o ressecamento das fezes e a prisão de ventre. Essa é uma das razões pelas quais se recomenda a ingestão regular de verduras.

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

MODELO

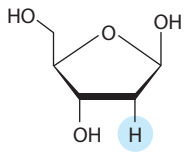
Ácidos nucleicos

As moléculas dos **ácidos nucleicos** são as maiores e mais complexas encontradas em organismos vivos. Perto delas, lipídios, polissacarídios e proteínas parecem tímidas miniaturas moleculares. Há dois tipos de ácidos nucleicos. O DNA (ácido desoxirribonucleico) é responsável pelo armazenamento codificado das informações genéticas que caracterizam um indivíduo e estão relacionadas à hereditariedade. O RNA (ácido ribonucleico) está envolvido em etapas do metabolismo em que informações genéticas contidas no DNA são empregadas para a síntese de proteínas pelas células.

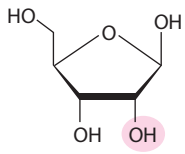
Podemos, com finalidade didática, encarar as moléculas dos ácidos nucleicos como estruturas formadas a partir das seguintes espécies químicas:

Pentoses – monossacarídios contendo cinco átomos de carbono na molécula. (Monossacarídios de seis carbonos, como glicose e frutose, são chamados hexoses.) No DNA existe desoxirribose, e no RNA, ribose, cujas fórmulas estruturais são mostradas a seguir.

A diferença entre a desoxirribose e a ribose está no fato de a primeira não ter um oxigênio no local destacado em azul (daí o nome ***desoxi**rribose*).



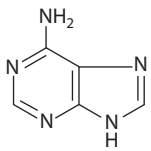
desoxirribose ($C_5H_{10}O_4$)



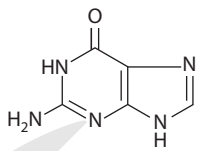
ribose ($C_5H_{10}O_5$)

Grupos fosfato – originários do ácido fosfórico (H_3PO_4) pela perda de íons H^+ e/ou substituição de átomos de hidrogênio por grupos orgânicos.

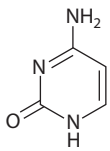
Bases nitrogenadas – moléculas orgânicas cíclicas contendo nitrogênio. No DNA, estão presentes as bases adenina, guanina, citosina e timina. No RNA, existem as bases adenina, guanina, citosina e uracila. As fórmulas estruturais dessas moléculas são mostradas a seguir.



adenina

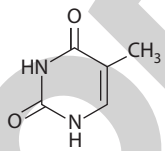


guanina



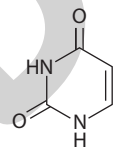
citosina

existentes no DNA e no RNA



timina

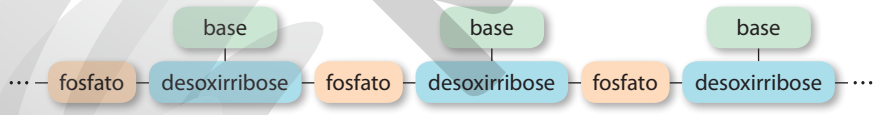
no DNA



uracila

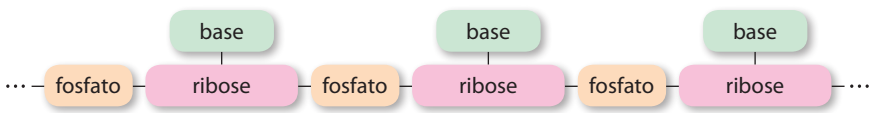
no RNA

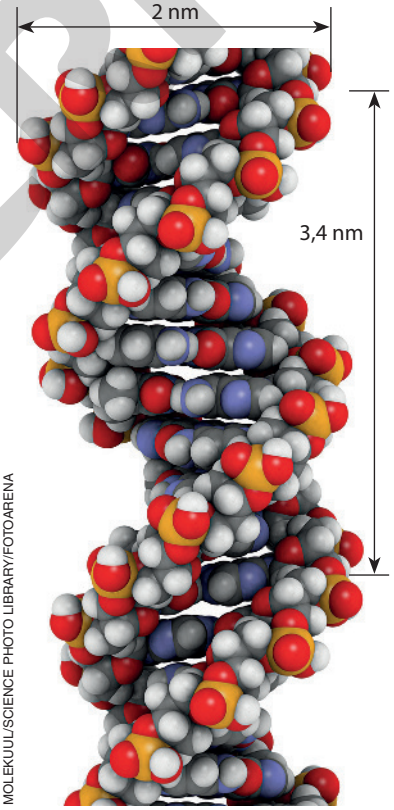
No DNA, existe uma longa sequência formada por fosfato e desoxirribose, em que as moléculas das bases nitrogenadas estão ligadas às moléculas de carboidrato:



Essa macromolécula é denominada fita de DNA. Duas dessas fitas se unem por meio de forças intermoleculares (isto é, interações atrativas entre moléculas que, em última análise, têm origem elétrica). Na estrutura resultante dessa união, denominada **dupla-hélice** (Fig. 22), existe pareamento entre citosina de uma fita e guanina da outra e também entre timina de uma fita e adenina da outra.

Ao contrário da estrutura do DNA, na do RNA existe apenas uma fita. Nela existe a sequência esquematizada a seguir, na qual o carboidrato presente é a ribose e, em lugar da base timina, encontra-se a uracila. As fitas simples de RNA são elaboradas no organismo a partir das fitas duplas de DNA e estão envolvidas na síntese celular de proteínas.





MOLEKUUL/SCIENCE PHOTO LIBRARY/FOTOARENA

Figura 22 Modelo molecular da dupla-hélice de DNA, com indicação da largura e da distância entre duas voltas sucessivas, expressas em nanômetro (1 nm = 10^{-9} m). (Átomos representados por esferas. Representação fora de proporção; cores meramente ilustrativas: branco – hidrogênio, cinza escuro – carbono, vermelho – oxigênio, lilás – nitrogênio, laranja – fósforo.)

Fonte consultada: IWASA, J.; MARSHALL, W. *Karp's Cell and molecular Biology*. 8. ed. Hoboken: John Wiley, 2016.

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

MODERNA

Registre as respostas em seu caderno.

Veja respostas e comentários no Suplemento do Professor.

1. (Uerj) Os cães conhecem seus donos pelo cheiro. Isso se deve ao fato de os seres humanos apresentarem, junto à pele, glândulas que produzem e liberam ácidos carboxílicos. A mistura desses ácidos varia de pessoa para pessoa, o que permite a animais de faro bem desenvolvido conseguir discriminá-la. Com o objetivo de testar tal discriminação, um pesquisador elaborou uma mistura de substâncias semelhantes à produzida pelo dono de um cão. Para isso, ele usou substâncias genericamente representadas por:

1. b

a) RHCO **b)** RCOOH **c)** RCH_2OH **d)** $RCOOCH_3$

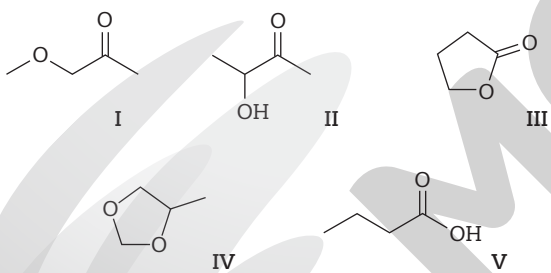
2. (ITA-SP) Embrulhar frutas verdes em papel jornal favorece o seu processo de amadurecimento devido ao acúmulo de um composto gasoso produzido pelas frutas. O composto responsável por esse fenômeno é

2. a

a) eteno.
b) metano.
c) dióxido de carbono.
d) monóxido de carbono.
e) amônia.

3. (PUC-PR) Ao realizar análise química de duas substâncias, um aluno deparou-se com a seguinte situação: a substância **X** mostrava-se reativa com etanol (C_2H_5OH) em meio ácido gerando um composto com odor característico de abacaxi enquanto a substância **Y** respondeu positivamente tanto para o teste de cetonas como para o de álcoois. Tendo que ambas as substâncias analisadas apresentam fórmula $C_4H_8O_2$, quais, entre as estruturas abaixo, correspondem aos compostos **X** e **Y**, respectivamente?

3. b



a) Tanto **X** como **Y** correspondem ao mesmo composto **II**.
b) Compostos **V** e **II**.
c) Compostos **IV** e **V**.
d) Compostos **III** e **I**.
e) Compostos **I** e **II**.

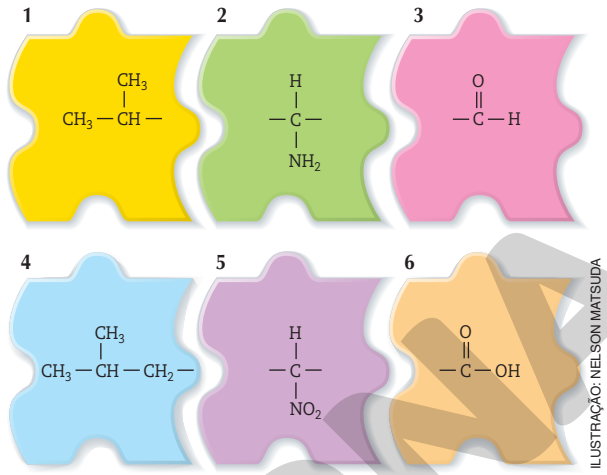
4. (Unifor-CE) O amido, o glicogênio e a celulose têm fórmula molecular $(C_6H_{10}O_5)_n$. A diferença entre esses compostos está na maneira como os monômeros se ligam e no valor de *n*. Todos são polímeros naturais, cujo monômero é

4. d

a) o etilenoglicol.
b) o glicerol.
c) a sacarose.
d) a glicose.
e) a frutose.

5. (Uerj) Um estudante recebeu um quebra-cabeça que contém peças numeradas de 1 a 6, representando partes de moléculas.

5. d



Para montar a estrutura de uma unidade fundamental de uma proteína, ele deverá juntar três peças do jogo na seguinte sequência:

a) 1, 5 e 3.
b) 1, 5 e 6.
c) 4, 2 e 3.
d) 4, 2 e 6.

6. (Uesb-BA) Tanto as carnes "vermelhas" quanto as carnes "brancas" são alimentos ricos em macromoléculas formadas pela união de moléculas de

6. c

a) glicose.
b) sacarose.
c) aminoácidos.
d) vitaminas.
e) sais minerais.

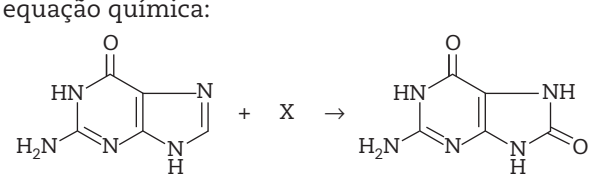
7. (PUC-PR) Quais dos produtos orgânicos são característicos de metabolismo de organismos vivos?

7. d

a) Ácido sulfúrico, glicerina, sulfato de metila.
b) Metanol, etanol, polietileno.
c) Ácido cítrico, cetonas, acetileno, PVC.
d) Glicídios, lipídios, aminoácidos e proteínas.
e) Solventes clorados, soda cáustica e peróxido de hidrogênio.

8. (Uerj) Considere a adição de um átomo X na oxidação da guanina, conforme esquematizado na equação química:

8. d



guanina — guanina oxidada

Nessa equação, o átomo correspondente a X é simbolizado por:

a) C **b)** H **c)** N **d)** O

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

CAPÍTULO 5

ISOMERIA

ANEK SANGKAMANEE/SHUTTERSTOCK

ARCO IMAGES GMBH/ALAMY/FOTOARENA

PAWEL BERES/SHUTTERSTOCK

MICHAEL SILUK/SHUTTERSTOCK

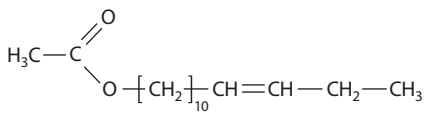
Em muitos países, as plantações de milho (A) são ameaçadas por mariposas da espécie *Ostrinia nubilalis* (B). Após o acasalamento, a fêmea deposita ovos (C) nas espigas. Dos ovos eclodem larvas (lagartas) que perfuram os grãos (D) e outras estruturas da planta e deles se alimentam. Por causa disso, a lagarta dessa espécie é conhecida como broca europeia do milho. Uma infestação desses insetos em uma plantação pode provocar consideráveis perdas econômicas. No Canadá e nos Estados Unidos, essa espécie é considerada a maior praga das plantações de milho. A espécie, nativa da Europa, não existia na América do Norte até 1914, quando chegou em um carregamento marítimo de milho. Comprimento da mariposa (B): 2,5 cm; diâmetro aproximado de cada ovo (C): 1 mm; comprimento da lagarta da foto (D): 1 cm, podendo chegar a 2,5 cm.

O Brasil é o terceiro maior produtor mundial de milho, atrás dos Estados Unidos e da China. Quando este livro foi escrito, a broca europeia do milho (*Ostrinia nubilalis*, fotos acima) constava na *lista de pragas quarentenárias ausentes* elaborada pelo Ministério da Agricultura. Isso significa que, apesar de não existir em território nacional, é reconhecida como potencialmente muito perigosa, exigindo medidas preventivas para impedir sua entrada no país.

Um **feromônio** (do grego *phero*, "transmitir", e *hormôn*, "excitar") é uma substância liberada por um animal que, percebida por outros membros da mesma espécie, desencadeia uma resposta comportamental. Formigas utilizam feromônios para marcar as trilhas e abelhas ameaçadas secretam feromônios que alertam outras para fugir.

A mariposa fêmea da broca europeia do milho libera no ar um feromônio que, mesmo em baixíssima concentração, pode ser detectado por machos da espécie a grandes distâncias, atraindo-os. A pesquisa sobre feromônios desse tipo é importante porque, se forem identificados e produzidos, podem ser usados para atrair os machos até armadilhas, impedindo a procriação. É um método ambientalmente benigno, pois reduz a necessidade de usar inseticidas nas lavouras.

Pesquisadores descobriram um fato interessante. Há dois grupos de indivíduos na espécie *Ostrinia nubilalis*. As fêmeas de um deles liberam um feromônio que atrai somente machos desse mesmo grupo. No outro, acontece algo similar: o feromônio das fêmeas provoca atração exclusivamente dos machos deste outro grupo. Uma análise dos feromônios das fêmeas dos dois grupos revelou que eles tinham a mesma fórmula estrutural plana, mostrada a seguir. Como, então, explicar esse interessante fato observado?



acetato de tetradec-11-enila

De olho na BNCC:

- **EM13CNT301**
- **EM13CNT302**
- **EM13CNT303**
- **EM13CNT307**
- **EM13CHS302**

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

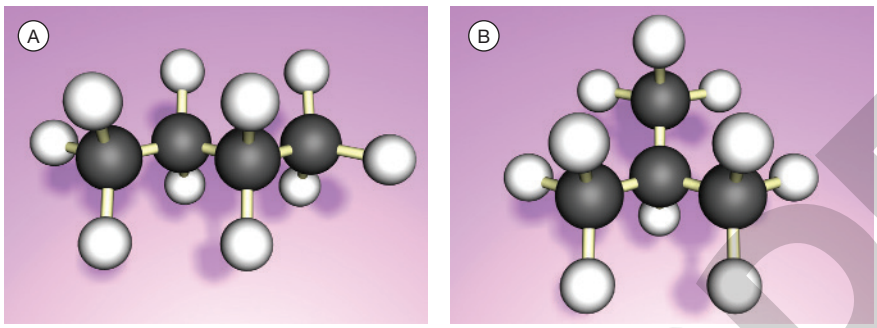
EM MODERNA

1. Isomeria constitucional

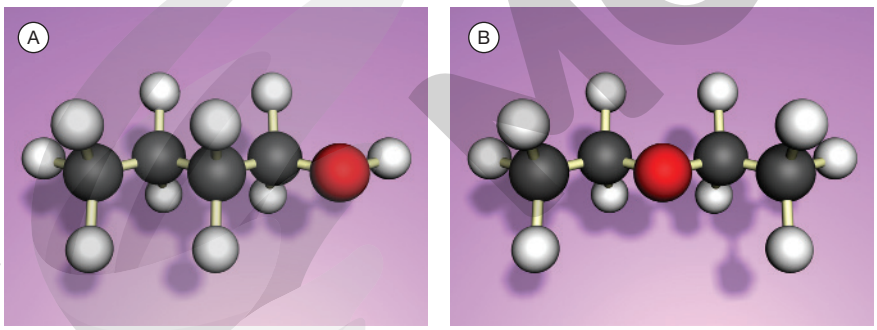
Em laboratórios, indústrias e quaisquer outras instalações que armazenem reagentes químicos, a correta rotulagem das embalagens é de grande relevância. As indicações do rótulo devem deixar claro o que existe no interior da embalagem, sem deixar qualquer dúvida a respeito. De fato, existem normas aplicáveis à rotulagem de cada produto, a qual deve incluir o(s) nome(s) correto(s) da substância e as informações sobre transporte, manuseio, estocagem, toxicidade, riscos e também indicação de procedimentos em caso de emergência.

Nesse contexto, se uma embalagem contém uma substância orgânica, colocar um rótulo contendo apenas a fórmula molecular não é uma prática correta, pois, na maioria dos casos envolvendo compostos orgânicos, determinada fórmula molecular não representa uma só substância.

Existem, por exemplo, dois compostos diferentes com a fórmula molecular C_4H_{10}, cujos modelos moleculares estão na Figura 1. Considerando hidrocarbonetos que não tenham estrutura cíclica e nos quais não existam insaturações, a fórmula C_4H_{10} representa o caso com menor número de átomos de carbono (e, consequentemente, também de hidrogênio) em que há isomeria. À medida que o número de átomos de carbono aumenta, mais isômeros se tornam possíveis (Tabela 1).



Considerando a fórmula molecular $C_4H_{10}O$, existem sete diferentes substâncias, duas das quais são mencionadas na Figura 2. (Sobre as demais, realize a atividade do *Dialogando com o texto*, apresentada nesta página.)



ILUSTRAÇÕES DOS AUTORES

Dois ou mais compostos diferentes que apresentam a mesma fórmula molecular são denominados **isômeros**. A existência de isômeros é chamada **isomeria**, ou **isomerismo**.

Quando é possível perceber que dois isômeros são diferentes observando a fórmula estrutural plana, dizemos que é um caso de **isomeria constitucional** ou **isomeria plana**, e os compostos em questão são **isômeros constitucionais** ou **isômeros planos**.

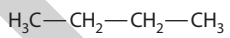
Nos itens 2 e 3 deste capítulo, conheceremos casos em que a distinção entre dois isômeros é possível apenas considerando a estrutura espacial das moléculas e, nesses casos, estaremos lidando com **isomeria espacial**.

Tabela 1 Número de isômeros possíveis para algumas fórmulas moleculares.

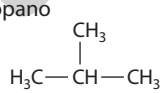
Fórmula molecular	Número de isômeros possíveis
C_4H_{10}	2
C_5H_{12}	3
C_6H_{14}	5
C_7H_{16}	9
C_8H_{18}	18
C_9H_{20}	35
$C_{10}H_{22}$	75
$C_{15}H_{32}$	4.347
$C_{20}H_{42}$	366.319
$C_{40}H_{82}$	62.491.178.805.831

Fonte: CAREY, F. A. *et al*. *Organic Chemistry*. 11. ed. Nova York: McGraw-Hill, 2020.

Figura 1 Modelo molecular dos compostos de fórmula molecular C_4H_{10}: (A) butano

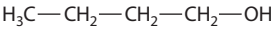


(B) metilpropano

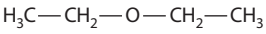


(Representações fora de proporção; cores meramente ilustrativas: branco – hidrogênio, preto – carbono.)

Figura 2 Modelo molecular de dois dos compostos de fórmula molecular $C_4H_{10}O$: (A) butan-1-ol



(B) éter dietílico



(Representações fora de proporção; cores meramente ilustrativas: branco – hidrogênio, preto – carbono, vermelho – oxigênio.)

Veja comentários sobre essa atividade no Suplemento do Professor.

Dialogando com o texto

Procure na internet a fórmula estrutural dos outros cinco isômeros constitucionais de fórmula molecular $C_4H_{10}O$ (três álcoois e dois éteres), registre-as no caderno e verifique a diferença entre elas e as duas apresentadas na legenda da Figura 2.

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.

Consulte a Tabela 1 do Capítulo 4 se necessário.

1. Represente a fórmula estrutural dos:
- **a)** três hidrocarbonetos isômeros que têm fórmula molecular C_5H_{12};
- **b)** cinco hidrocarbonetos isômeros que têm fórmula molecular C_6H_{14};
- **c)** dois hidrocarbonetos isômeros que têm fórmula molecular C_3H_6.

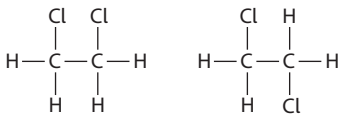
2. Entre os vários isômeros com a fórmula molecular C_3H_6O, represente a fórmula estrutural de um que seja aldeído, de outro que seja cetona e de outro que seja álcool e contenha insaturação C=C.

3. Entre os isômeros com a fórmula molecular $C_4H_8O_2$, represente a fórmula estrutural de:
- **a)** dois deles que sejam ácidos carboxílicos;
- **b)** quatro deles que sejam ésteres.

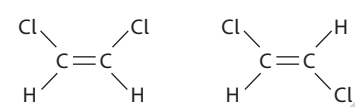
2. Isomeria geométrica

Reflita sobre as seguintes perguntas referentes aos dois pares de estruturas mostrados a seguir:

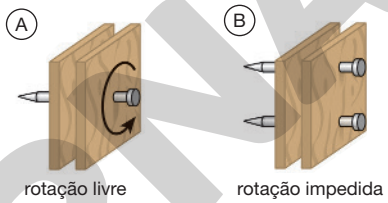
São representações da mesma substância?



São representações da mesma substância?



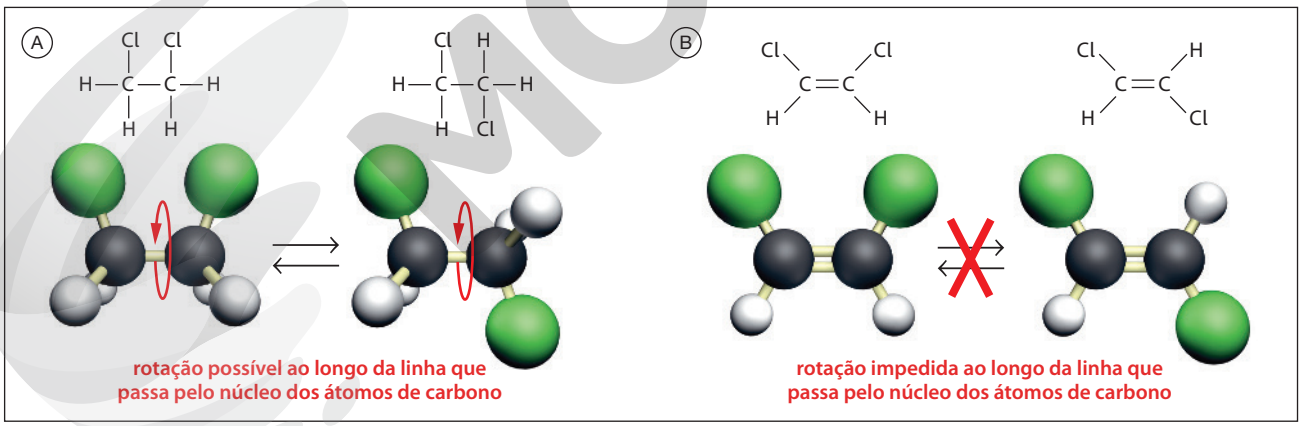
Para responder, comecemos com uma comparação. Imagine duas tábuas pelas quais atravessamos um prego (Fig. 3.A). Existe a possibilidade de girá-las livremente ao redor desse prego. Agora, imagine que atravessemos dois pregos nelas (Fig. 3.B). Nesse caso, o movimento giratório está travado. No primeiro caso, existe liberdade rotacional ao redor de um eixo definido pela direção do prego, e, no segundo caso, não existe liberdade rotacional.



ILUSTRAÇÕES: ADILSON SECCO

Figura 3 Duas tábuas paralelas com um prego atravessando-as perpendicularmente (A) constituem um sistema em que há liberdade de rotação ao redor do eixo definido pelo prego. Já no caso de dois pregos atravessando essas tábuas (B), deixa de haver liberdade de rotação. (Representações fora de proporção; cores meramente ilustrativas.)

De modo geral, existe liberdade rotacional ao longo de ligações covalentes simples C—C (Fig. 4.A). Ao contrário, no caso de ligação covalente dupla C=C, não existe liberdade rotacional ao redor do eixo que passa pelos núcleos desses dois átomos de carbono (Fig. 4.B).

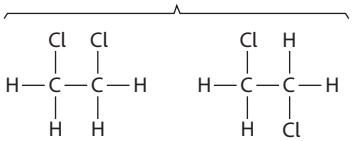


ILUSTRAÇÕES DOS AUTORES

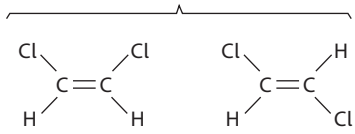
Figura 4 Esquematização da rotação possível ao redor da ligação covalente simples C—C no $CH_2Cl—CH_2Cl$ (A) e da rotação impedida no caso do CHCl=CHCl (B). (Representações fora de proporção; cores meramente ilustrativas: branco – hidrogênio, preto – carbono, verde – cloro.)

Assim, podemos concluir que:

São representações da mesma substância.



NÃO são representações da mesma substância.

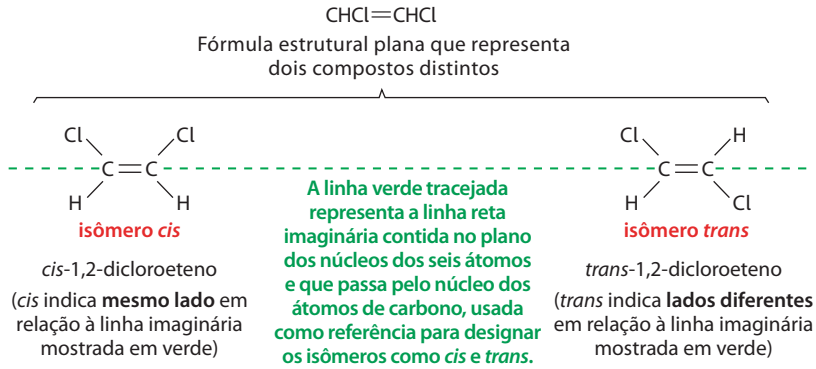


As duas substâncias representadas à direita são isômeros, pois são compostos diferentes que possuem a mesma fórmula molecular ($C_2H_2Cl_2$).

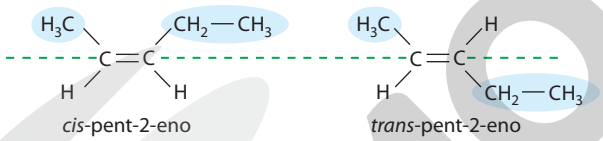
Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

MODERNA

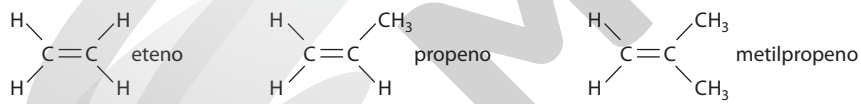
Os núcleos dos átomos de carbono da ligação dupla C═C e os núcleos dos átomos ligados a eles encontram-se todos em um mesmo plano. A diferença entre os dois isômeros (Fig. 5) está na disposição geométrica dos grupos ligados aos átomos de carbono da dupla C═C, o que constitui um caso denominado **isomeria geométrica**. Os dois compostos, chamados de **isômeros geométricos**, são diferenciados por meio do acréscimo, no nome, dos prefixos *cis* e *trans* (do latim *cis*, "próximo a", e *trans*, "através de".)



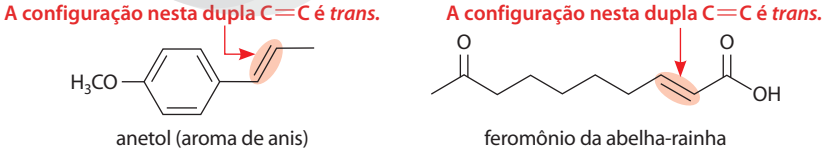
Para que uma dada fórmula estrutural plana represente dois isômeros geométricos, é necessário, além da presença de uma ligação dupla C═C, que cada um dos carbonos dessa dupla apresente dois ligantes diferentes entre si. Chamamos de *cis* o composto em que os maiores grupos ligados a cada átomo de carbono da dupla C═C estão posicionados de um mesmo lado da linha imaginária destacada em verde no esquema acima, e de *trans* o composto em que os maiores grupos ligados a cada carbono estão em lados opostos dessa linha.* Assim, são exemplos de isômeros geométricos:



e são exemplos de compostos que **não** apresentam isomeria geométrica:



Diversas substâncias presentes em seres vivos apresentam a possibilidade de isomeria geométrica, mas frequentemente os efeitos fisiológicos (efeitos sobre organismos) dos isômeros *cis* e *trans* são diferentes. Por exemplo, o aroma de anis (também conhecida como erva-doce ou funcho) deve-se ao anetol, substância que é um isômero geométrico *trans*. O feromônio (comentamos o que vem a ser isso na abertura deste capítulo) liberado pela abelha-rainha e que tem efeito regulador sobre o enxame também é um isômero *trans*.



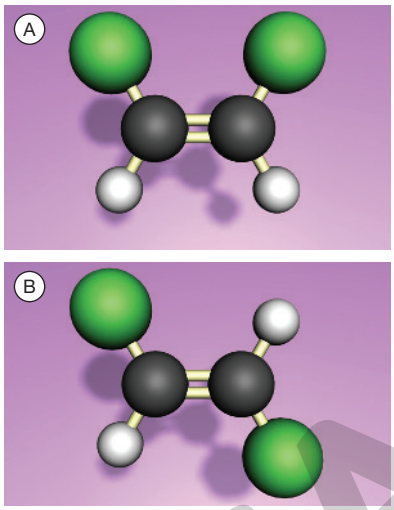


Figura 5 Modelo molecular dos isômeros geométricos (A) *cis*-1,2-dicloroeteno e (B) *trans*-1,2-dicloroeteno. (Representações fora de proporção; cores meramente ilustrativas: branco – hidrogênio, preto – carbono, verde – cloro.)

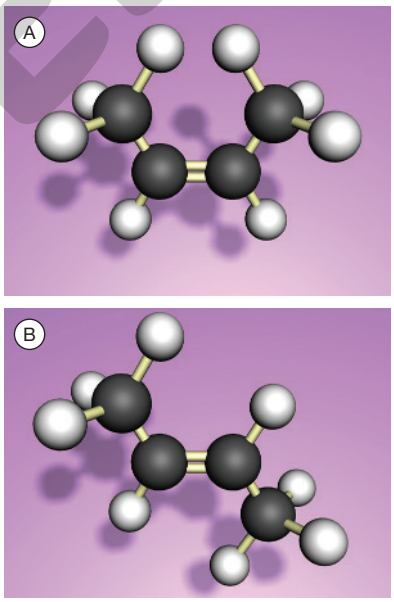


Figura 6 Modelo molecular dos isômeros geométricos (A) *cis*-but-2-eno e (B) *trans*-but-2-eno. (Representações fora de proporção; cores meramente ilustrativas: branco – hidrogênio, preto – carbono.)

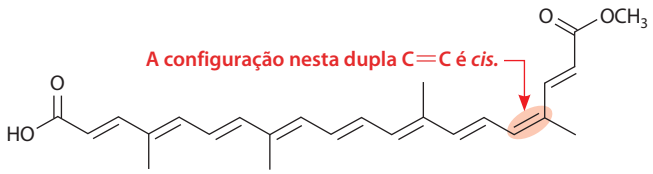
ILUSTRAÇÕES DOS AUTORES

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

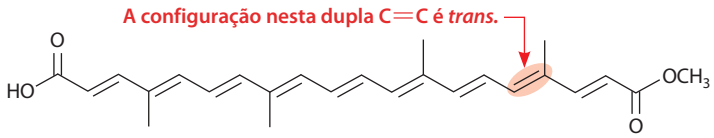
MODERNA

* Há autores que chamam de *cis* o isômero em que grupos iguais ligados aos dois carbonos da dupla (por exemplo, os átomos de hidrogênio da porção —CH═CH— do but-2-eno) estão no mesmo lado, e chamam de *trans* o isômero em que esses grupos estão em lados diferentes. Devido à dificuldade de aplicar os termos *cis* e *trans* em diversas situações (por exemplo, no CHF═CClBr), na Química universitária há outra maneira, mais adequada, para designar os isômeros geométricos, utilizando outros prefixos: *E* e *Z*. Esse tema não é abordado nesta discussão, pois está além do propósito deste livro.

A substância que dá cor vermelha às sementes de urucum (Fig. 7.A), usada em pintura corporal por indígenas (Fig. 7.B) e extraída industrialmente para uso como corante em alimentos, apresenta isomeria geométrica. A forma natural tem configuração *cis* em uma das ligações duplas da molécula. Durante aquecimento ou extração industrial, ocorre uma reação química em que a substância se transforma no isômero com configuração *trans* nessa mesma ligação dupla.

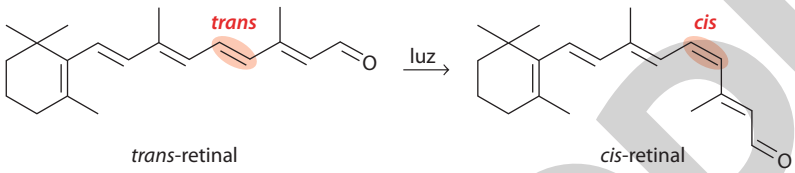


substância responsável pela cor vermelha da semente de urucum



isômero em que a substância anterior se transforma quando aquecida

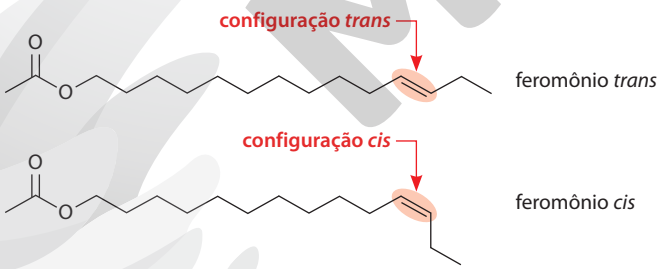
O processo visual envolve conversão entre isômeros geométricos na retina, camada que fica na parte posterior do olho, onde existem células fotorreceptoras (isto é, receptoras de luz) contendo uma substância chamada *cis*-retinal. A incidência de luz provoca a sua transformação em *trans*-retinal, reação que gera um impulso elétrico que é enviado ao cérebro. Lá os impulsos são interpretados, compondo as imagens que vemos.



trans-retinal — *cis*-retinal

O olho dispõe de mecanismos capazes de reconverter o *trans*-retinal em *cis*-retinal, estando, dessa maneira, pronto para receber mais luz. A cada segundo, esses eventos se repetem milhões de vezes em nossos olhos.

Na abertura deste capítulo, comentamos o interessante caso do feromônio de atração liberado pelas mariposas fêmeas da espécie *Ostrinia nubilalis*. A fórmula estrutural plana do feromônio representa, de fato, dois isômeros geométricos:



Os pesquisadores descobriram diferenças no material genético (Capítulo 4) entre os membros dos dois grupos. Em um deles, a região que condiciona a síntese do feromônio *trans* (pelas fêmeas) determina também a capacidade de percepção do mesmo isômero (pelos machos). No outro grupo, essa mesma região do material genético apresenta diferenças químicas que conduzem à síntese e à percepção do isômero *cis*. Embora os membros dos dois grupos possam acasalar normalmente quando estão próximos em um mesmo ambiente (e ter descendentes férteis), os dois grupos podem, segundo os cientistas que conduziram as pesquisas, evoluir para duas espécies diferentes. O Capítulo 9 discutirá processos evolutivos que conduzem a novas espécies.

MURILO MAZZO/SHUTTERSTOCK

© DELFIM MARTINS/TYBA

Figura 7 (A) Um urucum (fruto do urucuzeiro) aberto, em cujo interior estão as sementes. Há cerca de 30 a 50 delas em cada urucum. (B) Indígenas preparando-se para o ritual do Kuarup com pintura nos cabelos e na pele. A cor vermelha se deve a uma substância proveniente da semente de urucum. (Aldeia Aiha da tribo Kalapalo, MT, 2018.)

Veja comentários sobre essa atividade no Suplemento do Professor.

Dialogando com o texto

O retinal é produzido pelo organismo a partir da vitamina A, também chamada retinol. A ausência dessa vitamina na alimentação provoca uma doença conhecida como **cegueira noturna**, caracterizada pela incapacidade de enxergar em ambientes pouco iluminados. Na cenoura existe uma substância denominada β-caroteno (betacaroteno), que, no organismo, é convertida em vitamina A. Comer cenouras não assegura possuir visão acima do normal (como acreditam algumas pessoas), pois a presença de retinal é apenas parte do processo visual.

Pesquise as fórmulas estruturais da vitamina A e do β-caroteno, e compare-as com a do *trans*-retinal, registrando semelhanças e diferenças. A seguir, elabore um cartaz (em papel ou em mídia digital) que exponha suas conclusões.

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

MODELO

Aplicando conhecimentos

Registre as respostas em seu caderno.

Veja respostas e comentários no Suplemento do Professor.

4. Para cada uma das fórmulas estruturais mostradas, julgue se há possibilidade de isomeria geométrica.

a) $H_3C—CH_2—CH_2—CH_3$

b) $H_2C=CH—CH_3$

c) $H_3C—CH=CH—CH_3$

d) $BrHC=CHCl$

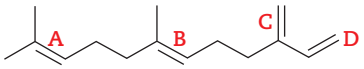
e) $H_3C—CH=C(CH_3)_2$

f) $(CH_3)_2C=C(CH_3)_2$

5. Nos casos da atividade anterior em que existe isomeria geométrica, represente as estruturas de cada um dos isômeros.

6. Em algumas balas que imitam o sabor de frutas cítricas existe um acidulante (substância que confere ao alimento sabor ligeiramente azedo) conhecido como ácido fumárico, nome trivial do isômero *trans* do ácido butenodioico, HOOC—CH=CH—COOH. Represente a estrutura desse isômero.

7. Os afídeos (pulgões) liberam um feromônio de alarme cuja estrutura é a seguinte:



Em qual(is) das ligações duplas C=C (marcadas com letras) pode haver isomeria *cis-trans*? Por quê?

8. Quando um feromônio apresenta isomeria geométrica, é frequente um dos isômeros ter atividade biológica e o outro não. Por exemplo, o feromônio sexual exalado por fêmeas da mosca-doméstica (*Musca domestica*) é o isômero *cis* cuja fórmula estrutural plana é dada a seguir. O isômero *trans* não tem efeito sobre os machos dessa espécie. Represente o isômero que apresenta efeito biológico.

$$H_3C—[CH_2]_7—CH=CH—[CH_2]_{12}—CH_3$$

3. Isomeria óptica

Imagem especular é o termo que usaremos para nos referir à imagem de um objeto no espelho. Quando colocamos uma esfera na frente de um espelho plano, percebemos que a imagem é uma esfera idêntica a ela (Fig. 8.A). O mesmo acontece, por exemplo, com um cubo e uma cadeira sem braço. No entanto, colocando uma de nossas mãos na frente do espelho, a imagem será diferente: será similar à outra mão (Fig. 8.B). Um pé de sapato e uma cadeira com braço para escrever também fornecem imagens especulares diferentes de si.

Essas observações estão relacionadas à existência, ou não, de um plano que divide o objeto em duas metades simétricas, denominado **plano de simetria**. Objetos contendo pelo menos um plano de simetria (Fig. 9.A) produzem uma imagem especular igual a eles e objetos que não possuem plano de simetria (Fig. 9.B) fornecem imagem especular diferente deles.

Consideremos, inicialmente, uma molécula de CHBrClF. O átomo de carbono nela presente, que estabelece quatro ligações simples, constitui, com os átomos a ele ligados, uma disposição geométrica tetraédrica, resultando em uma molécula que não apresenta plano de simetria. Uma molécula desse tipo é chamada de **molécula assimétrica** ou **molécula quiral** (do grego *kheirós*, "mão"). Se a colocarmos diante de um espelho, a imagem especular será diferente dela (Fig. 10).

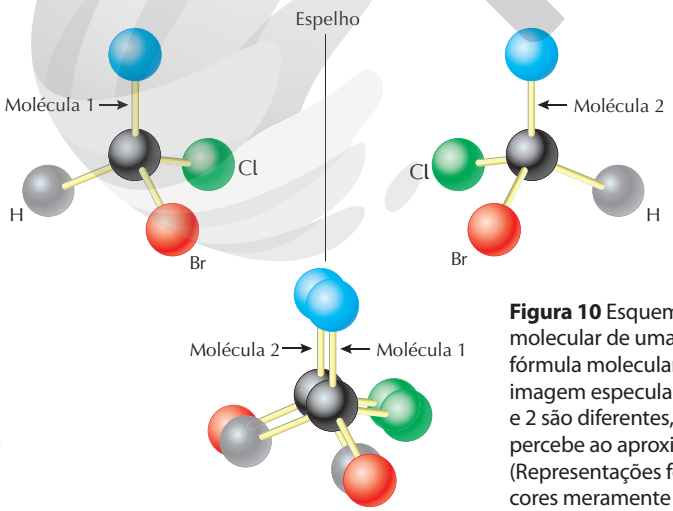


Figura 10 Esquema do modelo molecular de uma substância de fórmula molecular CHBrClF (1) e de sua imagem especular (2). As moléculas 1 e 2 são diferentes, o que se percebe ao aproximar os modelos. (Representações fora de proporção; cores meramente ilustrativas.)

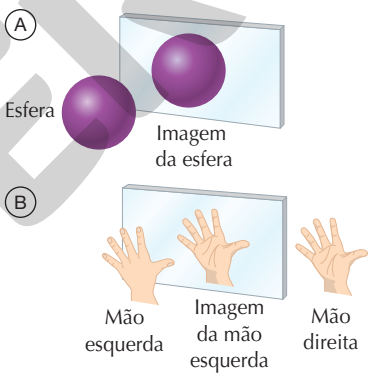


Figura 8 (A) A imagem especular de uma esfera é igual a ela. (B) A imagem especular da mão esquerda não é igual a ela, assemelhando-se à mão direita. (Representação fora de proporção; cores meramente ilustrativas.)

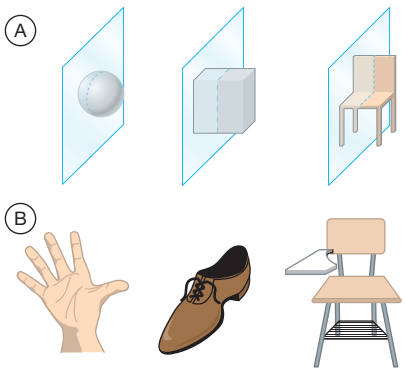


Figura 9 (A) Esfera, cubo e cadeira sem braço têm plano de simetria. (B) Mão, sapato e cadeira com braço são objetos que não têm plano de simetria. (Representação fora de proporção; cores meramente ilustrativas.)

ILUSTRAÇÕES: NELSON MATSUDA

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

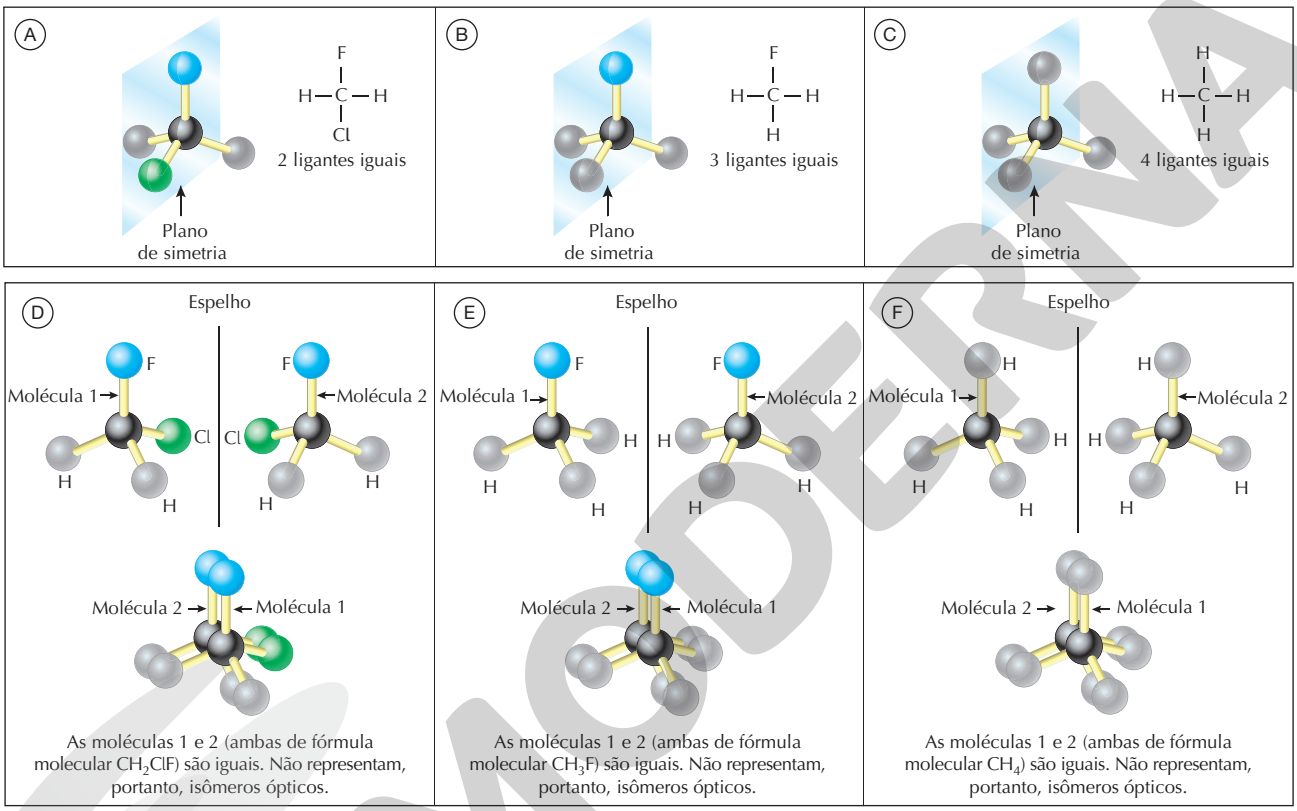
MODERNA

O espelho é apenas um recurso didático para ajudá-lo a perceber o principal: essas duas moléculas são de compostos diferentes, mas com fórmula molecular igual. São, portanto, isômeros.

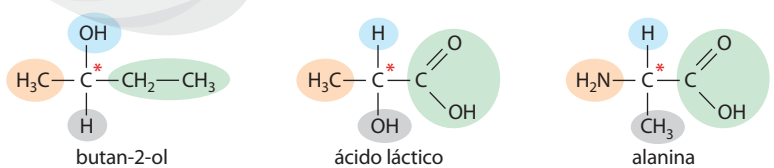
O tipo de isomeria em que uma molécula é a imagem especular da outra é chamado de **isomeria óptica**. Os isômeros são chamados de **isômeros ópticos**, ou **enantiômeros**, ou, ainda, **enantiomorfos** (do grego *enántios*, "contrário", *mero*, "parte", *morphé*, "forma"). Trata-se do caso de isomeria que ocorre com moléculas sem plano de simetria algum (moléculas assimétricas). A condição necessária para a isomeria óptica é a assimetria molecular.

Considere, agora, as substâncias de fórmula molecular CH_2ClF, CH_3F e CH_4. Suas moléculas apresentam ao menos um plano de simetria (Figs. 11.A, 11.B e 11.C) e, portanto, a imagem especular é igual a elas (Figs. 11.D, 11.E e 11.F).

Figura 11 Modelo molecular das substâncias de fórmulas (A) CH_2ClF, (B) CH_3F e (C) CH_4, indicando a existência de plano de simetria, e representação de que as imagens especulares das moléculas são iguais a cada uma das próprias moléculas: (D) CH_2ClF, (E) CH_3F e (F) CH_4. (Representações fora de proporção; cores meramente ilustrativas.)



A isomeria óptica acontece apenas com as substâncias que têm moléculas assimétricas. Existem diferentes razões estruturais que conduzem à assimetria molecular. Uma das mais frequentes, e que será abordada aqui, é a presença de um átomo de carbono que faça quatro ligações simples e que esteja ligado a quatro grupos diferentes. O carbono em questão é denominado **carbono quiral**, **carbono assimétrico**, **centro quiral** ou **centro estereogênico**. A presença de um carbono quiral, geralmente indicada com um asterisco (*) na fórmula estrutural, é condição suficiente para a existência de isômeros ópticos. Algumas moléculas com carbono quiral estão representadas a seguir.



Um átomo de carbono insaturado (isto é, aquele que estabelece uma ligação dupla, duas ligações duplas ou uma ligação tripla), independentemente de que ligantes apresente, não é carbono quiral.

Veja comentários sobre essa atividade no Suplemento do Professor.

Dialogando com o texto

A alanina, cuja fórmula estrutural é mostrada ao lado, é um exemplo de α-aminoácido. Em uma atividade *Dialogando com o texto* do Capítulo 4, você foi convidado a pesquisar a fórmula estrutural dos 20 α-aminoácidos que comumente entram na síntese de proteínas.

Retorne a essas fórmulas, para analisá-las e concluir quais desses compostos apresentam carbono quiral e quais não apresentam.

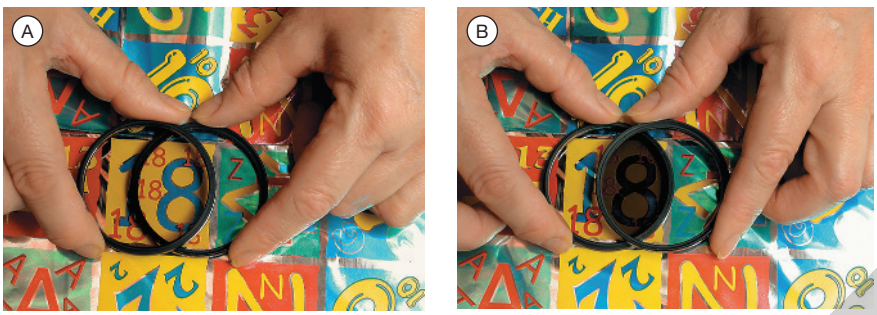
A seguir, pesquise, para aqueles α-aminoácidos que são quirais, se os dois enantiômeros existem nas proteínas, ou apenas um deles. Registre suas conclusões no caderno.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.
ILUSTRAÇÕES: NELSON MATSUDA
MODERNA

As propriedades físicas como temperatura de fusão e temperatura de ebulição (em determinada pressão) e densidade (em certa pressão e temperatura) de dois enantiômeros são iguais. Eles, contudo, diferem em uma propriedade óptica que comentaremos agora.

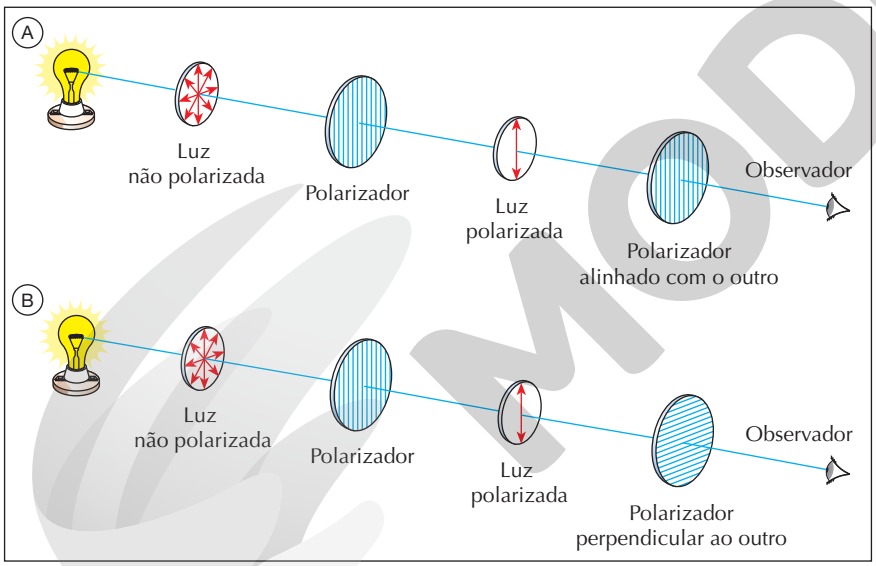
Quando uma lâmpada emite luz, ela está emitindo ondas eletromagnéticas (Capítulo 2) cujos campos elétrico e magnético vibram em diversos planos. Isso é chamado de luz não polarizada (Fig. 12.A). Existem lentes especiais, chamadas de polarizadores, capazes de fazer com que a luz, ao atravessá-las, sofra o fenômeno da **polarização**, que consiste em fazê-la passar a vibrar em um só plano, constituindo a chamada **luz polarizada** (Fig. 12.B).

Ao colocar dois polarizadores no caminho de um raio de luz, se eles estiverem alinhados (isto é, colocados de maneira que a direção de polarização seja a mesma), haverá passagem de luz por eles. Caso um deles esteja orientado com a direção de polarização perpendicular à do outro, isso dificultará muito a passagem de luz (Figs. 13 e 14).



FOTOS: EDUARDO SANTALIESTRA

Figura 13 Dois polarizadores posicionados de modo que a passagem de luz através de ambos seja (A) máxima e (B) mínima.

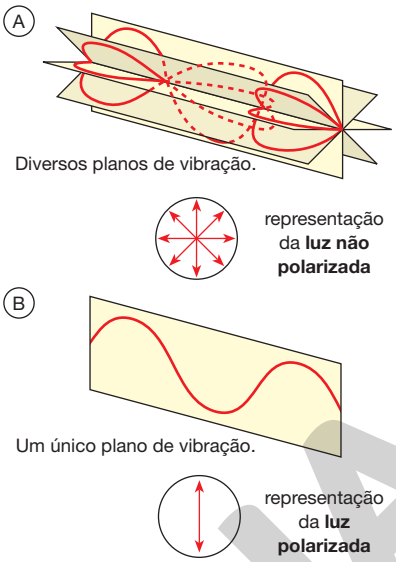


ILUSTRAÇÕES: ADILSON SECCO

Se luz polarizada atravessar um frasco contendo uma substância cujas moléculas sejam assimétricas, verifica-se que o plano de vibração da luz polarizada sofre um desvio (Fig. 15, na próxima página).

Um dos enantiômeros desvia o plano da luz polarizada no sentido horário, sendo chamado de **dextrorrotatório**, ou **dextrogiro** (do latim *dexter*, "direita"). O outro isômero óptico desvia o plano da luz polarizada no sentido anti-horário, recebendo a designação de **levorrotatório**, ou **levogiro** (do latim *laevu*, "esquerda"). No início do nome do composto, são inseridas as indicações (+) ou D para o dextrorrotatório e (–) ou L para o levorrotatório.

Assim, dois enantiômeros diferem na propriedade óptica chamada **desvio do plano da luz polarizada**.



ILUSTRAÇÕES: ADILSON SECCO

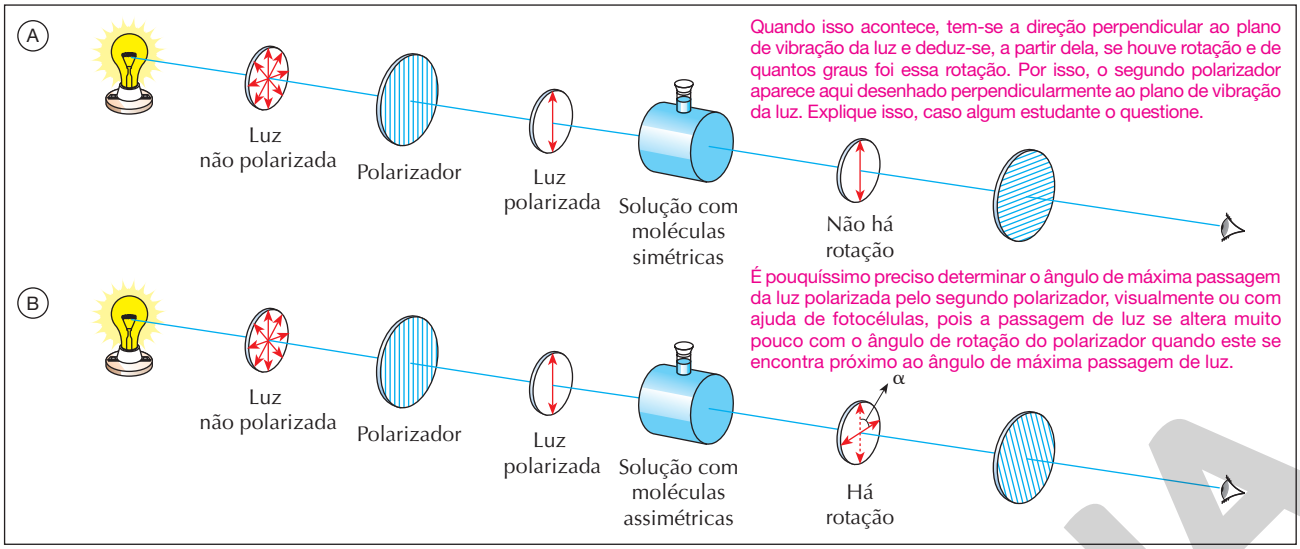
Figura 12 Esquema da (A) luz não polarizada e da (B) luz polarizada. (Representações fora de proporção; cores meramente ilustrativas.)

Figura 14 (A) Na montagem experimental deste esquema, o observador é capaz de enxergar a luz que vem da lâmpada porque dois polarizadores alinhados permitem a passagem da luz. (B) Nessa outra montagem experimental, o observador não é capaz de enxergar a luz que vem da lâmpada ou a enxerga com pequeníssima intensidade, pois dois polarizadores colocados de modo perpendicular um ao outro impedem ou dificultam muito a passagem da luz. (Representações fora de proporção; cores meramente ilustrativas.)

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

MODERNA

O método usado para determinar uma eventual rotação do plano da luz polarizada é girar o segundo polarizador até que a passagem de luz seja **nula** ou **mínima**.



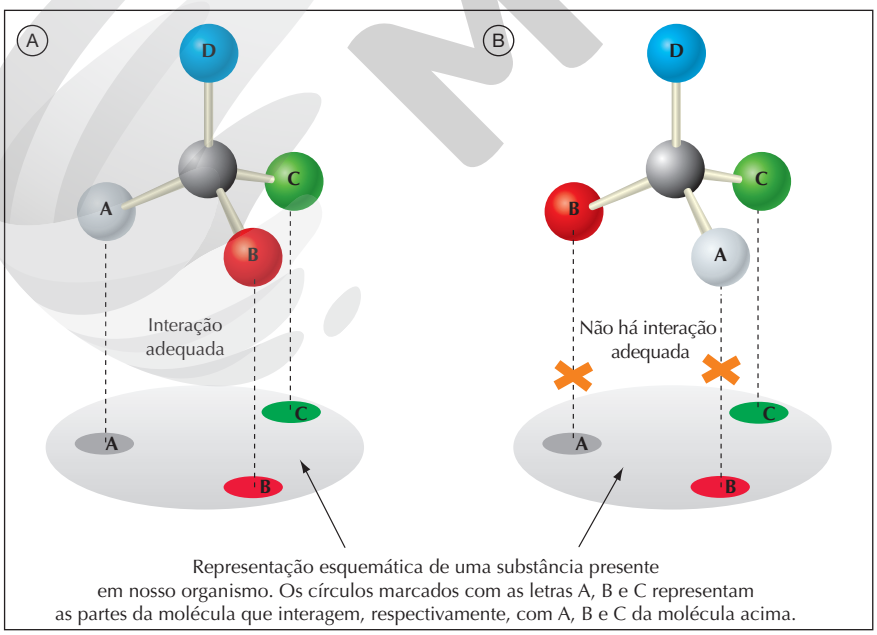
ILUSTRAÇÕES: ADILSON SECCO

Figura 15 (A) O plano da luz polarizada não é rotacionado ao passar por um frasco contendo apenas moléculas simétricas. Dizemos que o composto é **opticamente inativo**. (B) O plano da luz polarizada é rotacionado ao passar por um frasco contendo moléculas assimétricas. Nesse caso, o composto é considerado **opticamente ativo**. Se o desvio ocorrer no sentido horário, como o mostrado nesse esquema, a substância é dextrorrotatória. Caso o desvio seja no sentido anti-horário, a substância é levorrotatória. (Representações fora de proporção; cores meramente ilustrativas.)

Em um par de isômeros ópticos, um dos enantiômeros é dextrorrotatório, desviando o plano da luz polarizada no sentido horário. O outro é levorrotatório, desviando-o no sentido anti-horário. Se forem testadas duas soluções de mesma concentração, uma de cada enantiômero, o desvio do plano da luz polarizada terá o mesmo valor, medido em graus, nos dois casos. A única diferença é que uma das soluções o desvia no sentido horário e a outra, no anti-horário.

Se uma solução contendo os dois enantiômeros em iguais concentrações for testada, verifica-se que ela não desvia o plano da luz polarizada. Essa mistura, que é opticamente inativa, recebe o nome de **mistura racêmica** (do latim *racemus*, "cacho de uva"). O cientista francês Louis Pasteur (1822-1895) estudou, em 1848, o ácido tartárico (na época denominado *acidum racemicum*), encontrado na uva. Ao cristalizar tal substância (na verdade, era uma mistura racêmica), percebeu que os cristais eram assimétricos e alguns eram a imagem especular dos outros. Ele separou os dois tipos de cristais manualmente, usando uma pinça e visualizando-os com uma lupa, obtendo os isômeros opticamente ativos do ácido tartárico.

Os enantiômeros comportam-se de modos diferentes quando envolvidos em reações químicas com reagentes cujas moléculas também sejam assimétricas (Fig. 16) – caso, por exemplo, das proteínas. Essa é a explicação para o fato de eles, em geral, possuírem diferentes efeitos fisiológicos.



ILUSTRAÇÕES: NELSON MATSUDA

Representação esquemática de uma substância presente em nosso organismo. Os círculos marcados com as letras A, B e C representam as partes da molécula que interagem, respectivamente, com A, B e C da molécula acima.

Figura 16 (A) Modelo que pode representar uma molécula de um hormônio produzido pelo nosso corpo ou de um fármaco que contêm átomo de carbono assimétrico com os ligantes A, B, C e D. O esquema representa a interação adequada dos ligantes A, B e C com outra molécula, também assimétrica, que é o alvo desse hormônio ou fármaco no organismo. (B) A molécula do enantiômero, apesar de também conter átomo de carbono assimétrico com os ligantes A, B, C e D, apresenta uma configuração espacial desses ligantes que não favorece a interação adequada com a molécula alvo, o que faz com que não tenha o mesmo efeito fisiológico. (Representações fora de proporção; cores meramente ilustrativas.)

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

MODELO

Em destaque

Veja comentários sobre essa atividade no Suplemento do Professor.

Fármacos quirais

No início da década de 1960, a Alemanha apresentou diversos casos de crianças que nasciam deformadas. Os braços não cresciam, tinham menos dedos ou nenhum [...]. Posteriormente, uma cuidadosa pesquisa apurou que a origem das malformações devia-se a uma substância que as mães haviam ingerido como tranquilizante durante a gravidez: a **talidomida**. Esta encontrava-se presente também em xaropes para tosse e era recomendada para reduzir os sintomas de enjoo comuns durante a gravidez. Supõe-se que a substância age sobre o embrião humano entre os 28º e 42º dias após a concepção, momento no qual formam-se os braços.

Esse composto tem um átomo de carbono quiral e existem dois enantiômeros, (+) e (–). O medicamento empregado consistia de uma mistura racêmica. Depois da retirada do mercado, descobriu-se que somente o enantiômero (–) tem propriedades teratogênicas, isto é, que produzem alterações durante a gravidez, enquanto o enantiômero (+) induz ao sono.

De maneira dramática, a talidomida evidenciou que a geometria ao redor de um único átomo de carbono pode dar lugar a um medicamento ou a uma substância perigosa.

Fonte: GARRITZ, A.; CHAMIZO, J. A. *Química*. São Paulo: Pearson/Prentice Hall, 2003.

Em equipes, realizem as atividades.

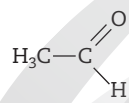
1. Pesquisem a fórmula estrutural da talidomida e, analisando-a, determinem qual dos átomos de carbono é quiral.
2. Investiguem a fórmula estrutural do fármaco citalopram (nome genérico) e localizem nela o átomo de carbono quiral. Que previsão vocês fazem sobre a atividade farmacológica dos enantiômeros do citalopram? Justifiquem. É correto dizer que o citalopram é uma mistura racêmica? Por quê?
3. Pesquisem o fármaco de nome genérico escitalopram e expliquem que relação existe entre ele e o citalopram.
4. Fundamentados nas respostas anteriores, concluam se, para obter um mesmo efeito terapêutico, a dose indicada de cada um dos dois fármacos, citalopram e escitalopram, deve ser igual ou não. Apresentem argumentos para sustentar a resposta dada pela equipe.
5. Pesquisem o que é **catálise assimétrica** e qual sua importância na indústria de medicamentos.
6. O naproxeno (nome genérico) é um anti-inflamatório e analgésico fabricado por catálise assimétrica. Pesquisem a fórmula estrutural dele, indicando o carbono quiral existente na molécula. Representem esquematicamente a disposição dos ligantes ao redor desse átomo de carbono.
7. Fundamentados na sua pesquisa, deduzam a representação do enantiômero do naproxeno que não atua como fármaco.
8. Elaborem um registro das respostas (em papel ou versão digital) para enviar ao professor e, no momento indicado por ele, compartilhar também com os colegas.

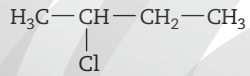
Aplicando conhecimentos

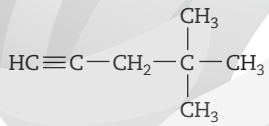
Registre as respostas em seu caderno.

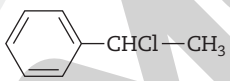
Veja respostas e comentários no Suplemento do Professor.

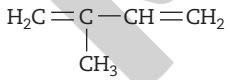
9. Quais das moléculas representadas a seguir têm átomo de carbono quiral (carbono assimétrico)?

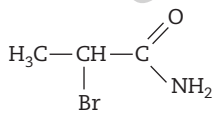
a) 

b) 

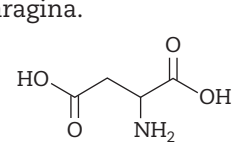
c) 

d) 

e) 

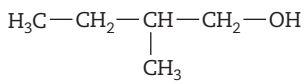
f) 

10. Um exemplo interessante de enantiômeros que apresentam efeitos fisiológicos diferentes é o da asparagina. Um deles estimula as papilas linguais, produzindo a sensação de sabor doce. O outro produz a sensação de sabor amargo. Determine qual é o átomo de carbono quiral presente na estrutura da asparagina.



asparagina

11. Um frasco contém uma substância pura **A**, incolor, líquida a 25 °C e 1 atm, identificada por meio da fórmula estrutural e do nome a seguir:



2-metilbutan-1-ol

Testes revelaram que a temperatura de ebulição dessa substância, a 1 atm, é 129 °C e que sua densidade, a 20 °C, vale 0,816 g/cm^3. Uma solução aquosa dessa substância, de concentração 1,0 g/cm^3, em um tubo transparente de comprimento 10 cm, provocou um desvio do plano da luz polarizada amarela emitida por uma lâmpada de vapor de sódio de 5,90° no sentido horário.

Outro frasco contém uma substância pura **B** que, testada, revelou propriedades idênticas às de **A**, exceto o desvio do plano da luz polarizada, que foi de 5,90° no sentido anti-horário.

a) Explique a razão da diferença na atividade óptica das substâncias **A** e **B**.

b) Preveja qual será a rotação do plano da luz polarizada se for testada uma solução aquosa contendo concentrações iguais de **A** e **B**. Explique em que se fundamenta sua previsão.

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

MODERNA

1. (Enem) Quando um macho do besouro-da-cana localiza uma plantação de cana-de-açúcar, ele libera uma substância para que outros besouros também localizem essa plantação, o que causa sérios prejuízos ao agricultor. A substância liberada pelo besouro foi sintetizada em laboratório por um químico brasileiro. Com essa substância sintética, o agricultor pode *fazer o feitiço virar contra o feiticeiro*: usar a substância como isca e atrair os besouros para longe das plantações de cana.

Fonte: Folha Ciência. *in*: *Folha de S.Paulo*, 25 mai. 2004 (com adaptações).

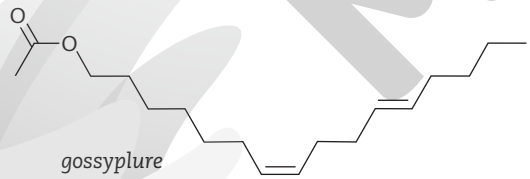
Determine a opção que apresenta corretamente tanto a finalidade quanto a vantagem ambiental da utilização da substância sintética mencionada.

	finalidade	vantagem ambiental
a)	eliminar os besouros	reduzir as espécies que se alimentam da cana-de-açúcar
b)	afastar os predadores das plantações	reduzir a necessidade de uso de agrotóxicos
c)	exterminar os besouros	eliminar o uso de agrotóxicos
d)	dispersar os besouros	evitar a incidência de novas pragas
e)	afastar os predadores das plantações	aumentar a resistência dos canaviais

1. b

2. (UFRGS-RS) A lagarta-rosada (*Pectinophora gossypiella*) é considerada uma das pragas mais importantes do algodoeiro. Armadilhas de feromônio sexual à base de *gossyplure* permitem o monitoramento da infestação e a consequente redução das aplicações de inseticidas.

Observe a estrutura da molécula de *gossyplure*.



gossyplure

Considere as seguintes afirmações a respeito dessa molécula.

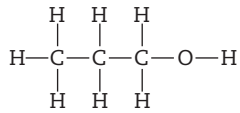
I. Ela apresenta 18 átomos de carbono.
II. Ela apresenta duas ligações duplas C=C com configuração geométrica *cis*.
III. Trata-se de um éster cujo grupamento ligado ao oxigênio é insaturado.

Quais estão corretas?

a) Apenas I.
b) Apenas II.
c) Apenas III.
d) Apenas I e II.
e) Apenas I e III.

2. e

3. (PUC-SP) O álcool propan-1-ol



é um exemplo de um dos isômeros de fórmula C_3H_8O. O número total de isômeros com essa fórmula é:

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

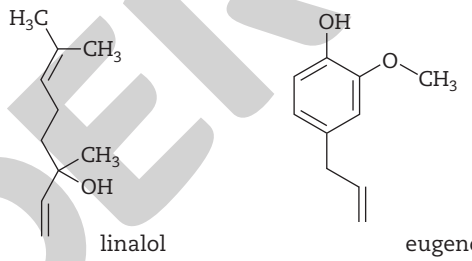
3. c

4. (Unic-MT) O butan-1-ol possui a fórmula molecular $C_4H_{10}O$. Pertencendo ao mesmo grupo funcional, quantos isômeros planos podem ser formados com a mesma fórmula molecular (incluindo o butan-1-ol)?

a) dois
b) três
c) quatro
d) cinco
e) seis

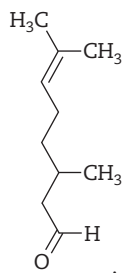
4. c

5. (Fuvest-SP) As fórmulas estruturais de alguns componentes de óleos essenciais, responsáveis pelo aroma de certas ervas e flores, são:

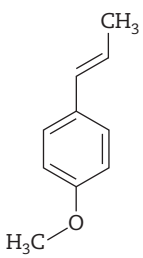


linalol

eugenol



citronelal



anetol

Dentre esses compostos, são isômeros:

a) anetol e linalol.
b) eugenol e linalol.
c) citronelal e eugenol.
d) linalol e citronelal.
e) eugenol e anetol.

5. d

6. (UEMG) Há cinco compostos diferentes com a fórmula C_7H_8O. Considerando a estrutura de cada um desses compostos, todas as alternativas a seguir estão corretas, **exceto**:

a) Um deles é um aldeído.
b) Três deles são quimicamente muito semelhantes.
c) Os cinco são isômeros.
d) Todos apresentam o anel benzênico.

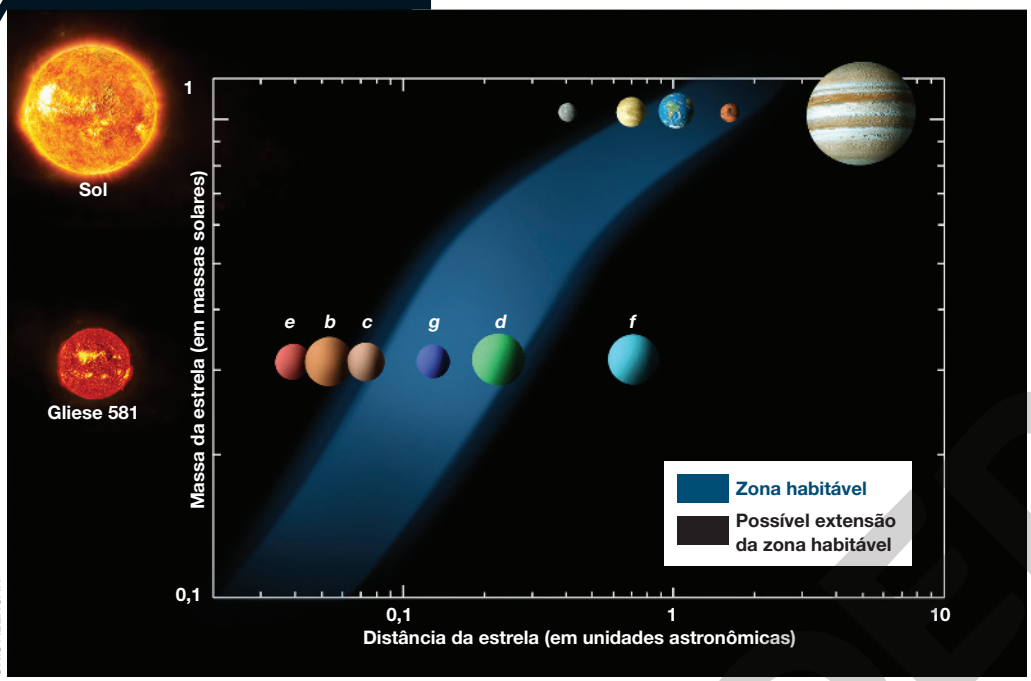
6. a

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

MODERNA

CAPÍTULO

6 GRAVITAÇÃO UNIVERSAL



CRIS ALENCAR

Zona habitável do sistema Gliese 581 comparada à zona habitável do Sistema Solar. (Massas e distâncias em escalas logarítmicas; representação ilustrativa dos planetas e estrelas fora de proporção; cores meramente ilustrativas.)

O que faz um planeta ser habitável? A definição mais simples para a existência da vida como a conhecemos está relacionada à disponibilidade de água líquida. A zona habitável de um sistema planetário é uma região ao redor de uma estrela cuja radiação ou energia luminosa mantém temperaturas suficientes para que a água permaneça no estado líquido. A estabilidade, pelo que sabemos, é atingida pela estrela em bilhões de anos e permite o desenvolvimento e a evolução da vida. Assim, um planeta com fonte de energia estável e água líquida pode apresentar um ambiente favorável à manutenção da vida.

A zona habitável do Sistema Solar compreende a região entre os planetas Vênus e Marte, o que justifica, por exemplo, as pesquisas quanto à existência de vida em Marte e na Lua, por meio dos instrumentos de prospecção de solo, dos telescópios e das sondas espaciais. É possível encontrar locais capazes de abrigar água no estado líquido fora da zona habitável, em razão da forte interação gravitacional que ocorre entre alguns astros, como os satélites naturais de Júpiter, Europa e Ganimedes. A forte interação gravitacional entre o planeta e esses satélites faz com que o núcleo desses satélites se torne quente, fornecendo energia suficiente para deixar a água mais próxima do núcleo no estado líquido. As evidências sobre a existência de água nesses satélites naturais podem ser comprovadas por meio da observação da formação de gêiseres em sua superfície.

As buscas por planetas habitáveis se estendem aos exoplanetas, ou seja, planetas que não pertencem ao Sistema Solar e orbitam outra estrela. No caso da anã vermelha Gliese 581, distante 20 anos-luz da Terra, foram oficialmente detectados quatro planetas, Gliese 581 (*e, b, c* e *d*) e mais dois propostos Gliese 581 (*f* e *g*), que ainda são alvos de pesquisas para confirmar sua existência. Atualmente, as pesquisas apontam Gliese 581 *g* como um dos principais candidatos à habitabilidade entre todos os sistemas estelares pesquisados até o momento, por ser uma proposta de exoplaneta que pode estar na zona de habitabilidade do seu sistema estelar e porque é um planeta rochoso com água líquida. Ao longo dos anos, outros exoplanetas provavelmente serão descobertos ou até mesmo redescobertos, caso de Kepler-1649*c*, que em 2019 foi considerado uma detecção de falso positivo, mas hoje está confirmado como um exoplaneta.

De olho na BNCC:

- EM13CNT201
- EM13CNT202
- EM13CNT204
- EM13CNT209
- EM13CNT301
- EM13CHS103
- EM13MAT308
- EM13MAT313

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

EDIÇÃO ESPECIAL

O desenvolvimento de pesquisas sobre exoplanetas, planetas e satélites naturais é importante para o estudo tanto das zonas habitáveis quanto das limitações da exploração interestelar. Compreender como a interação gravitacional mantém um sistema planetário orbitando uma estrela, estudar essas órbitas e relacionar suas dimensões com o período orbital promove a construção de uma sólida base científica, com o intuito de entender a dinâmica dos sistemas planetários e estelares. Neste capítulo, vamos aprofundar esses conhecimentos com o estudo da lei da gravitação universal e das leis de Kepler.

1. Uma breve visão do Universo

A teoria do *big bang*

Em 1949, durante uma transmissão radiofônica, o astrônomo britânico Fred Hoyle (1915-2001) cunhou a expressão *big bang*, dando, assim, um nome, usado até hoje, à teoria que prevê um início explosivo para o Universo. De acordo com essa teoria, proposta em 1927 pelo padre belga Georges Lemaître (1894-1966) e desenvolvida em 1948 pelo físico russo naturalizado estadunidense George Gamow (1904-1968), inicialmente toda a matéria e a energia encontradas hoje no Universo estavam extraordinariamente comprimidas em uma região que os cientistas chamam de **singularidade**. Em dado instante, algo em torno de 13,7 bilhões de anos atrás, essa "matéria primordial" explodiu, dando origem ao Cosmos.

Mas o que realmente sabemos hoje sobre o *big bang*? Temos evidências observacionais suficientes para acreditar que a "explosão primordial" realmente ocorreu? A polêmica começou com a revelação da **expansão do Universo**, feita em 1929 pelo astrônomo estadunidense Edwin Hubble (1889-1953), após anos de cuidadosas observações e medições. Embora o astrônomo Vesto Slipher (1875-1969), compatriota de Hubble, já tivesse notado indícios dessa expansão em 1917, os resultados de Hubble eram mais precisos e confiáveis. Hubble constatou que as galáxias se afastam da Via Láctea, onde está localizado nosso Sistema Solar, em todas as direções, como se tivessem partido de um "ponto comum". Independentemente do ponto de observação, temos a impressão de que as galáxias se afastam uniformemente em todas as direções do espaço nesse ponto.

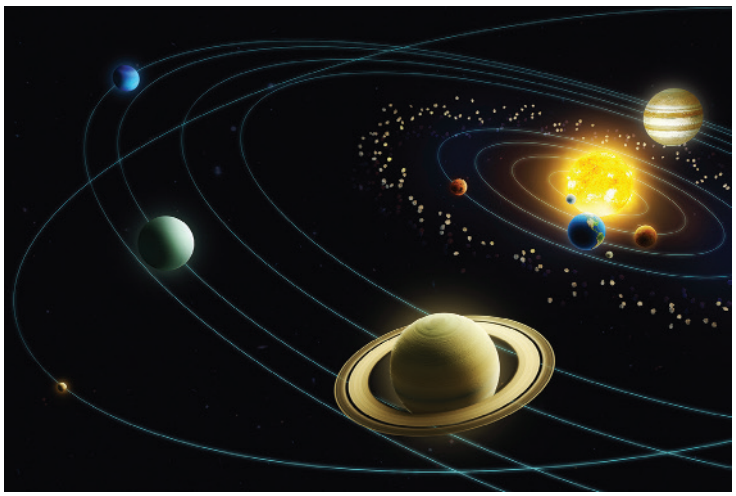
Invertendo a ordem temporal dos fatos, ou a "seta do tempo", somos levados a acreditar que, em algum instante, a matéria do Universo, ou seja, "o início de tudo", estava reunida em algum lugar. Após um "sinal de largada" (o *big bang*), essa matéria iniciou uma corrida em todas as direções rumo ao infinito, corrida da qual faz parte a nossa galáxia, a Via Láctea, e, portanto, nós também.

Um dos maiores mistérios sobre o futuro do Universo é saber como e quando terminará essa "corrida". Medições atuais sobre as distâncias e as velocidades das galáxias confirmam esses fatos com elevado grau de precisão.

Há fortes evidências de que o Universo não só está em expansão, mas também que essa expansão seja acelerada. O Prêmio Nobel de Física de 2011 foi concedido aos estadunidenses Saul Perlmutter e Adam Riess e ao australiano Brian Schmidt, que, com base em cuidadosas medições realizadas a partir dos anos 1990, descobriram que o Universo está se expandindo a uma taxa cada vez maior, isto é, a expansão é **acelerada**. Essa aceleração é atribuída a duas "entidades" ainda não muito bem entendidas: a **matéria escura** e a **energia escura**. A matéria escura não é formada por prótons, nêutrons e elétrons. A energia escura não é semelhante às energias que conhecemos: térmica, eletromagnética ou nuclear. A matéria escura e a energia escura são, atualmente, os campos mais investigados na Cosmologia.

2. O Sistema Solar

O planeta em que vivemos e mais sete outros formam o Sistema Solar, uma vez que Plutão foi reclassificado como planeta-anão, após resolução da União Astronômica Internacional (UAI) em agosto de 2006. Como muitas outras estrelas no Universo, o Sol se movimenta no espaço acompanhado por uma série de planetas e de outros corpos menores. Adiante, analisaremos com mais detalhes a constituição do Sistema Solar. A figura 1 mostra uma representação artística do Sistema Solar.



CRIS ALENCAR

Figura 1 Representação artística do Sistema Solar. (Representação fora de proporção; cores meramente ilustrativas.)

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

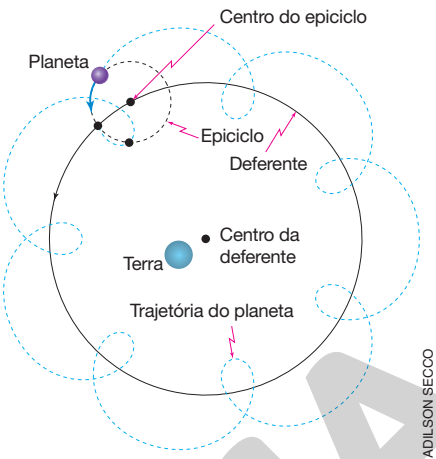
EM MODERNA

O modelo de Ptolomeu

Entre os anos 160 e 127 a.C., Hiparco de Niceia (190 a.C.-120 a.C.), considerado o maior astrônomo da Antiguidade, fez muitas observações dos astros no observatório que mandou construir, na ilha de Rhodes. Entre seus inúmeros feitos, Hiparco descobriu a **precessão dos equinócios**, o lento movimento do eixo de rotação da Terra, que demora cerca de 25.800 anos para completar. Montou um catálogo de mais de mil estrelas, classificando-as de acordo com o brilho delas. Calculou a distância da Lua à Terra, encontrando o valor de 59 raios terrestres, sendo 60,3 o valor mais preciso, portanto com um erro de apenas 2,2%. Ao calcular a duração do ano por meio das estações, cometeu um erro de 6,5 minutos em relação às medições modernas, e organizou uma lista de ocorrências de futuros eclipses para um período de 600 anos.

Já na Era Cristã, o astrônomo grego Cláudio Ptolomeu (85-165) retomou e teorizou o modelo geocêntrico adotado por Hiparco. Os sistemas planetários mais antigos admitiam que os planetas estavam incrustados em esferas, que giravam ao redor da Terra. Entretanto, esses sistemas não explicavam satisfatoriamente os movimentos dos planetas e suas irregularidades. Numa descrição bem simplificada, o sistema planetário de Ptolomeu admitia que o planeta não estava fixo em sua esfera, mas descrevia uma órbita circular, o **epiciclo**, em torno de um ponto virtual, que, por sua vez, descrevia outra órbita circular (a deferente) em torno da Terra (Fig. 2).

O modelo de Ptolomeu conseguia explicar de maneira satisfatória os movimentos dos planetas no céu, incluindo os movimentos retrógrados, nos quais o planeta "parece recuar" em sua trajetória e, depois, tornar a avançar. Esse aparente movimento retrógrado do planeta deve-se a um efeito de observação, denominado **paralaxe**. Em grego, paralaxe (*parallaxis*) significa "alternar", "alterar" e, por extensão, "alteração do eixo". No caso, alteração do eixo de observação do astro a partir da Terra.



ADILSON SECCO

Figura 2 Elementos do sistema planetário ptolomaico: epiciclo, deferente e trajetória. (Representação fora de proporção; cores meramente ilustrativas.)

O modelo de Copérnico: sistema heliocêntrico

O sistema planetário ptolomaico permaneceu sem contestação por quase 13 séculos, com o total apoio da Igreja católica, pois, ao colocar a Terra no centro do Universo, contemplava a ideia de que o homem era a obra mais importante da criação. Durante os séculos XV, XVI e XVII, estava em vigor a Santa Inquisição, tribunal da Igreja Católica que punia severamente quem ousasse negar os dogmas cristãos. Foi o que aconteceu com o frei italiano Giordano Bruno (1548-1600), que acreditava em um Universo sem limites, infinito, em que a Terra girava em torno do Sol e as estrelas eram centros de outros sistemas planetários. Por suas ideias, ele foi julgado e condenado à morte.

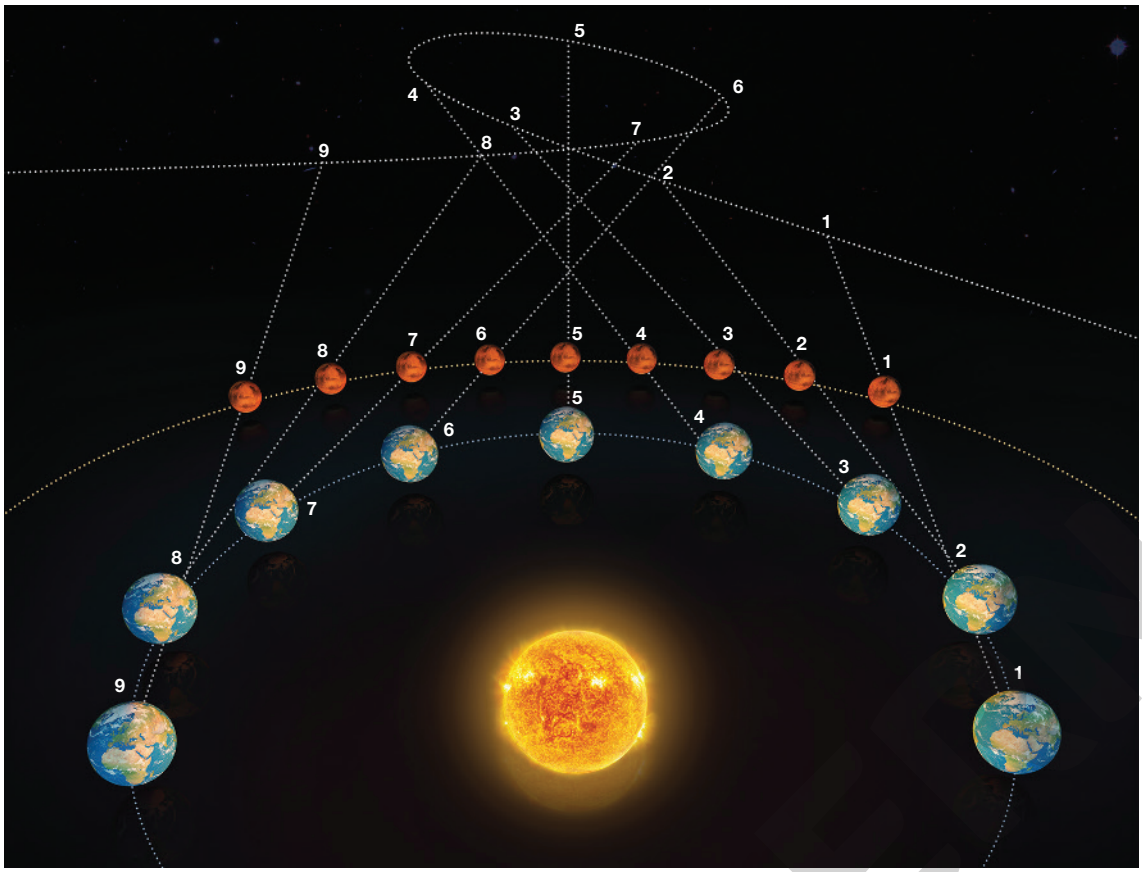
Giordano Bruno defendia o sistema planetário **heliocêntrico**, proposto primeiramente pelo astrônomo grego Aristarco de Samos (310 a.C.-230 a.C.) e, 18 séculos depois, pelo astrônomo polonês Nicolau Copérnico. Copérnico propunha um modelo para o Sistema Solar no qual os seis planetas então conhecidos, Mercúrio, Vênus, Terra, Marte, Júpiter e Saturno, nessa ordem, realizariam movimentos circulares ao redor do Sol. Em seu livro, *Sobre a revolução das esferas celestes*, Copérnico mostrava que os "movimentos" diário e anual do Sol são apenas aparentes, resultantes do movimento da Terra, e os "movimentos retrógrados aparentes" dos planetas podiam ser explicados de forma muito mais simples, admitindo o Sol como o centro do sistema (Fig. 3). A figura 4 mostra esquematicamente por que observamos esses movimentos aparentes.

Figura 3 Movimento retrógrado aparente de Marte.

TUNÇ TEZEL

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

EM MODERNA



CRIS ALENCAR

Figura 4
Explicação do movimento retrógrado aparente de Marte. (Representação fora de proporção; cores meramente ilustrativas.)

Considerar o Sol como centro do sistema planetário significava, para a Igreja católica, tirar o ser humano do "centro do Universo", e essa ideia era considerada uma heresia, razão pela qual a obra de Copérnico foi incluída no *Index Librorum Prohibitorum (Índice de livros proibidos)*, uma relação de livros que os cristãos eram proibidos de ler, sob pena de severa punição a quem desobedecesse.

3. As leis de Kepler dos movimentos planetários

Em meio à polêmica entre o sistema geocêntrico de Ptolomeu e o sistema heliocêntrico de Copérnico, nasceu o astrônomo dinamarquês Tycho Brahe (1546-1601). Tendo condições financeiras e políticas, Brahe dedicou-se integralmente à observação astronômica. Dois eventos marcantes no céu impulsionaram seus estudos: o surgimento de uma "nova", estrela que explode e aumenta consideravelmente seu brilho, contrariando a ideia de que o céu era imutável, e o aparecimento de um cometa, que, de acordo com suas observações, estava bem além da Lua – na época, pensava-se que os cometas ficavam próximos da Terra, como as nuvens.

Assim, Brahe intensificou suas observações. Com instrumentos de notável precisão, obteve registros muito acurados dos movimentos planetários, os quais chegaram ao conhecimento de Johannes Kepler (1571-1630), seu discípulo e assistente, que os interpretou matematicamente e os sintetizou em três leis, que conhecemos hoje como leis de Kepler dos movimentos planetários. Na época de Kepler, além da Terra, conheciam-se cinco planetas do Sistema Solar: Mercúrio, Vênus, Marte, Júpiter e Saturno. Atualmente, são conhecidos oito: os seis já citados, Urano, descoberto em 1781, e Netuno, descoberto em 1846. Plutão, descoberto em 1930, integrou esse grupo até 2006, quando foi excluído dessa categoria pela União Astronômica Internacional e incluído na categoria de planeta-anão.

Ao enunciar as leis dos movimentos planetários, Kepler se referiu aos planetas do Sistema Solar conhecidos em sua época. Entretanto, como veremos adiante, essas leis têm validade universal, podendo ser aplicadas a quaisquer corpos que gravitam em torno de outro, como a Lua e os satélites artificiais que orbitam a Terra, outros corpos do Sistema Solar e até mesmo o próprio Sistema Solar, que gravita em torno do centro da Via Láctea.

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

MODELO

Primeira lei de Kepler ou lei das órbitas

Kepler concluiu a formulação dessa lei e a publicou, em 1609, no livro *Astronomia nova*, escrito entre 1600 e 1606. Nessa obra, ele afirmou que a Terra se desloca em torno do Sol segundo um movimento que não é uniforme nem circular. Cada planeta descreve uma **órbita elíptica** em torno do Sol, e este ocupa um dos focos dessa elipse. Em latim, *focus* significa fogo, nome bem apropriado para o ponto ocupado pelo Sol.

A elipse é uma curva que possui dois eixos de simetria, perpendiculares entre si, denominados eixo maior e eixo menor. Sobre o eixo maior, definem-se dois pontos, F_1 e F_2, denominados **focos** da elipse. Esses dois pontos têm uma importante propriedade: a soma das distâncias de cada foco a qualquer ponto da elipse é constante. Por exemplo, na elipse da figura 5, a soma $F_1P + F_2P$ é igual à soma $F_1Q + F_2Q$.

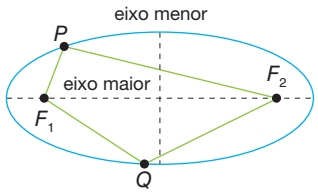


Figura 5 Elementos geométricos da elipse.

Em uma linguagem sem rigor matemático, a elipse pode ser considerada uma "circunferência achatada". Quanto mais "achatada", maior será a excentricidade da elipse. Quanto mais afastados entre si são os focos da elipse, maior será sua excentricidade. Quanto mais próximos entre si são os focos da elipse, menor será sua excentricidade. Se os focos coincidirem, a elipse passa a ser uma circunferência. A circunferência, portanto, é uma elipse de excentricidade zero.

Segunda lei de Kepler ou lei das áreas

A segunda lei do movimento planetário, embora tenha sido descoberta antes da primeira, só foi apresentada no terceiro livro da obra *Astronomia nova* (1609). Empregando os dados de Tycho Brahe sobre a órbita de Marte, Kepler observou que os planetas se movem mais rapidamente quando estão próximos do Sol e mais lentamente quando estão mais distantes dele. Ou seja, quando o planeta se aproxima do Sol, seu movimento é acelerado e, quando ele se afasta do Sol, seu movimento é retardado. Kepler demonstrou que o segmento de reta que liga o centro de massa do Sol ao centro de massa do planeta "varre" áreas iguais em intervalos de tempo iguais (Fig. 6).

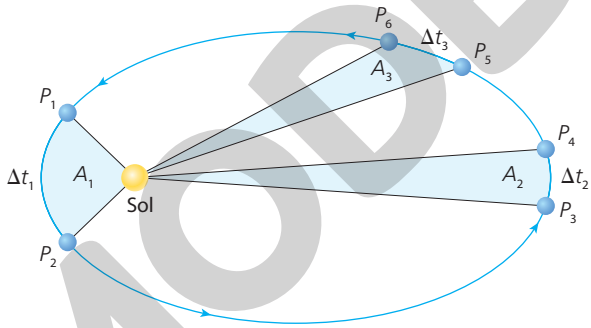


Figura 6
Se $\Delta t_1 = \Delta t_2 = \Delta t_3$, então: $A_1 = A_2 = A_3$.

Se os intervalos de tempo considerados forem diferentes, as áreas varridas terão valores diferentes, mas serão proporcionais aos respectivos intervalos de tempo:

$$\frac{A_1}{\Delta t_1} = \frac{A_2}{\Delta t_2} = \frac{A_3}{\Delta t_3} = \ldots$$

A razão entre as áreas varridas e os respectivos intervalos de tempo é denominada **velocidade areolar** ($v_{areolar}$) do planeta. Portanto, a velocidade areolar de um dado planeta é constante durante seu movimento orbital, diferindo em valor de um planeta para outro.

Terceira lei de Kepler ou lei dos períodos

Em 1619, no livro *Harmonias do mundo*, Kepler enunciou a terceira lei do movimento planetário, visando demonstrar que as leis harmônicas regem todas as ações ocorridas no Universo.

Sendo T o período de translação do movimento de um planeta, isto é, o intervalo de tempo decorrido para completar uma volta em torno do Sol (ano), e R o raio médio da sua órbita, a terceira lei de Kepler afirma que:

> A razão entre o quadrado do período de translação de um planeta e o cubo do raio médio da sua órbita é uma constante igual para todos os planetas do Sistema Solar.

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

ILUSTRAÇÕES: ADILSON SECCO

Então, considerando T_1 o período de um planeta cuja órbita tem raio médio R_1, T_2 o período de um planeta cuja órbita tem raio médio R_2 e assim sucessivamente, podemos escrever:

$$\frac{T_1^2}{R_1^3} = \frac{T_2^2}{R_2^3} = \frac{T_3^2}{R_3^3} = ... = K_P$$

Em uma abordagem mais simples, a constante de proporcionalidade K_P depende da massa do Sol e não depende de características específicas do planeta considerado.

Podemos, então, enunciar a terceira lei de Kepler de maneira um pouco diferente, mas equivalente:

> O quadrado do período T de translação de um planeta em torno do Sol é diretamente proporcional ao cubo do raio médio R de sua órbita.
>
> $$T^2 = K_P \cdot R^3$$

Assim, quanto mais afastado um planeta está do Sol, maior é seu período de translação. Por exemplo, Mercúrio, o planeta mais próximo do Sol, tem um período orbital de 88 dias terrestres. Já Netuno, o mais afastado, tem um período orbital de 165 anos terrestres. Veja a tabela a seguir.

Dados usados por Kepler (1618)

Planeta	Raio médio orbital (ua)	Período orbital (ano)	$\frac{T^2}{R^3}$ (ano^2/ua^3)
Mercúrio	0,389	0,240	1,022
Vênus	0,724	0,615	1,003
Terra	1,000	1,000	1,000
Marte	1,524	1,881	1,004
Júpiter	5,200	11,862	0,999
Saturno	9,510	29,457	0,991

Fonte: Caspar, Max – ***Kepler***, Dover Publications Inc.; Edição: Reprint (março de 2003).

Embora originalmente estabelecidas para o Sol e seus planetas, as três leis de Kepler valem para qualquer sistema de dois corpos que gravitam um em torno do outro, como o fazem a Lua e os satélites artificiais que orbitam a Terra. Particularmente, nesses casos, a constante de proporcionalidade K_P da terceira lei depende da massa da Terra, que é o corpo central desse sistema.

No exemplo a seguir, comparamos o período de translação de Saturno com o da Terra.

A Terra tem um período de translação em torno do Sol de um ano, e o raio de sua órbita, considerada circular, é de 1 ua ($\simeq 1{,}5 \cdot 10^8$ km). Admitindo que Saturno tenha uma órbita quase circular de raio 9,54 ua, qual é o valor do seu período de translação ao redor do Sol?

Resolução:

Pela terceira lei de Kepler: $\frac{T_1^2}{R_1^3} = \frac{T_2^2}{R_2^3}$

São dados: $T_1 = 1$ ano; $R_1 = 1$ ua; $R_2 = 9{,}54$ ua

Então: $\frac{(1)^2}{(1)^3} = \frac{T_2^2}{(9{,}54)^3} \Rightarrow T_2^2 = 868{,}25 \ \therefore \ T_2 \simeq 29{,}47$ anos

Portanto, enquanto Saturno dá uma volta ao redor do Sol, a Terra dá 29,47 voltas. Ou seja, o período orbital de Saturno é de aproximadamente 29 anos e meio.

Atividade em grupo Veja comentários sobre essa atividade no Suplemento do Professor.

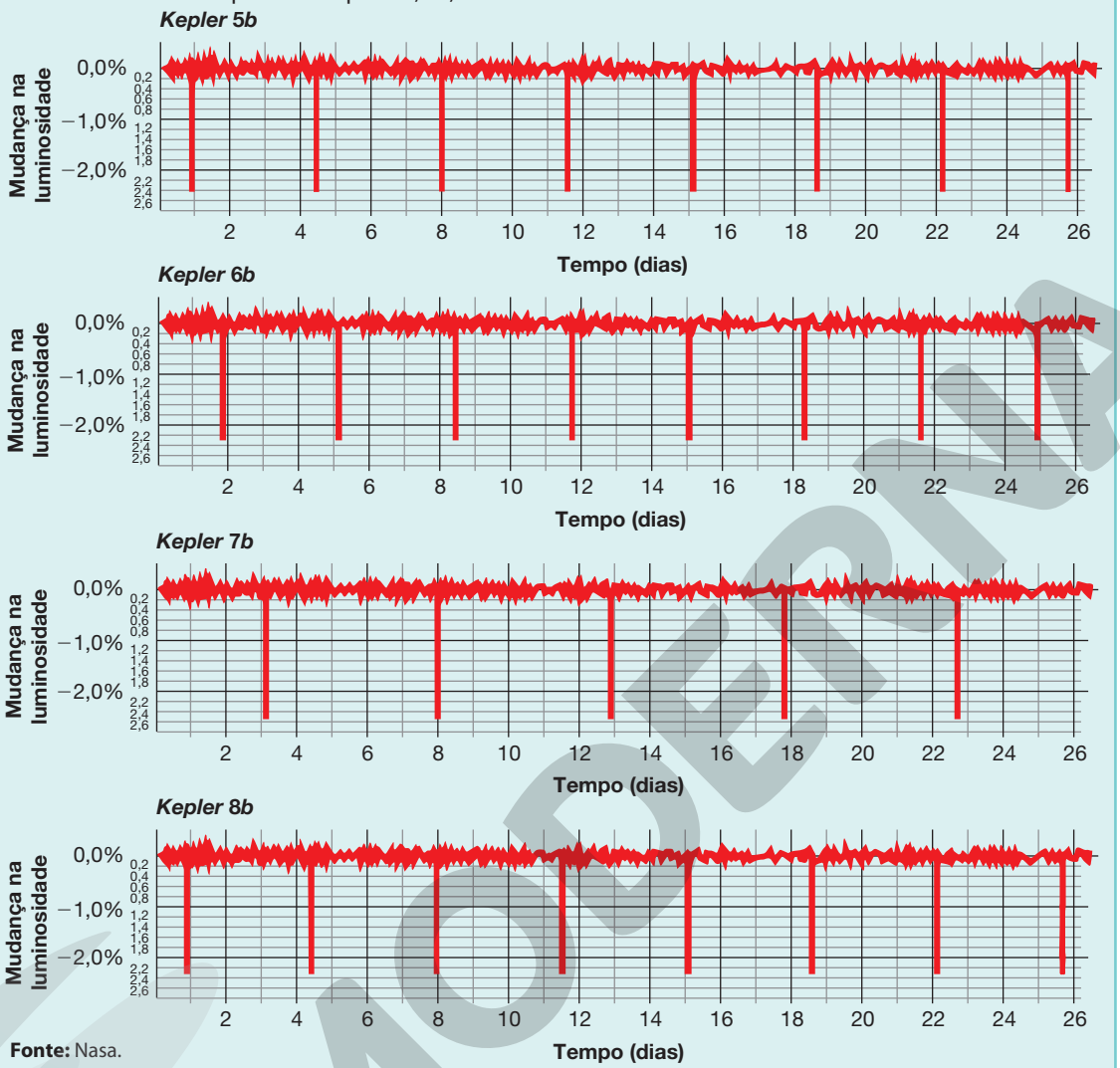
Para resolver a atividade a seguir, vocês poderão utilizar uma calculadora científica (pode ser a do celular) ou uma planilha eletrônica.

A missão espacial Kepler estuda o brilho das estrelas para encontrar exoplanetas traçando a *curva de luminosidade* de milhares de estrelas. A curva de luminosidade é um gráfico da intensidade da luz no decorrer do tempo que pode ser útil na busca por exoplanetas e para estudar o comportamento da emissão das estrelas. Quando a estrela é estável, emite uma quantidade de luz praticamente uniforme, mas, quando seu brilho diminui, há uma queda na curva de luminosidade.

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

MODERNA

Diversas causas podem promover a queda no brilho, mas, quando isso ocorre em um intervalo de tempo regular e estimável, pode significar que um exoplaneta esteja transitando por essa estrela. A missão Kepler descobriu centenas de exoplanetas, e todos levam Kepler em sua denominação; abaixo, temos a curva de luminosidade dos exoplanetas Kepler 5*b*, 6*b*, 7*b* e 8*b*.



Fonte: Nasa.

As leis de Kepler são universais e valem também para os exoplanetas. Para aplicá-las aos planetas que orbitam outras estrelas, é necessário modificar a fórmula para ajustar a variação da massa da estrela em relação ao nosso Sol. Dessa forma, a terceira lei de Kepler é reescrita assim:

$R^3 = T^2 \cdot M_{ES}$

Em que M_{ES} é a razão entre a massa da estrela e a massa do Sol. Nessa expressão, *R* deve estar em *ua* ($1{,}496 \cdot 10^8$ km) e *T*, em *anos* terrestres. Para obter o período em *dias* terrestres, multipliquem *T* por 365,25.

Usem as curvas de luminosidade, a terceira lei de Kepler e os dados da tabela abaixo para encontrar as distâncias e o período dos exoplanetas Kepler 5*b*, 6*b*, 7*b* e 8*b*. Em seguida, estimem as informações de Kepler-452*b*, um dos exoplanetas mais similares à Terra.

Planeta	Massa aparente da estrela (relativa ao Sol)	Período orbital (dias)	Distância até a estrela (ua)	Distância até a estrela (km)
Kepler-5*b*			0,05064	
Kepler-6*b*	1,21 M_{ES}			
Kepler-7*b*				9.350.000
Kepler-8*b*	1,21 M_{ES}			
Kepler-452*b*	1,04 M_{ES}			156.500.000

Qual planeta está tão longe de sua estrela quanto a Terra está do Sol? Justifiquem sua resposta.

ILUSTRAÇÕES: ERICSON GUILHERME LUCIANO

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

Aplicando conhecimentos

Veja respostas e comentários no Suplemento do Professor.

Registre as respostas em seu caderno.

1. Um planeta gravita em torno do Sol descrevendo a órbita elíptica, conforme a representação esquemática abaixo. Os pontos *A*, *B*, *C* e *D* são tais que os percursos *AB* e *CD*, de mesma extensão, são realizados nos intervalos de tempo t_{AB} e t_{CD}.

ADILSON SECCO

O que se pode afirmar sobre os valores desses intervalos de tempo? Justifique, citando a lei ou o princípio que explica a resposta.

4. Lei da gravitação universal ou lei da atração das massas

A gravidade rege o Universo. Ela mantém a Lua girando ao redor da Terra, a Terra girando ao redor do Sol, o Sol e outras centenas de bilhões de estrelas girando ao redor do centro da Via Láctea.

Os primeiros passos para compreender as características da gravidade foram dados por Galileu Galilei por volta de 1604. Simulando a queda dos corpos em planos inclinados, Galileu estabeleceu as expressões matemáticas que relacionam as posições e as velocidades dos corpos em movimento pela ação da gravidade, com o tempo.

Entretanto, coube ao cientista inglês Isaac Newton (1642-1727) interpretar a gravidade como uma força de caráter universal, reunindo, assim, os fenômenos (movimentos) celestes e terrestres em uma única teoria. Tudo começou com um desafio, valendo prestígio e dinheiro. Embora as três leis de Kepler sobre o movimento planetário já fossem conhecidas havia mais de cinquenta anos, não existia uma teoria capaz de explicá-las e demonstrá-las matematicamente.

Em 1684, o matemático e arquiteto Christopher Wren, um dos fundadores da Royal Society de Londres, sugeriu ao astrônomo Edmond Halley e ao cientista experimental Robert Hooke a demonstração de que os movimentos planetários podiam ser plenamente explicados pelo fato de a intensidade da força central variar com o inverso do quadrado da distância, isto é, $1/d^2$. Os três suspeitavam disso havia algum tempo, mas eles não apresentaram uma demonstração convincente.

Nessa época, sabendo que Isaac Newton criara o cálculo infinitesimal, que seria eficaz na solução desse problema, Halley o procurou. Newton disse a Halley que essa questão lhe era familiar, uma vez que essa ideia já lhe ocorrera alguns anos antes. No entanto, como não se lembrava de onde havia guardado a demonstração, Newton enviou a Halley um manuscrito muito breve, intitulado *De Motu*, com a resposta ao problema proposto por Wren a Halley e Hooke. Entusiasmado, Halley apresentou o trabalho de Newton à Royal Society, de Londres.

Com a repercussão do estudo, Newton aprofundou e ampliou suas ideias, apresentando-as na obra *Philosophiæ Naturalis Principia Mathematica*, em 1686. Com o apoio de Edmond Halley, a Royal Society publicou a primeira edição dos *Principia* em 1687.

Simplificadamente, podemos enunciar a lei da gravitação universal como:

> Matéria atrai matéria na razão direta das massas e na razão inversa do quadrado da distância.

Um enunciado mais preciso da lei da gravitação universal

> Duas massas pontuais (pontos materiais) atraem-se com forças dirigidas ao longo da linha que as une, cujas intensidades são diretamente proporcionais ao produto dessas massas e inversamente proporcionais ao quadrado da distância que as separa.

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

MODERNA

Consideremos dois pontos materiais de massas m_1 e m_2, separados por uma distância d (Fig. 7).

ADILSON SECCO

Figura 7 Representação esquemática das forças de atração entre duas massas pontuais.

A intensidade F da força de atração gravitacional será obtida pela expressão:

$$F = G \cdot \frac{m_1 \cdot m_2}{d^2}$$

A constante de proporcionalidade G é denominada **constante universal de gravitação** e seu valor no Sistema Internacional de Unidades (SI) é:

$$G = 6{,}67 \cdot 10^{-11}\ \text{N} \cdot \text{m}^2/(\text{kg})^2$$

Vamos aplicar a lei da gravitação universal ao exemplo a seguir.

Dois navios cargueiros, de 30 mil toneladas cada um, estão frente a frente com suas proas distantes 100 m uma da outra. Considere válida a expressão matemática da lei da atração das massas para esses corpos não pontuais e determine a intensidade das forças de atração gravitacional que um navio exerce sobre o outro.

Resolução:

$$F = G \cdot \frac{m_1 \cdot m_2}{d^2} \Rightarrow F = 6{,}67 \cdot 10^{-11} \cdot \frac{(30 \cdot 10^6)^2}{100^2} \therefore F = 6{,}00\ \text{N}$$

Portanto, apesar de o valor de G ser muito pequeno e as massas não terem valores astronômicos, as forças têm intensidade mensurável.

Veja respostas e comentários no Suplemento do Professor.

Aplicando conhecimentos

Registre as respostas em seu caderno.

2. 2.b No Sistema Solar, as órbitas de todos os planetas são elipses de excentricidades com valores que variam no intervalo de 0,0068 a 0,249 e, portanto, são consideradas pequenas. Assim, para todos os planetas, podemos admitir, quase sem erro, órbitas praticamente circulares, isto é, com excentricidade próxima de zero. Com essas informações, analise e julgue as afirmações abaixo sobre as órbitas planetárias e determine a opção correta.

I. Como a órbita do planeta é elíptica, seu movimento ao longo dela é curvilíneo e uniforme.

II. Como a órbita do planeta é elíptica, seu movimento ao longo dela é acelerado em metade do percurso e retardado na outra metade.

III. Se admitirmos a órbita como circular, podemos dizer que, durante seu movimento, atuam sobre o planeta a força de atração gravitacional e a força centrípeta.

IV. Se admitirmos a órbita como circular, podemos dizer que, durante seu movimento, atua sobre o planeta apenas a força de atração gravitacional, que é a força centrípeta do movimento circular uniforme.

V. Considerando que a órbita do planeta é elíptica, a força gravitacional que atua sobre ele tem intensidade constante ao longo da órbita.

São corretas:

a) apenas I, III e V.
b) apenas II e IV.
c) apenas II, III e IV.
d) todas, exceto a V.
e) todas.

3. Considere um planeta de massa m, em movimento orbital circular com raio R e período T, em torno do Sol, de massa M. Mostre que, para essa situação, a razão $\frac{T^2}{R^3}$ (terceira lei de Kepler) vale $\frac{4\pi^2}{GM}$.

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

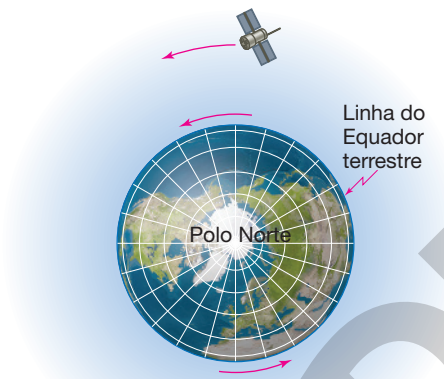
5. Satélites de comunicação (geoestacionários)

Em um mundo cada vez mais informatizado como o nosso, a comunicação é muito rápida. Qualquer fato que ocorra em algum lugar no mundo, por mais remoto que seja, logo chega a todos os cantos do planeta, tornando-se público para a maioria dos habitantes da Terra.

A utilização de satélites geoestacionários em órbita tem permitido a comunicação entre quaisquer pontos do planeta.

Para que um satélite artificial geoestacionário se mantenha imóvel em relação a um observador na Terra (Fig. 8), devem ser obedecidas as seguintes condições:

- O plano de sua órbita deve coincidir com o plano da linha do equador terrestre, pois, em qualquer outro plano orbital, seria impossível acompanhar o movimento de rotação da Terra.
- O sentido do seu movimento de translação orbital deve ser o mesmo do movimento rotacional da Terra.
- O período do seu movimento orbital deve ser de 24 horas, que é o intervalo de tempo necessário para a Terra completar uma volta no seu movimento de rotação.



ADILSON SECCO

Figura 8 Esquema simplificado da órbita de um satélite geoestacionário. (Representação fora de proporção; cores meramente ilustrativas.)

Observadas as três condições necessárias para um satélite ser geoestacionário, vamos calcular o raio da sua órbita e a sua altitude, usando a terceira lei de Kepler e os dados conhecidos sobre a órbita lunar a seguir.

I. Satélite:

- período orbital: $T_S \simeq 23{,}94\ \text{h} = 1\ \text{dia}$
- raio da órbita do satélite: r_S

II. Lua:

- período orbital: $T_L \simeq 27{,}322$ dias
- raio médio da órbita lunar: $r_L = 60{,}3 \cdot R_T = 384.399$ km

Da terceira lei de Kepler obtemos:

$$\frac{r_S^3}{T_S^2} = \frac{r_L^3}{T_L^2} \Rightarrow \frac{r_S^3}{1^2} = \frac{(384.399)^3}{(27{,}322)^2} \Rightarrow r_S = \frac{(384.399)}{(27{,}322)^{2/3}} \therefore\ r_S \simeq 42.374{,}8\ \text{km}$$

Portanto, sua altitude com relação ao solo terrestre é:

$h = r_S - R_{\text{Terra}} = 42.374{,}8\ \text{km} - 6.374{,}7\ \text{km} \Rightarrow h \simeq 36.000\ \text{km}.$

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.

4. Suponha que exista um satélite artificial (vamos chamá-lo de Inversat) que foi colocado em órbita da Terra obedecendo às condições de um satélite geoestacionário, exceto pelo sentido do seu movimento de translação orbital, que seria oposto ao sentido de rotação da Terra. Sobre esse hipotético satélite, responda:

a) O Inversat poderia ser considerado um satélite geoestacionário? Justifique.

b) Qual seria o período orbital do Inversat em hora?

c) Se um astrônomo amador, na cidade de Macapá, registrar a passagem do Inversat sobre seu observatório às 9 horas de determinado dia, a que horas e em qual dia ele registrará novamente a passagem desse satélite?

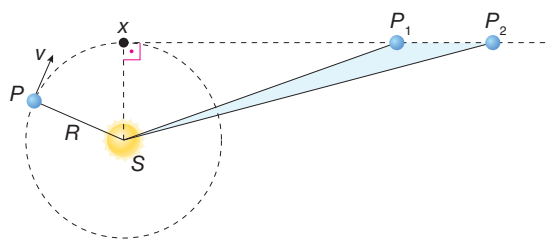
5. Um planeta, suposto esférico, tem massa M, raio R e seu movimento de rotação é extremamente lento e pode ser desprezado. Determine para esse planeta a intensidade da aceleração gravitacional (g_S) na sua superfície, como função de M, R e da constante universal de gravitação G.

Atividades finais

Veja respostas e comentários no Suplemento do Professor.

Registre as respostas em seu caderno.

1. Um planeta P está em órbita circular em torno de uma estrela S, como se vê no esquema.



ADILSON SECCO

Repentinamente e sem razão aparente, quando o planeta está passando pelo ponto x da sua trajetória, a gravidade "desaparece" e o planeta passa a se mover em MRU, de acordo com a primeira lei de Newton, afastando-se de S.

Nesse infeliz acontecimento, pelo menos para os eventuais habitantes de P, duas das leis de Kepler do movimento planetário deixam de valer para P, mas uma delas continua válida.

a) Quais são as leis de Kepler que não valem mais e qual continua valendo?

b) Justifique quantitativamente a sua resposta do item **a**. Mostre que a razão entre a área indicada em azul na figura e o intervalo de tempo gasto entre P_1 e P_2 é uma constante.

2. Admita que o raio do planeta Terra seja $R_T = 6.400$ km. A que altitude h um astronauta terá seu peso reduzido a $\frac{4}{9}$ do valor que apresenta na superfície da Terra?

Para resolver a atividade a seguir, você poderá utilizar uma calculadora simples.

3. **a)** Determine a intensidade da força de atração que a Terra exerce sobre uma pessoa de massa 100 kg, parada sobre sua superfície. Para facilitar as contas, considere $6{,}4 \cdot 10^6$ m a distância entre os centros de massa da pessoa e da Terra, $6{,}0 \cdot 10^{24}$ kg a massa da Terra e $6{,}7 \cdot 10^{-11}\ N \cdot m^2/(kg)^2$ o valor da constante universal G.

b) Compare o valor obtido no item anterior com o valor do peso dessa pessoa calculado pela relação $P = m \cdot g$, com $g \approx 9{,}80\ m/s^2$. Em sua opinião, existe alguma explicação razoável para a proximidade desses valores ou é apenas uma coincidência numérica?

4. 4. b Satélites artificiais gravitando ao longo da linha do Círculo Polar Antártico (ou do Ártico) seriam de grande utilidade para observações estratégicas nessas regiões. A principal, senão a única, razão da impossibilidade da instalação desses satélites:

a) são as baixas temperaturas nessas regiões, que dificultariam as comunicações.

b) é a obrigatoriedade de o plano da órbita de qualquer satélite ter de passar pelo centro da Terra.

c) é a obrigatoriedade de a órbita de qualquer satélite ter de ser paralela à Linha do Equador.

d) é a dificuldade de acesso a esses locais inóspitos para montar bases de recepção.

e) é a interferência eletromagnética nas comunicações, que ocorre nessas latitudes, decorrente dos ventos solares.

5. Durante sua formação, estrelas vão aglutinando matéria, aumentado assim sua massa e, consequentemente, aumentando a intensidade da aceleração gravitacional na sua superfície. Chega-se a um estágio no qual a gravidade da própria estrela a faz colapsar, e ela começa a "encolher". Se todas as dimensões lineares de uma estrela em colapso se reduzirem à metade, sem alteração em sua massa:

a) o que ocorrerá com a intensidade da aceleração gravitacional na sua superfície?

b) que alteração haverá na densidade média dessa estrela?

MODERNA

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

CAPÍTULO 7

ÓPTICA GEOMÉTRICA

SMITHSONIAN INSTITUTION/LOCKHEED CORPORATION/NASA

DESIREE STOVER/NASA

Os telescópios Hubble (A) e James Webb Space Telescope (B) utilizam espelhos que auxiliam na detecção e no estudo de exoplanetas. Exoplaneta é um planeta que orbita uma estrela que não pertence ao nosso Sistema Solar.

A procura por vida fora da Terra está relacionada à busca de exoplanetas e suas condições para habitabilidade. A detecção direta de um exoplaneta é difícil, já que planetas não produzem luz própria, apenas refletem a luz proveniente de sua estrela, sendo denominados **fonte de luz secundária**.

Diversas técnicas contribuem para a detecção de exoplanetas. Uma delas é o trânsito planetário. Ao observar estrelas, caso exista um planeta no mesmo plano do observador e da estrela, no instante em que o planeta transita entre a estrela e o observador cria-se um efeito de **eclipse**. Essa detecção é realizada por telescópios de fotometria de alta precisão, que estimam o brilho da estrela ao longo do tempo. Assim, quando um planeta cruza a estrela, o telescópio detecta uma diminuição no brilho dela.

Outra técnica empregada é a detecção direta, embora não seja altamente eficiente para detectar exoplanetas, já que os planetas têm tamanho e luminosidade menor em comparação com a estrela. É por essa razão que os telescópios operam nos diversos comprimentos de onda, especialmente no infravermelho.

Para aprimorar as pesquisas, estão em construção grandes telescópios ópticos terrestres, como o Extremely Large Telescope (ELT), no Chile, que operará com um espelho primário de aproximadamente 40 m de diâmetro, para melhorar a sensibilidade de detecção e permitir o estudo da atmosfera dos exoplanetas. Outro telescópio que terá essa função é o Giant Magellan Telescope (GMT), também no Chile, que terá sete espelhos para formar um conjunto de aproximadamente 25 m de diâmetro, permitindo também a busca por exoplanetas. O GMT terá um **sistema óptico** capaz de produzir fotos mais nítidas do Universo com melhor definição que as obtidas por qualquer outro telescópio da Terra.

O estudo que abrange os conceitos da Óptica Geométrica de espelhos planos e esféricos, além dos fenômenos de reflexão e refração da luz, é essencial para compreender parte do funcionamento dos telescópios terrestres e espaciais, amplamente utilizados na busca por exoplanetas, entre outros estudos. Esses conceitos são estudados neste capítulo.

De olho na BNCC:

- EM13CNT202
- EM13CNT301
- EM13CNT307
- EM13CHS106
- EM13MAT308

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

EM PROPOSTA

1. Introdução

A luz, as radiações ultravioleta e infravermelha, os sinais de rádio e de televisão, os raios X, entre outros fenômenos físicos, são caracterizados como **ondas eletromagnéticas**. De todas as ondas que constituem o espectro eletromagnético, é a luz que determina a sensação visual ao atingir nossos olhos.

Como é possível enxergar os diversos objetos que nos cercam? Essa questão intrigava os antigos filósofos gregos. Muitos acreditavam que os olhos emitiam raios de luz que iluminavam os objetos, permitindo assim que fossem enxergados. Outros consideravam que os olhos recebiam a luz emitida pelos objetos, como entendemos hoje. Mas de onde vem a luz que os corpos emitem?

Há corpos que produzem a própria luz que emitem; são os chamados **corpos luminosos** ou **fontes de luz primárias** – por exemplo, o Sol e o filamento de lâmpadas elétricas acesas. A maioria dos corpos, no entanto, não emite luz própria e são chamados de **corpos iluminados** ou **fontes de luz secundárias**. Nós os enxergamos porque eles refletem a luz recebida de outros corpos. As folhas deste livro são exemplos de corpos iluminados. Elas refletem difusamente, isto é, em **todas as direções**, a luz que recebem de outras fontes.

Uma fonte de luz, que tenha dimensões desprezíveis em relação às distâncias que a separam dos corpos que ela ilumina, é chamada de **fonte puntiforme**. Quando suas dimensões não são desprezíveis, a fonte de luz é denominada **fonte extensa**.

2. A propagação retilínea da luz

O aparecimento de sombras e penumbras, a ocorrência de eclipses e a formação de imagens nas câmaras escuras de orifício são consequências da propagação retilínea da luz, o que nos permite afirmar: **nos meios homogêneos e transparentes, a luz se propaga em linha reta**.

Sombra e penumbra

Um disco opaco é colocado entre uma fonte de luz puntiforme *F* e um anteparo. Dos raios de luz emitidos por *F*, vamos considerar aqueles que tangenciam o disco (Fig. 1.A).

Denominamos **cone de sombra** a região localizada entre o disco e o anteparo que não é iluminada pela fonte *F*, em razão da propagação retilínea da luz. **Sombra projetada** é a região do anteparo não iluminada pela fonte.

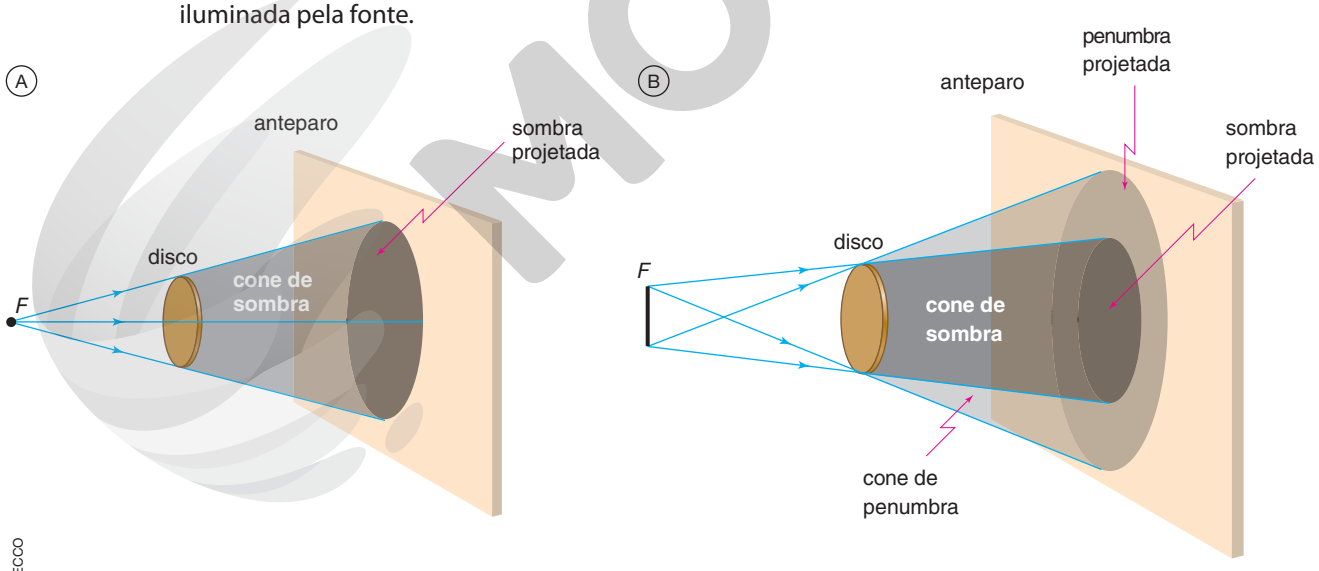


Figura 1 (A) Formação de sombra originada por uma fonte puntiforme de luz; (B) formação de sombra e de penumbra originada por uma fonte extensa de luz.

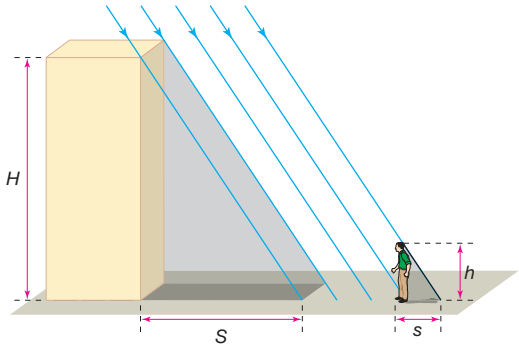
Considere agora uma fonte de luz extensa. Nesse caso, além do cone de sombra e da sombra projetada, temos ainda duas regiões: o **cone de penumbra** e a **penumbra projetada**. Essas regiões recebem luz de parte da fonte (Fig. 1.B). Veja o exemplo a seguir, no cálculo da altura de um edifício.

ILUSTRAÇÕES: ADILSON SECCO

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

MODERNA

Sejam $h = 1{,}8$ m e $s = 1{,}2$ m a altura e o comprimento da sombra de uma pessoa e $S = 6$ m o comprimento da sombra do edifício, como indicado no esquema. Usando a semelhança de triângulos, calcule a altura H do edifício.



(Representação fora de proporção; cores meramente ilustrativas.)

Resolução:

Observe que os raios solares que atingem a Terra são praticamente paralelos. Então, por semelhança de triângulos, temos:

$$\frac{H}{h} = \frac{S}{s} \Rightarrow \frac{H}{1{,}8} = \frac{6}{1{,}5} \therefore H = 9 \text{ m}$$

Portanto, o edifício tem 9 metros de altura.

Veja comentários sobre essa atividade no Suplemento do Professor.

Atividade prática

Neste experimento, vamos determinar a altura de um poste. Para isso, você vai precisar do seguinte material:

- trena;
- pedaço de giz;
- um lápis;
- folha de papel.

Em um dia ensolarado, por volta das 10 horas ou das 16 horas, em um local onde o solo seja plano e horizontal, marque com giz o limite externo da sombra de um poste.

Em seguida, com a ajuda de um colega posicionado perto do poste, meça a altura dele e da sombra que ele projeta no solo.

Conhecidos os comprimentos S e s das sombras do poste e do colega e a altura h de seu colega, elabore um texto explicando como você pode, com essas medidas, determinar a altura H do poste. Se necessário, faça também uma representação com imagens.

Eclipses

O eclipse do Sol ocorre quando a Lua está posicionada entre o Sol e a Terra e projeta sobre a Terra uma região de sombra e outra região de penumbra, impedindo que parte dos raios solares atinjam a Terra. Para os habitantes da Terra situados na região de sombra, o **eclipse** é **total**; para aqueles situados na região de penumbra, o **eclipse** é **parcial** (Fig. 2.A).

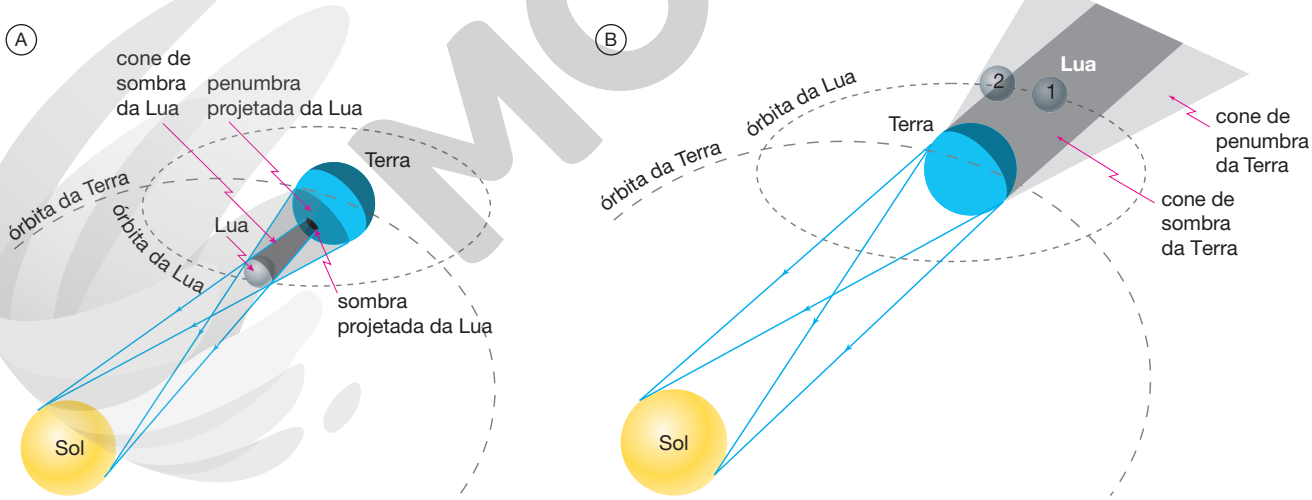


Figura 2 (A) Representação esquemática de um eclipse do Sol e da Lua (B). (Representação fora de proporção; cores meramente ilustrativas.)

O **eclipse total** da Lua ocorre quando ela está totalmente imersa no cone de sombra da Terra. O **eclipse** é **parcial** quando a Lua penetra parcialmente no cone de sombra da Terra (Fig. 2.B).

ILUSTRAÇÕES: ADILSON SECCO

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

MODERNA

Câmara escura de orifício

A câmara escura de orifício é uma caixa de paredes opacas com um pequeno orifício em uma de suas faces (Fig. 3.A).

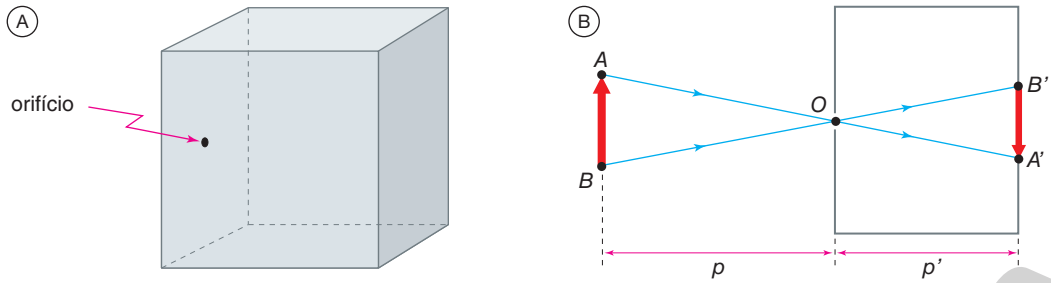


Figura 3 (A) Câmara escura de orifício; (B) representação esquemática da imagem *A'B'* de um objeto *AB* obtida com uma câmara escura de orifício.

Um objeto *AB* luminoso, ou iluminado, é colocado diante da face da câmara escura de orifício. Os raios de luz emitidos ou refletidos pelo objeto que passam pelo orifício originam na parede oposta uma figura semelhante ao objeto, mas invertida. Essa figura é comumente chamada de imagem *A'B'* do objeto *AB*. O fato de a imagem possuir forma semelhante à do objeto e ser invertida evidencia a propagação retilínea da luz (Fig. 3.B).

Como os triângulos *ABO* e *A'B'O* são semelhantes, podemos relacionar as alturas *AB* e *A'B'* do objeto e da imagem com as distâncias *p*, do objeto à câmara, e *p'*, da imagem até a parede com o orifício:

$$\frac{A'B'}{AB} = \frac{p'}{p}$$

Aplicando conhecimentos

Veja comentários sobre essa atividade no Suplemento do Professor.

Registre as respostas em seu caderno.

1. Considere as seguintes fontes de luz: o Sol, o planeta Marte e seus satélites Fobos e Deimos, um palito de fósforo apagado, uma lâmpada incandescente acesa, as páginas de um jornal e a estrela Sirius, localizada na constelação do Cão Maior. Quais são fontes de luz primárias e quais são fontes de luz secundárias?

2. Considere um objeto linear de 10 cm de altura, localizado a 25 cm de distância de uma câmara escura de orifício, com 20 cm de profundidade. Determine a altura da imagem projetada.

3. As cores de um corpo

A luz policromática e a luz monocromática

A luz emitida pelo Sol é uma **luz policromática** branca, composta de infinitas cores, das quais sete se evidenciam quando se forma o arco-íris: vermelho, alaranjado, amarelo, verde, azul, anil e violeta.

A luz emitida por uma fonte pode ser constituída de apenas uma cor, sendo, nesse caso, chamada de **luz monocromática**.

Cor de um corpo por reflexão

As cores dos corpos dependem das cores das luzes que eles refletem difusamente. Assim, por exemplo, se uma folha de papel, ao ser iluminada pela luz solar, apresentar-se verde, é porque reflete difusamente a componente verde e absorve as demais componentes da luz solar.

Um corpo que, ao ser iluminado pela luz solar, reflete difusamente todas as componentes, não absorvendo nenhuma, é um **corpo branco**. Já um corpo que, ao contrário, não reflete nenhuma componente e absorve todas é um **corpo negro**.

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

ILUSTRAÇÕES: ADILSON SECCO

Aplicando conhecimentos

Veja respostas e comentários no Suplemento do Professor.

Registre as respostas em seu caderno.

3. Uma bandeira brasileira é levada a um quarto escuro e, em seguida, é iluminada por luz monocromática azul. Em que cores se apresentam o retângulo, o losango, o círculo, a faixa central da bandeira e o lema "Ordem e progresso"?

4. Em uma folha de papel branca, estão escritas as palavras: FÍSICA, com tinta vermelha; ONDAS, com tinta azul; e ÓPTICA, com tinta verde. Qual das palavras citadas será mais difícil de ler se o papel for iluminado com luz monocromática vermelha?

4. Imagens em um espelho plano

Um espelho plano comum é constituído de uma lâmina de vidro de faces paralelas, e numa das faces é depositada uma fina camada de prata, compondo a **face refletora**.

A imagem de um objeto colocado na frente da face refletora de um espelho plano se forma "atrás" do espelho, e a distância entre a imagem e o espelho é igual à distância entre o objeto e o espelho. A imagem obtida tem as mesmas dimensões do objeto e é direita em relação ao objeto.

Vamos representar um raio de luz que, partindo de um objeto pontual *A*, incide no espelho, sofre reflexão e atinge o olho *O* de uma pessoa (Fig. 4). Essa construção é feita do seguinte modo: determinamos a imagem *A'* do ponto *A*. Note que a distância entre *A* e o espelho é igual à distância entre *A'* e o espelho, e que *A* e *A'* pertencem à mesma reta perpendicular ao espelho. Em seguida, unimos os pontos *O* e *A'*, determinando no espelho o ponto *I* de incidência da luz. Nesse caso, *AI* é o raio incidente, e *IO* é o raio refletido. Perceba que o **ângulo de reflexão *r***, entre o raio refletido e a reta normal *N*, é igual ao **ângulo de incidência *i***, entre o raio incidente e a reta normal *N*. Note, também, que o raio incidente, o raio refletido e a reta normal pertencem a um mesmo plano.

O ponto objeto é definido pelos raios de luz que incidem no espelho, e o ponto imagem, pelos raios de luz que emergem do espelho. Quando os raios de luz que incidem ou emergem se encontram efetivamente, o correspondente ponto é chamado **real**. Quando o encontro ocorre através de prolongamentos, o ponto é chamado de virtual. No caso da figura 4, a seguir, o ponto *A* é um ponto objeto real, e o ponto *A'* é um ponto imagem **virtual**. Um espelho plano não inverte a imagem, mas troca a direita pela esquerda e vice-versa.

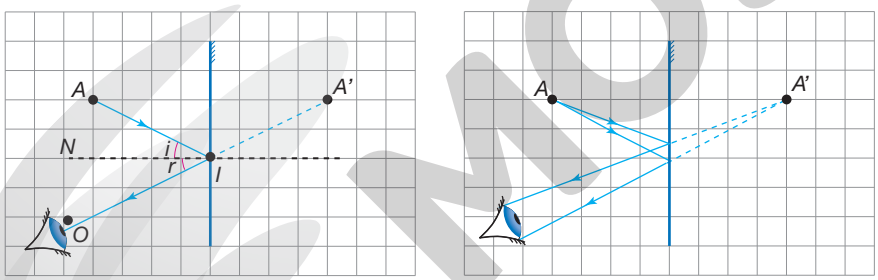


Figura 4 Representação esquemática: à esquerda, a direção do raio refletido pelo espelho passa pela imagem *A'*. Já à direita, *A* é o ponto objeto real; *A'* é o ponto imagem virtual.

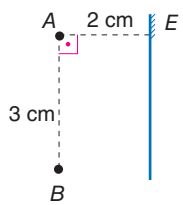
Aplicando conhecimentos

Veja respostas e comentários no Suplemento do Professor.

Registre as respostas em seu caderno.

5. Um raio de luz é refletido em um espelho plano. O ângulo entre os raios incidente (*RI*) e refletido (*RR*) mede 50°. Determine os ângulos de incidência, de reflexão e o ângulo que o raio refletido forma com a superfície do espelho.

6. Reproduza o esquema ao lado em seu caderno. Ele apresenta dois pontos, *A* e *B*, que estão diante de um espelho plano *E*. Determine a distância entre *B* e a imagem de *A*.



ILUSTRAÇÕES: ADILSON SECCO

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

MODELO

5. Espelhos esféricos

Os espelhos esféricos podem ser côncavos ou convexos. Nos espelhos esféricos côncavos, a superfície refletora é **interna**, e nos espelhos esféricos convexos, a superfície refletora é **externa** (Fig. 5.A).

Destacamos quatro elementos importantes de um espelho esférico: o centro de curvatura *C*, o vértice *V*, o eixo principal, que é a reta definida por *C* e *V*, e o ângulo α de abertura do espelho (Fig. 5.B).

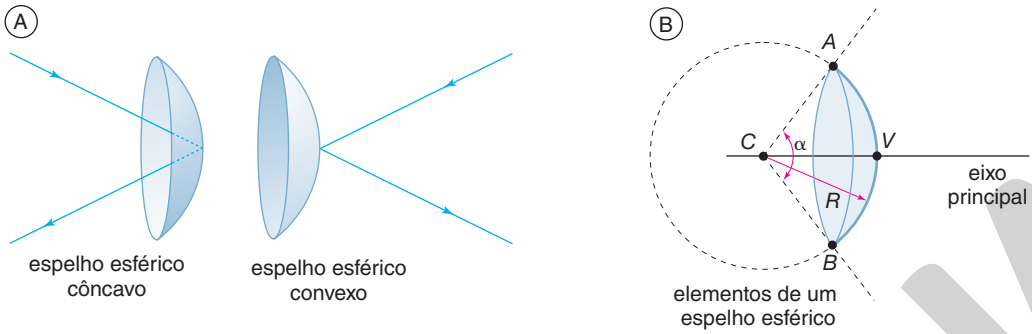


Figura 5 (A) Calotas esféricas refletoras; (B) elementos geométricos dos espelhos esféricos.

Foco principal de um espelho esférico

Considere um feixe de raios paralelos incidindo em um espelho esférico, paralelamente ao eixo principal. No caso do espelho côncavo, o feixe refletido passa efetivamente por um ponto do eixo principal (Fig. 6.A). No caso do espelho convexo, o ponto de encontro dos raios refletidos está nos seus prolongamentos sobre o eixo principal (Fig. 6.B). Em qualquer situação, esse ponto do eixo principal é denominado **foco principal** e é indicado por ***F***.

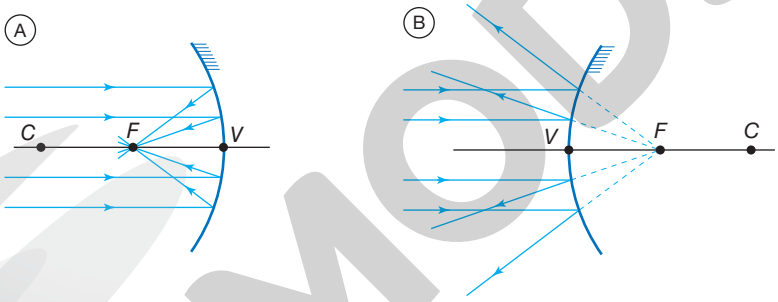


Figura 6 Representação esquemática de um feixe de raios paralelos incidindo em um espelho esférico côncavo (A) e em um espelho esférico convexo (B).

Note que o foco principal *F* é um ponto imagem real nos espelhos côncavos e virtual nos espelhos convexos. Essas considerações são válidas para espelhos de pequena abertura α ($\alpha < 10°$).

A distância entre o foco *F* e o vértice *V* do espelho é denominada **distância focal**, indicada por *f*. Para os espelhos esféricos de pequena abertura ($\alpha < 10°$), o foco principal *F* localiza-se aproximadamente no ponto médio do segmento definido por *C* e *V* (Fig. 7). Logo:

$$f = \frac{R}{2}$$

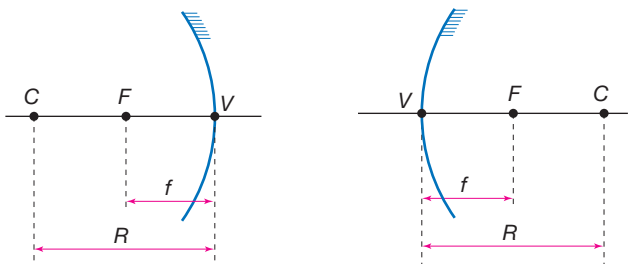


Figura 7 O foco principal *F* dos espelhos esféricos coincide com o ponto médio do segmento $\overline{CV}$.

ILUSTRAÇÕES: ADILSON SECCO

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

MODERNA

Raios notáveis

Quando um raio de luz incide em um espelho esférico paralelamente ao eixo principal, é refletido em uma direção que passa pelo foco principal (Fig. 8).

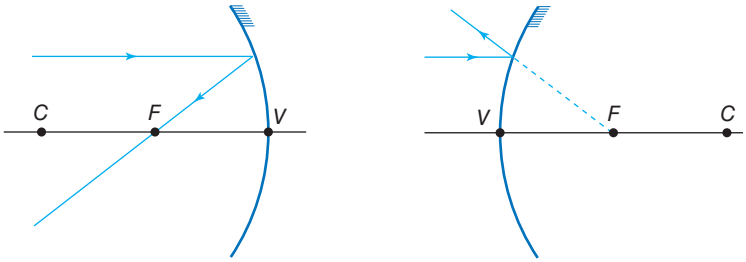


Figura 8 Nos espelhos esféricos, o raio de luz incidente paralelamente ao eixo principal reflete-se na direção do foco.

Quando um raio de luz incide na direção do foco principal *F*, o correspondente raio refletido é paralelo ao eixo principal (Fig. 9).

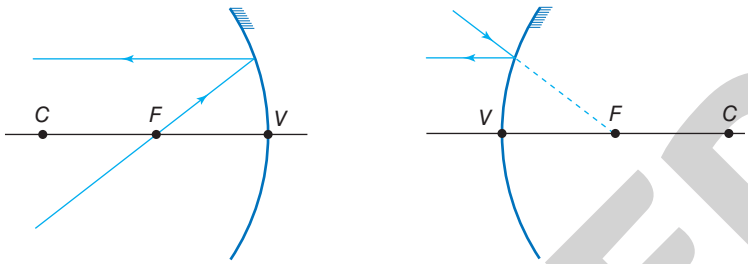


Figura 9 Nos espelhos esféricos, o raio de luz incidente na direção do foco principal reflete-se paralelamente ao eixo principal.

No espelho esférico, um raio de luz incidente em direção ao centro de curvatura *C* é perpendicular à calota. Nesse caso, o ângulo de incidência é nulo ($i = 0$). Como o ângulo de reflexão também é nulo ($r = 0$), concluímos que o raio refletido coincide com o raio incidente, isto é, o raio incide e volta sobre si mesmo (Fig. 10).

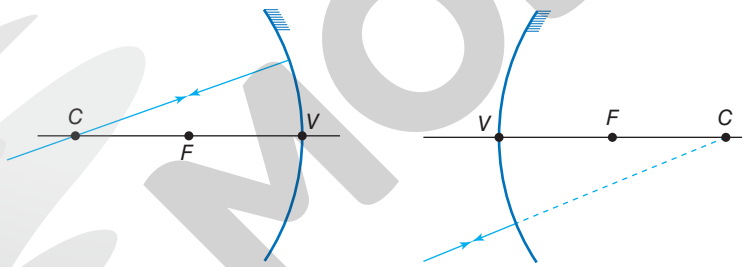


Figura 10 Nos espelhos esféricos, o raio de luz incidente na direção do centro de curvatura reflete-se sobre si mesmo.

Todo raio de luz que incide no vértice de um espelho esférico reflete simetricamente em relação ao eixo principal ($i = r$), pois, nesse caso, a reta normal ao espelho no ponto de incidência é o próprio eixo principal (Fig. 11).

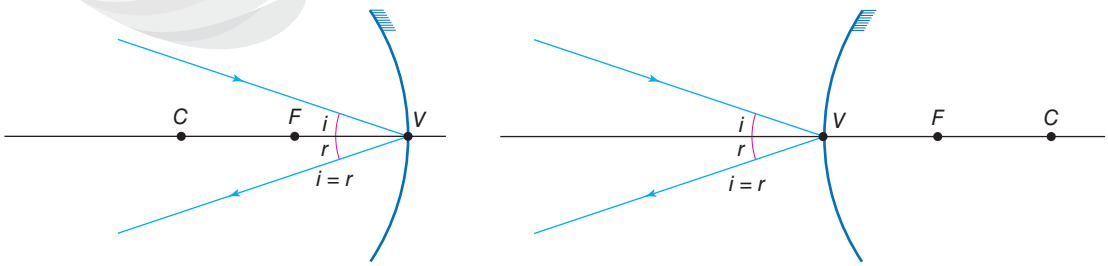


Figura 11 O raio de luz que incide no vértice do espelho esférico reflete-se simetricamente em relação ao eixo principal.

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

MODERNA

ILUSTRAÇÕES: ADILSON SECCO

Aplicando conhecimentos

Veja respostas e comentários no Suplemento do Professor.

Registre as respostas em seu caderno.

7. Construa no caderno a imagem do objeto linear *AB* colocado frontalmente a um espelho esférico.
Dados:

C: centro de curvatura; F: foco principal; V: vértice do espelho.

Analise três casos para o espelho côncavo, dizendo se a imagem é real ou virtual, direita ou invertida em relação ao objeto, maior ou menor do que o objeto:

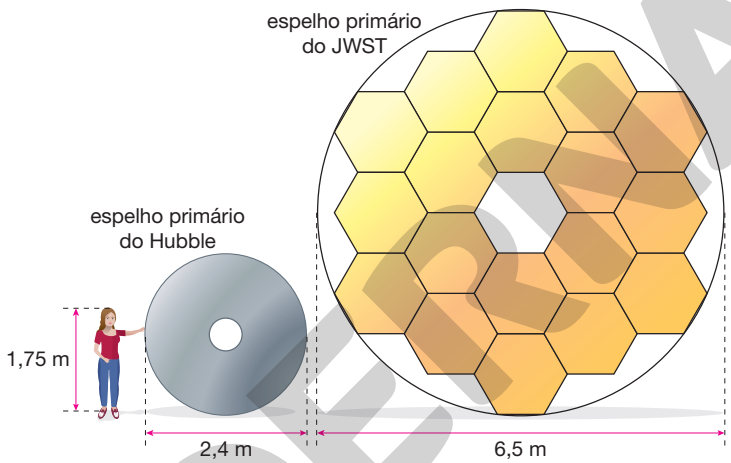
I) objeto entre *F* e *V*; **II)** objeto entre *C* e *F*; **III)** objeto antes de *C*.

Analise também o caso em que o objeto está diante de um espelho convexo.

Dialogando com o texto

Veja respostas e comentários no Suplemento do Professor.

O telescópio James Webb Space Telescope (JWST) substituirá o telescópio Hubble? Os cientistas indicam que o telescópio James Webb será um sucessor científico do Hubble, já que suas capacidades são distintas. O telescópio JWST possui um espelho primário de aproximadamente 6,5 m de diâmetro, formado por um conjunto de 18 espelhos secundários hexagonais côncavos. Já o telescópio Hubble é um grande tubo com uma abertura em um dos lados, em que a luz incide sobre o espelho principal (primário) e reflete para um espelho secundário menor, que reflete novamente a luz atravessando-a por um orifício do espelho principal, para se concentrar nos instrumentos científicos. A imagem ao lado é um esquema comparativo do tamanho entre seus espelhos primários e um ser humano.



ERICSON GUILHERME LUCIANO

De acordo com o texto e com suas pesquisas, por que o espelho primário do telescópio James Webb é côncavo e não convexo?

Qual é a vantagem de a estrutura ser hexagonal?

Qual dos telescópios tem o melhor potencial para investigar as condições de vida fora da Terra?

Justifique suas respostas.

6. Refração da luz

A refração da luz é a passagem da luz de um meio transparente e homogêneo para outro, quando ela incide na superfície de separação entre esses meios. Nessa mudança de meios, ocorre a variação da velocidade de propagação da luz.

Índice de refração absoluto de um meio

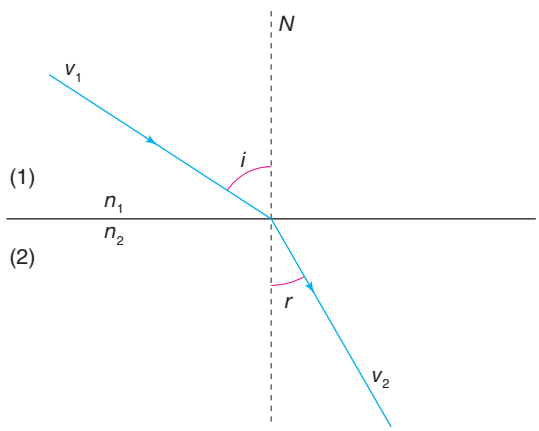
O índice de refração absoluto de um meio homogêneo e transparente, representado por *n*, é uma grandeza que indica quantas vezes a velocidade de propagação da luz no vácuo (*c*) é maior que a velocidade (*v*) de propagação da luz no meio. Desse modo, podemos escrever:

$$n = \frac{c}{v}$$

O índice de refração absoluto de um meio é uma grandeza adimensional, sendo para os meios materiais maior que 1 ($n > 1$), pois $c > v$, e para o vácuo $n = 1$, pois $c = v$.

Lei de Snell-Descartes

A relação entre os ângulos de incidência (*i*) e de refração (*r*) com os índices de refração n_1 e n_2 dos meios 1 e 2, respectivamente, foi obtida no século XVII por Willebrord van Roijen Snell e René Descartes (Fig. 12).



ADILSON SECCO

Figura 12 Esquema usado para representar a refração de um raio de luz.

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

MODERNA

A **lei de Snell-Descartes**, afirma que: na refração, o produto do índice de refração absoluto de um meio pelo seno do ângulo entre o raio de luz incidente e a reta normal *N*, nesse meio, deve ser igual ao produto do índice de refração absoluto do outro meio pelo seno do ângulo entre o raio de luz refratado e a reta normal *N*.

$$n_1 \cdot \text{sen}\, i = n_2 \cdot \text{sen}\, r$$

Para uma **incidência oblíqua**, no meio de maior índice de refração, chamado de **meio mais refringente**, o raio de luz está mais próximo da reta normal *N*. De fato, se n_2 for maior que n_1, por exemplo, teremos sen $r <$ sen i e, portanto, $r < i$, de acordo com a lei de Snell-Descartes (Fig. 13.A e 13.B).

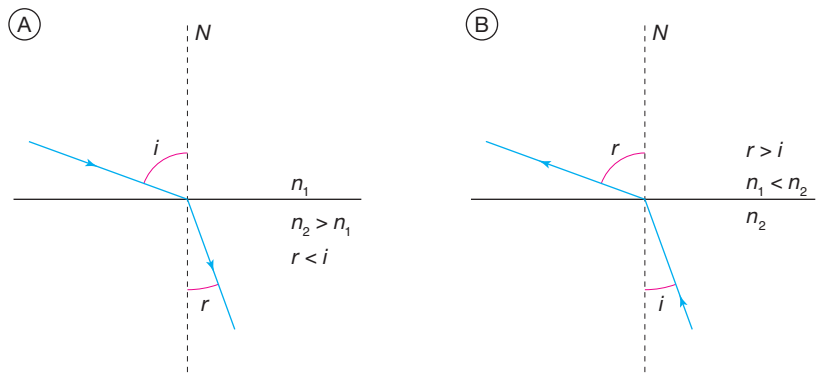


Figura 13 (A) Ao passar do meio menos refringente para o mais refringente, o raio de luz se aproxima da reta normal *N*; (B) ao passar do meio mais refringente para o menos refringente, o raio de luz se afasta da reta normal *N*.

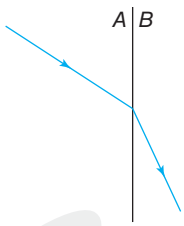
ILUSTRAÇÕES: ADILSON SECCO

Aplicando conhecimentos

Veja respostas e comentários no Suplemento do Professor.

Registre as respostas em seu caderno.

8. O esquema abaixo mostra a refração de um raio de luz que passa de um meio *A* para um meio *B*. Os dois meios são homogêneos e transparentes.



Podemos afirmar que:

a) o meio *B* é mais refringente que o meio *A*.

b) a relação n_A/n_B entre os índices de refração absolutos dos meios *A* e *B* é menor que 1.

c) a relação n_A/n_B entre os índices de refração absolutos dos meios *A* e *B* é igual a 1.

d) o índice de refração absoluto do meio *A* é maior que o índice de refração absoluto do meio *B*.

e) a velocidade de propagação da luz no meio *A* é maior que no meio *B*.

9. Um raio de luz propagando-se no ar incide na superfície de um bloco de vidro. O ângulo de incidência é de 45° e, ao passar para o vidro, o raio de luz sofre um desvio de 15°. Sendo o índice de refração do ar igual a 1,0, qual é o índice de refração do vidro?

$\left(\text{Dados: sen } 30° = 0{,}5\,;\ \text{sen } 45° = \frac{\sqrt{2}}{2}\,;\ \text{sen } 60° = \frac{\sqrt{3}}{2}\right)$

7. Reflexão total

Considere a luz se propagando em um meio mais refringente, de índice de refração n_2, para um meio menos refringente, de índice de refração n_1. Isso ocorre, por exemplo, quando a fonte de luz está imersa na água e os raios de luz, emitidos pela fonte, incidem na superfície que separa a água do ar.

Um raio de luz que incide normalmente na superfície sofre refração sem desvio ($i = 0$ e $r = 0$) (Fig. 14). Note que, simultaneamente à refração, ocorre, na superfície que separa os meios, a reflexão da luz. Nesse caso, a porcentagem de luz refletida é bem menor que a porcentagem de luz refratada.

Para uma incidência oblíqua, o ângulo de refração *r* é maior que o ângulo de incidência *i*, pois a refração ocorre no meio menos refringente (Fig. 15). Simultaneamente à refração, ocorre a reflexão da luz. À medida que aumenta o ângulo de incidência *i*, aumentam também a porcentagem de luz refletida e o ângulo de refração *r*, sendo $i < r$.

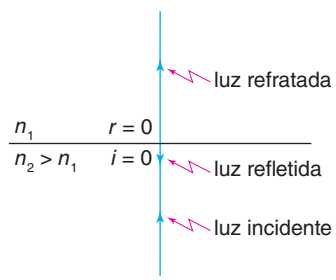


Figura 14 Na incidência normal à superfície, o raio refratado não sofre desvio.

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

MODERNA

O valor máximo do ângulo de incidência *i*, para o qual ocorre refração, corresponde à luz emergindo rasante à superfície, isto é, $r = 90°$ (Fig. 16). Nesse caso, o ângulo de incidência é chamado de **ângulo limite** e é indicado pela letra *L* ($i = L$ e $r = 90°$). Nessa situação, a porcentagem de luz refletida é bem maior que a de luz refratada.

Para um ângulo de incidência *i* maior que o ângulo limite *L*, não ocorre refração, sendo a luz refletida totalmente. Esse fenômeno é denominado **reflexão total** (Fig. 17).

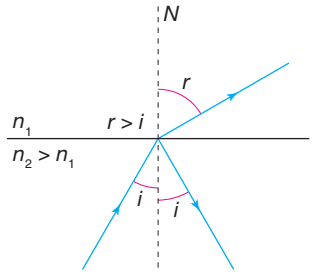


Figura 15 Na incidência oblíqua, o raio refratado afasta-se da reta normal *N*.

Aplicando a lei de Snell-Descartes para a situação esquematizada na figura 16, podemos calcular o seno do ângulo limite *L*. Assim:

$$n_1 \cdot \text{sen } 90° = n_2 \cdot \text{sen } L \Rightarrow \text{sen } L = \frac{n_1}{n_2}$$

Com $n_1 < n_2$, ou seja, $\text{sen } L = \frac{n_{menor}}{n_{maior}}$.

Por exemplo, para o par de meios vidro-ar, sendo $n_{ar} = n_1 = 1$, e $n_{vidro} = n_2 = 1{,}5$, temos:

$$\text{sen } L = \frac{1{,}0}{1{,}5} = 0{,}67 \Rightarrow L = 42°$$

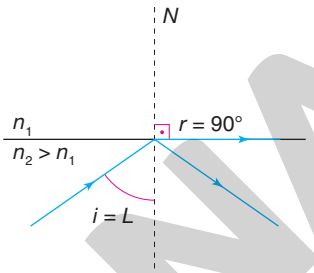


Figura 16 O raio refrata-se rasante à superfície quando o ângulo de incidência é igual ao ângulo limite.

Considere um prisma de vidro ($n = 1{,}5$) imerso no ar ($n = 1$). A seção reta desse prisma é um triângulo retângulo isósceles. Vamos considerar que um raio de luz incida perpendicularmente em uma face-cateto, penetre no prisma e incida na face-hipotenusa. Sendo o ângulo de incidência, nessa face, de 45°, ele supera o ângulo limite, que é de aproximadamente 42°. Nessa face, ocorre, portanto, reflexão total, e o raio emerge pela outra face-cateto. Temos, assim, um prisma de **reflexão total** (Fig. 18).

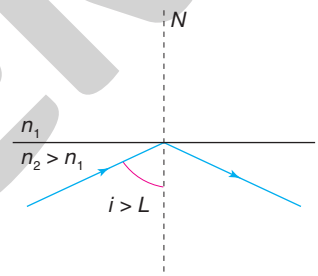


Figura 17 Se o ângulo de incidência for maior que o ângulo limite, ocorre reflexão total.

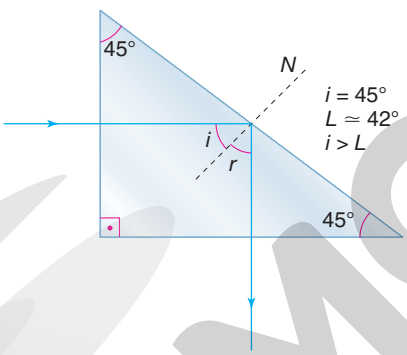


Figura 18 Representação esquemática de um prisma de reflexão total.

Veja respostas e comentários no Suplemento do Professor.

Aplicando conhecimentos

Registre as respostas em seu caderno.

10. Considere dois meios homogêneos e transparentes, 1 e 2, de índices de refração $\sqrt{2}$ e 2, respectivamente, separados por uma superfície plana.

a) Para haver reflexão total, a luz deve se propagar no sentido do meio 1 para o meio 2 ou no sentido do meio 2 para o meio 1?

b) Determine o valor do ângulo limite.

11. Um feixe cilíndrico de raios de luz monocromática que se propaga num meio de índice de refração igual a 2 atinge a superfície que separa esse meio de outro, de índice de refração $\sqrt{3}$.

a) Determine os ângulos de incidência para os quais ocorre refração. Para esses ângulos, a refração é sempre acompanhada da reflexão?

b) Para quais ângulos de incidência teremos somente reflexão, isto é, reflexão total?

MODERNA

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

ILUSTRAÇÕES: ADILSON SECCO

8. Dispersão da luz

O que ocorre quando um feixe de luz solar, policromática, propaga-se no ar e incide obliquamente em uma das faces de um prisma de vidro?

Como o vidro apresenta maior índice de refração para a luz violeta, essa luz é a que mais se aproxima da reta normal. O meio oferece o menor índice de refração para a luz vermelha; portanto, essa luz é a que menos se aproxima da reta normal. Assim, a luz violeta sofre maior desvio e a luz vermelha, menor desvio. Entre essas duas luzes, temos as demais, intermediárias. Na ordem crescente de desvios: vermelho, alaranjado, amarelo, verde, azul, anil e violeta (Fig. 19).

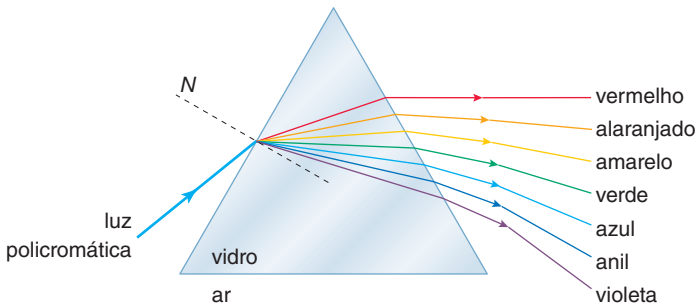


Figura 19 No prisma, a luz sofre dois desvios, evidenciando o fenômeno da dispersão.

O conjunto de cores assim obtido recebe o nome de **espectro da luz solar**. O fenômeno no qual a luz policromática sofre decomposição em suas cores componentes, ao se refratar, é denominado **dispersão da luz**.

Arco-íris

O arco-íris é um fenômeno óptico determinado pela refração e consequente dispersão da luz solar ao incidir nas gotículas de água presentes no ar. Após a refração, a luz sofre reflexão no interior das gotículas e novamente se refrata, voltando para o ar (Fig. 20).

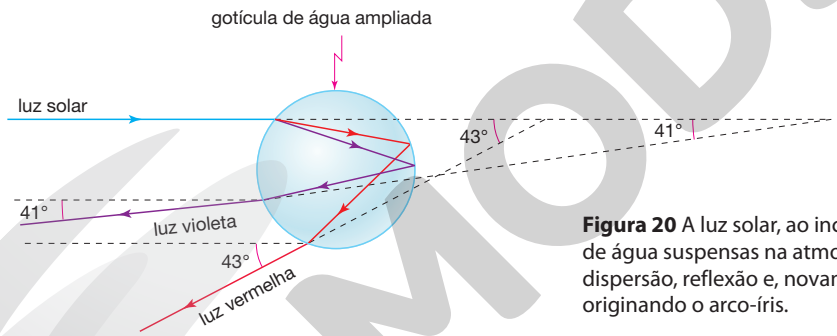


Figura 20 A luz solar, ao incidir em gotículas de água suspensas na atmosfera, sofre dispersão, reflexão e, novamente, refração, originando o arco-íris.

A luz emergente violeta forma com a direção de incidência um ângulo de aproximadamente 41°, enquanto a vermelha forma um ângulo de aproximadamente 43°. Assim, se um observador recebe luz vermelha de determinadas gotas, ele receberá luz violeta de gotas inferiores (Fig. 21). Por isso, o arco externo do arco-íris é vermelho e o interno, violeta. Entre os dois arcos aparecem as cores intermediárias.

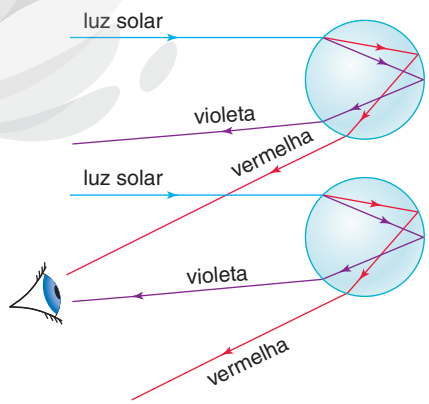


Figura 21 Esquema da disposição das cores em um arco-íris.

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

ILUSTRAÇÕES: ADILSON SECCO

MODERNA

9. Lentes esféricas

Definição e nomenclatura de lentes esféricas

Uma lente esférica é um corpo transparente que possui duas faces esféricas ou uma face esférica e outra plana. No caso mais comum, o corpo transparente é de vidro, cujo índice de refração absoluto é n_2, e imerso no ar, cujo índice de refração absoluto é n_1.

Na figura 22, abaixo, representamos os seis tipos de lentes esféricas e seus nomes. Note que, se uma lente possui uma face convexa e outra côncava, nomeamos em primeiro lugar a face de maior raio de curvatura.

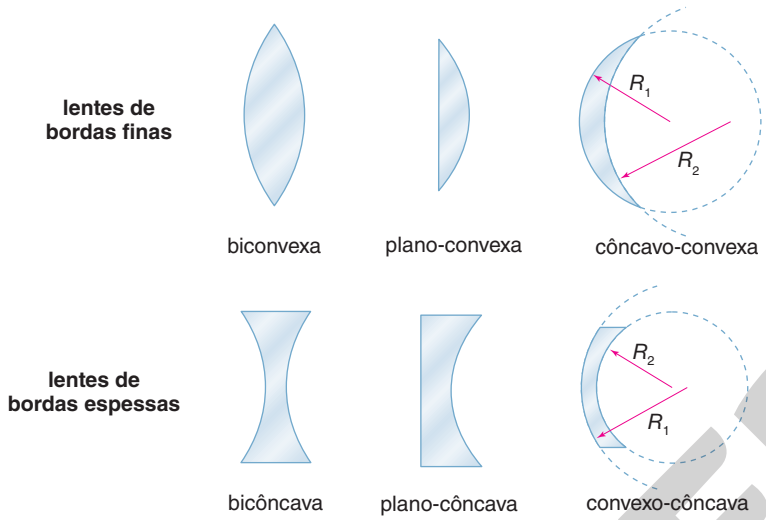


Figura 22 Representação esquemática das lentes esféricas.

As três primeiras lentes apresentam a região periférica, chamada de borda, menos espessa que a central (Fig. 22). Por isso, elas são denominadas **lentes de bordas finas**. As outras três lentes são denominadas **lentes de bordas espessas**, por possuírem a região periférica mais espessa que a central.

Lentes delgadas

As lentes de bordas finas ou espessas em que a espessura da parte central é desprezível em relação aos raios de curvatura, são chamadas **lentes delgadas**. Na figura 23 representamos uma lente delgada convergente (A) e uma lente delgada divergente (B).

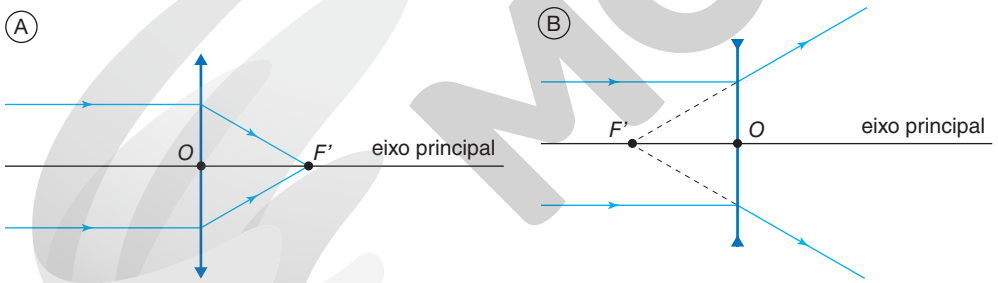


Figura 23 (A) Representação esquemática de uma lente convergente. *F'* é o foco principal, imagem com natureza real; (B) representação esquemática de uma lente divergente. *F'* é o foco principal, imagem com natureza virtual. O ponto *O* é o centro óptico da lente.

Ao ponto objeto *F* do eixo principal a lente faz corresponder um feixe emergente de raios paralelos ao eixo principal. O ponto *F* é denominado foco principal do objeto, tendo natureza real, para as lentes convergentes (Fig. 24.A), e virtual, para as divergentes (Fig. 24.B).

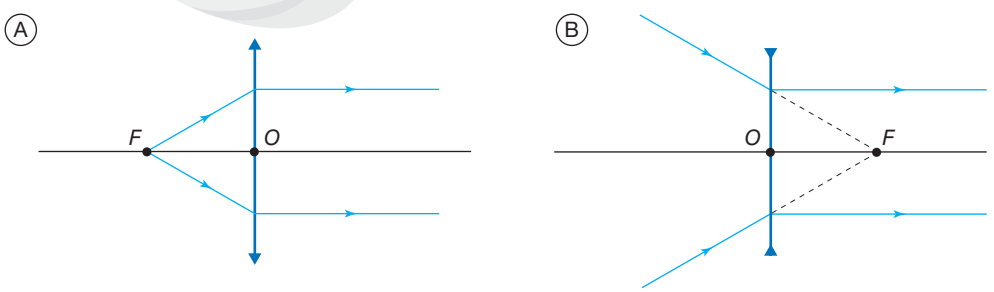


Figura 24 *F* é o foco principal, objeto com natureza (A) real, no caso da lente convergente, ou (B) virtual, no caso da lente divergente.

ILUSTRAÇÕES: ADILSON SECCO

MODERNA

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

A distância entre F e O é igual à distância entre F' e O e é chamada **distância focal**, representada por f.

Os pontos A e A' do eixo principal, tais que $AO = A'O = 2 \cdot f$, são chamados pontos **antiprincipais** (Fig. 25).

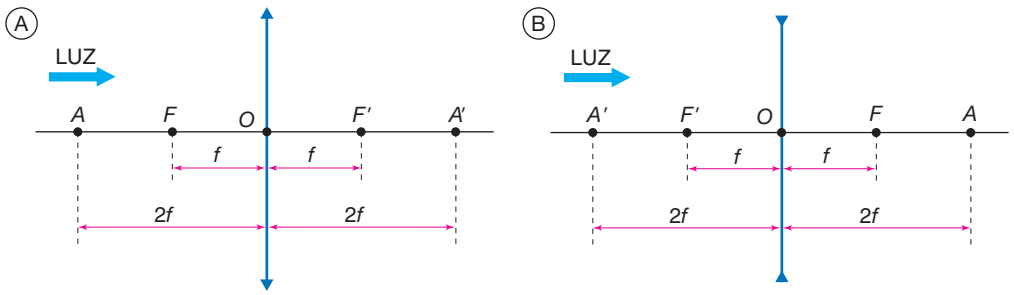


Figura 25 Lentes convergente (A) e divergente (B) onde A e A' são, respectivamente, o ponto antiprincipal objeto e o ponto antiprincipal imagem.

ILUSTRAÇÕES: ADILSON SECCO

Raios notáveis

1º) Um raio de luz A incide na lente paralelamente ao eixo principal. O raio A refratado correspondente emerge numa direção que passa pelo foco principal imagem F' (Fig. 26);

2º) Quando um raio de luz B incide numa direção que passa pelo foco principal objeto F, o raio B refratado correspondente emerge paralelamente ao eixo principal (Fig. 26);

3º) Todo raio de luz C que incide passando pelo centro óptico O atravessa a lente sem sofrer desvio (Fig. 26).

Figura 26 Raios notáveis em lentes convergente (A) e divergente (B).

ERICSON GUILHERME LUCIANO

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

Aplicando conhecimentos

Veja respostas e comentários no Suplemento do Professor.

Registre as respostas em seu caderno.

12. Construa no caderno a imagem do objeto linear AB colocado frontalmente a uma lente esférica.

Dados:

O: centro óptico da lente

F e F': focos principais objeto e imagem

A e A': pontos antiprincipais objeto e imagem.

Analise três casos para a lente convergente, dizendo se a imagem é real ou virtual, direita ou invertida em relação ao objeto, maior ou menor do que o:

I) objeto antes de A

II) objeto entre A e F

III) objeto entre F e O

Analise também o caso em que o objeto está diante de uma lente divergente.

Fórmulas das lentes e dos espelhos esféricos

Equação de Gauss

Dado um objeto, podemos determinar a posição e o tamanho da imagem fornecida por uma lente ou por um espelho esférico por meio de fórmulas. Para isso, vamos chamar de p e p' as abscissas do objeto e da imagem, respectivamente, em relação à lente ou ao espelho (Fig. 27).

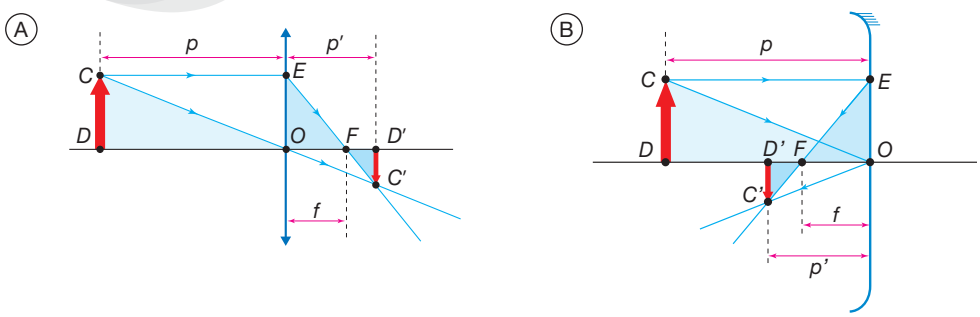


Figura 27 Lente delgada (A) e espelho esférico (B).

ILUSTRAÇÕES: ADILSON SECCO

MODERNA

Considerando ***f*** a distância focal do elemento correspondente, vamos adotar a seguinte convenção de sinais:

- $p > 0$: objeto real;
- $p < 0$: objeto virtual;
- $p' > 0$: imagem real;
- $p' < 0$: imagem virtual;
- $f > 0$: espelho côncavo e lente convergente;
- $f < 0$: espelho convexo e lente divergente.

A equação que relaciona p, p' e f é chamada de **equação de Gauss** e é dada por:

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{p} + \frac{1}{p'}$$

Seja o a altura do objeto CD e i a altura da imagem $C'D'$. Chama-se aumento linear transversal (A) a razão entre a altura da imagem e a altura do objeto: $A = \frac{i}{o}$. O aumento A se relaciona com p e p' por meio da expressão:

$$A = \frac{i}{o} = -\frac{p'}{p}$$

A convenção de sinais é $A > 0$ para imagem direita e $A < 0$ para imagem invertida.

Aplicando conhecimentos

Veja respostas e comentários no Suplemento do Professor.

Registre as respostas em seu caderno.

13. Um objeto linear está situado perpendicularmente ao eixo principal de um espelho côncavo e a 20 cm de distância do espelho. A correspondente imagem se forma a 60 cm do espelho. Qual seria a distância focal do espelho se a imagem formada fosse real? E se fosse virtual?

14. Um objeto é colocado diante de uma lente delgada convergente e a imagem formada é real e tem altura igual ao dobro da altura do objeto. A distância focal da lente é igual a 10 cm.

a) Qual é a distância entre o objeto e sua imagem?

b) Essa distância será a mesma se, em vez de uma lente convergente, tivermos uma lente delgada divergente?

Atividades finais

Registre as respostas em seu caderno. Veja respostas e comentários no Suplemento do Professor.

1. (Enem) A sombra de uma pessoa que tem 1,80 m de altura mede 60 cm. No momento, a seu lado, a sombra projetada de um poste mede 2 m. Se, mais tarde, a sombra do poste diminuir 50 cm, a sombra da pessoa passou a medir?

1. b

a) 30 cm **c)** 50 cm **e)** 90 cm

b) 45 cm **d)** 80 cm

2. A distância que a luz percorre no vácuo em um ano terrestre recebe o nome de ano-luz. Para calcular, em quilômetro, o comprimento equivalente a 1 ano-luz, consideramos $c = 300.000$ km/s a velocidade de propagação da luz no vácuo e $\Delta t = 1$ ano terrestre $= 365{,}2$ dias $= 3{,}16 \cdot 10^7$ s. Temos então:

$1 \text{ ano-luz} = c \cdot \Delta t = (300.000 \text{ km/s}) \cdot (3{,}16 \cdot 10^7) \Rightarrow$

$\Rightarrow 1 \text{ ano-luz} = 9{,}5 \cdot 10^{12} \text{ km}$

Com base no texto acima e sabendo que a luz emitida por uma estrela atingiu a Terra depois de 4,5 anos, determine a distância entre a estrela e a Terra, no instante em que a luz foi emitida.

3. O índice de refração de um meio A, homogêneo e transparente, é maior do que o índice de refração de outro meio B. Em qual deles a luz se propaga com maior velocidade?

4. Um raio de luz, propagando-se no ar, incide na superfície de um líquido contido em um recipiente. O índice de refração absoluto do ar é 1 e o do líquido é $\sqrt{3}$. Sabendo que o ângulo de incidência é 60°, determine o ângulo de refração r.

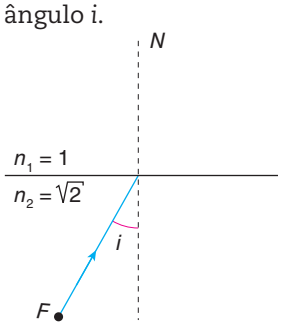
Dados: sen 30° = 0,5; sen 60° = $\frac{\sqrt{3}}{2}$

5. Uma fonte de luz puntiforme F está situada em um líquido de índice de refração $\sqrt{2}$. O índice de refração do ar é igual a 1. Na figura a seguir, representamos um raio de luz que incide na superfície de separação segundo um ângulo i.

a) Determine o ângulo limite desse par de meios.

b) Para $i = 30°$, ocorre refração ou reflexão total?

c) Para $i = 60°$, ocorre refração ou reflexão total?



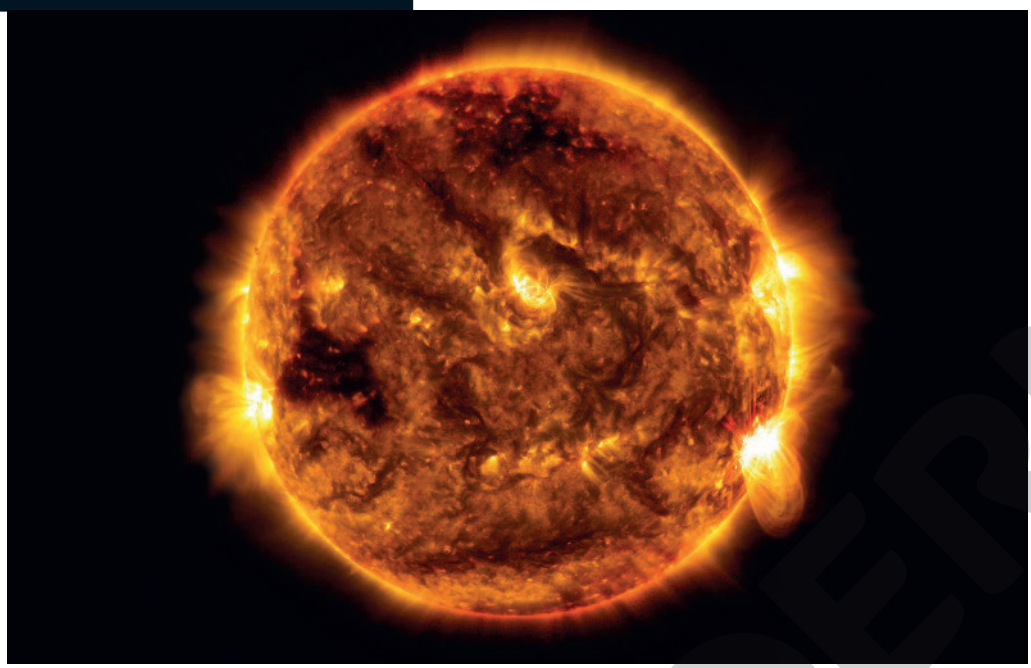
ADILSON SECCO

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

MODERNA

CAPÍTULO 8

NOÇÕES DE FÍSICA QUÂNTICA E FÍSICA NUCLEAR



NASA/SDO

O SDO (Solar Dynamics Observatory) da Nasa monitora a atividade solar e, em 2015, capturou essa imagem de uma explosão solar, considerada uma explosão de radiação média.

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

"Homenzinhos verdes, anãs brancas ou pulsares?" Esse foi o tema da palestra da astrofísica Susan Jocelyn Bell Burnell ao relatar sua observação da primeira descoberta de uma estrela composta de nêutrons que emitia pulsos de ondas de rádio a cada rotação. Essas estrelas foram chamadas de pulsares por Susan e pelo físico Antony Hewish. Quando identificaram esse objeto pulsando em intervalos de tempo regulares e a uma longa distância da Terra, em 1967, houve uma desconfiança de que o sinal não era verdadeiro, tanto que foi cogitada a hipótese de ter sido gerado por uma civilização extraterrestre. Pulsares são estrelas de nêutrons extremamente densas, pequenas, que lançam jatos de radiação eletromagnética por seus polos magnéticos devido ao seu rapidíssimo movimento de rotação.

A abundância da distribuição dos elementos químicos no Universo resulta de vários processos de nucleossíntese que ocorrem no interior das estrelas. Esses processos são responsáveis por criar os elementos químicos que conhecemos. A compreensão da nucleossíntese auxilia os cientistas a estudar a evolução do Universo e pesquisar locais onde a vida poderia surgir e se sustentar.

Para entendermos o que ocorre no interior das estrelas necessitamos de conceitos da Física Moderna. Neste capítulo, estudaremos os processos de fusão e fissão nucleares, algumas propriedades dos núcleos atômicos, a organização e as interações fundamentais das partículas elementares, bem como o caráter dual da luz.

De olho na BNCC:

- EM13CNT202
- EM13CNT203
- EM13CNT209
- EM13LGG301
- EM13MAT301
- EM13MAT313
- EM13MAT314

1. O surgimento da Física quântica

A Física quântica, desde a primeira metade do século XX até os dias atuais, é a teoria física mais bem-sucedida e possibilitou diversos avanços tecnológicos.

Podemos dizer que o desenvolvimento teórico da Física quântica teve seu início oficial a partir de meados dos anos de 1880. Entretanto, Pitágoras (570 a.C.- 495 a.C.) já havia descoberto a quantização das notas musicais e dos modos de vibração de cordas e membranas tensas.

Era a "quantização da música". Portanto, a quantização de certas propriedades da natureza vem de muito longe, há, mais ou menos, uns 25 séculos. Posteriormente, outras grandezas, como a energia e a carga elétrica, se revelaram ser também quantizadas, isto é, elas aparecem em quantidades bem definidas, como múltiplos de uma quantidade elementar, denominada ***quantum***. O *quantum* de energia radiante é genericamente denominado **fóton**. O *quantum* de carga elétrica é a carga elétrica do elétron (*e*).

Muitos dos problemas que desafiavam os físicos no final do século XIX e início do XX foram resolvidos pela teoria da relatividade de Albert Einstein (1879-1955). Entretanto, outros ainda estavam sem solução. Tentativas de aplicar as leis da Física clássica aos fenômenos no nível atômico mostravam-se infrutíferas. Fenômenos como a emissão de radiação pelos corpos aquecidos, o efeito fotoelétrico e a emissão de radiação por descargas elétricas em gases rarefeitos não podiam ser explicados pelas teorias até então existentes. Entretanto, entre 1900 e 1930, foi desenvolvida uma "nova Física", denominada **Mecânica Quântica**, que se mostrou plenamente capaz de explicar o comportamento das moléculas, dos átomos e das partículas subatômicas em inúmeras situações. Essa nova teoria, inicialmente denominada teoria dos *quanta* (*quanta* é o plural de *quantum*), se reduz às teorias da Física clássica quando aplicada a sistemas macroscópicos, assim como a teoria da relatividade se reduz às leis clássicas para os movimentos em baixas velocidades. Tal como a teoria da relatividade, a teoria quântica levou à criação de novos conceitos, modificações profundas em modelos já existentes e gerou uma verdadeira revolução na percepção do mundo físico conhecido até então.

2. Efeito fotoelétrico

Nos últimos anos do século XIX, experimentos demonstraram que a incidência de radiação eletromagnética em superfícies metálicas desencadeava a emissão de elétrons por essas superfícies. Esse fenômeno ficou conhecido como **efeito fotoelétrico**, e os elétrons emitidos pela superfície são chamados de **fotoelétrons**. As primeiras evidências do efeito fotoelétrico foram obtidas por Heinrich Hertz (1857-1894) em 1887 (Fig. 1.A), embora nessa época ainda não se sabia da existência dos elétrons.

As células fotoelétricas, ou fotocélulas, muito usadas em fotômetros, controles remotos, circuitos de segurança etc., é uma das inúmeras aplicações do efeito fotoelétrico. Na figura 1.B, temos uma montagem típica para estudar o efeito fotoelétrico. Um tubo de vidro a vácuo, chamado de tubo fotomultiplicador, encerra um eletrodo negativo, o emissor de elétrons (*E*), e um eletrodo positivo, o coletor de elétrons (*C*). Quando o conjunto que forma a fotocélula é colocado em um ambiente escuro, o microamperímetro indica zero, ou seja, não há corrente elétrica no circuito. Entretanto, quando uma radiação monocromática de determinado comprimento de onda ilumina a placa *E*, o microamperímetro passa a indicar uma corrente elétrica. Essa corrente elétrica é constituída por elétrons emitidos pela placa negativa *E*, que são coletados pelo eletrodo positivo *C*.

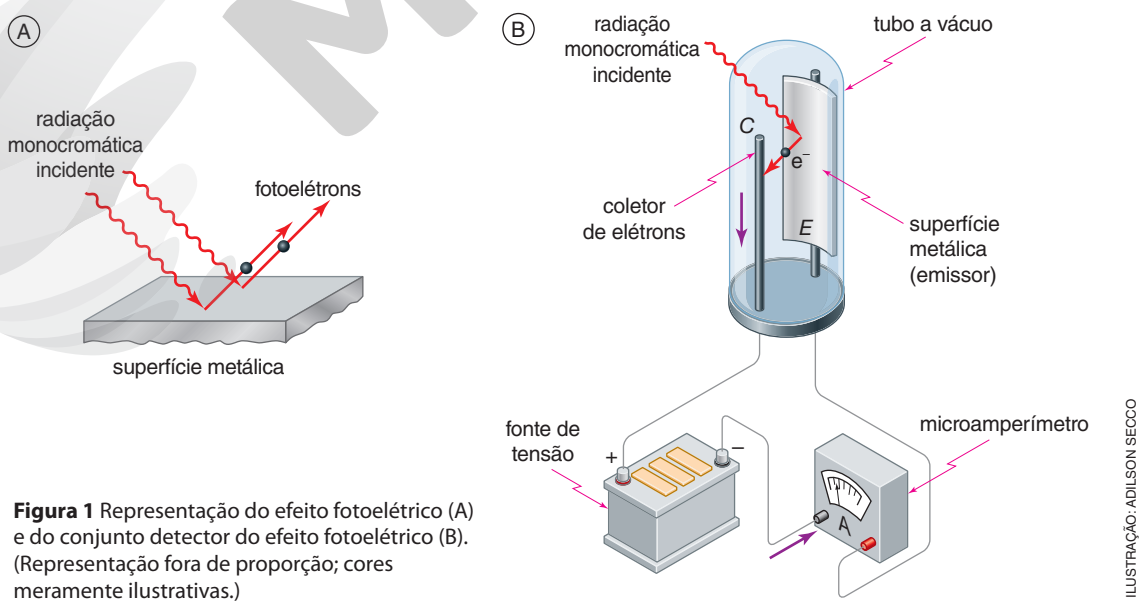


Figura 1 Representação do efeito fotoelétrico (A) e do conjunto detector do efeito fotoelétrico (B). (Representação fora de proporção; cores meramente ilustrativas.)

ILUSTRAÇÃO: ADILSON SECCO

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

MODERNA

Pelos modelos clássicos da teoria ondulatória da luz, não era possível explicar certas características observadas no efeito fotoelétrico.

Investigações mais aprofundadas sobre esse fenômeno, realizadas por Phillip von Lenard (1862-1947), estabeleceram algumas características para o efeito fotoelétrico:

1. Nenhum fotoelétron é observado se a frequência da radiação iluminante for inferior a um certo valor f_0, denominado **frequência de corte**, que é uma característica do metal utilizado.
2. O fluxo de fotoelétrons aparece praticamente no mesmo instante em que a radiação incidente atinge o metal. Medições indicam que a emissão ocorre em menos de 1 ns (1 nanossegundo $= 10^{-9}$ s) após o instante em que a radiação incide no metal. Pelo modelo clássico, o intervalo de tempo deveria ser bem maior, até que o elétron "acumulasse" energia suficiente para escapar da estrutura do metal.
3. A energia cinética máxima dos fotoelétrons $(E_{C(máx)})$ aumenta **linearmente** com o aumento da frequência da radiação iluminante.

A explicação completa para o efeito fotoelétrico foi dada em 1905 por Albert Einstein, como parte de uma publicação sobre radiação eletromagnética que lhe valeu o Prêmio Nobel de Física em 1921. Em seu estudo, Einstein estendeu o conceito de quantização da energia luminosa, demonstrado em 1900 por Max Planck (1858-1947), para as ondas eletromagnéticas em geral. Einstein admitiu que a luz e as demais radiações eletromagnéticas deveriam ser consideradas um fluxo de "pacotes de energia", cada um transportando uma quantidade de energia igual a $h \cdot f$, sendo $h = 6{,}626 \cdot 10^{-34}$ J · s a constante de Planck, e f a frequência da radiação eletromagnética. Einstein denominou essa quantidade de energia de *licht quantum* (*quantum* de luz). Posteriormente, esses pacotes de energia foram denominados **fótons**, nome usado até hoje.

Na visão de Einstein, cada fóton cede toda a sua energia $h \cdot f$ a um único elétron do metal. Parte dessa energia é usada para "desligar" o elétron do átomo – energia de ligação. A essa parcela de energia Einstein denominou **função trabalho** do material, que representamos por W. Em alguns textos, a função trabalho é representada pela letra grega maiúscula Φ (lê-se fi). O restante da energia do fóton incidente aparece na forma de energia cinética do fotoelétron (Fig. 2).

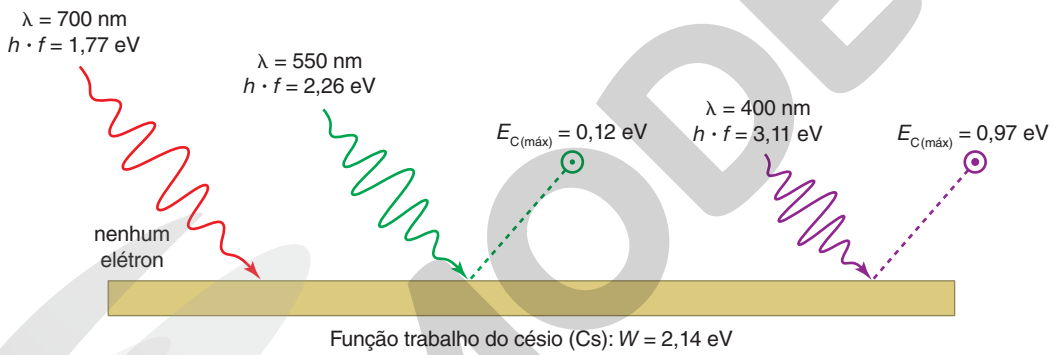


Figura 2 Esquema da emissão fotoelétrica em uma placa de césio (Cs) iluminada pelas radiações vermelha, verde e violeta. (Representação fora de proporção; cores meramente ilustrativas.)

Assim, temos:

$$E_{C(máx)} = h \cdot f - W$$

Essa é a **equação de Einstein** para o efeito fotoelétrico.

Quando estudamos o comportamento de partículas subatômicas, é comum e muito prático usarmos a unidade **elétron-volt (eV)** para as energias envolvidas. A relação dessa unidade com o joule (J) é $1\ \text{eV} = 1{,}6 \cdot 10^{-19}$ J. A equação do efeito fotoelétrico mostra que a energia cinética máxima dos elétrons emitidos cresce linearmente com a frequência da radiação iluminante. O gráfico a seguir mostra como a energia cinética máxima do fotoelétron emitido varia com a frequência da onda incidente na placa metálica.

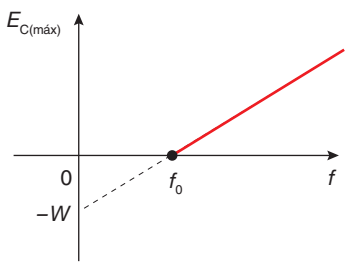


Figura 3 Gráfico da energia cinética máxima [$E_{C(máx)}$] dos fotoelétrons em função da frequência f da radiação incidente.

ILUSTRAÇÕES: ADILSON SECCO

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

MODERNA

A frequência f_0 é a **frequência de corte**, uma característica do metal. Somente radiações com frequências maiores que f_0 podem extrair elétrons do metal.

Veja, a seguir, uma aplicação da equação do efeito fotoelétrico.

Para determinado metal, a função trabalho é $W = 4{,}0$ eV. Adotando $h = 4{,}0 \cdot 10^{-15}$ eV · s para a constante de Planck e $c = 3{,}0 \cdot 10^{8}$ m/s para a velocidade de propagação das radiações usadas, determine a energia cinética máxima dos fotoelétrons emitidos por esse metal quando iluminado por uma radiação eletromagnética de comprimento de onda:

a) 500 nm;

b) 250 nm.

Resolução:

a) Para o comprimento de onda de 500 nm, a partir da equação fundamental da Ondulatória, temos que a frequência da radiação é:

$$c = \lambda \cdot f \Rightarrow 3{,}0 \cdot 10^{8} = 500 \cdot 10^{-9} \cdot f \therefore f = 6{,}0 \cdot 10^{14}\ \text{Hz}$$

Assim, a energia do fóton dessa radiação é dada por:

$$E = h \cdot f \Rightarrow E = (4{,}0 \cdot 10^{-15}\ \text{eV} \cdot \text{s}) \cdot (6{,}0 \cdot 10^{14}\ \text{Hz}) \therefore E = 2{,}4\ \text{eV}$$

Como $\underbrace{E}_{\substack{\text{energia}\\ \text{do fóton}}} < \underbrace{W}_{\substack{\text{energia mínima}\\ \text{necessária}}}$, **não haverá** emissão de fotoelétrons.

b) Para o comprimento de onda de 250 nm, a partir da equação fundamental da Ondulatória, temos que a frequência da radiação é:

$$c = \lambda \cdot f \Rightarrow 3{,}0 \cdot 10^{8} = 250 \cdot 10^{-9} \cdot f \therefore f = 1{,}2 \cdot 10^{15}\ \text{Hz}$$

Assim, a energia do fóton dessa radiação é dada por:

$$E = h \cdot f \Rightarrow E = (4{,}0 \cdot 10^{-15}\ \text{eV} \cdot \text{s}) \cdot (1{,}2 \cdot 10^{15}\ \text{Hz}) \therefore E = 4{,}8\ \text{eV}$$

Portanto, a energia cinética máxima dos elétrons "emitidos" será de:

$$E_{C(máx)} = h \cdot f - W \Rightarrow E_{C(máx)} = E - W \Rightarrow E_{C(máx)} = 4{,}8\ \text{eV} - 4{,}0\ \text{eV} \therefore E_{C(máx)} = 0{,}8\ \text{eV}$$

Aplicando conhecimentos

Registre as respostas em seu caderno.

Veja respostas e comentários no Suplemento do Professor.

1. Indique no caderno a opção na qual o dispositivo citado não opera por efeito fotoelétrico.
1. a

a) Transformador elétrico.
b) Sensores remotos de aparelhos eletrônicos.
c) Sensores eletrônicos de presença ou de aproximação.
d) Baterias solares (fotocélulas).
e) Dispositivos para "visão noturna".

2. Os fotoelétrons emitidos por um metal têm energia cinética máxima de 0,8 eV. Estime o módulo da velocidade máxima desses elétrons. Adote para a massa do elétron o valor $9{,}0 \cdot 10^{-31}$ kg.

3. A função trabalho do sódio (Na) é igual a 2,28 eV. Adotando para a constante de Planck o valor $h = 4{,}0 \cdot 10^{-15}$ eV · s, determine a frequência de corte (f_0) para o sódio.

3. Dualidade onda-partícula

A teoria do efeito fotoelétrico de Albert Einstein é uma forte evidência em favor da teoria corpuscular da luz. Esse fenômeno nos mostra que, ao interagir com a matéria, a luz de frequência f atua como se fosse constituída por partículas com energia $E = h \cdot f$. Entretanto, a difração e a interferência só podem ser explicadas considerando a luz como uma onda. Essa aparente **dualidade** onda-partícula levanta uma questão fundamental: A luz é uma onda ou é um conjunto de partículas?

Se, por um lado, somente o modelo de fótons explica adequadamente o efeito fotoelétrico, por outro somente o modelo ondulatório explica a difração e a interferência. Então, qual modelo é o correto? A resposta é simples:

Devemos aceitar ambos os modelos!

MODERNA

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

A verdadeira natureza da luz e das demais radiações eletromagnéticas não deve ser descrita apenas por um único modelo teórico. O fóton, necessário para explicar o efeito fotoelétrico, e a onda, necessária para explicar a difração e a interferência, complementam-se mutuamente. A luz e as demais radiações eletromagnéticas têm **natureza dual**, isto é, exibem características tanto de onda quanto de partícula. Depende da natureza do fenômeno do qual elas participam. Niels Bohr resumiu isso em uma frase, conhecida como **princípio da complementaridade**:

> No níquel quântico, ambos os aspectos, o corpuscular e o ondulatório, são necessários para uma descrição completa do fenômeno estudado.

No universo quântico, esses modelos não se excluem, eles se completam.

Uma descrição completa e correta do comportamento da luz só é válida quando ambos os modelos são considerados de maneira complementar.

Se a natureza dual da luz é, por si só, um conceito difícil de aceitar, mais intrigante ainda é o fato de que a **matéria** também apresenta natureza dual.

Em 1924, em sua tese de doutorado, o físico francês Louis Victor Pierre Raymond, 7º duque de Broglie (1892-1987), ou **Louis de Broglie**, como ficou mais conhecido, estendeu o conceito de dualidade onda-partícula dos *quanta* de luz de Einstein (os fótons) às partículas da matéria (elétrons, prótons etc.).

Partindo dessa ideia, De Broglie mostrou que partículas materiais poderiam apresentar propriedades ondulatórias e, consequentemente, um comprimento de onda característico, determinado por sua quantidade de movimento. Tal comprimento de onda, denominado comprimento de onda de De Broglie (λ_B), associado à partícula, é dado por:

$$\lambda_B = \frac{h}{m \cdot v}$$

Nessa fórmula, fica evidente o **aspecto dual** da matéria. O aspecto ondulatório é representado pelo comprimento de onda λ_B, e o aspecto corpuscular pela quantidade de movimento $m \cdot v$. Em alguns textos, essa fórmula aparece como $\lambda_B = \frac{h}{p}$, sendo $p = m \cdot v$.

Entretanto, em 1927, três anos após De Broglie publicar sua tese, os físicos C. J. Davisson (1881-1958) e L. H. Germer (1896-1971), com o propósito de derrubar a hipótese de De Broglie, mediram o comprimento de onda de elétrons acelerados e acabaram por confirmar experimentalmente a teoria do físico francês. Eles observaram difração de feixes de elétrons em cristais; algo semelhante à difração da luz nos experimentos de Thomas Young. Portanto, a **dualidade onda-partícula** não era mais uma simples teoria, mas uma realidade.

O exemplo a seguir permite compreender melhor o princípio de De Broglie usando uma comparação mais significativa.

Calcule o comprimento de onda de De Broglie em duas situações extremas:

a) Para uma pessoa de massa de 80 kg, a uma velocidade de 20 m/s.

b) Para um elétron, com velocidade de 20 m/s.

(Dados $h = 6{,}63 \cdot 10^{-34}$ J · s; $m_{elétron} = 9{,}1 \cdot 10^{-31}$ kg)

Resolução:

a) Para a pessoa, o comprimento de onda de De Broglie é dado por:

$$\lambda_B = \frac{h}{m \cdot v} \Rightarrow \lambda_B = \frac{6{,}63 \cdot 10^{-34}}{80 \cdot 20} \therefore \lambda_B \simeq 4{,}1 \cdot 10^{-37}\ \text{m}$$

b) Para o elétron, temos:

$$\lambda_B = \frac{h}{m \cdot v} \Rightarrow \lambda_B = \frac{6{,}63 \cdot 10^{-34}}{9{,}1 \cdot 10^{-31} \cdot 20} \therefore \lambda_B \simeq 3{,}6 \cdot 10^{-5}\ \text{m}$$

Em vista dos resultados obtidos neste exemplo, percebemos que o comprimento de onda associado à pessoa é muito menor que qualquer abertura pela qual ela pudesse passar. Isso significa que não podemos observar efeitos ondulatórios para objetos em escala macroscópica.

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

MODERNA

Aplicando conhecimentos

Registre as respostas em seu caderno.

Veja respostas e comentários no Suplemento do Professor.

4. Um curioso episódio científico ocorreu com J. J. Thomson e seu filho G. P. Thomson. O pai, em 1897, mostrou que os chamados "raios catódicos" eram, na verdade, feixes de elétrons e, portanto, **partículas**. O filho, em 1937, mostrou que os elétrons podem apresentar comportamento ondulatório sob certas condições. Ambos receberam o Prêmio Nobel por suas descobertas. Alguém poderia afirmar que "a obra do filho 'destruiu' a obra do pai". Com base nos conceitos até aqui estudados, você considera essa afirmação correta ou incorreta? Justifique sua opinião.

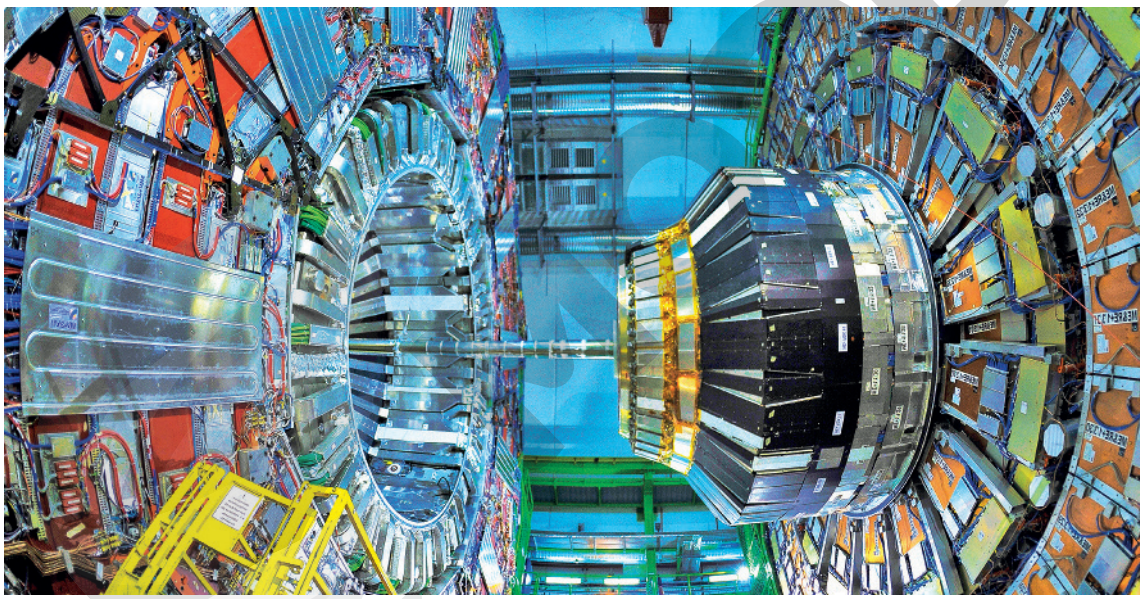
5. a) Usando a igualdade proposta por Louis de Broglie, como podemos expressar o comprimento de onda λ_B associado a uma partícula em função de sua energia cinética E? Considere conhecidas a massa m da partícula, a constante h de Planck e que a velocidade da partícula seja muito menor que a velocidade da luz.

b) Se quadruplicarmos a energia cinética da partícula do item **a**, o que ocorrerá com o comprimento de onda de De Broglie a ela associado? Qual é o significado prático desse resultado?

4. Noções de Física nuclear

Imagine cortarmos uma laranja ao meio e que uma das metades é novamente cortada ao meio. Essa nova metade é cortada ao meio mais uma vez. Se fosse possível repetir esse procedimento cerca de trinta vezes, chegaríamos a um fragmento de laranja com dimensões da ordem de um bilionésimo do tamanho original da laranja, isto é, um fragmento mais ou menos do tamanho de um átomo. Se repetíssemos o processo por mais 13 ou 14 vezes, chegaríamos às dimensões do núcleo atômico!

Começar a estudar as propriedades dos núcleos atômicos só foi possível com a construção de poderosos aceleradores de partículas, como os cíclotrons, os bévatrons, os tévatrons e o modernísimo LHC (Large Hadron Collider, ou Grande Colisor de Hádrons).



D-VISIONS/SHUTTERSTOCK

Figura 4 O LHC localiza-se na Organização Europeia para a Pesquisa Nuclear (CERN), na fronteira entre a Suíça e a França. É o maior acelerador de partículas do mundo.

O ano de 1896, ano em que o físico francês Antoine Henri Becquerel (1852-1908) descobriu a radioatividade, determina o nascimento da Física nuclear. Na primeira metade do século XX, a Física nuclear teve enorme desenvolvimento, exercendo notável influência científica, social e tecnológica sobre a humanidade. Após a construção, em dezembro de 1942, do primeiro reator nuclear (o CP-1, na Universidade de Chicago) destinado à pesquisa científica, a fabricação da primeira bomba nuclear, popularmente conhecida como bomba atômica, foi só uma questão de tempo. Atualmente, pelo menos aqui no Brasil, a pesquisa em Física nuclear concentra-se em áreas como medicina nuclear, Física de partículas de altas energias e Cosmologia.

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

SEM RESPOSTA

Entre 1910 e 1911, os experimentos de Ernest Rutherford (1871-1937) mostraram que os núcleos dos átomos podem ser assimilados a uma carga positiva pontual, que concentra praticamente toda a massa do átomo. Os elétrons, com carga negativa, ficam ao redor em quantidade tal que equilibram a carga positiva do núcleo, tornando o átomo eletricamente neutro. A massa total dos elétrons que compõem o átomo é extremamente insignificante quando comparada à massa do núcleo. A descoberta da radioatividade natural em compostos de urânio por Henri Becquerel despertou um enorme interesse dos cientistas no final do século XIX e início do século XX, que desenvolveram estudos para entender essas estranhas radiações. Os trabalhos pioneiros de Rutherford nessa área revelaram três tipos distintos de radiação, que ele chamou de **alfa** (α), **beta** (β) e **gama** (γ), classificadas de acordo com o tipo de carga elétrica (Fig. 5), de sua maior ou menor capacidade de penetrar a matéria e de ionizar ou não o ar.

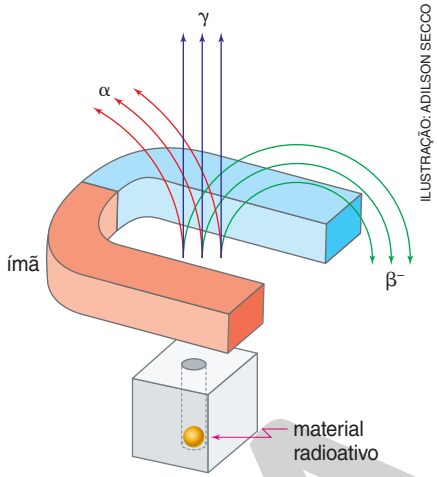


ILUSTRAÇÃO: ADILSON SECCO

Figura 5 Esquema das emissões radioativas. Na presença de um campo magnético, as emissões alfa e beta são defletidas em sentidos opostos. A radiação gama não sofre influência do campo magnético. (Representação fora de proporção; cores meramente ilustrativas.)

Experimentos posteriores mostraram que a radiação alfa (α), na verdade, é um conjunto de partículas-núcleos de hélio (2 prótons + 2 nêutrons) emitidas por núcleos instáveis mais pesados. A radiação beta (β) também não é radiação, mas, sim, um conjunto de partículas, elétrons (β^-) ou pósitrons (β^+), emitidas por núcleos atômicos instáveis. Pósitrons são elétrons positivos; também chamados de antipartículas do elétron ou antielétrons. Apenas a radiação gama (γ) é, de fato, radiação eletromagnética, como a luz ou os raios X. As radiações gama são fótons emitidos por núcleos atômicos radioativos ou o resultado de processos de **aniquilação matéria-antimatéria**. As denominações α, β e γ, adotadas por Rutherford, são usadas até hoje.

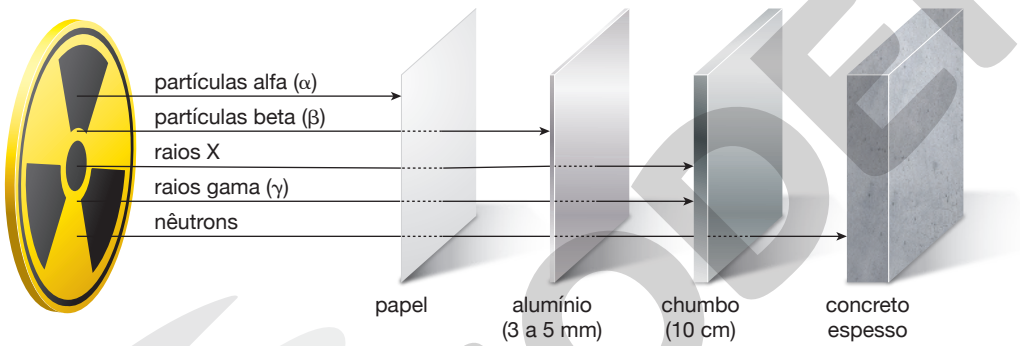


ILUSTRAÇÃO: NELSON MATSUDA

Figura 6 Poder de penetração das radiações nucleares alfa (α), beta (β), raios X, gama (γ) e nêutrons rápidos. (Representação fora de proporção; cores meramente ilustrativas.)

Excetuando-se o hidrogênio atômico, cujo núcleo é formado por apenas um próton, todos os outros núcleos atômicos são formados por prótons e nêutrons. Prótons e nêutrons são genericamente denominados **núcleons**.

Qualquer núcleo atômico **X** pode ser representado como ${}^{A}_{Z}X$, sendo **Z** o número de prótons (ou número atômico) e **A** o número total de núcleons do núcleo (ou número de massa). Os símbolos **Z** e **A** vêm do alemão: **Z**ahl (número) e **A**tomgewicht ("peso" atômico). Atualmente, **A** é denominado **número de núcleons** (prótons + nêutrons). Portanto, **N** = **A** − **Z** refere-se ao número de nêutrons do núcleo.

Tabela 1 Massas de repouso do próton, do nêutron e do elétron

Partícula	Massa (kg)	Massa (u) *
Próton	$1{,}6726 \cdot 10^{-27}$	1,007276
Nêutron	$1{,}6749 \cdot 10^{-27}$	1,008665
Elétron	$9{,}1094 \cdot 10^{-31}$	$5{,}4858 \cdot 10^{-4}$

* 1 u (unidade de massa atômica) = $1{,}66054 \cdot 10^{-27}$.
Fonte: Fundamental Physical Constants. Disponível em: <https://physics.nist.gov/cuu/Constants/>. Acesso em: 13 jun. 2020.

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

MODERNA

5. Fissão e fusão nucleares

Basicamente, existem dois modos de obter grandes quantidades de energia a partir dos núcleos atômicos: reações nucleares de **fissão** e reações nucleares de **fusão**.

Na **fissão nuclear** bombardeia-se um núcleo, em geral com nêutrons rápidos ou partículas alfa, provocando a quebra desse núcleo, originando núcleos menores (produtos) e grande quantidade de energia na forma de radiação eletromagnética. Uma possível reação nuclear que descreve a fissão do urânio-235 nos reatores nucleares é apresentada na figura 7.

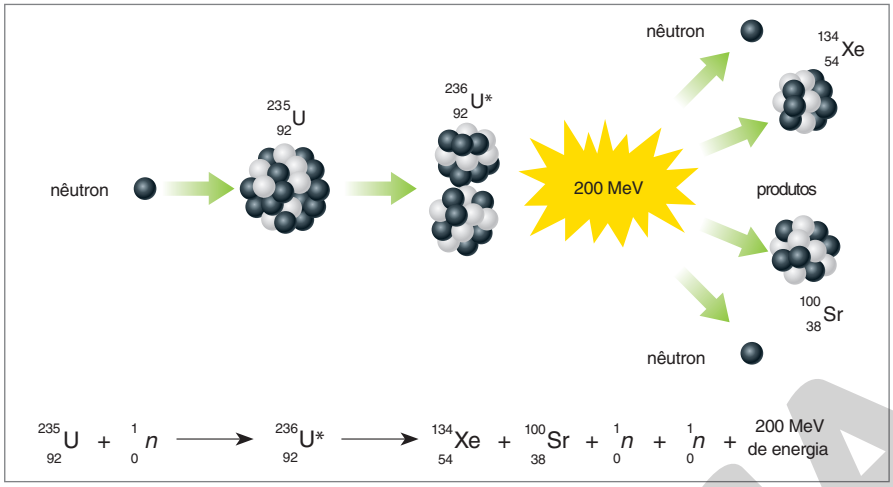


ILUSTRAÇÃO: ADILSON SECCO

Figura 7 Esquema da reação de fissão do urânio-235, originando xenônio e estrôncio. O núcleo $^{236}_{92}U$ é altamente instável e decai rapidamente. (Representação fora de proporção; cores meramente ilustrativas.)

A energia de 200 megaelétrons-volt (MeV), obtida a partir de cada núcleo de ^{235}U fissionado, corresponde a, aproximadamente, 23.000 quilowatts-hora (kWh) **por grama** desse elemento. Se essa quantidade de energia pudesse ser transformada em energia elétrica, seria suficiente para suprir por um ano quatro residências de médio consumo.

A **fusão nuclear**, processo inverso da fissão, consiste na produção de núcleos mais pesados a partir da colisão entre núcleos mais leves. Esse é o processo de geração de matéria e energia nos núcleos estelares, denominado **nucleossíntese**. Por exemplo, no núcleo do Sol, entre outras reações nucleares, quatro núcleos de hidrogênio colidem entre si, formando um núcleo de hélio e outros subprodutos:

$$4\,{}^{1}_{1}H \rightarrow {}^{4}_{2}He + 2\,{}^{0}_{1}\beta^{+} + 2\,{}^{0}_{0}\nu + 26{,}2\ MeV$$

O símbolo $^{0}_{0}\nu$ representa um neutrino (não confundir com nêutron, $^{1}_{0}n$), uma partícula não dotada de carga elétrica, de massa praticamente nula e de difícil detecção.

Em ambos os tipos de reações nucleares, fissão e fusão, a massa total dos produtos da reação é **menor** que a massa total das partículas reagentes. Parte da massa inicial é convertida em energia, que pode ser calculada pela equação da conversão massa-energia:

$$E = \Delta m \cdot c^2$$

na qual c é o módulo da velocidade de propagação da luz no vácuo e

$$\Delta m = \Sigma m_{\text{núcleos reagentes}} - \Sigma m_{\text{núcleos produtos}}$$

Vejamos uma aplicação.

No interior do Sol, a reação de fusão nuclear que converte hidrogênio em hélio libera 26,2 MeV de energia. Qual é a massa Δm, em kg, correspondente a essa energia liberada?

(Dados: 1 MeV $\simeq 1{,}6 \cdot 10^{-13}$ J e $c = 3{,}0 \cdot 10^{8}$ m/s.)

Resolução:

A partir da equação da conversão massa-energia, temos:

$E = \Delta m \cdot c^2 \Rightarrow 26{,}2 \cdot 1{,}6 \cdot 10^{-13} = \Delta m \cdot (3{,}0 \cdot 10^{8})^2 \therefore \Delta m \simeq 4{,}67 \cdot 10^{-29}$ kg

Essa é a diferença entre a massa dos quatro núcleos de hidrogênio (^{1}H), que se fundem, e a massa do núcleo de hélio (^{4}He), principal produto da reação.

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

MODERNA

6. Matéria e antimatéria

O **pósitron**, ou **elétron positivo**, representado por e^+ ou β^+, é uma partícula idêntica ao elétron, exceto pelo sinal da sua carga elétrica, e foi previsto teoricamente em 1928 por Paul Dirac (1902-1984) e detectado experimentalmente em 1932 por Carl Anderson (1905-1991). O pósitron é a antipartícula do elétron, por isso também é chamado de **antielétron**.

Toda partícula tem sua antipartícula. Portanto, existem o antipróton ($\tilde{p}$), o antinêutron ($\tilde{n}$), o antineutrino ($\tilde{\nu}$) e muitas outras. A antipartícula do fóton é o próprio fóton.

Na desintegração espontânea de um nêutron, uma das partículas-produto é um **antineutrino** ($\tilde{\nu}$):
$n^0 \rightarrow p^+ + e^- + \tilde{\nu}$

Partícula e antipartícula, quando colidem, aniquilam-se produzindo energia radiante, isto é, fótons, representados por γ. Por exemplo, $e^- + e^+ \rightarrow 2\gamma$ é uma reação de aniquilação de um par elétron-pósitron com a produção de dois fótons.

Vejamos uma aplicação desses conceitos em um exemplo.

As massas do elétron e do pósitron valem aproximadamente $9{,}0 \cdot 10^{-31}$ kg cada uma. Quando essas partículas colidem entre si e se aniquilam, dão origem a dois fótons, cada um com energia $E\gamma$.

a) Determine $E\gamma$ em megaelétrons-volt (MeV).

b) Determine a frequência f da radiação emitida quando da aniquilação do par elétron-pósitron. Qual é a "posição" dessa radiação no espectro eletromagnético?

c) Por que, nesse processo, são gerados dois fótons, cada um com energia $E\gamma$ e não apenas um com energia $2E\gamma$?

Nos cálculos, adote $c = 3{,}0 \cdot 10^8$ m/s para a velocidade de propagação da luz no vácuo, $4{,}14 \cdot 10^{-15}$ eV · s para a constante de Planck e 1 J = $6{,}24 \cdot 10^{12}$ MeV.

Resolução:

a) No processo de aniquilação partícula-antipartícula, a massa total do par é convertida em energia. A energia dos fótons resultantes é calculada pela equação $E = m \cdot c^2$. Como são dois fótons, temos:

$2E\gamma = (m_{e^-} + m_{e^+}) \cdot c^2 \Rightarrow 2E\gamma = 2 \cdot 9{,}0 \cdot 10^{-31} \cdot (3{,}0 \cdot 10^8)^2 \Rightarrow$

$\Rightarrow E\gamma = 8{,}1 \cdot 10^{-14}\ \text{J} \Rightarrow E\gamma = 8{,}1 \cdot 10^{-14} \cdot 6{,}24 \cdot 10^{12}\ \text{MeV} \therefore E\gamma = 0{,}51\ \text{MeV}$

b) Da equação de Planck, $E = h \cdot f$, podemos calcular a frequência da radiação correspondente aos fótons emitidos na aniquilação:

$E = h \cdot f \Rightarrow 0{,}51 \cdot 10^6\ \text{eV} = 4{,}14 \cdot 10^{-15} \cdot f \therefore f \simeq 1{,}23 \cdot 10^{20}\ \text{Hz}$

Essa frequência está na faixa dos **raios gama** do espectro eletromagnético.

c) Se fosse gerado apenas um fóton, a quantidade de movimento do sistema não seria conservada. O processo de aniquilação matéria-antimatéria se assemelha a uma colisão inelástica; não há conservação da energia cinética das partículas. O que se conserva é o par massa-energia, além da quantidade de movimento do sistema.

Aplicando conhecimentos

Registre as respostas em seu caderno.

Veja respostas e comentários no Suplemento do Professor.

6. Um núcleo atômico de massa M e número de massa A é formado por P prótons, cada um de massa m_P, e N nêutrons, cada um de massa m_N. Determine para esse núcleo:

a) o número atômico Z;

b) o número de nêutrons N.

7. Bombardeiam-se núcleos de boro com prótons, obtendo-se núcleos de berílio, segundo a reação: ${}^{11}_{5}\text{B} + {}^{1}_{1}p \rightarrow {}^{8}_{4}\text{Be} + {}^{a}_{b}\text{X}$.

a) Determine os valores de a e b, índices do núcleo X na equação acima.

b) Identifique o elemento X e o nome pelo qual é mais conhecido.

8. O núcleo de ouro 198 decai segundo a reação ${}^{198}_{79}\text{Au} \rightarrow {}^{X}_{Y}\text{W} + {}^{0}_{-1}\beta + {}^{0}_{0}\upsilon$, na qual W representa um elemento a ser determinado.

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

MODERNA

a) Determine X e Y na equação.

b) Identifique o elemento representado por W. Para isso, consulte a tabela periódica.

9. Energia de repouso de uma partícula é a energia que a partícula tem pelo simples fato de ter massa ($E_{repouso} = m \cdot c^2$), sendo c a velocidade de propagação da luz no vácuo.

A energia de repouso de um elétron vale $E_0 = 0{,}5$ MeV ($1\ \text{MeV} = 1{,}6 \cdot 10^{-13}$ J). Quando um elétron colide frontalmente com sua antipartícula, o pósitron, ocorre a aniquilação do par elétron-pósitron e a produção de um par de fótons, cada um com energia E_0.

a) Por que se forma um par de fótons, tendo cada um energia $2E_0$, e não apenas um fóton com energia $2E_0$, uma vez que haveria conservação da energia do sistema?

b) Determine a frequência da radiação correspondente aos fótons gerados nessa aniquilação e identifique-a no espectro eletromagnético. (Adote: $h = 4{,}0 \cdot 10^{-15}$ eV · s).

7. Forças fundamentais da natureza

A palavra **átomo** significa **não divisível**. Entretanto, vimos que os experimentos do início do século XX mostraram que os átomos são formados por partículas menores, prótons, elétrons e nêutrons, também consideradas indivisíveis até 1932, quando então foi detectado o decaimento, ou desintegração, do nêutron:

$$n^0 \rightarrow p^+ + e^- + \tilde{\nu}.$$

Atualmente, sabe-se que o próton também é uma partícula composta. O elétron, pelo menos até este momento, é considerado uma partícula elementar, isto é, indivisível.

Nos anos seguintes a essas descobertas, muitas outras partículas foram detectadas em experimentos envolvendo colisões entre partículas de altíssima energia.

Em geral, os fenômenos naturais mais relevantes são descritos por meio de interações mútuas das partículas que constituem a matéria. Atualmente, são reconhecidas quatro forças ou interações fundamentais na natureza: a interação **gravitacional**, a interação **eletromagnética**, a interação **nuclear fraca** e a interação **nuclear forte**.

A interação **gravitacional**, presente em todas as interações da matéria, é estudada desde os tempos de Aristóteles. Das quatro interações fundamentais, ela é a menos intensa, embora seu alcance seja infinito. Todas as partículas massivas do Universo estão sujeitas a essa interação.

A interação **eletromagnética**, responsável pela atração ou repulsão entre partículas dotadas de carga elétrica, explica a estabilidade dos átomos e das moléculas e é cerca de 10^{36} vezes mais intensa que a força gravitacional. Seu raio de atuação vai de 10^{-15} m, dimensões do núcleo atômico, até o infinito.

Mas por que os prótons no núcleo atômico **não se separam**, já que são partículas com cargas elétricas de mesmo sinal? Sim, há repulsão elétrica entre eles. Porém, a **interação nuclear forte**, que é uma força exclusivamente **atrativa** e pelo menos 20 vezes mais intensa que a eletromagnética, os mantém unidos entre si e aos nêutrons, garantindo assim a estabilidade do núcleo. Entretanto, o campo de atuação da força nuclear forte limita-se ao interior do núcleo atômico ($\lesssim 10^{-15}$ m). Para além dessa distância, predomina a força eletromagnética.

A **interação nuclear fraca** tem raio de ação pequeno e somente participa dos processos de decaimento de certos núcleos instáveis, emissores de partículas β. Embora de curto alcance, ela chega a ser 10^{29} vezes mais intensa que a força gravitacional.

A tabela a seguir mostra essas relações entre as quatro interações.

Tabela 2 Interações fundamentais da natureza

Interação (força)	Intensidade relativa*	Alcance
Gravitacional	10^{-36}	Longo ($0 < d < \infty$)
Fraca	10^{-7}	Curto ($d \lesssim 10^{-18} m$)
Eletromagnética	1	Longo ($0 < d < \infty$)
Forte	20	Curto ($d \sim 10^{-15}$m)

Valores aproximados. Os valores exatos dependem das partículas que interagem e da distância entre elas.

Fonte: <http://www.if.ufrgs.br/tex/fis01043/20032/Humberto/>. Acesso em: 30 jun. 2020.

Veja comentários sobre essa atividade no Suplemento do Professor.

Atividade em grupo

É realmente notável que possamos resumir todas as variedades de forças que encontramos na natureza a simplesmente quatro tipos.

Reúnam-se em grupos e pesquisem sobre as quatro forças fundamentais, discutindo a natureza de forças como a força peso, a força do campo elétrico, a força de atrito entre superfícies sólidas, a reação normal de um apoio, a força de tração em um fio, as forças intermoleculares e as forças responsáveis pela emissão de partículas β e aquelas que mantêm a coesão do núcleo. Pesquisem em enciclopédias, em *sites* ou em publicações científicas. Com o auxílio do professor, organizem um mapa conceitual com os quatros tipos de forças da natureza, identificando as forças citadas no texto.

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

MODERNA

Registre as respostas em seu caderno. Veja respostas e comentários no Suplemento do Professor.

1. Sobre o efeito fotoelétrico são apresentadas as afirmações a seguir. 1. c

I. Para haver emissão fotoelétrica em uma superfície metálica, basta aumentar a intensidade da radiação incidente, independentemente de sua frequência.

II. Para cada metal, existe uma frequência mínima necessária para que a radiação incidente possa extrair elétrons dele, denominada frequência de corte f_0.

III. A energia necessária para um fóton extrair elétrons de um metal deve ser maior que a função trabalho do metal, que é representada por W.

IV. A frequência de corte f_0 e a função trabalho W são grandezas características do metal.

Podemos dizer que:

a) todas as afirmações estão corretas;
b) todas as afirmações estão incorretas;
c) apenas a afirmação I está incorreta;
d) estão corretas as afirmações II e III;
e) estão corretas as afirmações II e IV.

2. Considere os elementos químicos hipotéticos ${}^{m}_{\alpha}X$, ${}^{n}_{\alpha}Y$, ${}^{m}_{\beta}Z$ e ${}^{m+n}_{\beta}W$, com $m \neq n$ e $\alpha \neq \beta$. 2. e

Analise as afirmações a seguir sobre esses elementos.

I. Os elementos X e Y são isótopos um do outro, por terem o mesmo número atômico α.

II. Os elementos X e Z são isóbaros entre si, por terem o mesmo número de massa m.

III. Os elementos X e Z têm o mesmo número de nêutrons.

IV. O elemento W tem n nêutrons a mais que Z.

Podemos dizer que:

a) todas as afirmações estão corretas;
b) todas as afirmações estão incorretas;
c) estão corretas apenas as afirmações I e II;
d) estão corretas apenas as afirmações I e III;
e) apenas a afirmação III está incorreta.

3. Cientistas anunciaram a descoberta de uma nova partícula que pode ser a peça que faltava para fechar o Modelo Padrão, o quebra-cabeças de equações elementares da Física que descreve a composição e o funcionamento de toda a matéria visível do Universo. Há fortes indícios de que ela seja o bóson de Higgs, a partícula elementar que dá massa a todas as outras [...] cuja existência é prevista teoricamente há [mais de] 50 anos, mas nunca foi provada experimentalmente. 3. b

O Estado de S. Paulo. São Paulo, 5 jul. 2012. Disponível em: <https://www.estadao.com.br/noticias/geral,descoberta-particula-que-explicaria-origem-do-universo,896193>. (Acesso em: 5 ago. 2020.)

Considere as afirmações:

I. O resultado apresentado é definitivo: foi constatada experimentalmente a existência do bóson de Higgs.

II. O bóson de Higgs é a partícula responsável por dar massa a tudo que existe no Universo.

III. A previsão inicial da existência da partícula é da década de 1980.

Pode-se afirmar que:

a) Somente a afirmação I está correta.
b) Somente a afirmação II está correta.
c) Somente as afirmações I e III estão corretas.
d) Somente as afirmações II e III estão corretas.
e) Somente as afirmações I e II estão corretas.

4. O urânio-235 (${}^{235}U$) sofre fissão, originando bário e criptônio, de acordo com a seguinte reação:

${}^{235}_{92}U + {}^{1}_{0}n \rightarrow {}^{140}_{\alpha}Ba + {}^{b}_{36}Kr + 2\,{}^{1}_{0}n$

O símbolo ${}^{1}_{0}n$ representa um nêutron. Para essa reação, determine:

a) o valor de a; **b)** o valor de b.

5. Sobre o gráfico a seguir: 5. c

I. Considere que os comprimentos de onda das radiações eletromagnéticas visíveis (luz) estejam no intervalo $400\ nm < \lambda < 750\ nm$.

II. As retas representam as energias cinéticas máximas de fotoelétrons emitidos por vários metais, em função da frequência da radiação incidente.

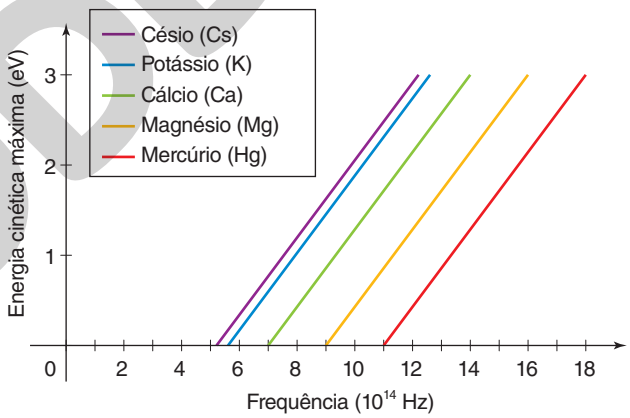


ILUSTRAÇÃO: ADILSON SECCO

(Dados: $h = 4{,}14 \cdot 10^{-15}\ eV \cdot s$ e $h \cdot c = 1.240\ eV \cdot nm$)

Verifique qual das afirmações a seguir está correta.

a) As retas mostradas no gráfico são paralelas, pois esses metais têm funções trabalho de mesmo valor.
b) As retas mostradas no gráfico são paralelas, porque para esses metais as frequências de corte apresentam o mesmo valor.
c) As retas mostradas no gráfico são paralelas, pois o coeficiente angular dessas retas é numericamente igual à constante de Planck (h).
d) Dos metais apresentados no gráfico, o mercúrio (Hg) é aquele para o qual o comprimento de onda de corte tem maior valor.
e) Dos metais apresentados no gráfico, o mercúrio (Hg) é aquele que tem a menor função trabalho.

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

MODERNA

CAPÍTULO 9

A FORMAÇÃO DE NOVAS ESPÉCIES E DOS GRANDES GRUPOS DE SERES VIVOS

ROGER HARRIS/SCIENCE PHOTO LIBRA/GETTY IMAGES

Ao reunir informações de diversos campos de conhecimento, como Física, Química, Geologia, Astronomia e Biologia, os cientistas concluíram que a extinção em massa que aniquilou os dinossauros há cerca de 66 milhões de anos foi causada pela colisão de um grande asteroide com o planeta, episódio retratado nessa imagem.

A Ciência admite que a teoria evolucionista moderna fornece as melhores explicações para a diversidade da vida na Terra. Entretanto, quando o assunto é evolução não há unanimidade, uma vez que entram em jogo aspectos que ultrapassam o âmbito dos fatos naturais e envolvem formação religiosa, moralidade, sentimentos, ética etc. Para muitos cientistas não há conflito entre evolução e religião. O pensamento evolucionista atém-se somente a fatos naturais observáveis e busca na própria natureza explicações para fenômenos como a origem da vida e a grande diversidade de espécies de seres vivos que hoje habita a Terra.

Vamos propor ao leitor três questões sobre Ciência. A primeira é: você acredita que os métodos utilizados pelos cientistas levam, em alguma medida, a compreender as causas e as relações entre os fenômenos da natureza? Segunda questão: em sua opinião, o conhecimento científico tem possibilitado a criação de tecnologias úteis à humanidade? Finalmente, a terceira questão: você acha que o modo científico de pensar e proceder permite fazer previsões acertadas sobre ocorrências naturais?

É possível que você tenha respondido sim a alguma dessas questões. O mundo contemporâneo está repleto de Ciência porque o pensamento científico realmente funciona. Os mesmos pressupostos científicos que norteiam pesquisas sobre o câncer ou que têm permitido grandes avanços tecnológicos na área da informática também são aplicados às investigações que levaram à teoria evolucionista e que continuam a corroborá-la. Em outras palavras, a Ciência que embasa o pensamento evolucionista atual é tão confiável quanto a Ciência que tem levado ao desenvolvimento de milhares de tecnologias úteis à humanidade.

Os conhecimentos científicos, por princípio, nunca são considerados definitivos e sempre podem ser modificados. Se a evidência dos fatos levar os cientistas a duvidar de pressupostos até então considerados válidos, as explicações vigentes devem ser repensadas e modificadas. Isso tem acontecido repetidamente na história da Ciência. Por isso, explicações científicas que são continuamente corroboradas por novas evidências tornam-se cada vez mais confiáveis.

Assim ocorre com a teoria da evolução. Com base em inúmeras evidências, obtidas pela observação de fatos naturais e em experimentos de laboratório, os biólogos explicam que a diversidade da vida resulta de um longo processo de diversificação evolutiva, responsável

De olho na BNCC

- EM13CNT201
- EM13CNT205
- EM13CNT208
- EM13CNT302
- EM13CHS106

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

CÓPIA

pela formação das diversas espécies de seres vivos, tanto as existentes como as extintas.

Descobertas em diferentes campos da Biologia, entre elas as novas tecnologias de investigação do DNA, têm ajudado a testar algumas explicações evolucionistas. Quando novas descobertas corroboram a ideia de evolução, elas ampliam sua credibilidade e a consolidam.

Neste capítulo estudaremos a origem das diferentes espécies de seres vivos segundo a visão evolucionista. A escala do tempo geológico, quando comparada ao nosso tempo de vida, é quase incompreensível em termos concretos. E é exatamente nesses longuíssimos intervalos de tempo que a evolução opera; mudanças evolutivas podem parecer repentinas, mas quase nunca o são, se levarmos em conta a escala do tempo geológico.

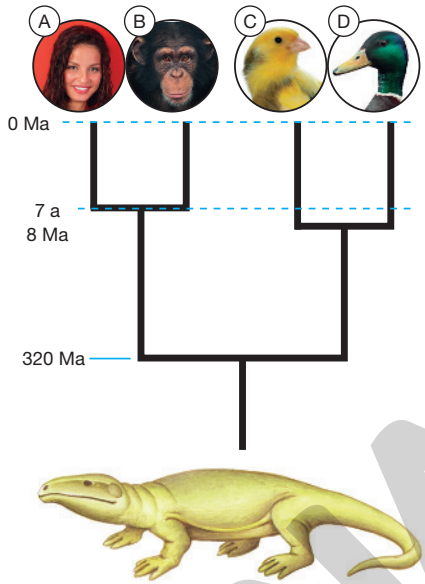
1. O processo evolutivo e a diversificação da vida

Árvores filogenéticas

Ao refletir sobre a origem e a diversificação dos seres vivos, Charles Darwin comparou a história evolutiva da vida à estrutura de uma árvore: o tronco junto às raízes representava os primeiros seres vivos, e os ramos correspondiam às linhagens de organismos que iam surgindo.

De acordo com a teoria evolucionista, o processo de diversificação da vida decorre da adaptação das diferentes espécies aos diversos ambientes do planeta, que estão em constante transformação. Na árvore evolutiva, cada espécie atual é comparável à extremidade de um ramo que chega até a época presente; há também inúmeros ramos mais curtos, que não alcançam o topo da árvore; eles correspondem às espécies que se extinguiram.

As árvores evolutivas, mais apropriadamente denominadas **árvores filogenéticas**, são diagramas ramificados que indicam relações de parentesco evolutivo entre grupos de seres vivos, ou seja, sua **filogenia**. Se escolhermos uma espécie atual e descermos pelo ramo que a originou, chegaremos, depois de muitas e muitas bifurcações, ao tronco primitivo ancestral, representado pelos primeiros seres que habitaram a Terra. As bifurcações ao longo do caminho evolutivo correspondem aos pontos em que novas linhagens se diversificaram. Por exemplo, se descermos o ramo evolutivo de nossa própria espécie, chegaremos a uma bifurcação correspondente ao ancestral que originou, de um lado, os chimpanzés e os bonobos e, de outro, os seres humanos. Acredita-se que essa ramificação da árvore filogenética dos primatas tenha ocorrido entre 7 milhões e 8 milhões de anos atrás. Se descermos ainda mais, atingiremos a ramificação correspondente à diversificação de uma espécie réptil, semelhante a um pequeno lagarto, que teria originado as aves e os mamíferos. Supõe-se que essa bifurcação da árvore da vida tenha ocorrido há cerca de 320 milhões de anos (Fig. 1).



FOTOS: A) PAUL GARNIER RIMOLO/SHUTTERSTOCK; B) ERIC ISSELE/SHUTTERSTOCK; C) XPIXEL/SHUTTERSTOCK; D) AKSENOVA NATALYA/SHUTTERSTOCK; ILUSTRAÇÃO: JURANDIR RIBEIRO

Figura 1 Representação de um trecho da árvore filogenética que relaciona aves (no caso, canários e marrecos) e mamíferos (no caso, seres humanos e chimpanzés). Há cerca de 320 milhões de anos, uma espécie de réptil semelhante a um pequeno lagarto teria originado tanto a linhagem das aves como a dos mamíferos. Esse réptil teria sido o ancestral comum aos dois grupos. (Representação fora de proporção; cores meramente ilustrativas.)

Como a vida se diversifica: anagênese e cladogênese

Como os seres vivos evoluem e se diversificam? Que fatores evolutivos interagem no processo de adaptação e evolução das espécies?

Uma população de seres vivos, independentemente da espécie à qual pertença, é constituída por um grupo de indivíduos que explora o ambiente e se perpetua por meio da reprodução. De acordo com a teoria evolucionista, entre os indivíduos de uma população biológica sempre há pequenas diferenças genéticas, que se traduzem em características morfológicas, bioquímicas e comportamentais. Algumas dessas diferenças favorecem melhor adaptação em determinado contexto e situação ambiental. Assim, por meio da seleção natural, indivíduos dotados das características mais adaptativas tendem a aumentar sua frequência na população, a qual se adapta, como um todo, cada vez melhor à situação ambiental vigente.

A seleção natural atua sobre a variedade genética dos indivíduos, favorecendo alguns deles. Em outras palavras, no processo adaptativo as características dos indivíduos de uma população modificam-se gradativamente ao longo do tempo, de modo que a população torna-se cada vez mais distinta da original. Essa transformação evolutiva de uma linhagem de seres vivos ao longo do tempo é denominada **anagênese** (do grego *ana*, "movimento de baixo para cima", e *genesis*, "origem"), sendo também chamada de evolução filética.

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

MODERNA

Em determinados estágios da evolução de uma espécie, grupos populacionais podem se isolar uns dos outros e se adaptar às condições existentes nas regiões em que se isolaram. Cada grupo vai progressivamente se diferenciando do grupo ancestral, até que as diferenças levam as populações isoladas a serem incapazes de se cruzar, mesmo se forem reunidas: nesse ponto elas passam a constituir duas novas espécies. O evento evolutivo em que duas populações se isolam e se diferenciam em duas novas espécies é denominado **cladogênese** (do grego *klados*, "ramo", e *genesis*, "origem") (Fig. 2).

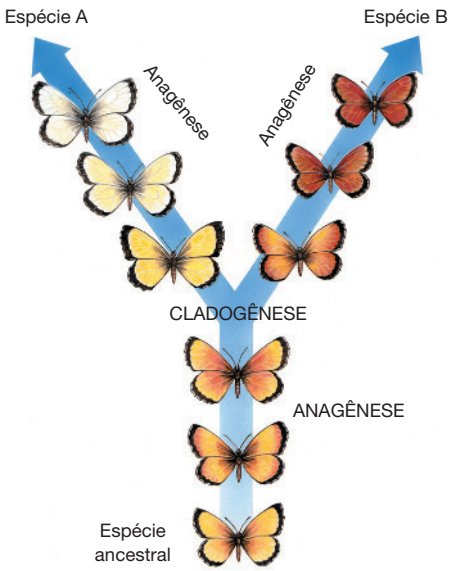


ILUSTRAÇÃO: JURANDIR RIBEIRO

Figura 2 Representação esquemática dos processos evolutivos de anagênese e de cladogênese. (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 formação de novas espécies, ou especiação

O termo "espécie" vem do latim *species* e significa "tipo", "qualidade". Na linguagem cotidiana espécie designa tanto organismos vivos como coisas não vivas. No século XVIII o botânico sueco Carl Von Linné, ou Lineu (1707-1778), empregou pioneiramente o termo "espécie" para designar um conjunto de seres vivos em que os indivíduos apresentam semelhanças físicas significativas, com um padrão morfológico comum e típico do grupo.

Em 1942, o zoólogo alemão Ernst Mayr (1904-2005) propôs uma definição de espécie utilizada até hoje, apesar de algumas limitações. Nessa definição, **espécie biológica** é um grupo de populações cujos indivíduos são capazes de cruzar entre si e produzir descendentes férteis em condições naturais, ao mesmo tempo em que estão reprodutivamente isolados de outras espécies.

É importante notar que o aspecto fundamental no conceito de espécie biológica de Mayr não é a morfologia, e sim a possibilidade de haver cruzamento entre organismos de mesma espécie e, concomitantemente, a incapacidade de cruzamento entre seres de espécies diferentes. De acordo com essa definição, indivíduos de uma mesma espécie podem se cruzar e produzir descendência fértil se forem reunidos em condições naturais.

Uma das limitações do conceito de espécie de Mayr é que ele não pode ser aplicado a seres que se reproduzem assexuadamente, como bactérias e vírus, por exemplo. Embora esses seres geralmente apresentem processos de mistura de material genético, neles não há a reprodução sexuada típica dos organismos eucarióticos.

A formação de novas espécies, fenômeno denominado **especiação**, é uma etapa fundamental do processo de evolução e de diversificação da vida. Uma linha de pensamento predominante atualmente sugere que as espécies sempre se originam por meio de cladogênese, processo que geralmente começa com o isolamento territorial de dois grupos populacionais de uma espécie ancestral. Essa separação territorial é denominada **isolamento geográfico**.

O isolamento de duas populações de determinada espécie interrompe o fluxo de genes entre elas, o que permite sua diferenciação gênica. As diferenças entre os ambientes ocupados pelas duas populações isoladas possibilitam que a seleção natural atue de maneira diferente sobre cada uma delas, de modo que a população isolada segue um caminho adaptativo próprio. Com o passar do tempo, dois isolados populacionais podem se tornar tão distintos que a reprodução entre eles não é mais possível ou muito rara, mesmo que o isolamento geográfico deixe de existir. Nesse estágio as populações passam a apresentar o que se denomina **isolamento reprodutivo**, ou seja, elas são incapazes de se reproduzir uma com a outra, passando a constituir duas novas espécies.

O modelo acima descrito admite o isolamento geográfico como fator primordial do processo. Por isso, esse tipo de especiação é chamado de **especiação alopátrica** (do grego *allos*, "outro", "diferente", e do latim *patria*, "lugar de nascimento"). Há cientistas que consideram a existência de um outro tipo de especiação, que poderia ocorrer sem que houvesse previamente um processo de isolamento geográfico; esse tipo de especiação é denominado **especiação simpátrica** (do grego *sin*, "juntos", e do latim *patria*, "local de nascimento") e não será estudado neste livro.

Tipos de isolamento reprodutivo

Em certos casos, os membros de duas espécies não se cruzam porque vivem em hábitats diferentes; fala-se, então, em **isolamento de hábitat**. Esse tipo de isolamento ocorre, por exemplo, entre leões e tigres. Em condições de cativeiro, esses animais podem se cruzar e produzir descendentes, em alguns casos férteis. Isso não ocorre na natureza porque essas duas espécies vivem em hábitats bem distintos: os leões vivem nas savanas e os tigres, nas florestas. A maioria dos híbridos entre leões e tigres é estéril, o que indica que há outros mecanismos de isolamento atuando,

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

MODERNA

além do isolamento de hábitat. Além disso, para que o cruzamento em cativeiro ocorra, os animais precisam se adaptar artificialmente à presença um do outro, o que dificilmente ocorreria na natureza (Fig. 3).

Em certos casos, os membros de duas espécies não se cruzam porque seus períodos de reprodução não coincidem. Fala-se, então, em **isolamento sazonal**, ou estacional. Por exemplo, há espécies de aves que habitam a mesma região, mas não acasalam porque seus períodos de reprodução ocorrem em épocas diferentes. Isso também ocorre com certas espécies de plantas, cujas flores amadurecem em épocas diferentes do ano.

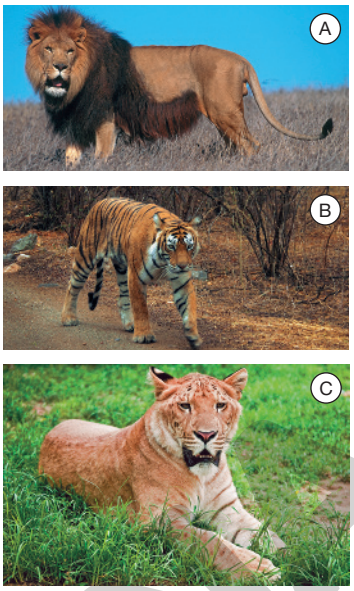
Há casos em que os membros de duas espécies animais não cruzam entre si porque seus comportamentos reprodutivos são diferentes e incompatíveis. Fala-se, nesse caso, em **isolamento etológico**, ou comportamental. A corte nupcial é de fundamental importância na reprodução de diversas espécies animais, nas quais a fêmea só aceita o macho após este executar corretamente um comportamento padronizado, típico da espécie.

Outro tipo de isolamento reprodutivo, denominado **isolamento mecânico**, deve-se à incompatibilidade estrutural entre as espécies. Isso pode ocorrer tanto em animais, quando a diferença entre os órgãos genitais impede a cópula, como em plantas, quando o tubo polínico de uma espécie não consegue se desenvolver em flores de outra espécie.

Há casos em que os membros de duas espécies animais copulam, seus gametas encontram-se e chega a se formar um zigoto, mas o embrião morre prematuramente. Fala-se, então, em **inviabilidade do híbrido**, o que indica divergências genéticas significativas entre as espécies.

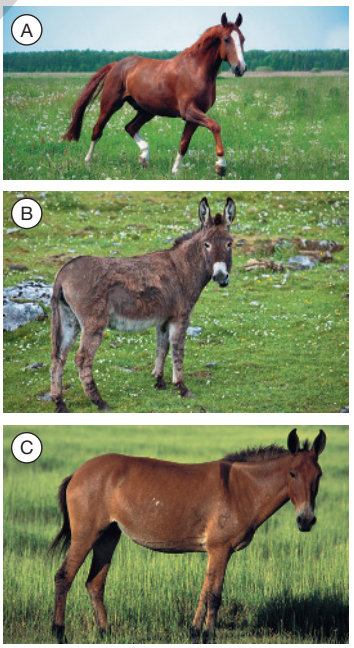
Curiosamente, certos híbridos interespecíficos, embora estéreis, são mais fortes e vigorosos que os membros das espécies parentais. A **esterilidade do híbrido** geralmente ocorre porque as gônadas não se desenvolvem ou porque há anormalidades durante a meiose (Fig. 4).

Geralmente há diversos mecanismos de isolamento atuando simultaneamente entre as espécies. Em princípio, quanto mais tempo se passou desde a diversificação por cladogênese que originou duas espécies, maiores serão as diferenças acumuladas entre elas e, consequentemente, mais eficazes os mecanismos de isolamento. O isolamento reprodutivo mantém cada espécie em sua trajetória evolutiva particular, com um conjunto gênico típico e original.



A) GERARD LACZ IMAGES/SUPERSTOCK/GLOW IMAGES B) GLOWIMAGES/GETTY IMAGES; C) BOAZ ROTTEM/ALAMY/FOTOARENA

Figura 3 Leões e tigres pertencem ao mesmo gênero (*Panthera*) e a espécies distintas, mas podem eventualmente cruzar em cativeiro. (A) O leão (*Panthera leo*) chega a medir cerca de 2,5 m de comprimento. (B) Uma tigresa (*P. tigris*) mede cerca de 2,6 m de comprimento. (C) O ligre, híbrido do cruzamento em cativeiro entre um leão e uma tigresa, geralmente é estéril e pode chegar a 4 m de comprimento.



A) ANASTASIJA POPOVA/SHUTTERSTOCK; B) TIM GRAHAM/GETTY IMAGES; C) MAURICIO SIMONETTI/PULSAR IMAGENS

Figura 4 Um exemplo de isolamento reprodutivo em que o híbrido é estéril ocorre no cruzamento entre a égua (*Equus caballus*, que atinge cerca de 1,8 m de altura) (A) e o jumento (*Equus africanus asinus*, que mede cerca de 1,5 de altura) (B). Desse cruzamento resulta a mula (fêmea) ou o burro (macho) (C), ambos híbridos estéreis (que podem chegar a 1,6 m de altura).

2. A origem dos grandes grupos de seres vivos

O tempo geológico

A história da vida na Terra está inseparavelmente ligada à história geológica do planeta. Ao longo dessa história, eventos geológicos moldaram os ambientes terrestres e ajudaram a definir os rumos da evolução biológica. A expansão dos seres vivos também causou alterações nas condições físicas e químicas do planeta. A atmosfera atual de nosso planeta, por exemplo, com cerca de 21% do volume em gás oxigênio (O_2), deve esse alto percentual ao aparecimento e à proliferação dos seres fotossintetizantes, que liberam O_2 no processo de fotossíntese.

Os cientistas denominam **tempo geológico** o intervalo que vai desde a origem da Terra até os dias de hoje. O tempo geológico é dividido em unidades temporais hierárquicas, estabelecidas com base em eventos geológicos e/ou biológicos marcantes ocorridos na história do planeta. Em ordem hierárquica decrescente, essas unidades são denominadas: éons, eras, períodos, épocas e idades. Éon é o intervalo mais abrangente do tempo geológico, e idade, o intervalo mais restrito (Tab. 1).

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

MODERNA

Tabela 1 Algumas divisões do tempo geológico					
Éon	**Era**	**Período e subperíodo**	**Época**	**Duração (milhões de anos atrás – Ma)**	**Eventos biológicos marcantes**
Fanerozoico	Cenozoica	Quaternário	Holoceno	0 a 0,0117	Extinção em massa dos grandes mamíferos e de muitas aves, que teria ocorrido há cerca de 10 mil anos, concomitantemente à grande evolução cultural da civilização humana. Declínio das grandes florestas e considerável extinção de espécies, sobretudo em decorrência da atividade humana (antrópica).
			Pleistoceno	0,0117 a 2,588	Expansão dos mamíferos de grande porte; aparecimento da espécie humana moderna (*Homo sapiens sapiens*) e sua dispersão pelo planeta; extinção dos neandertalenses (*Homo sapiens neanderthalensis*).
		Neogeno	Plioceno	2,588 a 5,333	Grande intercâmbio americano de fauna proporcionado pelo aparecimento do Istmo do Panamá. Expansão dos hominídeos.
			Mioceno	5,333 a 23,03	Fauna semelhante à atual. Expansão dos campos e diminuição das florestas.
		Paleogeno	Oligoceno	23,03 a 33,9	Expansão das gramíneas. Aparecimento dos macacos antropoides e de muitas famílias de plantas modernas.
			Eoceno	33,9 a 56,0	Aparecimento das ordens modernas de mamíferos. Expansão das aves e das florestas temperadas de angiospermas decíduas.
			Paleoceno	56,0 a 66,0	Diversificação de mamíferos arcaicos e grande aumento da vegetação; aparecimento de mamíferos de grande porte e dos primeiros primatas (prossímios).
	Mesozoica	Cretáceo		66,0 a 145,0 ± 0,8	Abundância de répteis arcossauros. Pequena diversificação de mamíferos placentários e marsupiais. Aparecimento das angiospermas. O final do período é marcado pela quinta grande extinção, com desaparecimento de cerca de 75% das espécies, inclusive de todos os dinossauros.
		Jurássico		145,0 ± 0,8 a 201,3 ± 0,2	Abundância de répteis arcossauros; abundância de gimnospermas; aparecimento das aves. Surgimento dos mamíferos placentários e marsupiais.
		Triássico		201,3 ± 0,2 a 252,2 ± 0,5	Aparecimento dos répteis arcossauros (dinossauros, pterossauros, ictiossauros e plesiossauros), dos primeiros mamíferos, das tartarugas e crocodilos e de gimnospermas dos grupos das cicas e dos gincos. O final do período é marcado pela quarta grande extinção, com desaparecimento de cerca de 70% a 75% das espécies.

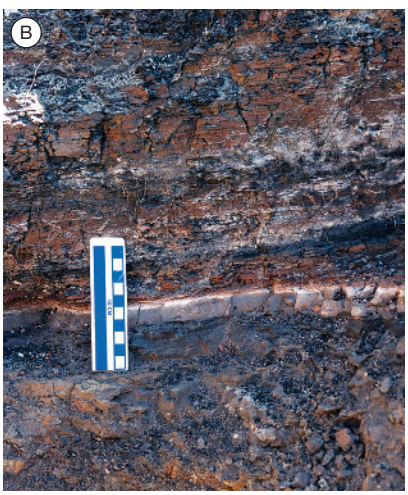
Tabela 1 Exemplos de algumas divisões do tempo geológico, com sua duração aproximada e alguns eventos biológicos marcantes de cada divisão. Sugerimos executar a *Atividade em grupo* da próxima página, cujo objetivo é elaborar a parte da tabela correspondente a períodos anteriores aos mencionados.

Fonte: adaptada de REECE, J. B. *et al. Biologia de Campbell*. 10. ed. Porto Alegre: Artmed, 2015.

As divisões do tempo geológico são definidas em função de mudanças na composição das camadas rochosas da crosta terrestre, que podem indicar a ocorrência de eventos geológicos ou paleontológicos marcantes; entre esses últimos estão o surgimento de novas espécies de seres vivos ou as extinções em massa ocorridas em determinadas épocas. Por exemplo, o limite entre os éons Proterozoico e Fanerozoico, em torno de 541 milhões de anos atrás (Ma), é marcado pelo aparecimento de fósseis de animais cujos esqueletos são formados por componentes mineralizados. O limite entre os períodos Cretáceo e Paleogeno, por sua vez, é marcado por um evento de extinção em massa ocorrido por volta de 66 Ma, quando desapareceram, além dos dinossauros, muitos outros grupos de seres vivos.

Em 1980 um grupo de pesquisadores liderado pelo geólogo estadunidense Walter Alvarez (1940-) descobriu uma camada de rocha que teria se formado no limite entre os períodos Cretáceo e Paleogeno. Essa camada continha grande quantidade de irídio, metal raro em nosso planeta, mas abundante em asteroides e cometas. Esse e outros achados relacionados sugerem que a extinção em massa ocorrida há 66 Ma teria sido desencadeada pela colisão de um grande corpo celeste com a Terra. O impacto teria levado à liberação do irídio encontrado na camada rochosa (Fig. 5).

PATRICIA CARDOSO DIAS/SHUTTERSTOCK



FRANCOIS GOHIER/ARDEA/AGB PHOTO LIBRARY

Figura 5 (A) Sucessão de camadas de rochas sedimentares expostas no Grand Canyon (Arizona, Estados Unidos, 2020). Os diferentes estratos ali presentes podem ser distinguidos pela cor, pela textura, pela composição química, pelos tipos de fósseis e mesmo pelo odor. (B) Corte de uma rocha sedimentar no estado do Wyoming (Estados Unidos, 2005) evidenciando uma camada clara com alta concentração de irídio, cuja origem é atribuída à desintegração de um corpo celeste que se chocou com a Terra há 66 milhões de anos, causando a grande onda de extinção do final do Cretáceo, que teria levado ao desaparecimento dos dinossauros.

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

EM RODEIRA

Aplicando conhecimentos

Registre as respostas em seu caderno.

1. 1. d Considere as informações a seguir sobre algumas ocorrências referentes ao processo de especiação. Qual é a alternativa que as ordena na sequência de formação de duas novas espécies a partir de uma população ancestral?

I. Populações que se cruzam livremente.
II. Acúmulo de diferenças genéticas entre as populações.
III. Estabelecimento de isolamento reprodutivo entre as populações.
IV. Aparecimento de barreira geográfica entre as populações.

a) I → II → III → IV
b) I → II → IV → III
c) I → III → II → IV
d) I → IV → II → III

2. 2. c "O início da era (■) é marcado por uma 'explosão' de aparecimento de fósseis, o que indica o surgimento de muitas novas linhagens de seres vivos." Qual das alternativas substitui corretamente o espaço entre parênteses na frase anterior?

a) Cenozoica.
b) Mesozoica.
c) Paleozoica.
d) Pré-cambriana.

3. 3. d Considerando evidências científicas, há quanto tempo, aproximadamente, a vida na Terra teria surgido?

a) Há 10 mil anos.
b) Entre 4,5 e 5 milhões de anos atrás.
c) Há 6 milhões de anos.
d) Entre 3,5 e 4 bilhões de anos atrás.

Atividade em grupo

Veja comentários sobre essa atividade no Suplemento do Professor.

Forme um grupo com alguns colegas para elaborar uma tabela de tempos geológicos que complemente a tabela que apresentamos anteriormente. A seguir são fornecidas as informações necessárias para a elaboração dessa tabela, que pode ser divulgada de diferentes formas analógicas ou digitais. (Sugestões de mídias digitais estão disponíveis no início do livro.)

Éons: Fanerozoico (contém a era Paleozoica) e Proterozoico (contém as eras Neoproterozoica, Mesoproterozoica e Paleoproterozoica).

Era Paleozoica: contém os períodos Permiano (252,2 a 298,9 Ma), Carbonífero (298,9 a 358,9 Ma), Devoniano (358,9 a 419,2 Ma), Siluriano (419,2 a 443,4 Ma), Ordoviciano (443,4 a 485,4 Ma) e Cambriano (485,4 a 541,0 Ma).

A Era Neoproterozoica contém o período Ediacarano (541 a 635 Ma). As eras Mesoproterozoica e Paleoproterozoica abrangem de 635 a 2.500 Ma.

Eventos marcantes:

Eras Mesoproterozoica e Paleoproterozoica: Surgimento das células eucarióticas e dos primeiros seres multicelulares. Proliferação dos seres fotossintetizantes com aumento da liberação de gás oxigênio para a atmosfera.

Era Neoproterozoica – Período Ediacarano: Grande diversificação dos seres multicelulares.

Era Paleozoica – Períodos: **Cambriano**: Aparecimento da maioria dos filos existentes atualmente ("explosão cambriana"). **Ordoviciano**: Aparecimento das primeiras plantas de terra firme; final do período marcado pela primeira grande extinção, com desaparecimento de 60% a 70% das espécies. **Siluriano**: Aparecimento das primeiras plantas traqueófitas; aparecimento dos artrópodes e de outros animais de terra firme. **Devoniano**: Expansão das florestas; surgimento dos anfíbios. Diversificação de peixes dotados de mandíbula. O final do período é marcado pela segunda grande extinção, com desaparecimento de cerca de 70% das espécies. **Carbonífero**: Aparecimento dos répteis; expansão das plantas que originaram depósitos de carvão mineral. **Permiano**: Diversificação dos répteis; aparecimento das gimnospermas. O final do período é marcado pela terceira e maior de todas as grandes extinções, com desaparecimento de cerca de 90% a 96% das espécies.

A vida nos mares primitivos

Os cientistas estimam que o aparecimento dos primeiros seres vivos tenha ocorrido há mais de 3,5 bilhões de anos. Entre os seres atuais, talvez os mais parecidos com os primeiros seres vivos sejam as arqueas, seres unicelulares procarióticos do tamanho de bactérias, capazes de viver em ambientes inóspitos, como fontes de água quente, lagos de alta salinidade e pântanos. Acredita-se que esses ambientes apresentem condições semelhantes às da Terra primitiva, onde evoluíram as primeiras formas de vida (Fig. 6).

Calcula-se que a primeira célula eucariótica tenha surgido por volta de 2 bilhões de anos atrás. Há também evidências de que as mitocôndrias, presentes em praticamente todas as células eucarióticas, e os plastos, presentes em células de algas e de plantas, descendem de seres procarióticos que teriam invadido células eucarióticas primitivas e com elas estabelecido relações amistosas de endossimbiose. Essa endossimbiose teria ocorrido há pelo menos 1,5 bilhão de anos.

Outro passo importante na história da vida foi o aparecimento dos seres multicelulares. Na estratégia multicelular, células resultantes da multiplicação de uma célula inicial passaram a viver juntas e a dividir tarefas de sobrevivência.

GAGLIARDI GIOVANNI /REDACO/UNIVERSAL IMAGES GROUP/GETTY IMAGES

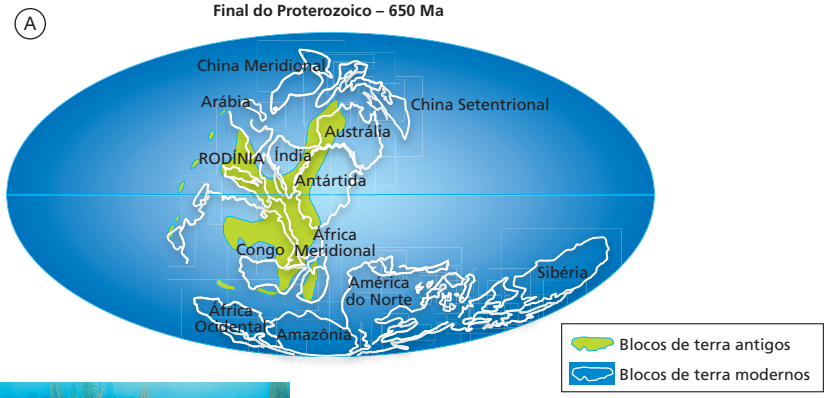
Figura 6 Lago de água quente no Parque Nacional de Yellowstone (Estados Unidos, 2019). Nesse ambiente vivem arqueas termófilas, em condições possivelmente similares às existentes há bilhões de anos na Terra primitiva, quando surgiu a vida em nosso planeta.

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

MANUAL DO PROFESSOR

A evolução teria levado ao surgimento de organismos com células cada vez mais especializadas no desempenho de funções diversas, com o aparecimento de tecidos e órgãos dos seres multicelulares.

Os primeiros fósseis de algas filamentosas multicelulares foram encontrados em rochas com cerca de 1 bilhão de anos. Os mais antigos fósseis de animais invertebrados de corpo mole, alguns semelhantes a águas-vivas e a certos vermes marinhos atuais, datam de cerca de 600 Ma. Supõe-se que nessa época havia na Terra um único continente, a Rodínia (do russo *ródina*, que significa "terra-mãe"), que reunia a maior parte da terra firme do planeta (Fig. 7).



ANDERSON DE ANDRADE PIMENTEL

CHASE STUDIO/SCIENCE SOURCE/FOTOARENA

Figura 7 (A) Mapa-múndi de 650 Ma mostrando o continente Rodínia e sua relação com as áreas que formam os continentes atuais. (B) Representação artística de seres vivos do período Ediacarano.

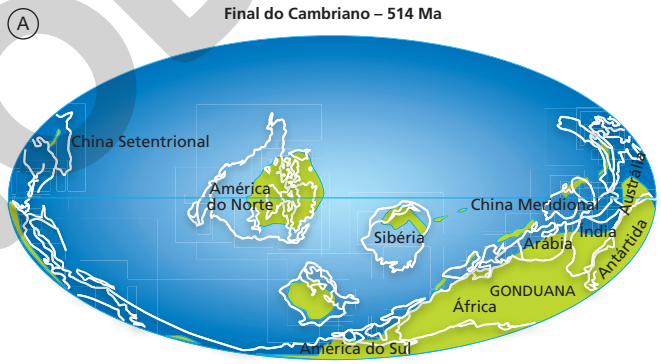
Fonte: mapa adaptado de REECE, J. B. *et al. Biologia de Campbell*. 10. ed. Porto Alegre: Artmed, 2015.

A "explosão" de vida no período Cambriano

Há evidências de que nos períodos que antecederam o Cambriano ocorreu uma elevação da temperatura atmosférica e dos mares, o que supostamente teria tornado o ambiente mais favorável à vida, propiciando grande diversificação dos seres existentes. A rapidez e a intensidade com que surgiram os principais grupos de animais, por volta de 530 Ma, levaram os estudiosos a denominar "explosão cambriana" a grande diversificação da vida ocorrida nesse período geológico.

O documentário fóssil do período Cambriano revela que os mares eram habitados por muitas espécies de algas multicelulares e por animais invertebrados, entre eles cordados primitivos que teriam originado os vertebrados. Alguns dos animais cambrianos apresentavam semelhanças com animais de hoje e podem ser associados aos filos atuais. Outros, porém, parecem não se relacionar com nenhum dos filos existentes; possivelmente eles se extinguiram sem deixar descendentes que continuassem sua linhagem.

O documentário fóssil mostra que os trilobites, incluídos entre os primeiros artrópodes, constituíram o grupo de animais primitivos mais bem-sucedido no período Cambriano, colonizando amplamente os oceanos durante mais de 270 milhões de anos. Eles teriam surgido pouco antes de 541 Ma (no período Ediacarano) e atingiram sua densidade máxima no início do período Cambriano, que ficou conhecido como a "idade dos trilobites"; esses animais extinguiram-se ao final da Era Paleozoica (Fig. 8).



ANDERSON DE ANDRADE PIMENTEL

CHRISTIAN JEGOU PUBLIPHOTO/SCIENCE PHOTO LIBRARY/FOTOARENA

Figura 8 (A) Mapa-múndi de 514 Ma mostrando os continentes primitivos originados pela fragmentação de Rodínia e sua relação com as áreas que formam os continentes atuais. (B) Representação artística de animais do período Cambriano.

Fonte: mapa adaptado de REECE, J. B. *et al. Biologia de Campbell*. 10. ed. Porto Alegre: Artmed, 2015.

Veja comentários sobre essa atividade no Suplemento do Professor.

Dialogando com o texto

A extinção relativamente rápida dos dinossauros, que se acredita ter ocorrido há cerca de 66 milhões, marcou o fim do domínio dos grandes répteis e possibilitou o aparecimento e a evolução de inúmeras espécies, principalmente de mamíferos e de angiospermas. As formas e as dimensões inacreditáveis dos dinossauros, que têm sido objeto de exposições em museus e filmagens, remetem a um passado em que ainda estávamos longe de existir. O desafio desta atividade é pesquisar o que a Ciência sabe sobre o desaparecimento dos dinossauros. Pesquise, em fontes confiáveis, termos como Chicxalub, intervalo K-Pg e a presença de irídio em certas camadas rochosas. O desafio é utilizar todas as informações para recriar em um texto, no estilo de sua preferência (jornalístico, romanceado etc.), os acontecimentos ligados à extinção dos dinossauros e de outros grupos de seres vivos. Converse com o professor sobre a possibilidade de cada grupo apresentar seu texto, que pode ser ilustrado por fotos de fósseis e reconstruções de dinossauros. (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.

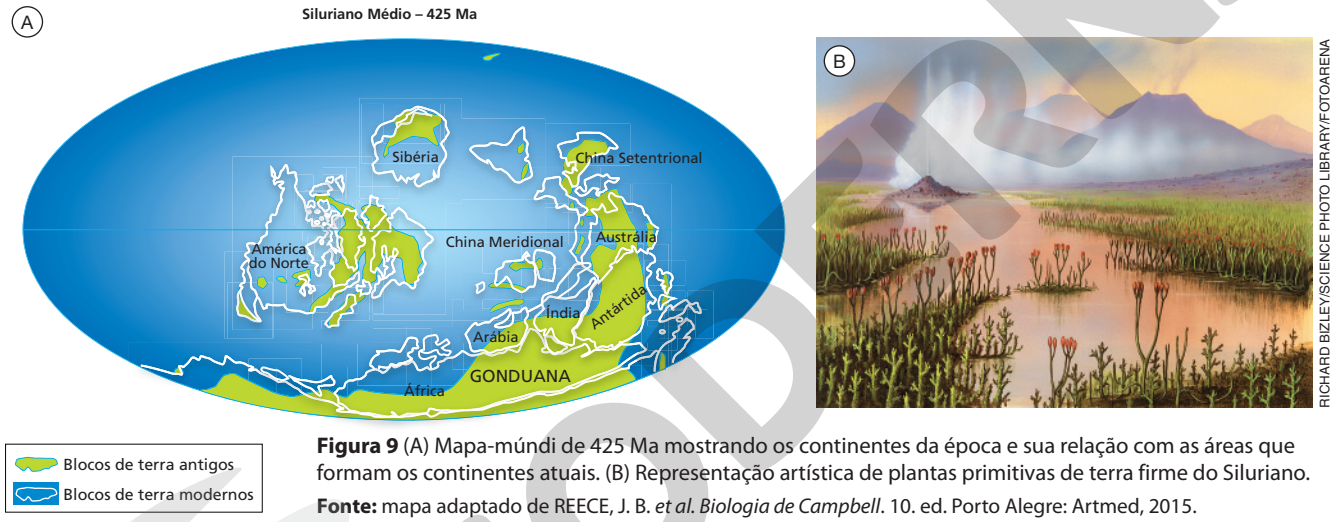
EM MODERNA

O documentário fóssil mostra que até o período Ordoviciano a vida estava restrita ao ambiente aquático. Antes disso é possível que houvesse bactérias e algas vivendo em barrancos nas margens de lagos e rios, mas as plantas primitivas parecem ter surgido por volta de 470 Ma, a partir de um grupo de algas verdes multicelulares dotadas de adaptações que permitiram sobreviver fora da água.

Alguns pesquisadores, com base em técnicas de datação molecular e comparações genéticas entre espécies atuais, defendem a ideia de que os primeiros habitantes de terra firme foram espécies de fungos que viveram há cerca de 1,3 bilhão de anos. Esses fungos teriam se associado a algas ou a bactérias fotossintetizantes originando os **liquens**, que se dispersaram pelos continentes. As plantas de terra firme teriam surgido bem antes do que revelam seus fósseis, talvez por volta de 700 Ma.

As primeiras plantas de terra firme só se diversificaram em grande escala após a onda de extinções em massa que marcou a passagem do período Ordoviciano para o Siluriano, por volta de 443 Ma. Essa foi a primeira das cinco grandes ondas de extinções na história da Terra e a segunda em dimensão, com desaparecimento de 60% a 70% de todas as espécies viventes. Suas causas ainda são desconhecidas, mas sabe-se que, durante o evento, houve grandes glaciações e formação de extensas geleiras, com drástica redução do nível dos oceanos.

No início do período Siluriano passou a ocorrer grande diversificação de plantas de terra firme e de animais aquáticos, remanescentes da extinção em massa ordovício-siluriana (Fig. 9).



ANDERSON DE ANDRADE PIMENTEL

RICHARD BIZLEY/SCIENCE PHOTO LIBRARY/FOTOARENA

Figura 9 (A) Mapa-múndi de 425 Ma mostrando os continentes da época e sua relação com as áreas que formam os continentes atuais. (B) Representação artística de plantas primitivas de terra firme do Siluriano.

Fonte: mapa adaptado de REECE, J. B. *et al. Biologia de Campbell*. 10. ed. Porto Alegre: Artmed, 2015.

Acredita-se que a colonização da terra firme pelas plantas abriu caminho para a instalação de alguns animais vindos do ambiente aquático. Foram as plantas que forneceram a esses organismos abrigo e alimento. Tudo indica que os primeiros animais a conquistar o ambiente de terra firme foram artrópodes. O mais antigo fóssil conhecido de animal de terra firme é de *Pneumodesmus newmani*, que teria vivido por volta de 428 Ma (Fig. 10).

ANDREW NEWTON/STONEHAVEN TOLBOOTH HISTORY MUSEUM – ABERDEENSHIRE, UK

Figura 10 Reconstrução artística do *Pneumodesmus newmani*, um dos primeiros artrópodes de terra firme, que media cerca de 1 cm de comprimento.

A expansão da vegetação

No período Siluriano surgiram as primeiras plantas dotadas de vasos condutores de seiva: as **traqueófitas**. Essa aquisição evolutiva – vasos condutores – permitiu às plantas atingir tamanhos maiores, formando as primeiras matas, possivelmente às margens de regiões alagadas.

Ao longo do período Devoniano surgiram as primeiras plantas com sementes: as **espermatófitas**. Essa inovação evolutiva – a semente – foi o passo decisivo para a conquista definitiva do ambiente de terra firme pelas plantas, que se tornaram independentes da água líquida para a reprodução.

No período Carbonífero havia grandes florestas cobrindo os continentes, com microambientes úmidos e protegidos, favoráveis à vida de insetos e de anfíbios. No período Permiano surgiram as primeiras **gimnospermas**, que já

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

MODERNA

apresentavam sementes bem diferenciadas. Ainda no período Cretáceo surgiram as **angiospermas**, plantas dotadas de sementes protegidas no interior de frutos, e não expostas (sementes nuas) como nas gimnospermas (Fig. 11).

SHEILA TERRY/SCIENCE PHOTO LIBRARY/FOTOARENA

Figura 11 Representação artística de uma floresta do período Carbonífero, elaborada com base em evidências fósseis.

A origem dos tetrápodes

Acredita-se que um grupo de peixes denominados sarcopterígios tenham originado os animais dotados de quatro pernas, os **tetrápodes** (do grego *tetra*, "quatro", e *podos*, "pés", "pernas"), grupo ao qual pertencem anfíbios, répteis, aves e mamíferos. A maioria das espécies de sarcopterígios se extinguiu, mas uma única espécie, *Latimeria chalumnae*, o celacanto, sobrevive até hoje. Os cientistas consideram o celacanto um relicto, termo que se aplica a organismos que mantêm características muito semelhantes às de seus ancestrais fossilizados, como se fossem "fósseis vivos" (Fig. 12).

GERARD LACZ IMAGES/SUPERSTOCK/GLOW IMAGES

ILUSTRAÇÕES: CECÍLIA IWASHITA

Figura 12 (A) Fotografia do peixe sarcopterígio *Latimeria chalumnae*, considerado um relicto, ou seja, um "fóssil vivo", que pode chegar a 2 m de comprimento. (B) Representação esquemática de um sarcopterígio, cujas nadadeiras com estrutura óssea teriam originado as pernas dos anfíbios primitivos, os primeiros animais tetrápodes. (Representação fora de proporção; cores meramente ilustrativas.)

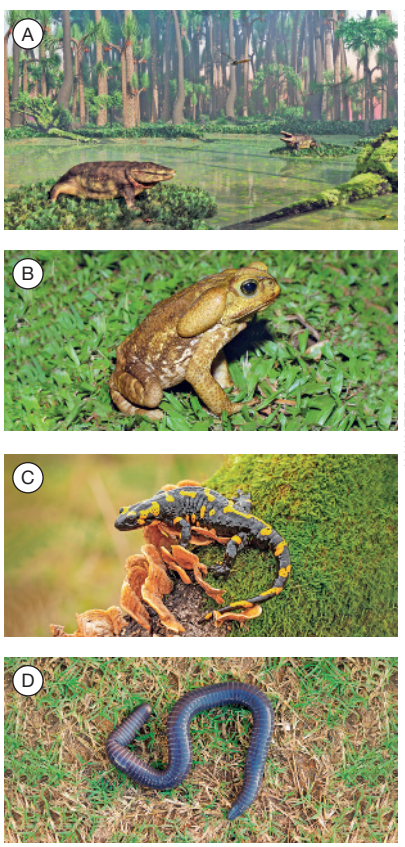
Fonte: adaptada de POUGH, F. H.; JANIS, C. M.; HEISER, J. B. *A vida dos vertebrados*. 4. ed. São Paulo: Atheneu, 2008.

Origem dos anfíbios

Os primeiros anfíbios teriam surgido no período Devoniano, a partir de uma linhagem de sarcopterígios. Os anfíbios foram os primeiros vertebrados a habitar a terra firme, embora não a tenham conquistado totalmente. Isso porque a fecundação dos anfíbios geralmente ocorre na água e o zigoto se desenvolve em uma forma larval aquática, que respira por meio de brânquias.

Os anfíbios foram os animais dominantes em terra firme desde o final do período Carbonífero até o início do período Permiano. Esse período ficou conhecido como "idade dos anfíbios". Algumas espécies chegavam a atingir 9 metros de comprimento e eram predadores vorazes. O declínio dos anfíbios ocorreu no período Permiano, sendo atribuído principalmente a mudanças climáticas globais, que causaram aridez na maior parte dos ambientes de terra firme.

Apenas um grupo de anfíbios teria sobrevivido à extinção e originado as três ordens atuais do grupo: Anura (rãs, sapos e pererecas), Caudata, ou Urodela (salamandras), e Gymnophiona, ou Apoda (cobras-cegas ou cecílias) (Fig. 13).



A) WALTER MYERS/SCIENCE PHOTO LIBRARY/FOTOARENA; B) MINDEN/FOTOARENA; C) WILDMEDIA/SHUTTERSTOCK; D) FABIO COLOMBINI

Figura 13 (A) Representação artística de um possível cenário do período Carbonífero. (B) Sapo da espécie *Bufo marinus*, que mede até 15 cm de comprimento, da ordem Anura. (C) Salamandra-de-fogo da família Salamandridae, com cerca de 15 cm de comprimento, representante da ordem Urodela. (D) Cobra-cega da espécie *Siphonops annulatus*, que pode atingir 45 cm de comprimento, representante da ordem Apoda.

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

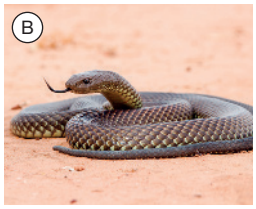
EM MODELO

Origem dos répteis

Acredita-se que a conquista definitiva do ambiente de terra firme pelos animais deveu-se a uma importante novidade evolutiva dos répteis – o ovo amniótico – adaptado ao desenvolvimento em terra firme. Os répteis desenvolveram anexos embrionários (âmnio, saco vitelínico, alantoide e cório), estruturas externas ao embrião que permitem seu desenvolvimento em terra firme.

Os primeiros répteis surgiram provavelmente no período Carbonífero, a partir de uma linhagem de anfíbios. Eram animais pequenos e desempenhavam um papel discreto na fauna, então dominada pelos grandes anfíbios. Entretanto, uma linhagem de répteis que surgiu no final do Permiano ou no início do Triássico teria dado origem a quatro grupos principais: os dinossauros, que ocuparam os ambientes de terra firme; os pterossauros, que dominaram os ares; os ictiossauros e os plesiossauros, que viveram nos mares do Mesozoico. Pelo predomínio desses répteis, a Era Mesozoica ficou conhecida como a "idade dos répteis".

O domínio dos répteis terminou por volta de 66 Ma, quando desapareceram 75% das espécies viventes, entre elas os dinossauros. Os principais grupos de répteis que sobreviveram foram o das tartarugas, o dos crocodilos e o dos lagartos e das serpentes (Fig. 14).



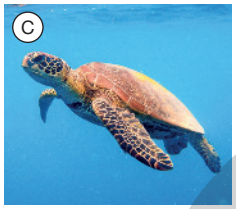


Figura 14 (A) Representação artística que mostra dinossauros da família Gallimimus sendo perseguidos por um *Tyrannosaurus rex* (ordem Saurischia), que chegava a medir 6 m de altura. (B) Serpente *Pseudechis australis*, que mede cerca de 2 metros de comprimento (ordem Squamata). (C) Tartaruga-verde, *Chelonia mydas* (ordem Chelonia), que mede até 120 cm de comprimento. (D) Crocodilo-do-Nilo, *Crocodylus niloticus* (ordem Crocodilia), que ultrapassa 4 m de comprimento. (E) Lagarto-de-colar, *Crotaphytus collaris* (ordem Squamata), com cerca de 25 cm de comprimento.

A) LEONELLO CALVETTI/SCIENCE PHOTO LIBRARY/FOTOARENA; B) KEN GRIFFITHS/SHUTTERSTOCK; C) SEARSIE/E+/GETTY IMAGES; D) MANOJ SHAH/STONE/GETTY IMAGES; E) MILAN ZYGMUNT/SHUTTERSTOCK

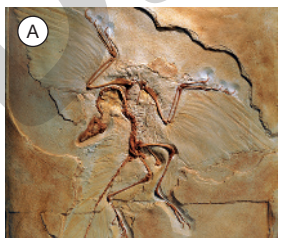
Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Origem das aves

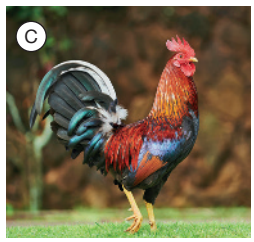
Acredita-se que as aves tenham surgido no período Jurássico a partir de uma linhagem de dinossauros, sendo consideradas por alguns cientistas como remanescentes vivos desses animais. Muitos especialistas consideram as aves e os répteis essencialmente semelhantes e acham que eles deveriam ser incluídos na mesma categoria taxonômica.

A presença de penas não é, como antes se pensava, um caráter exclusivo de aves. Novas descobertas paleontológicas têm revelado que diversas linhagens de répteis apresentavam penas, como mostrou a descoberta do fóssil de *Archaeopteryx lithographica*, que teria vivido no final do período Jurássico, por volta de 150 Ma. Apesar do sucesso causado pela descoberta do primeiro fóssil de arqueópterix no século XIX, atualmente ele não é considerado um ancestral direto das aves. Nos últimos anos, a descoberta de vários fósseis de dinossauros dotados de penas, principalmente na China, aumenta a controvérsia sobre o grupo ancestral das aves.

No final do período Cretáceo, as aves já apresentavam muitas de suas características atuais. Após a última grande onda de extinção em massa, as aves se diversificaram e passaram a explorar com sucesso ambientes aéreos, de terra firme e aquáticos. Há pelo menos 25 grupos (ordens) de aves, entre os quais se destacam os pássaros, os galináceos e os avestruzes, apenas para citar alguns dos representantes mais conhecidos (Fig. 15).



CHRIS HELLIER/SCIENCE PHOTO LIBRARY/FOTOARENA



IMAGEBROKER/DAVID MICHA SHELDON/GETTY IMAGES

FABIO COLOMBINI

SERGEI25/SHUTTERSTOCK

Figura 15 (A) Fóssil de *Archaeopteryx lithographica* com 150 milhões de anos, encontrado na Alemanha; supõe-se que esse animal podia atingir 1 m de comprimento e 4 kg de massa corporal. (B) Gralha-de-topete, *Cyanocorax cristatellus*, que atinge 35 cm de comprimento. (C) Galo doméstico, *Gallus gallus domesticus*, que pode atingir 80 cm de altura. (D) Avestruz, *Struthio camelus*, com cerca de 2 m de altura, com dois filhotes.

Origem dos mamíferos

Acredita-se que os mamíferos surgiram por volta de 220 Ma a partir de um grupo de répteis. Os primeiros mamíferos eram provavelmente animais de pequeno porte, talvez com menos de 5 cm de comprimento, que se alimentavam principalmente de insetos. Graças a sua boa sensibilidade olfativa e auditiva, os mamíferos primitivos desenvolveram hábitos noturnos, ficando menos expostos à predação por répteis. Os hábitos e os pequenos tamanhos dos mamíferos contribuíram para a seleção de características que conferiam avanços no isolamento corporal (desenvolvimento de pelos) e na endotermia, que é a capacidade de manter estável a temperatura corporal diante das variações da temperatura ambiental.

Atualmente admite-se que a linhagem ancestral de mamíferos originou, em um primeiro momento, os monotremados, grupo de mamíferos ovíparos cujos embriões se desenvolvem dentro de um ovo amniótico, fora do corpo da mãe.

Em seguida teriam surgido os mamíferos marsupiais e os placentários. Nos marsupiais o desenvolvimento embrionário começa no interior do sistema reprodutor feminino, mas os embriões saem precocemente do corpo da mãe e se arrastam para uma bolsa externa formada por uma prega de pele – o marsúpio – que abriga os mamilos da fêmea. Ali os embriões terminam o desenvolvimento, alimentando-se do leite materno.

Nos mamíferos placentários o embrião completa o desenvolvimento no interior do útero materno, recebendo alimento e gás oxigênio e eliminando gás carbônico e excreções por meio da placenta (Fig. 16).

Figura 16 (A) Ornitorrinco (*Ornithorhynchus anatinus*), que mede cerca de 45 cm. (B) Canguru *Macropus fuliginosus*, que atinge cerca 2 metros de comprimento. (C) Cadela (*Canis lupus familiaris*, com cerca de 150 cm de comprimento) cortando o cordão umbilical dos filhotes recém-nascidos.

A grande extinção que teria ocorrido no fim do período Cretáceo e início do Paleoceno, dizimando os animais de grande porte da superfície terrestre, criou condições para a expansão e o sucesso evolutivo dos primitivos mamíferos placentários. No fim do período Oligoceno e início do Mioceno, a fauna de mamíferos placentários era bem semelhante à atual. Se pudéssemos voltar àquela época reconheceríamos cavalos, camelos, veados, antílopes, girafas, ursos, hienas, cães, macacos e elefantes, entre outros mamíferos. Na Austrália, porém, a fauna de mamíferos era composta apenas de monotremados e marsupiais, e na América do Sul evoluía uma fauna de mamíferos placentários semelhantes a tatus e tamanduás atuais, além de outros (Fig. 17).

O clima do Pleistoceno (2,58 Ma-0117 Ma) foi marcado por repetidos ciclos glaciais, com geleiras expandindo-se a partir dos polos e chegando a cobrir 30% da superfície do planeta. A fauna de mamíferos já era essencialmente semelhante à moderna, porém com animais bem maiores que seus parentes atuais. Nesse período teria ocorrido a extinção dos homens de Neandertal, que habitavam a Europa.

Tendo em vista o impacto da espécie humana sobre o planeta, os cientistas propuseram a inclusão de uma nova época na escala geológica, dentro do período Quaternário: o Antropoceno (do grego *anthropos*, "humano", e *kainós*, "novo"). Até 2020 essa proposta ainda não havia sido referendada pela Comissão Internacional de Estratigrafia. Um dos aspectos polêmicos da inclusão dessa nova época envolve a cronologia; alguns sugerem que o Antropoceno tenha começado por volta de 8 mil anos atrás, quando surgiram as atividades agrícolas e as comunidades humanas deixaram de ser nômades e tornaram-se sedentárias; outros propõem que seu início seja a Revolução Industrial do século XVIII, cujos desdobramentos são responsáveis por muitas das mudanças ambientais dos últimos dois séculos.

Figura 17 (A) Representação artística de cenário do período Paleoceno. Nessa época, depois da extinção dos grandes répteis, os mamíferos placentários se diversificaram e se expandiram. (B) Representação artística de cenário do Oligoceno na América do Norte.

REPRODUÇÃO PROIBIDA

Registre as respostas em seu caderno. Veja respostas e comentários no Suplemento do Professor.

1. Duas espécies de mosca do gênero *Drosophila* – *D. pseudobscura* e *D. persimilis* – apresentam um complexo ritual de corte, em que os machos estendem uma das asas vibrando-a para produzir um som característico da sua espécie. Uma fêmea somente cruzará com machos que produzam os sinais corretos, típicos da espécie. Entretanto, nas condições pouco naturais e superpovoadas das caixas de laboratório onde são cultivadas essas moscas, surgem híbridos entre as duas espécies, principalmente se as moscas forem mantidas à temperatura de 16 °C.

a) Considerando as explicações do texto, o que justificaria classificar *D. pseudobscura* e *D. persimilis* como espécies diferentes?

b) Que tipo de isolamento reprodutivo ocorre entre essas duas espécies de drosófila?

2. (Unesp) Três populações de insetos, X, Y e Z, habitantes de uma mesma região e pertencentes a uma mesma espécie, foram isoladas geograficamente. Após vários anos, com o desaparecimento da barreira geográfica, verificou-se que o cruzamento dos indivíduos da população X com os da população Y produzia híbridos estéreis. O cruzamento dos indivíduos da população X com os da população Z produzia descendentes férteis, e o dos indivíduos da população Y com os da população Z não produzia descendentes. A análise desses resultados permite concluir que

2. d

a) X, Y e Z continuaram pertencendo à mesma espécie.

b) X, Y e Z formaram três espécies diferentes.

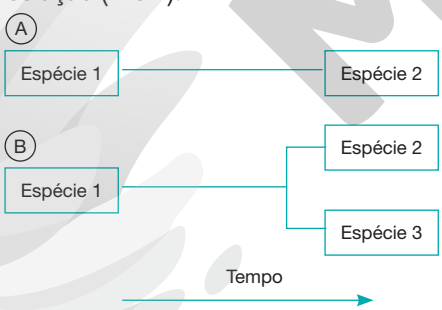
c) X e Z tornaram-se espécies diferentes e Y continuou a pertencer à mesma espécie.

d) X e Z continuaram a pertencer à mesma espécie e Y tornou-se uma espécie diferente.

e) X e Y continuaram a pertencer à mesma espécie e Z tornou-se uma espécie diferente.

3. (UFRGS) O esquema abaixo refere-se a dois modelos de especiação (A e B).

3. e



Considere as afirmações abaixo relacionadas ao esquema.

I. O modelo A representa um exemplo de especiação filética, que pressupõe a ocorrência de isolamento geográfico.

II. O modelo A representa especiação por anagênese, que envolve seleção natural e adaptação a modificações graduais nas condições ambientais.

III. O modelo B representa especiação por cladogênese, que envolve isolamento de populações, adaptação a diferentes ambientes e isolamento reprodutivo.

Quais estão corretas?

a) Apenas I.
b) Apenas II.
c) Apenas III.
d) Apenas I e III.
e) Apenas II e III.

4. (Enem) Pesquisas recentes estimam o seguinte perfil da concentração de oxigênio (O_2) atmosférico ao longo da história evolutiva da Terra:

4. c

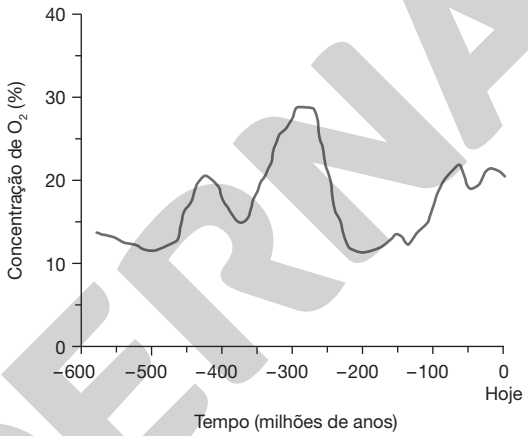


ILUSTRAÇÃO: ADILSON SECCO

No período Carbonífero, entre aproximadamente 350 e 300 milhões de anos, houve uma ampla ocorrência de animais gigantes, como insetos voadores de 45 centímetros e anfíbios de até 2 metros de comprimento. No entanto, grande parte da vida na Terra foi extinta há cerca de 250 milhões de anos, durante o período Permiano. Sabendo-se que o O_2 é um gás extremamente importante para os processos de obtenção de energia em sistemas biológicos, conclui-se que

a) a concentração de nitrogênio atmosférico se manteve constante nos últimos 400 milhões de anos, possibilitando o surgimento de animais gigantes.

b) a produção de energia dos organismos fotossintéticos causou a extinção em massa no período Permiano por aumentar a concentração de oxigênio atmosférico.

c) o surgimento de animais gigantes pode ser explicado pelo aumento de concentração de oxigênio atmosférico, o que possibilitou uma maior absorção de oxigênio por esses animais.

d) o aumento da concentração de gás carbônico (CO_2) atmosférico no período Carbonífero causou mutações que permitiram o aparecimento de animais gigantes.

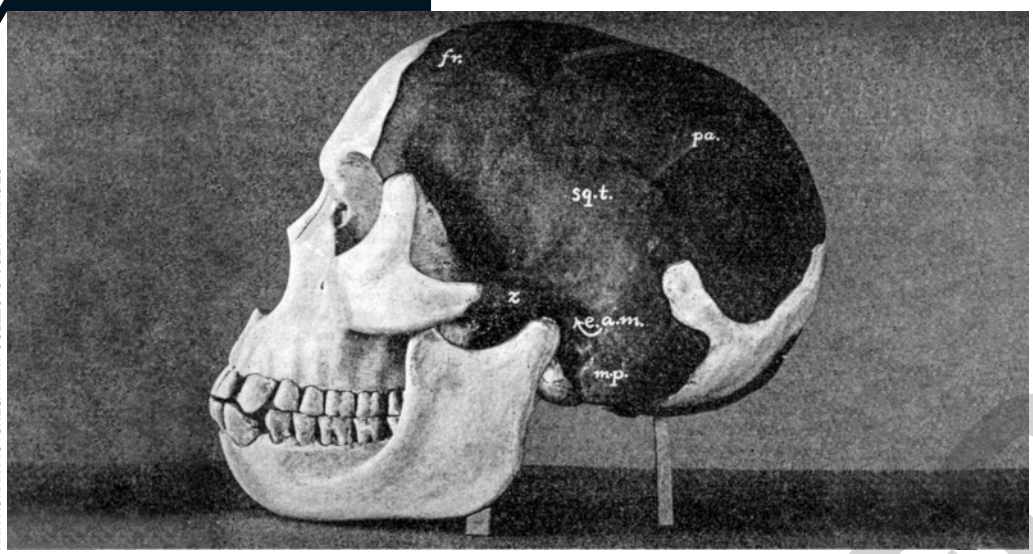
e) a redução da concentração de oxigênio atmosférico no período Permiano permitiu um aumento da biodiversidade terrestre por meio da indução de processos de obtenção de energia.

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

MODERNA

CAPÍTULO 10

A EVOLUÇÃO HUMANA



ANN RONAN PICTURES/PRINT COLLECTOR/GETTY IMAGES

Crânio do homem de Piltdown, considerado uma das maiores fraudes científicas de todos os tempos.

Em 1912 o arqueólogo amador britânico Charles Dawson (1864-1916) e o paleontólogo britânico do Museu de História Natural de Londres Arthur S. Woodward (1864-1944) anunciaram uma descoberta bombástica: um fóssil que parecia ser o elo perdido da evolução humana, reunindo características dos grandes macacos e dos seres humanos. O achado teria ocorrido na região de Piltdown, em Sussex, na Grã-Bretanha, ficando por isso conhecido como o "homem de Piltdown".

Em 1953 o homem de Piltdown, identificado originalmente com o nome científico de *Eoanthropus dawsoni*, passou da condição de elo perdido à de maior fraude científica do século XX. Descobriu-se que o fóssil era totalmente falsificado: o crânio, tipicamente humano, havia sido tratado com ácidos e sulfato de ferro para parecer antigo. Os dentes foram limados para parecerem gastos. A mandíbula, cujo encaixe com o crânio tinha sido estrategicamente quebrado, era de um orangotango asiático. A fraude do homem de Piltdown prejudicou temporariamente as investigações sérias sobre a ancestralidade humana, entre elas a descoberta do *Australopithecus africanus*, em 1924, na África.

Um grupo de pesquisadores do Museu de História Natural britânico, liderado pelo antropólogo britânico Chris Stringer (1947-), tenta entender por que a falsificação levou cerca de 40 anos para ser desmascarada; para Stringer, embora não fosse fácil reconhecer a fraude no início do século XX, o fóssil talvez não tenha sido analisado com a devida atenção.

O que teria feito com que essa falsificação fosse tão facilmente aceita no meio científico da época? Por um lado, havia certa expectativa pela descoberta de um suposto elo perdido, que viria a confirmar alguns pressupostos da teoria do naturalista britânico Charles Darwin. Por outro lado, naturalistas europeus pareciam mais inclinados a aceitar a hipótese de que o berço da humanidade teria sido a Europa e não a África.

O próprio Chris Stringer avalia: "Seja lá quem tenha sido o responsável, a fraude de Piltdown é um lembrete claro de que, na Ciência, se algo parece bom demais para ser verdade, é bom desconfiar. A fama do fóssil [falso] atrasou os estudos sobre a evolução humana".

Além do lembrete de que, em Ciência, é importante desconfiar, a fraude de Piltdown traz outras lições; a primeira: a Ciência pode ser influenciada pelo contexto histórico e está longe de ser infalível; a segunda é que a visão não dogmática e crítica da Ciência permite corrigir conclusões equivocadas, como ocorreu no caso dessa fraude.

De olho na BNCC:

- EM13CNT201
- EM13CNT205
- EM13CNT208
- EM13CNT301
- EM13CNT302
- EM13CNT303
- EM13CNT305
- EM13CHS102
- EM13CHS104

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

EM MODERNA

Neste capítulo serão estudadas a origem e a evolução da espécie humana. A visão científica sobre nossa ancestralidade tem passado por grandes transformações nos últimos anos, principalmente em razão de novas descobertas paleontológicas e da aplicação de novos métodos de análise das evidências fósseis.

A Ciência busca explicações plausíveis para os fenômenos naturais. E que fenômeno seria mais intrigante que a origem de nossa espécie? Como isso teria ocorrido? Há quanto tempo? Há de fato evidências de que temos parentesco com outros animais? Essas são apenas algumas das questões abordadas neste capítulo.

Conhecer um pouco mais da história evolutiva humana ajuda a compreender nossa relação com os outros seres vivos e com a natureza, levando-nos a pensar na importância de preservar as espécies viventes e manter o equilíbrio ambiental, o que é fundamental para a nossa sobrevivência.

1. Nosso parentesco evolutivo com os grandes macacos

Ao voltar para Londres após sua longa viagem pelo mundo, Charles Darwin visitou o zoológico para conhecer Jenny, uma orangotango fêmea. O cientista se encantou com a inteligência e o humor de Jenny e a interação amistosa que ela mantinha com seu tratador. Darwin ficou impressionado com as semelhanças faciais de Jenny com as dos seres humanos, comentando depois que a jovialidade do macaco lembrava a de uma criança.

Anos mais tarde, em seu livro *The descent of man and selection in relation to sex* [*A origem do homem e a seleção sexual*], publicado em 1871, Darwin apresentou ideias revolucionárias sobre a origem da espécie humana, destacando nossas semelhanças anatômicas e comportamentais com os grandes macacos. O mesmo já havia sido observado pelo biólogo e anatomista britânico Thomas Henry Huxley (1825-1895), contemporâneo e ferrenho defensor das ideias de Darwin.

Darwin defendia a hipótese de que, em um passado relativamente recente (para os padrões geológicos), os seres humanos e os grandes macacos tiveram um ancestral em comum. Essa ideia não foi bem recebida pois entendeu-se, na época, que nossa espécie descenderia diretamente dos macacos atuais, como gorilas e chimpanzés; não era essa a ideia de Darwin.

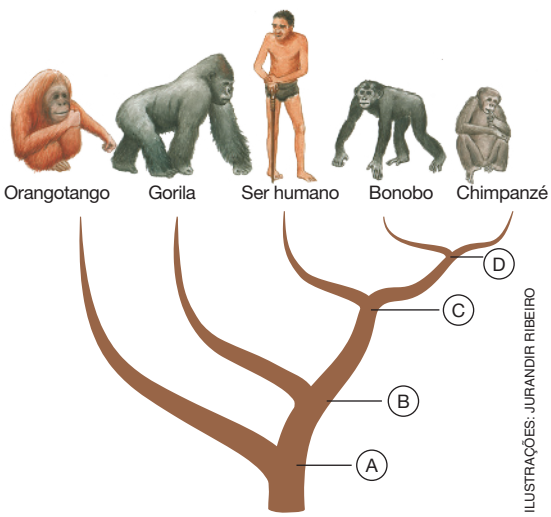
Para o evolucionismo, nenhuma espécie atual de macaco foi ancestral da espécie humana. O documentário fóssil sugere que nossos ancestrais mais antigos tinham feições mais simiescas do que humanas: se encontrássemos um deles, nossa tendência seria considerá-lo um macaco, e não um ser humano.

Evidências fósseis, genéticas e moleculares têm se somado para desvendar nossas possíveis relações de parentesco evolutivo com os grandes macacos. A classificação e a nomenclatura desses grupos expressam essas relações (Tab. 1) (Fig. 1).

TABELA 1 – CLASSIFICAÇÃO DOS PRIMATAS

Ordem Primates	Subordem Prosimii ou Strepsirrhini	Infraordem Lemuriformes: lêmures.					
		Infraordem Lorisiformes: lóris, gálagos e indris.					
	Subordem Tarsiiformes: társios.						
	Subordem Anthropoidea	Infraordem Platyrrhini: macacos do Novo Mundo (ex.: saguis, macacos-pregos etc.).					
		Infraordem Catarrhini					
			Superfamília Cercopithecoidea: macacos do Velho Mundo (ex.: babuínos, mandris, colobos etc.).				
			Superfamília Hominoidea				
				Famíla Hylobatidae: gibão.			
				Famíla Hominidae: grandes símios.			
					Subfamília Ponginae: orangotangos (gênero *Pongo*).		
					Subfamília Homininae: gorilas (gênero *Gorilla*), chimpanzés e bonobos (gênero *Pan*) e seres humanos (*Homo sapiens*).		

Fonte: adaptada de MAYR, E.; BOCK, W. J. Classifications and other ordering systems. *Journal of Zoological Systematics and Evolutionary Research*, v. 40, n. 4, p. 169-194, dez. 2002.



ILUSTRAÇÕES: JURANDIR RIBEIRO

Figura 1 Representação da árvore filogenética da espécie humana e das espécies atuais de grandes macacos. (A) Ancestral comum da família Hominidae. (B) Ancestral comum da subfamília Homininae. (C) Ancestral comum dos gêneros *Pan* e *Homo*. (D) Ancestral comum de chimpanzés e bonobos. Confira as bifurcações da árvore com a classificação e a nomenclatura das espécies, mostradas na tabela ao lado.

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

MODELINA

Comparações entre seres humanos e os grandes macacos

Quando comparamos espécies da família Hominidae – *Homo sapiens* (espécie humana), *Pan troglodytes* (chimpanzé), *Pan paniscus* (bonobo), *Gorilla gorilla* e *Gorilla beringei* (gorilas), *Pongo abelii* e *Pongo pygmaeus* (orangotangos) –, constatamos tanto semelhanças quanto diferenças anatômicas, principalmente no que se refere ao tamanho relativo do encéfalo, à capacidade cognitiva, à distribuição de pelos corporais, à dentição e a mudanças anatômicas decorrentes da adaptação de caminhar sobre duas pernas, o **bipedalismo**.

O bipedalismo acarretou diversas mudanças anatômicas no corpo humano em relação aos corpos dos grandes macacos. Estes conseguem agarrar e manipular objetos com os pés porque têm o primeiro dedo em posição oponível, como ocorre com o polegar de nossas mãos. Em contrapartida, os pés humanos são proporcionalmente mais longos e mais curvos que os dos macacos; por isso, são mais eficientes para suportar o corpo na postura ereta. Nossa coluna vertebral também difere acentuadamente da coluna vertebral dos macacos; a coluna vertebral do chimpanzé, por exemplo, forma um arco simples, enquanto a dos seres humanos apresenta quatro curvaturas, decorrentes da adaptação à postura ereta (Fig. 2).

A pelve humana (bacia) é mais curta, mais larga e mais côncava que a dos grandes macacos, características resultantes da adaptação ao modo ereto de caminhar. Nossas pernas, proporcionalmente mais longas que as dos grandes macacos, diminuem os movimentos de sobe e desce em uma corrida, o que reduz consideravelmente o gasto energético; por isso podemos caminhar distâncias maiores e com menos dispêndio de energia que um chimpanzé ou um gorila, por exemplo.

Nossa quantidade relativamente pequena de pelos corporais e a abundância de glândulas sudoríparas permitem manter o corpo resfriado durante esforços físicos intensos. É provável que todas essas características tenham sido selecionadas principalmente devido à competição por alimento entre nossos ancestrais e outros animais caçadores ou comedores de carniça, nas regiões de clima quente onde viviam.

As mudanças evolutivas na pelve humana também afetaram o nascimento dos bebês. No parto humano, a cabeça e os ombros precisam girar lateralmente para passar pelo estreito canal entre os ossos da pelve. É por essa razão que as mulheres geralmente necessitam de ajuda no parto, enquanto outros primatas dão à luz sem nenhuma assistência.

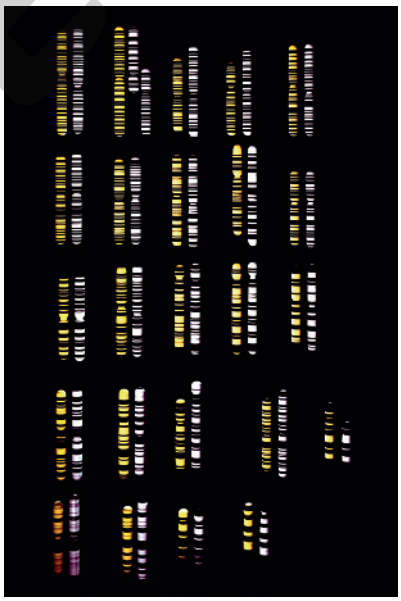
Os recém-nascidos humanos são muito vulneráveis e necessitam de cuidados contínuos por parte dos pais; já os chimpanzés recém-nascidos são neurológica e cognitivamente mais desenvolvidos que bebês humanos. Entretanto, em menos de seis meses a criança ultrapassa um chimpanzé de mesma idade, devido ao desenvolvimento mais rápido do sistema nervoso humano.

Outra forte evidência do parentesco evolutivo próximo entre a espécie humana e os grandes macacos é a semelhança genética. Embora orangotangos, gorilas e chimpanzés apresentem 48 cromossomos em suas células somáticas ($2n = 48$), enquanto os seres humanos têm 46 cromossomos ($2n = 46$), os conjuntos cromossômicos dessas espécies são muito parecidos. Uma das diferenças reside no cromossomo 2, ausente nos grandes macacos; em seu lugar há dois cromossomos acrocêntricos. A explicação para essa diferença é que na linhagem que originou a espécie humana, após a divergência da linhagem dos chimpanzés, teria havido fusão entre esses dois cromossomos acrocêntricos, resultando em um cromossomo metacêntrico, o cromossomo 2 humano (Fig. 3).

A revista científica britânica *Nature* de setembro de 2005 publicou uma comparação genética detalhada entre chimpanzés e seres humanos. Verificou-se que cerca de 96% da sequência de bases nitrogenadas dos genomas das duas espécies é exatamente igual; os 4% que diferem nas duas espécies referem-se, em sua maioria, a regiões não codificadoras, isto é, que não contêm genes. Considerando apenas as regiões do DNA que contêm genes, a semelhança genética entre chimpanzés e seres humanos chega a 98%. As principais diferenças residem em genes relacionados ao controle da fala, da audição e do olfato, às enzimas digestivas e à suscetibilidade a certas doenças.

KENNETH GARRETT/NATIONAL GEOGRAPHIC

Figura 2 Estudos de Anatomia Comparada revelam semelhanças e diferenças entre a espécie humana e grandes macacos como o chimpanzé. A fotografia mostra, à esquerda, modelo da coluna vertebral de um australopiteco, possível ancestral da espécie humana. As sombras projetadas no lado direito da imagem mostram a coluna vertebral humana (no centro) e a de um chimpanzé (à direita). Note as curvaturas de cada uma, comentadas no texto.



JJP/EURELIOS/SCIENCE PHOTO LIBRARY/FOTOARENA

Figura 3 Comparação entre os 24 tipos de cromossomos humanos (colorizados em amarelo) e os 25 tipos de cromossomos de chimpanzés (colorizados em branco). Note que o segundo cromossomo, à esquerda na linha superior, o cromossomo 2 humano (metacêntrico), não tem correspondência nos chimpanzés; nestes há dois cromossomos menores (acrocêntricos), que teriam se fundido durante o processo evolutivo, originando o cromossomo 2 humano. (Microscópio óptico; aumento $\simeq 2300\times$; cores meramente ilustrativas.)

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

EDIÇÃO MODERNA

As diferenças genéticas entre seres humanos e chimpanzés podem ser explicadas pelas diferentes pressões seletivas a que estiveram submetidos nossos ancestrais e os ancestrais dos chimpanzés, desde a divergência entre as linhagens humana e dos chimpanzés, que teria ocorrido entre 7 Ma e 8 Ma (milhões de anos atrás). Na linhagem humana, as pressões seletivas levaram a adaptações na dieta, ao bipedalismo, à fala e ao raciocínio lógico, entre outras.

2. Nossa origem primata

Estudos genéticos indicam que a linhagem dos primatas separou-se da linhagem dos outros mamíferos por volta de 85 Ma. Os fósseis mais antigos de primatas encontrados até agora têm entre 55 milhões e 58 milhões de anos de idade e são classificados no gênero *Plesiadapis*. Os animais que deixaram esses fósseis habitaram florestas da Europa, da América do Norte e provavelmente da África. Na época em que os primatas surgiram ocorria grande diversificação das plantas frutíferas, as angiospermas, que formavam extensas florestas. Os primeiros primatas adaptaram-se às florestas tropicais em expansão, habitando a copa das árvores e suplementando sua dieta insetívora com frutas e folhas (Fig. 4).

DE AGOSTINI PICTURE LIBRARY/ DE AGOSTINI/GETTY IMAGES

Figura 4 Representação artística de um membro do gênero *Plesiadapis*, o mais antigo primata de que se tem notícia. Esses animais teriam por volta de 60 cm de comprimento e cerca de 2,5 kg de massa corporal, e teriam vivido por volta de 60 Ma.

Os **antropoides**, ou grandes macacos, como são chamados os representantes da subordem Anthropoidea, surgiram há pelo menos 45 Ma. Acredita-se que as primeiras espécies desse grupo tenham vivido no sul da África, em ambiente arbóreo, alimentando-se principalmente de folhas e frutos. As datas das separações evolutivas entre orangotangos, gorilas, chimpanzés e seres humanos têm sido estimadas com base na similaridade genética entre as espécies atuais. As datações genéticas sugerem que a linhagem ancestral dos orangotangos surgiu entre 12 Ma e 16 Ma. A linhagem ancestral dos gorilas teria surgido entre 7 Ma e 9 Ma, pouco antes da separação entre as linhagens ancestrais dos chimpanzés e dos seres humanos, calculada entre 7 Ma e 8 Ma (Fig. 5).

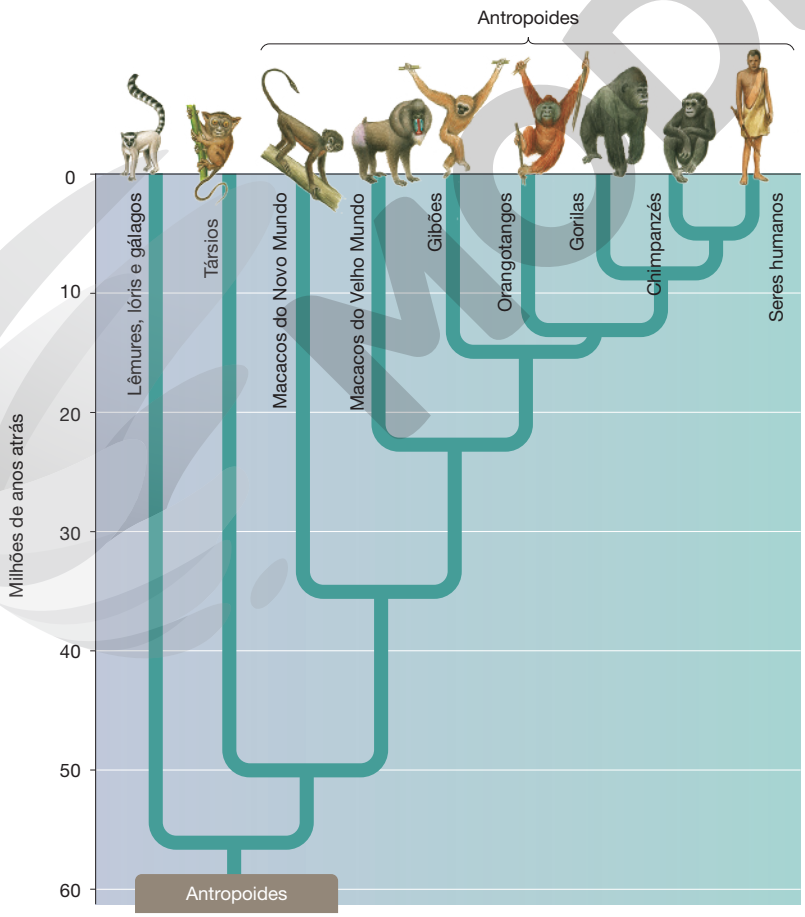


Figura 5 Árvore filogenética dos primatas elaborada com base em evidências fósseis e genéticas.

Fonte: adaptada de REECE, J. B. *et al. Biologia de Campbell*. 10. ed. Porto Alegre: Artmed, 2015.

ILUSTRAÇÕES: JURANDIR RIBEIRO

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.

1. Qual é o nome científico dos seres humanos modernos? 1. d

a) *Homo erectus*.
b) *Homo habilis*.
c) *Homo sapiens neanderthalensis*.
d) *Homo sapiens sapiens*.

2. Quais são os macacos que apresentam maior semelhança genética com os seres humanos? 2. b

a) Babuínos.
b) Chimpanzés.
c) Gorilas.
d) Orangotangos.

Tendências evolutivas na linhagem primata

A vida na copa das árvores teria influenciado fortemente a evolução dos primatas, sobretudo por proporcionar proteção contra os carnívoros predadores que viviam no solo. A vida arborícola levou os primatas a desenvolver uma dieta essencialmente herbívora, constituída principalmente de folhas, frutos e sementes. Além disso, a seleção natural reforçou as habilidades de se agarrar eficientemente aos galhos e de se locomover com segurança na copa das árvores. Outra consequência da vida arborícola foi a redução do número de filhotes para um ou dois por gestação, e maior cuidado com a prole.

O sucesso adaptativo dos primatas no ambiente arborícola aumentou suas chances de sobrevivência e possibilitou maior duração do ciclo de vida. O tempo maior de cuidados com a prole favoreceu o estabelecimento de princípios de uma vida social, importante para os antropoides, em geral, e para a espécie humana, em particular.

Dedo polegar oponível

Na estratégia evolutiva dos primatas foram importantes, entre outros atributos, braços dotados de grande amplitude de movimentos e mãos e pés dotados de dedos flexíveis. A mão da maioria dos primatas consegue agarrar objetos com força e precisão graças ao dedo **polegar oponível**, localizado em posição tal que lhe permite aproximar-se frontalmente de qualquer outro dedo, atuando como pinça para agarrar. Essas características possibilitaram a nossos ancestrais saltar de galho em galho e explorar ativamente o ambiente arborícola (Fig. 6).

Visão binocular, ou visão estereoscópica

Outra importante aquisição evolutiva dos primatas relacionada com sua adaptação à vida nas árvores foi a proximidade entre os olhos, situados na face, região frontal do crânio. Essa posição permite que os dois olhos mirem um objeto com pequena diferença de ângulo visual, suficiente para que o cérebro calcule, por triangulação, sua distância. Essa capacidade, denominada **visão binocular**, ou visão estereoscópica, provavelmente foi fundamental para a sobrevivência de nossos ancestrais no ambiente arborícola, onde um salto mal calculado poderia ser fatal.

Vida familiar e cuidado com a prole

Os primatas são os mamíferos que mais tempo dedicam aos cuidados com a prole. A maioria dos primatas tem um único filhote por gestação, cuidado por longo tempo. A espécie humana é, entre os primatas, a que leva mais tempo para alcançar a maturidade. Um ser humano leva meses para atingir mobilidade e independência equivalentes às de um chimpanzé recém-nascido. Consequentemente, os filhos de seres humanos dependem dos pais por um tempo relativamente longo; em contrapartida, durante esse longo período de juventude, aprendem os valores culturais básicos da espécie. Essa característica, aliada a um sistema nervoso bem desenvolvido, foi essencial para a evolução cultural da humanidade (Fig. 7).

GLOBALP/ISTOCKPHOTO/GETTY IMAGES

Figura 6 O polegar das mãos humanas e o dos chimpanzés são oponíveis, ou seja, conseguem se opor frontalmente aos outros dedos, o que lhes permite segurar objetos com força e precisão.

CAREN BRINKEMA/SCIENCE FACTION/SUPERSTOCK/GLOW IMAGES

GERRY ELLIS/MINDEN PICTURES/FOTOARENA

AUREMAR/SHUTTERSTOCK

Figura 7 A vida social desempenha papel importante entre os primatas e é um dos fios condutores de sua evolução. (A) Babuínos da espécie *Papio anubis*, que atingem até 110 cm de comprimento, dedicam muitas horas do dia a atividades sociais, como limpar e alisar o pelo de parentes e companheiros. (B) Chimpanzé adulto da espécie *Pan troglodytes*, que pode atingir 150 cm de altura, transmitindo ensinamentos a um filhote. (C) Em nossa espécie, *Homo sapiens*, pai transmite ao filho instruções sobre como tocar violão.

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

MODELIA

3. A linhagem humana

Charles Darwin previu em seu livro *A origem do homem e a seleção sexual* que seriam encontrados vestígios de ancestrais humanos no continente africano. Essa previsão baseava-se no fato de que gorilas e chimpanzés, que segundo a teoria darwinista seriam nossos parentes mais próximos, habitam somente a África; nesse continente possivelmente teriam vivido os ancestrais comuns à espécie humana e a esses animais.

Na época, as conclusões de Darwin não foram bem recebidas pelo mundo científico. Além da falta de evidências que sustentassem sua hipótese, havia certa predisposição na cultura europeia a rejeitar a ideia de que o berço da humanidade fosse o continente africano. Até a década de 1920, fósseis claramente relacionados à ancestralidade humana tinham sido encontrados apenas na Europa e na Ilha de Java, na Indonésia.

Foi somente em 1924 que o antropólogo australiano Raymond Dart (1893-1988) encontrou, na África, o crânio fóssil de um hominídeo, classificado por ele como *Australopithecus africanus*. A hipótese de Dart era que o australopiteco poderia ter sido um ancestral da espécie humana. Na época essa descoberta foi desvalorizada, devido à ampla aceitação do então famoso fóssil do homem de Piltdown (reveja na abertura do capítulo).

Após a constatação de que o fóssil de Piltdown era uma fraude, as escavações arqueológicas na África adquiriram novo impulso, o que levou à descoberta de diversas espécies de australopitecos. Hoje há evidências de que o gênero *Australopithecus*, surgido por volta de 4 Ma, dispersou-se amplamente no continente africano, com espécies distintas coexistindo em determinados locais e eventualmente competindo entre si. Os australopitecos extinguiram-se por volta de 2 Ma. Entretanto, uma de suas linhagens foi provavelmente ancestral do gênero *Homo*.

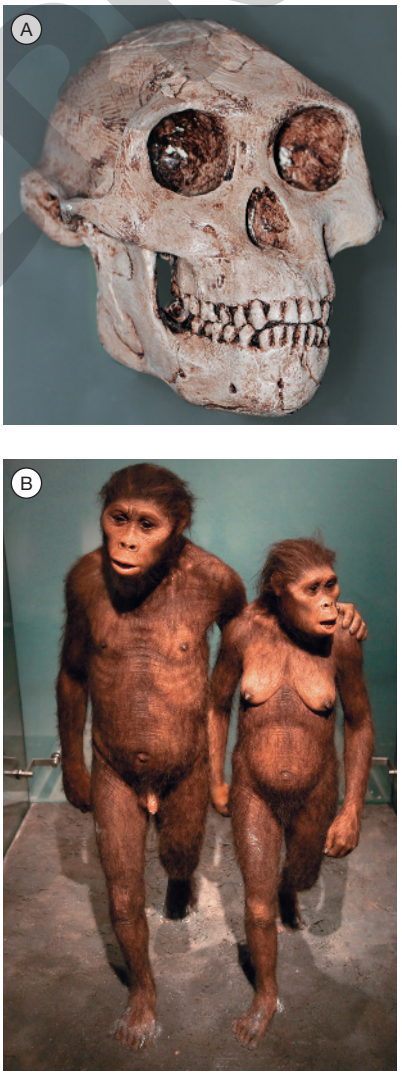
Tendências evolutivas nos predecessores do gênero *Homo*

Estudos recentes relacionam muitas das características humanas à adaptação que nossos ancestrais desenvolveram aos ambientes arborícolas. Acredita-se que a linhagem que originou os grandes macacos e os seres humanos tenha evoluído nas florestas tropicais africanas, alimentando-se na copa das árvores e raramente descendo ao solo, em um modo de vida semelhante ao dos orangotangos atuais. A esse estágio arborícola sucedeu-se a adaptação da linhagem humana ao ambiente de savana, inicialmente na orla das florestas e, mais tarde, em savanas mais abertas.

Evidências geológicas sugerem que, por volta de 8 Ma, ocorreram na África movimentos das placas rochosas sobre as quais se assentam os continentes, as **placas tectônicas**, com a elevação das terras planas e o aparecimento de cadeias de montanhas. Isso teria levado o clima no leste do continente africano a sofrer uma drástica modificação, tornando-se mais quente e seco que o do lado oeste. Na região oeste perduraram florestas exuberantes, onde evoluíram os gorilas e os chimpanzés. A região leste, por sua vez, tornou-se mais árida, com expansão de amplas áreas de savana, tipo de campo com vegetação arbórea semelhante à encontrada em certas regiões da África atual.

As árvores da savana, menores que as da floresta e mais distantes entre si, teriam impossibilitado a movimentação de nossos ancestrais pré-humanos pela copa vegetal, como faziam na mata tropical. Acredita-se que nesse ambiente de transição entre florestas e savanas arbóreas tenha evoluído os australopitecos, grupo de primatas considerados antecessores diretos do gênero humano.

Segundo o biólogo alemão Ernst Mayr (1904-2005), algumas populações de australopitecos devem ter aprimorado mecanismos de defesa para sobreviver, atirando pedras ou transformando fragmentos de madeira em armas. Talvez tenham recorrido a porretes, como fazem os atuais chimpanzés do oeste da África, ou a ramos espinhosos para espantar seus predadores ou, ainda, improvisado tambores para assustá-los com o barulho. No entanto, sua melhor defesa teria sido o fogo (Fig. 8).



SCOTT CAMAZINE/SCIENCE SOURCE/FOTOARENA

NEVENA TSVETANOVA/ALAMY/FOTOARENA – AMERICAN MUSEUM OF NATURAL HISTORY, NEW YORK

Figura 8 (A) Crânio de hominídeo extinto da espécie *Australopithecus afarensis*. (B) Representação artística da possível aparência de um casal de *A. afarensis*.

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

EDIÇÃO MODERNA

O aparecimento e a evolução do *Homo erectus*

Acredita-se que as pressões seletivas que atuaram sobre os australopitecos nas savanas abertas levaram ao aparecimento de novas linhagens de hominídeos, capazes de fabricar e utilizar ferramentas rudimentares e de se beneficiar do uso do fogo. O grande sucesso dessas linhagens deveu-se certamente ao desenvolvimento do sistema nervoso e da inteligência; começavam assim a surgir espécies primatas tipicamente humanas, atualmente classificadas no gênero *Homo*.

Entre 1,8 Ma e 2 Ma surgiu um grupo de hominídeos classificados como *Homo erectus*. Os primeiros fósseis dessa espécie foram encontrados na Ilha de Java, em 1891, e na China, em 1927. Tudo indica que o *H. erectus*, como os hominídeos que o antecederam, tenha surgido na África e depois migrado para a Ásia e para a Europa. Acredita-se que havia várias linhagens diferentes desse grupo de hominídeos, o que leva alguns cientistas a se referir a eles como "grupo *erectus*". Os fósseis mais antigos do grupo *erectus* datam de 1,8 Ma e os mais recentes, de 300 mil anos atrás. Alguns paleontólogos questionam esta última data e acreditam que fósseis encontrados recentemente na Ásia, com idade entre 80 mil e 100 mil anos, ainda pertencem à espécie *H. erectus* (Fig. 9).

O grupo de populações classificadas como *H. erectus*, embora variado, tinha como representantes típicos hominídeos de postura ereta, com maxilares menos proeminentes que seus antecessores australopitecos. Eram mais altos, possivelmente entre 1,50 m e 1,80 m, e tinham massa corporal entre 55 kg e 85 kg. A testa era baixa, com grandes protuberâncias ósseas acima das órbitas oculares (pregas ou saliências supraorbitais), características reveladoras do parentesco com os símios.

Os fósseis mais antigos de *H. erectus* indicam que seu volume craniano era de aproximadamente 850 cm^3; fósseis mais recentes desses hominídeos têm volume craniano superior a 1.100 cm^3, mostrando que, durante o período de existência do grupo *erectus*, houve aumento significativo do tamanho do encéfalo e, provavelmente, da inteligência.

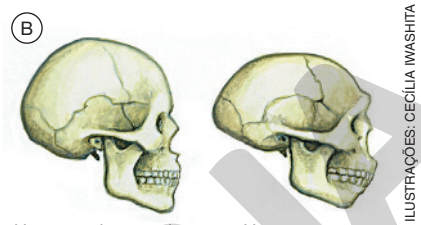
Acredita-se que *H. erectus* tenha sido o primeiro hominídeo a constituir uma sociedade caçadora-coletora semelhante à de seres humanos modernos. Para se proteger do frio e dos inimigos, o *H. erectus* vestia-se com pele de animais, fazia fogueiras e morava em cavernas. Havia populações que fabricavam ferramentas relativamente avançadas, algumas dotadas de cabos, com diferentes formatos e aplicações variadas. Os *H. erectus* foram provavelmente os primeiros hominídeos a caçar em grupos coordenados, capazes de abater presas de grande porte.

As linhagens do grupo *erectus* que permaneceram na África foram classificadas como *Homo erectus ergaster* ou, simplesmente, *H. ergaster*. Essa dualidade nomenclatural reflete um debate entre os paleoantropólogos, mas atualmente admite-se que o *H. erectus* e o *H. ergaster* são a mesma espécie. Uma das razões para o surgimento desse tipo de polêmica é que não há critérios seguros para definir e separar espécies com base no documentário fóssil. A maioria dos fósseis da linhagem humana resume-se apenas a partes de indivíduos, como fragmentos de mandíbula, dentes, pedaços do crânio e dos membros; raramente se encontram fósseis completos. Por isso, reconstituir a estrutura corporal do indivíduo quando vivo exige um trabalho exaustivo e rigoroso por parte dos cientistas (Fig. 10).

Outra dificuldade dos estudiosos é que, mesmo sendo possível reconstituir a aparência de um indivíduo com base em seu fóssil, não se sabe qual é o grau de variação existente naquela espécie, ou seja, se o indivíduo fossilizado é representativo ou não de seu grupo. À medida que novos fósseis são encontrados, certas hipóteses são reforçadas e outras têm de ser reformuladas; é assim que o conhecimento científico progride. Com certeza ainda haverá muitas mudanças no quadro da classificação da linhagem humana que apresentamos neste capítulo.

O *H. erectus* africano, ou *H. ergaster*, teria vivido no leste e no sul da África entre 1,3 Ma e 1,8 Ma. O epíteto específico *ergaster* deriva do grego e significa "trabalhador", denotando que esses hominídeos fabricavam objetos de pedra mais avançados que os produzidos pelas linhagens anteriores.

SCIENCE VU/NMK/VISUALS UNLIMITED INC./GLOW IMAGES – NATIONAL MUSEUM OF KENYA



ILUSTRAÇÕES: CECÍLIA IWASHITA

Figura 9 (A) Crânio fossilizado de *Homo erectus*, datado de cerca de 1,6 milhão de anos. (B) Representação esquemática que compara o crânio de um *H. sapiens sapiens* com o de um *H. erectus*.

Fonte: adaptada de REECE, J. B. *et al*. *Biologia de Campbell*. 10. ed. Porto Alegre: Artmed, 2015.

JAVIER TRUEBA/SCIENCE PHOTO LIBRARY/FOTOARENA

VISUALWRITTEN SL/ALAMY/FOTOARENA

Figura 10 (A) Crânio fossilizado de *Homo ergaster*, com idade estimada em aproximadamente 1,5 milhão de anos. (B) Representação artística da provável aparência facial do *H. ergaster*.

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

EDIÇÃO DE PROVA

O *H. ergaster* é considerado o ancestral do *Homo antecessor*. Essa espécie teria sido realmente a primeira linhagem humana da Europa e seus fósseis foram encontrados na Espanha, em sítios arqueológicos datados entre 0,8 Ma e 1,2 Ma. Calcula-se que os adultos de *H. antecessor* tinham entre 1,60 m e 1,80 m de altura, com os machos atingindo cerca de 90 kg de massa corporal. O volume encefálico variava entre 1.000 cm^3 e 1.150 cm^3 em média, um pouco menor que a média de 1.350 cm^3 dos seres humanos atuais.

Os neandertalenses (*Homo sapiens neanderthalensis*)

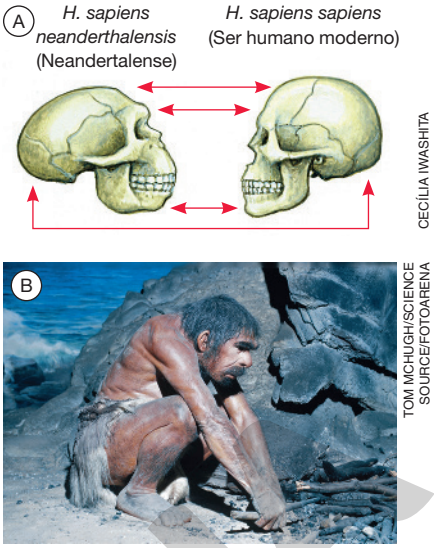
Em 1856 foram descobertos na Alemanha, no vale de Neander, fósseis de hominídeos que ficaram conhecidos como neandertalenses, ou "homens de Neanderthal".

Atualmente alguns especialistas classificam os neandertalenses como *Homo sapiens neanderthalensis*, uma subespécie da espécie *H. sapiens*.

Fósseis descobertos em diferentes regiões da Europa e do Oriente Médio mostram que o *H. sapiens neanderthalensis* viveu entre 450 mil e 25 mil anos atrás; nunca foram encontrados fósseis desses hominídeos na África ou na Ásia.

Os neandertalenses tinham corpo atarracado e eram mais fortes que os seres humanos modernos. Os machos tinham entre 1,64 m e 1,68 m de altura e cerca de 70 kg de massa corporal; as fêmeas tinham entre 1,52 m e 1,60 m de altura e pouco menos de 60 kg. Seu volume craniano – que em alguns fósseis atinge 1.600 cm^3 – é maior que o dos seres humanos modernos, mas a parte frontal do crânio, a testa, é oblíqua, de modo que a maior parte do volume craniano se concentra na região posterior (occipital). O rosto dos neandertalenses tinha saliências supraorbitais proeminentes e maxilares salientes. Características físicas como nariz grande e corpo e membros curtos e compactos indicam adaptação ao clima muito frio da Europa, na época em que eles viveram (Fig. 11).

O desaparecimento dos neandertalenses no documentário fóssil de 25 mil anos para cá mostra sua completa extinção, que pode ser atribuída tanto às mudanças climáticas que ocorreram enquanto viviam como à interação com os seres humanos modernos – *Homo sapiens sapiens* –, que chegaram ao Oriente Médio e à Europa entre 40 mil e 35 mil anos atrás.



CECÍLIA IWASHITA

TOM MCHUGH/SCIENCE SOURCE/FOTOARENA

Figura 11 (A) Representação esquemática que compara o crânio do *H. sapiens neanderthalensis* com o do *H. sapiens sapiens*. As setas vermelhas indicam, de cima para baixo, a testa mais oblíqua, a saliência supraorbital mais desenvolvida, o queixo menos proeminente e a região craniana occipital mais alongada dos neandertais em relação ao ser humano moderno. (B) Representação artística de um macho de *H. sapiens neanderthalensis*.

Fonte: adaptada de REECE, J. B. *et al*. *Biologia de Campbell*. 10. ed. Porto Alegre: Artmed, 2015.

A espécie humana moderna: *Homo sapiens sapiens*

Os primeiros esqueletos fósseis indistinguíveis dos de um ser humano moderno foram encontrados em 1868 em uma caverna no sudoeste da França denominada Cro-Magnon. Esses fósseis, datados entre 23 mil e 27 mil anos atrás, receberam a denominação informal de povo de Cro-Magnon. Grande número de fósseis descobertos posteriormente em diversas regiões da Europa e da Ásia permitiu concluir que os seres humanos modernos chegaram à Ásia entre 70 mil e 100 mil anos atrás e ao Oriente Médio e à Europa por volta de 40 mil anos atrás.

Dialogando com o texto Veja comentários sobre essa atividade no Suplemento do Professor.

Faça uma pesquisa sobre os neandertalenses. A descoberta de esqueletos fósseis de neandertalenses idosos leva a crer que eles tinham uma organização social suficientemente desenvolvida para proteger os mais velhos e permitir sua sobrevivência até idades relativamente avançadas. Ao menos ocasionalmente, eles enterravam os mortos, às vezes com armas, utensílios, comida e enfeites supostamente pertencentes ao falecido. Alguns estudiosos veem nesse fato um indício de que os neandertalenses tinham desenvolvido rituais fúnebres talvez relacionados à crença de haver vida após a morte. Consulte seus professores de História sobre o assunto ou peça a eles indicação de fontes para pesquisa. O desafio é elaborar um infográfico, em tamanho grande, que reúna imagens e textos curtos sobre os neandertalenses. Além de poderem ser debatidos em classe, a critério do professor, os infográficos também podem ser exibidos no mural da escola ou em mídias digitais para que todos possam se informar sobre a interessante história do surgimento e desaparecimento desses hominídeos. (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.

MODERNA

Descobertas recentes mostram que a espécie humana moderna provavelmente surgiu na África, a partir de linhagens de *H. ergaster*, há cerca de 200 mil anos. Do continente africano a espécie humana teria irradiado e colonizado outros continentes.

Estima-se que seres humanos modernos oriundos da Ásia chegaram à Austrália entre 60 mil e 50 mil anos atrás, tendo sido os ancestrais dos aborígenes australianos. Quanto à chegada dos seres humanos às Américas, as polêmicas ainda são grandes; a hipótese mais conservadora admite que grupos humanos provenientes da Ásia atravessaram o Estreito de Bering e chegaram ao continente americano por volta de 14 mil anos atrás. Há evidências indicando a ocorrência de mais de uma migração, e que as migrações mais antigas ao continente americano podem ter ocorrido por volta de 40 mil anos atrás (Fig. 12).

Irradiações de *Homo sapiens* para as diversas partes do mundo

Figura 12 Mapa que mostra as possíveis irradiações do *Homo sapiens sapiens*. Segundo a hipótese mais aceita atualmente, a espécie humana moderna surgiu na África, possivelmente a partir do *H. ergaster*, de onde irradiou para as diversas partes do mundo.

Fonte: adaptada de HÜBBE, M. *et al. A primeira descoberta da América*. Ribeirão Preto: Sociedade Brasileira de Genética, 2003.

ANDERSON DE ANDRADE PIMENTEL

Aplicando conhecimentos

Registre as respostas em seu caderno.

Escreva, em seu caderno, o termo abaixo que substitui corretamente a tarja entre parênteses nas frases de 3 a 6.

a) bipedalismo
b) cuidado com a prole
c) polegar oponível
d) visão estereoscópica

3. A(O) (■) possibilitou aos hominídeos um aumento significativo da transmissão cultural.
3. b

4. A construção de objetos e de ferramentas dependeu, em grande parte, de um caráter adaptativo desenvolvido por nossa ancestralidade em sua vida nas árvores – a(o) (■) –, que permitiu pegar objetos com força e precisão.
4. c

5. A(O) (■) possibilitou aos hominídeos enxergar mais longe e liberar as mãos para arremessar objetos, por exemplo. Em contrapartida, exigiu grandes adaptações na coluna vertebral e no esqueleto.
5. a

6. A capacidade de calcular as distâncias antes de saltar, graças à(ao) (■), foi importante na vida arborícola e complementou as habilidades da linhagem humana.
6. d

Evolução e cultura

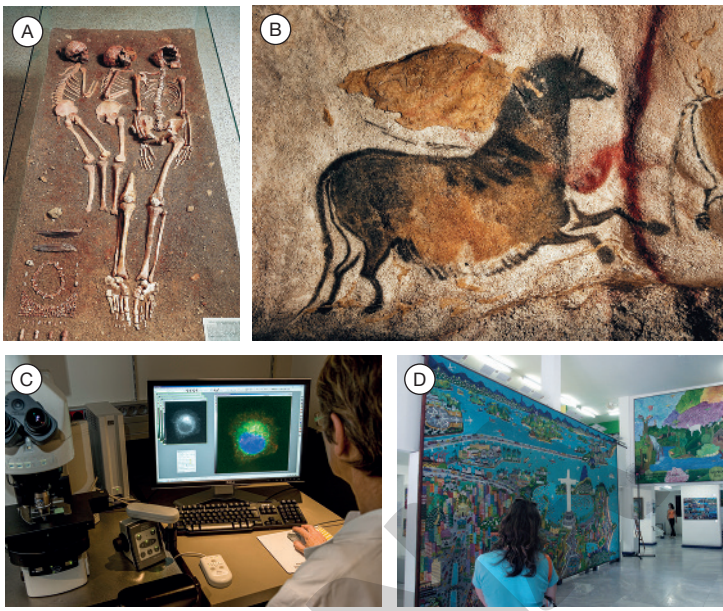
Na linhagem hominídea a evolução do encéfalo ocorreu paralelamente ao desenvolvimento da linguagem simbólica, que consiste em associar objetos e eventos do mundo a representações mentais – os símbolos –, para expressar ideias, experiências e sentimentos. A linguagem simbólica não é apenas uma forma de expressão, mas está fundamentalmente associada ao próprio processo de pensamento humano. Ela foi a principal inovação evolutiva da linhagem humana e continua a ser sua principal fonte de criatividade.

O desenvolvimento da linguagem simbólica está intimamente relacionado à evolução do pensamento abstrato, que consiste na representação mental de eventos e objetos sem sua presença concreta. O pensamento abstrato permite relacionar memórias de ocorrências no passado com o presente, possibilitando fazer previsões sobre o futuro. Por exemplo, com base em uma série de memórias sobre os hábitos de um animal, é possível prever como ele poderá reagir em certa situação, o que pode facilitar caçá-lo ou fugir dele. Essa dimensão histórica que o ser humano tem de si mesmo foi e continua sendo fundamental para a evolução de nossa cultura.

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

Pode-se definir **cultura** como o conjunto de conhecimentos e experiências acumulados pelas populações humanas e transmitidos ao longo das gerações. A cultura também é um processo pelo qual cada pessoa, individualmente, e a humanidade, como um todo, extraem e acumulam conhecimentos com base nas experiências vividas e na reflexão sobre elas.

Talvez o salto mais prodigioso da humanidade rumo ao conhecimento tenha sido o desenvolvimento da escrita, há cerca de 10 mil anos. Desde então cada geração humana passou a deixar para a geração seguinte registros de informações sobre seu modo de vida e suas realizações. A civilização que hoje conhecemos, com cidades, monumentos, obras artísticas, filosofias, religiões, ciência e tecnologia etc., só foi possível graças à enorme quantidade de conhecimentos escritos e transmitidos de geração em geração. O impacto da cultura humana tornou-se mais acentuado a partir da Revolução Industrial, que ocorreu há pouco mais de 200 anos. Desde então o ritmo de evolução cultural e tecnológica acelerou-se, particularmente no Ocidente, levando a humanidade a enfrentar dois dos maiores desafios de sua história: 1) alimentar a imensa e crescente população humana; 2) preservar o ambiente terrestre para as gerações vindouras. Embora seja praticamente impossível prever o futuro da humanidade, é possível acreditar que a cultura humana favorece a capacidade de resolver problemas e, quem sabe, permita que continuemos nossa história evolutiva no planeta ainda por muito tempo (Fig. 13).



A) DEA / A. DE GREGORIO/DE AGOSTINI/DIOMEDIA B) PHILIPPE PSAILA/SCIENCE PHOTO LIBRARY/FOTOARENA C) BSIP/UIG/GETTY IMAGES D) MARCOS ISSA/ARGOSFOTO

Figura 13 A cultura e a tecnologia são características específicas da espécie humana moderna. (A) Esqueletos fossilizados do povo de Cro-Magnon. (B) Pinturas rupestres da caverna de Lascaux, feitas há aproximadamente 17 mil anos (França, foto de 2010). (C) Pesquisadora utilizando microscópio fotônico, um exemplo de tecnologia contemporânea (França, 2008). (D) Visitante apreciando pintura no Museu Internacional de Arte Naïf, no Rio de Janeiro, 2004.

Atividade em grupo

Veja comentários sobre essa atividade no Suplemento do Professor.

No capítulo, foram apresentados muito resumidamente os conceitos de cultura e de linguagem simbólica. Vale a pena ampliar esses conceitos, tão importantes para a compreensão de nossa condição humana. Forme um grupo com dois ou três colegas e converse sobre os temas com seus professores de Filosofia, Língua Portuguesa, História e Geografia, entre outros. Se algum deles concordar em falar sobre esses assuntos, proponha gravar uma entrevista por áudio ou em vídeo utilizando um *smartphone* ou outro dispositivo de gravação. A entrevista pode ser editada e publicada na internet, tornando-se acessível a colegas e outras pessoas interessadas. (Sugestões de uso de mídias digitais estão disponíveis no início do livro.)

Em destaque

Veja comentários sobre essa atividade no Suplemento do Professor.

A seguir são apresentadas as reflexões do professor Sérgio Danilo Pena em seu texto *Receita para uma humanidade desracializada*. O texto nos leva a pensar em uma humanidade em que a diversidade de fenótipos seja a expressão da individualidade humana, sem preconceitos. Como você vê essa perspectiva? Após ler o texto proponha ao professor e aos colegas um debate sobre um tema tão importante e atual como esse.

Receita para uma humanidade desracializada

Diversidade geográfica humana e "raças"

Quando estudamos os seres humanos, também observamos uma grande diversidade morfológica, que pode ser descrita em dois níveis diferentes. O primeiro é o nível interpessoal, a diversidade que distingue uma pessoa da outra na mesma população e que está intimamente ligada à identidade individual. O segundo é o nível interpopulacional, ou seja, a diversidade morfológica que caracteriza populações, especialmente grupos de diferentes continentes.

A segunda diversidade é relevante, pois historicamente tem servido de base para a divisão da humanidade em "raças". A mais influente proposta neste sentido foi a do antropólogo alemão Johann Friedrich Blumenbach (1752-1840). Em seu livro *De generis humani varietate nativa* (Das variedades naturais da humanidade), propôs a existência de cinco principais "raças" humanas: a caucasoide, a mongoloide, a etiópica, a americana e a malaia. [...]

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

MODERNA

Diversidade genômica humana

A descrição das variabilidades morfológicas interpessoal e interpopulacional pertence à esfera das aparências, ao mundo fenotípico. Se agora penetrarmos no mundo genômico, o quadro muda consideravelmente. Subjacente à individualidade morfológica das pessoas realmente existe uma individualidade genômica absoluta. Estudos em DNA demonstram que cada ser humano é genomicamente diferente de todos os outros, com exceção de gêmeos idênticos.

[...] As características físicas desses grupos [as raças] na realidade representam adaptações morfológicas ao meio ambiente, sendo assim produtos da seleção natural agindo sobre um pequeno número de genes. Acredita-se, por exemplo, que dois fatores seletivos servem para adaptar a cor da pele aos níveis de radiação ultravioleta do ambiente geográfico: a destruição do ácido fólico quando é excessiva e a falta de síntese de vitamina D3 na pele quando ela é insuficiente. A cor da pele é determinada pela quantidade e tipo do pigmento melanina na derme, que são controlados por poucos genes (de quatro a seis), dos quais o mais importante parece ser o gene do receptor do hormônio melanotrópico.

Da mesma maneira que a cor da pele, outras características físicas externas como o formato da face, da fissura palpebral, dos lábios, do nariz e a cor e a textura do cabelo são traços literalmente superficiais. Embora não conheçamos os fatores geográficos locais responsáveis pela seleção dessas características, é razoável assumir que esses traços morfológicos espelhem adaptações ao clima e outras variáveis ambientais de diferentes partes da Terra. [...]

Em uma conferência proferida em 2004 na Universidade de Berkeley (EUA), o brilhante geneticista norte-americano Richard Lewontin (1929-) fez uma importante observação a respeito dos níveis de diversidade humana. Uma marca de preconceito é ver a humanidade em termos apenas interpopulacionais, ou seja, a inabilidade de reconhecer em outros grupos "raciais" a individualidade de cada pessoa. Isto é frequentemente expresso na frase: "eles parecem todos iguais, mas nós somos todos diferentes uns dos outros". Ao ser negada a individualidade dos membros de outros grupos, eles são objetivados, desumanizados. É igual dizer: "eu sei a 'raça' a que ele(a) pertence, portanto já sei tudo que é possível saber a respeito dele(a)". [...]

Por uma humanidade desracializada

O fato assim cientificamente comprovado da inexistência das "raças" deve ser absorvido pela sociedade e incorporado às suas convicções e atitudes morais. Uma postura coerente e desejável seria a construção de uma sociedade desracializada, na qual a singularidade do indivíduo seja valorizada e celebrada. Temos de assimilar a noção de que a única divisão biologicamente coerente da espécie humana é em bilhões de indivíduos e não em um punhado de "raças".

Há um poema atribuído ao romano Virgílio (70 a.C.-19 a.C.) no qual ele descreve a feitura do *moretum*, uma massa não fermentada, assada, recheada com vinagre e azeite, coberta com fatias de alho e cebola crua (há quem acredite que o *moretum* é um dos precursores da *pizza*). Na receita, Virgílio descreve como as várias cores dos diferentes ingredientes vão se mesclando e se unindo: *It manus in gyrum: paulatim singula vires deperdunt proprias; color est e pluribus unus*. (Minha tradução: Sua mão se move em círculos, até que um por um eles perdem seus próprios poderes, e, entre tantas cores, uma única emerge.)

Nesta época atual de conflitos de civilizações e recrudescimento de ódio étnico e racismo, precisamos esquecer as diferenças superficiais de cor entre os grupos continentais (vulgos "raças") e por trás da enorme diversidade humana distinguir uma espécie única composta de indivíduos igualmente diferentes e irmãos. *Color est e pluribus unus*.

PENA, S. D. Receita para uma humanidade desracializada. *Ciência Hoje*, 2009. Disponível em: <https://cienciahoje.org.br/coluna/receita-para-uma-humanidade-desracializada/>. Acesso em: 30 jun. 2020.

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. Na árvore filogenética, considere que A representa os seres humanos. Que animais representariam B, C e D, respectivamente?

1. a

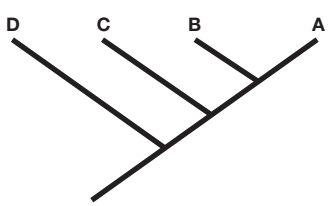


ILUSTRAÇÃO: ADILSON SECCO

a) Chimpanzés, gorilas e orangotangos.
b) Chimpanzés, orangotangos e gorilas.
c) Gorilas, chimpanzés e orangotangos.
d) Gorilas, orangotangos e chimpanzés.

2. Faça uma pesquisa, por conta própria ou com um grupo de colegas, sobre o que as pessoas pensam a respeito da origem da espécie humana. Entreviste pessoas com diferentes graus de escolaridade e que exerçam atividades diversas, como médicos, líderes religiosos, empregados domésticos, engenheiros etc. Elabore as perguntas com antecedência; pergunte ao entrevistado, por exemplo, se ele sabe o que afirma a teoria da evolução e se ele acredita ou não que ela explica a origem da espécie humana; se ele tem ideia de há quanto tempo surgiu a espécie humana; se ele já ouviu falar de fósseis humanos etc. Ao entrevistar cada pessoa, lembre-se de perguntar seu grau de escolaridade, sua profissão, sua religião e sua idade. Grave (com autorização dos entrevistados) ou anote as respostas. Organize os dados da entrevista em uma tabela e discuta-os com os colegas. Calcule as porcentagens dos que responderam afirmativamente e negativamente à ideia da origem evolutiva da espécie humana e compare seus resultados com dados de pesquisas semelhantes, em níveis nacional e internacional, que podem ser obtidos na internet. Elabore um texto argumentativo confrontando sua opinião com o resultado da pesquisa.

3. (Uerj) No processo evolutivo de algumas espécies de primatas, destacam-se diferentes formas de movimentação e de distribuição da musculatura, conforme se observa a seguir.

3. d

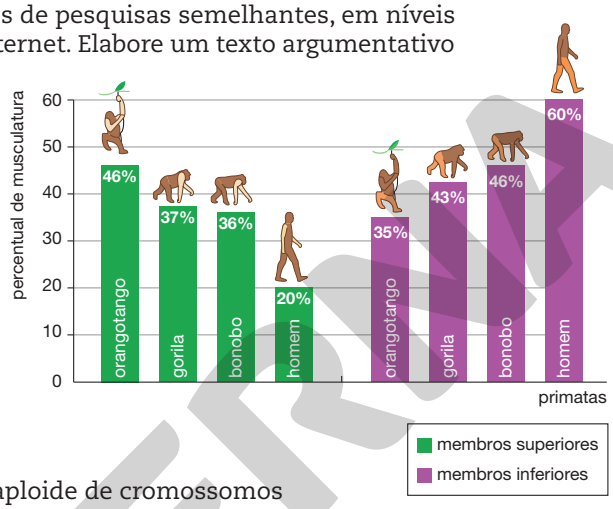


ILUSTRAÇÃO: ERICSON GUILHERME LUCIANO

Em relação aos demais primatas, a diferença na distribuição da musculatura da espécie humana favoreceu a seguinte atividade:

a) ocupação das árvores.
b) alimentação herbívora.
c) locomoção quadrúpede.
d) manipulação de objetos.

4. (UEA-AM) Analise a tabela que apresenta o número haploide de cromossomos da espécie humana e de duas espécies de chimpanzés.

4. a

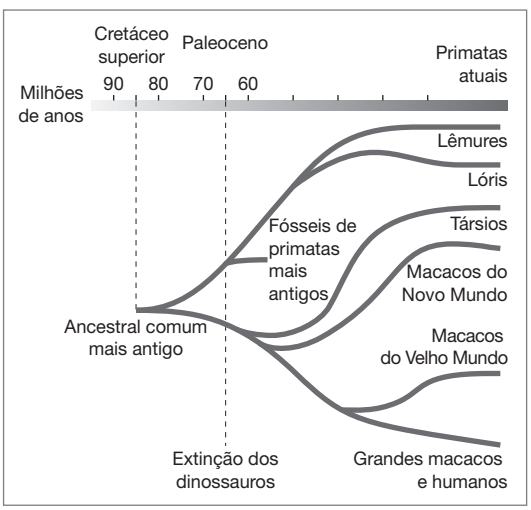
Espécie	*n*
Homo sapiens	23
Pan troglodytes	22
Pan paniscus	22

Considerando os números cromossômicos das espécies, é correto afirmar que

a) a partir de um ancestral comum aos gêneros *Homo* e *Pan*, rearranjos cromossômicos contribuíram para a diferenciação dos chimpanzés e da espécie humana.
b) hibridizações entre espécies dos gêneros *Homo* e *Pan* resultaram em descendentes com diferentes números cromossômicos, que deram origem aos chimpanzés e à espécie humana.
c) um erro na segregação cromossômica de espécimes do gênero *Homo* resultou em um genoma com um cromossomo a menos, que deu origem ao gênero *Pan*.
d) as espécies do gênero *Pan* compartilham entre si um ancestral comum, mas os números cromossômicos indicam que não há um ancestral comum aos gêneros *Homo* e *Pan*.
e) um erro na segregação cromossômica de um ancestral chimpanzé produziu um novo cromossomo, que deu origem à espécie *Homo sapiens*.

5. (Enem-MEC) Foi proposto um novo modelo de evolução dos primatas elaborado por matemáticos e biólogos. Nesse modelo o grupo de primatas pode ter tido origem quando os dinossauros ainda habitavam a Terra, e não há 65 milhões de anos, como é comumente aceito.

5. d



ADILSON SECCO

Examinando esta árvore evolutiva podemos dizer que a divergência entre os macacos do Velho Mundo e o grupo dos grandes macacos e de humanos ocorreu há aproximadamente

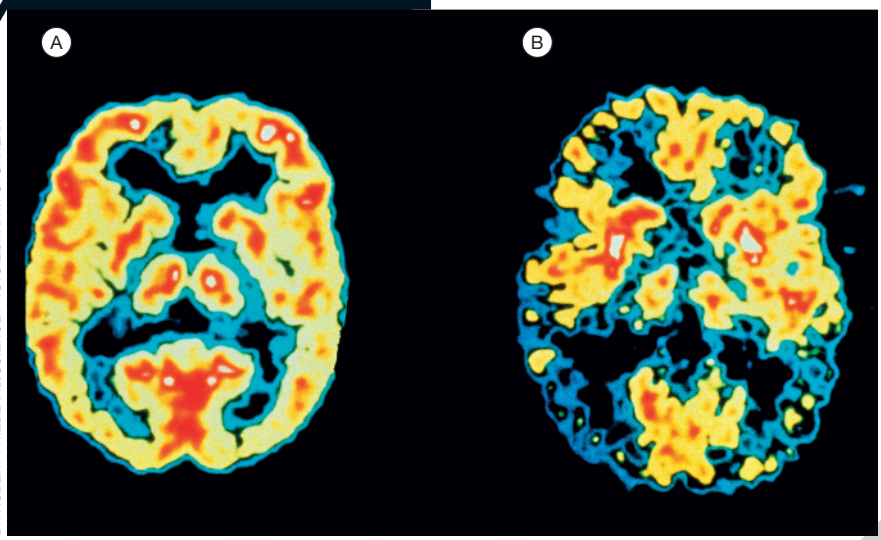
a) 10 milhões de anos.
b) 55 milhões de anos.
c) 85 milhões de anos.
d) 40 milhões de anos.
e) 65 milhões de anos.

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

EXCLUSIVO PARA PROFESSOR

CAPÍTULO

11 RADIOATIVIDADE



DR ROBERT FRIEDLAND/SCIENCE PHOTO LIBRARY/FOTOARENA

Tomografia por emissão de pósitron do cérebro de um indivíduo saudável (A) e de uma pessoa com doença de Alzheimer (B), que, entre outros efeitos, causa degeneração progressiva da memória e da capacidade de aprendizagem. Essas imagens são geradas por computador a partir do registro de emissões radioativas provenientes de moléculas de glicose modificadas que contêm um átomo radioativo. As cores, artificialmente aplicadas pelo equipamento, indicam a velocidade do consumo de glicose pelas áreas do cérebro. Ela aumenta na ordem: preto, azul, verde, amarelo, laranja e vermelho. As imagens indicam que a velocidade de utilização da glicose é bem menor no cérebro do indivíduo com Alzheimer. (Corte transversal do cérebro; cores meramente ilustrativas.)

Veja comentários sobre essa atividade no Suplemento do Professor.

O exame mostrado acima é uma das muitas aplicações da **radioatividade**, conjunto de fenômenos relacionados ao núcleo de átomos instáveis. Ao contrário das reações químicas (que são transformações nas quais os átomos se recombinam, mas sem alteração de seu núcleo), os **processos nucleares** se caracterizam por **transformações envolvendo o núcleo atômico**. Nesses fenômenos, podem acontecer, por exemplo, emissões de partículas e de energia pelo núcleo.

Todos os átomos do elemento químico flúor existentes naturalmente no planeta são de flúor-19 ($^{19}_{9}F$). Nesse tipo de átomo, o número atômico (*Z*, número de prótons no núcleo) é 9 e o número de massa (*A*, soma dos números de prótons e nêutrons) é 19 (Capítulo 8).

Artificialmente, pode-se produzir flúor-18 ($^{18}_{9}F$), com um nêutron a menos que o flúor-19. Tanto o $^{18}_{9}F$ como o $^{19}_{9}F$ são **isótopos** do elemento químico flúor. A palavra isótopo vem do grego *iso*, "igual", e *tópos*, "lugar", e indica *um mesmo lugar* na tabela periódica (no caso, trata-se do lugar referente a $Z = 9$, que corresponde ao elemento químico flúor).

Diferentemente do flúor-19, que não é radioativo, o flúor-18 tem um núcleo instável que pode emitir um pósitron, a antipartícula do elétron (Capítulo 8, Item 6). Para a realização do exame de tomografia por emissão de pósitron (fotos acima), são produzidas moléculas de fluorodesoxiglicose, um derivado da glicose que contém um átomo de flúor-18 na molécula. Essa substância é injetada na circulação do indivíduo e se concentra em células que consomem glicose mais rapidamente na respiração celular. Cada pósitron emitido por flúor-18 interage com um elétron (de qualquer átomo ao redor) e, como resultado da aniquilação desse par (Capítulo 8, Item 6), há emissão de fótons que podem ser detectados pelo aparelho, originando imagens. As áreas que emitem mais fótons são aquelas que consomem mais glicose.

Técnicas fundamentadas na radioatividade são de grande importância na Medicina e em diversas outras áreas. Neste capítulo, estudaremos aplicações benéficas e pacíficas da radioatividade. Também conheceremos aplicações controvertidas, como usinas e armamentos nucleares. É importante que você tenha conhecimento sobre o tema para poder se posicionar como cidadão diante de questões polêmicas a ele relacionadas.

Dialogando com o texto

As emissões radioativas podem ionizar as moléculas que encontram em seu caminho, isto é, remover elétrons delas, originando íons. No organismo, a ionização de biomoléculas pode desencadear reações químicas indesejadas, destruindo células ou alterando seu metabolismo. Isso pode eventualmente provocar reprodução celular descontrolada, originando câncer.

Contudo, dependendo do caso, o benefício decorrente do uso de determinadas técnicas médicas com materiais radioativos pode se justificar. Tenha isso em mente ao estudar este capítulo.

De olho na BNCC:

- EM13CNT101
- EM13CNT103
- EM13CNT104
- EM13CNT105
- EM13CNT106
- EM13CNT203
- EM13CNT303
- EM13CNT304
- EM13CNT307
- EM13CNT309
- EM13CHS504

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

EM MODERNA

1. Decaimentos alfa, beta e gama

No ano de 1896, o físico francês Henri Becquerel (1852-1908) constatou que um composto de urânio – sulfato de potássio e uranilo, $K_2UO_2(SO_4)_2$ – podia provocar uma mancha em um papel fotográfico, estando este na ausência de luz e embrulhado em envelope escuro. A interpretação de Becquerel era de que o composto emitia algum tipo de raio capaz de atravessar o envelope e atuar sobre o papel fotográfico. Becquerel também percebeu que as emissões provenientes do urânio ionizavam gases, tornando-os condutores de corrente elétrica. Anos mais tarde, o físico alemão Hans Geiger (1882-1945) utilizaria essa propriedade para criar um detector de radioatividade, chamado contador Geiger (Fig. 1). No final de 1897, a polonesa Marie Sklodowska Curie (Fig. 2) começou a estudar o fenômeno descoberto por Becquerel. Em julho de 1898, ela e o físico francês Pierre Curie (1859-1906) descobriram um novo elemento químico, que denominaram polônio. Alguns meses depois, descobriram um elemento ainda mais radioativo, que chamaram de rádio.

Diversos eventos subsequentes conduziram os cientistas a perceber que núcleos atômicos instáveis podem emitir partículas alfa, partículas beta e/ou radiação gama, que mencionamos no Capítulo 8. Quando um átomo emite uma dessas formas de radioatividade, dizemos que ocorre **decaimento nuclear**.

As emissões alfa e beta provocam alterações do número atômico (*Z*) e do número de massa (*A*) de um átomo. (Esses dois conceitos também foram apresentados no Capítulo 8. Recorde-os, se considerar necessário.) Chamamos de **nuclídeo** um núcleo caracterizado por determinados valores de *Z* e *A*, e de **radionuclídeo** ou **radioisótopo** um nuclídeo que é emissor de radiação.

Uma **partícula alfa** é constituída de dois prótons e dois nêutrons, sendo representada por ${}^{4}_{2}\alpha$ e correspondendo ao núcleo de um átomo do elemento químico hélio (${}^{4}_{2}He$). Quando um radionuclídeo emite uma partícula alfa, seu número de massa diminui 4 unidades e seu número atômico diminui 2 unidades, como exemplificado na seguinte equação que representa um alfaemissão:

$$^{238}_{92}U \rightarrow {}^{4}_{2}\alpha + {}^{234}_{90}Th$$

Uma **partícula beta negativa** é um elétron emitido por certos núcleos atômicos instáveis, sendo representada por ${}^{0}_{-1}\beta$ ou ${}^{0}_{-1}e$. Você deve estar se perguntando: como pode o núcleo de um átomo emitir um elétron? A resposta reside no fato de que, em núcleos instáveis emissores de partícula beta negativa, um nêutron pode se decompor em um próton (${}^{1}_{1}p$), um elétron e um antineutrino (${}^{0}_{0}\overline{\nu}$). O próton permanece no núcleo, o elétron (a partícula beta negativa) e o antineutrino são emitidos (o antineutrino é uma partícula com número de massa zero e carga elétrica nula). Assim, ao emitir uma partícula beta negativa, o núcleo tem a diminuição de um nêutron e o aumento de um próton. Consequentemente, seu número de massa permanece constante e seu número atômico aumenta 1 unidade, como exemplificado na equação:

$$^{14}_{6}C \rightarrow {}^{14}_{7}N + {}^{0}_{-1}\beta$$

Uma **partícula beta positiva**, representada por ${}^{0}_{+1}\beta$ ou ${}^{0}_{+1}e$, também denominada **pósitron**, resulta de outro tipo de processo que ocorre em determinados núcleos instáveis: transformação de um próton em um nêutron, um pósitron e um neutrino (${}^{0}_{0}\nu$). Assim, na betaemissão positiva, o número de massa permanece constante e o número atômico diminui 1 unidade. Por exemplo:

$$^{95}_{43}Tc \rightarrow {}^{95}_{42}N + {}^{0}_{+1}\beta$$

As emissões de **radiação gama** ocorrem frequentemente junto com emissões alfa ou beta, e são responsáveis por eliminar do núcleo um excedente energético que não foi eliminado com a partícula alfa ou beta emitida. A radiação gama é constituída de ondas eletromagnéticas (Capítulo 2) de altíssima frequência e elevado conteúdo energético.

PUBLIC HEALTH ENGLAND/SCIENCE PHOTO LIBRARY/FOTOARENA

Figura 1 Um contador Geiger, detector de radioatividade cujo funcionamento se baseia na ionização de gases. Quando partículas alfa, partículas beta ou radiações gama ionizam o gás que existe dentro de uma ampola (indicada pela seta), esse gás se torna, momentaneamente, condutor de corrente elétrica. Isso é detectado pelo aparelho e convertido em um sinal sonoro e em uma medida que aparece no mostrador. Quanto mais radiação atingir o gás da ampola, maior será a condutividade elétrica do gás, o nível de ruído gerado pelo detector e o nível de radiação indicado pelo mostrador.

GEORGE RINHART/CORBIS HISTORICAL/GETTY IMAGES

Figura 2 A física polonesa Marie Sklodowska Curie (1867-1934), em foto de 1894. Foi uma das pessoas pioneiras em estudos de radioatividade, tendo descoberto os 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 (sozinha), em 1911.

Veja comentários sobre essa atividade no Suplemento do Professor.

Dialogando com o texto

Após estudar o Item 1, equacione o decaimento:

- alfa do ${}^{218}_{84}Po$;
- beta negativo do ${}^{131}_{53}I$;
- beta positivo do ${}^{18}_{9}F$.

Utilize a tabela periódica para determinar o símbolo do elemento químico a que pertence o nuclídeo produzido em cada processo.

Elétron e pósitron constituem um par matéria-antimatéria. Um pósitron emitido em um decaimento tem geralmente tempo de vida muito curto porque interage com elétron em um processo de aniquilação matéria-antimatéria (Capítulo 8). Um neutrino e um antineutrino também constituem um par matéria-antimatéria.

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

MODERNA

2. Cinética dos decaimentos radioativos

Em um decaimento radioativo, à medida que o tempo passa, a quantidade de radionuclídeo diminui, pois ele se transforma em outro nuclídeo. Chamados de **tempo de meia-vida**, ou **período de semidesintegração**, representado por $t_{1/2}$, o tempo necessário para que ocorra decaimento radioativo de metade da quantidade de determinado radionuclídeo.

Essa grandeza (Tabela 1) é característica de cada radionuclídeo e não depende da quantidade inicial, pressão, temperatura ou composição química do material. Graficamente, podemos representar o processo de decaimento radioativo por uma **curva exponencial de decaimento** (Fig. 3).

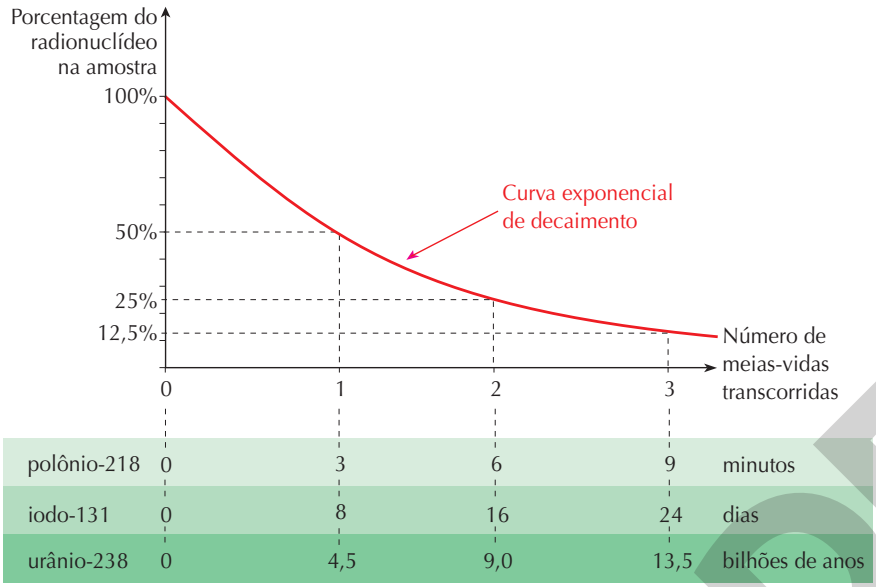


Tabela 1 Valor da meia-vida ($t_{1/2}$) de alguns radionuclídeos

Nuclídeo e emissão	Meia-vida
$^{218}_{84}Po$, α	3 minutos
$^{131}_{53}I$, β^-	8 dias
$^{60}_{27}Co$, β^-	5,26 anos
$^{3}_{1}H$ (trítio), β^-	12,3 anos
$^{90}_{38}Sr$, β^-	28 anos
$^{235}_{92}U$, α	710 milhões de anos
$^{238}_{92}U$, α	4,5 bilhões de anos

Fontes consultadas: ATKINS, P. *et al. Chemical Principles*: the quest for insight. 6. ed. Nova York: Freeman, 2013; KOTZ, J. C. *et al. Chemistry & chemical reactivity*. 10. ed. Boston: Cengage, 2019.

Figura 3 Curva de decaimento radioativo, que ilustra que a porcentagem do radionuclídeo se reduz à metade cada vez que transcorre um tempo igual à meia-vida.

Fontes consultadas: ATKINS, P. *et al. Op. cit.*; KOTZ, J. C. *et al. Op. cit.*

Série radioativa é o nome dado ao conjunto de nuclídeos relacionados por sucessivos decaimentos radioativos (Fig. 4). Existem três séries radioativas naturais, que principiam com os radionuclídeos urânio-238, urânio-235 e tório-232, encontrados em determinados minérios. São conhecidas séries radioativas artificiais (descobertas em laboratório), entre elas uma que começa no netúnio-237. Os tempos de meia-vida de urânio-238, urânio-235 e tório-232 (respectivamente, $4{,}5 \cdot 10^9$; $7{,}0 \cdot 10^8$ e $1{,}4 \cdot 10^{10}$ anos) são comparáveis à idade da Terra, estimada em $4{,}6 \cdot 10^9$ anos. A meia-vida do netúnio-237 ($2{,}1 \cdot 10^6$ anos) é pequena se comparada a ela, indicando que, se um dia esse isótopo existiu, praticamente todos os seus núcleos já decaíram. O netúnio-237 foi sintetizado em laboratório para que sua série radioativa pudesse ser estudada.

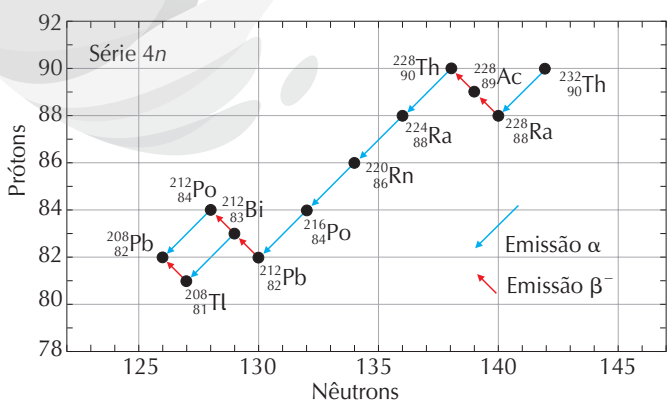


Figura 4 Série radioativa do tório, que começa com o tório-232 e, por sucessivos decaimentos alfa e beta, termina em chumbo-208, cujo núcleo é estável com relação a decaimentos alfa ou beta. Essa sequência é também conhecida como série 4*n*, pois os valores dos números de massa dos componentes são todos múltiplos inteiros de quatro.

Fonte consultada: SPENCER, J. N. *et al. Chemistry, structure and dynamics*. 5. ed. Nova York: John Wiley, 2011.

ILUSTRAÇÕES: ADILSON SECCO

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

3. Transmutação nuclear

Em 1914, o físico neozelandês Ernest Rutherford (1871-1937) constatou que, na presença de um alfaemissor, átomos do elemento nitrogênio se transformam em átomos de oxigênio. Isso se deve ao processo equacionado a seguir, que ocorre quando uma partícula atinge um núcleo de átomo de nitrogênio:

$$^{14}_{7}N + {}^{4}_{2}\alpha \rightarrow {}^{17}_{8}O + {}^{1}_{1}p$$

Esse fenômeno foi o primeiro caso relatado de uma **transmutação nuclear**, transformação de um nuclídeo em outro provocada pelo bombardeamento com uma partícula. No caso, o nitrogênio-14 transmutou-se em oxigênio-17 devido ao bombardeio com partículas alfa. A transmutação nuclear é, atualmente, uma importante ferramenta na produção de nuclídeos artificiais, isto é, nuclídeos não encontrados na natureza. Os primeiros desses nuclídeos artificiais foram obtidos pelo casal francês Irene Joliot-Curie (Fig. 5) e Frederic Joliot-Curie (1900-1958), em 1934, por meio de transmutação nuclear. Um exemplo é assim equacionado:

$$^{10}_{5}B + {}^{4}_{2}\alpha \rightarrow {}^{13}_{7}N + {}^{1}_{0}n$$

Os elementos químicos com número atômico maior que o do urânio ($Z > 92$) são chamados de elementos transurânicos. Esses elementos não existem na natureza, e foram obtidos pelos cientistas por meio de processos nucleares (Fig. 6), principalmente de transmutação nuclear realizada em aceleradores de partículas. Nesses dispositivos, partículas eletricamente carregadas são aceleradas até atingirem altíssimas velocidades e se chocarem com átomos estacionários (chamados átomos-alvo). Veja, a título de exemplo, as equações que representam a síntese dos elementos 112 (copernício) e 118 (oganessônio):

$$^{208}_{82}Pb + {}^{70}_{30}Zn \rightarrow {}^{277}_{112}Cn + {}^{1}_{0}n$$

$$^{249}_{98}Cf + {}^{48}_{20}Ca \rightarrow {}^{294}_{118}Og + 3\,{}^{1}_{0}n$$

Dos elementos químicos com número atômico menor que o do urânio ($Z < 92$), denominados elementos cisurânicos, dois deles não têm nenhum isótopo estável conhecido, e foram sintetizados artificialmente: tecnécio ($_{43}Tc$) e promécio ($_{61}Pm$). Outros dois, embora existam na natureza, são tão pouco abundantes (estima-se que a quantidade total de cada um na crosta terrestre não ultrapasse 30 g) que sua descoberta ocorreu por síntese artificial: astato ($_{85}At$) e frâncio ($_{87}Fr$).

PAUL POPPER/POPPERFOTO/GETTY IMAGES

Figura 5 A física nuclear francesa Irene Joliot-Curie (1897-1956), em foto tirada por volta de 1940. Foi a segunda mulher a ganhar o Prêmio Nobel de Química (a primeira foi sua mãe, Marie Curie), o que ocorreu em 1935, por reconhecimento aos seus trabalhos referentes à radioatividade artificial.

REPRODUÇÃO - COLEÇÃO PARTICULAR

Figura 6 A química nuclear húngara Elizabeth Rona (1890-1981), em foto da década de 1950. Desenvolveu métodos para isolar amostras do elemento artificial plutônio para estudos nucleares. O plutônio foi usado na síntese dos elementos artificiais amerício ($_{95}Am$) e cúrio ($_{96}Cm$). Foi pioneira em estudos de radioatividade em Oceanografia.

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.

Consulte a tabela periódica sempre que considerar necessário.

1. São conhecidos 25 isótopos do elemento químico rádio, nenhum dos quais é estável. O menos instável deles é o $^{226}_{88}Ra$, alfaemissor. Equacione o decaimento desse nuclídeo, identificando o nuclídeo produzido nesse processo.

2. O estrôncio-90 ($^{90}_{38}Sr$) é um betaemissor cujo tempo de meia-vida é 28 anos.

a) Equacione o decaimento desse radioisótopo.

b) Quanto tempo é necessário para que restem 12,5% de uma amostra de estrôncio-90?

3. Cobalto-60, usado em medicina nuclear, possui meia-vida de 5 anos. Dentro de uma cápsula lacrada foi colocada uma amostra desse radionuclídeo e, aberta após 20 anos, revelou conter 750 mg dele. Qual a quantidade colocada inicialmente na cápsula?

4. O elemento artificial cúrio ($_{96}Cm$), nomeado em homenagem a Marie Curie, foi bombardeado com partículas alfa, produzindo, por transmutação nuclear, outro elemento artificial (X):

$$^{242}_{96}Cm + {}^{4}_{2}\alpha \rightarrow X + {}^{1}_{0}n$$

Deduza o número atômico e o número de massa de X. De que elemento é esse átomo?

5. O nome do elemento 109, meitnério, é uma homenagem à física nuclear austríaca Lise Meitner (1878-1968), cujas pesquisas ajudaram a elucidar por que certos núcleos atômicos são instáveis. A síntese do meitnério envolveu a transmutação assim equacionada:

$$^{209}_{83}Bi + {}^{58}_{26}Fe \rightarrow {}^{266}_{109}Mt + y$$

Determine qual é a partícula y e justifique.

6. Quantas meias-vidas devem transcorrer para que ocorra o decaimento nuclear de 93,75% de uma amostra de determinado radionuclídeo?

4. Algumas aplicações da radioatividade

A incidência de radiação sobre um tecido humano pode induzir o aparecimento de câncer. Então surge a dúvida: por que a Medicina utiliza radiação no tratamento de certos casos dessa doença? Uma dose controlada de radiação incidindo apenas no local do tumor pode matar preferencialmente as células cancerosas, sendo o princípio da **radioterapia**, uma das aplicações pacíficas da radioatividade. Nessa técnica são usados os raios gama provenientes de emissores gama apropriados (Tabela 2). Como a radiação utilizada também pode matar células que não fazem parte do câncer – produzindo efeitos colaterais como náuseas, vômitos e queimaduras na pele – os médicos procuram direcionar as radiações com a máxima precisão possível para a região do câncer.

Ainda na área médica, muitos outros radioisótopos possuem importantes aplicações na geração de imagens para o diagnóstico de doenças (Tabela 3). Uma vez introduzidos no organismo, as emissões desses radionuclídeos podem ser detectadas por sensores apropriados, fornecendo informações relevantes sobre o funcionamento de diversos órgãos.

Nas pesquisas em Bioquímica e Medicina, o uso de radioisótopos possibilita a detecção, com boa precisão, de espécies químicas como hormônios e antígenos, ainda que estejam em baixíssima concentração (Fig. 7).

A radioatividade tem aplicações práticas em diversas outras áreas. Ela pode ser utilizada para esterilizar alimentos, detectar vazamentos em tubulações, analisar a espessura de chapas e estudar o mecanismo de reações químicas.

Os processos de **datação** (determinação da idade) de materiais são outra utilidade de radioisótopos. Um desses processos utiliza o isótopo carbono-14 ($^{14}_{6}C$), um emissor de partícula beta negativa cuja abundância é 0,000001%. Essa abundância significa que, em cada bilhão (10^9) de átomos do elemento químico carbono, 10 são de carbono-14, ou seja, a abundância é 10 ppb (10 partes por bilhão). O carbono-14 forma-se na alta atmosfera, onde ocorre continuamente transmutação nuclear de nitrogênio-14 em carbono-14 causada pela colisão de nêutrons cósmicos (vindos do espaço):

$$^{14}_{7}N + {}^{1}_{0}n \rightarrow {}^{14}_{6}C + {}^{1}_{1}p$$

O carbono-14 produzido incorpora-se à atmosfera na forma de dióxido de carbono (CO_2). Pela fotossíntese, processo que transforma CO_2 em substâncias orgânicas, esses átomos de carbono-14 se integram à constituição dos seres vivos fotossintetizantes e, por meio das cadeias alimentares, também dos demais seres vivos. Verificou-se que, com a mesma velocidade com que o carbono-14 é produzido na alta atmosfera, ele se desintegra por emissão beta negativa:

$$^{14}_{6}C \rightarrow {}^{14}_{7}N + {}^{0}_{-1}\beta \qquad t_{1/2} = 5.730 \text{ anos}$$

Assim, a abundância de carbono-14 no planeta permanece constante na atmosfera e nos seres vivos (10 ppb). Ao examinar múmias, fósseis, ossos, pergaminhos e outros achados arqueológicos compostos de restos de antigos seres vivos, os cientistas encontram teores de carbono-14 inferiores a 10 ppb, o que se deve ao decaimento ocorrido desde a morte do ser vivo.

Uma vez determinado o teor de carbono-14 em uma amostra, é possível determinar a sua idade consultando a curva de decaimento radioativo (Fig. 3). Esse processo é o **método de datação por carbono-14**, que, pelas razões descritas, aplica-se somente a materiais contendo substâncias orgânicas originárias de seres vivos.

Há outros processos de datação para estimar a idade de rochas, que envolvem radioisótopos como potássio-argônio, urânio-chumbo, rubídio-estrôncio e samário-neodímio. Com esses métodos, cientistas estimaram a idade da Terra em 4,6 bilhões de anos. A datação de amostras de rochas lunares trazidas pelas missões Apollo 11 e Apollo 17 forneceu resultados entre 3,2 e 4,2 bilhões de anos.

Tabela 2 Alguns radionuclídeos usados em radioterapia

Radionuclídeo	Tratamento de
$^{32}_{15}P$	leucemia
$^{60}_{27}Co$	diversos cânceres
$^{131}_{53}I$	câncer de tireoide
$^{131}_{55}Cs$	câncer de próstata

Fonte consultada: GILBERT, T. R. *et al. Chemistry: the Science in Context*. 5. ed. Nova York: Norton, 2018.

Tabela 3 Radionuclídeos usados em procedimentos de diagnóstico médico

Radionuclídeo	Diagnóstico relativo a
$^{99m}_{43}Tc$*	cérebro, rins
$^{201}_{81}Tl$	coração
$^{123}_{53}I$	tireoide
$^{67}_{31}Ga$	diversos tumores
$^{18}_{9}F$	cérebro

* Representação em que *m* indica *metaestável*, termo usado, nesse caso, para designar um estado não estável do núcleo que pode existir por determinado tempo. A meia-vida do tecnécio-99 *metaestável* é de 6 h.

Fonte consultada: KOTZ, J. C. *et al. Op. cit.*

BETTMANN/GETTY IMAGES

Figura 7 A física médica estadunidense Rosalyn Sussman Yalow (1921-2011), em foto de 1977, ano em que recebeu o Prêmio Nobel de Medicina ou Fisiologia pelo desenvolvimento da técnica chamada radioimunoensaio. Nesse método, isótopos gamaemissores são usados, em laboratório, para determinar a concentração de espécies presentes no sangue ou outros líquidos corporais, ainda que em baixíssimas concentrações. A técnica tem alta precisão e não há introdução de espécies radioativas no organismo.

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

MODERNA

5. Usinas nucleares e bombas atômicas

Como comentamos no Capítulo 8, **fissão nuclear** é o processo de quebra de núcleos grandes em núcleos menores, que libera grande quantidade de energia.

O nêutron, ao atingir um núcleo de urânio-235, provoca sua quebra em dois núcleos menores e a liberação de mais nêutrons que, por sua vez, irão atingir outros núcleos e provocar novas quebras. Na fissão do urânio-235, diversos produtos podem se formar. Alguns exemplos estão equacionados a seguir:

$$ {}^{1}_{0}n + {}^{235}_{92}U \rightarrow \begin{cases} {}^{142}_{56}Ba + {}^{92}_{36}Kr + 2\,{}^{1}_{0}n \\ {}^{143}_{57}La + {}^{90}_{35}Br + 3\,{}^{1}_{0}n \\ {}^{131}_{50}Sn + {}^{102}_{42}Mo + 3\,{}^{1}_{0}n \\ {}^{137}_{53}I + {}^{97}_{39}Y + 2\,{}^{1}_{0}n \end{cases} $$

A energia liberada na fissão nuclear é muito maior do que a envolvida em reações químicas, como as combustões (Tabela 4). A fissão nuclear é o processo que ocorre – de modo descontrolado – na explosão de uma bomba atômica.

Na fissão de um núcleo de urânio-235, um nêutron é consumido e dois ou três são produzidos. Esses nêutrons, caso encontrem outros núcleos de urânio-235, podem causar outras fissões, produzindo muito mais nêutrons que, por sua vez, irão atingir outros núcleos e provocar novas fissões, em uma reação nuclear em cadeia. Outros núcleos fissionáveis que podem, em condições apropriadas, manter esse processo em cadeia são urânio-233 e plutônio-239. Na fissão nuclear do urânio-238, o mais abundante dos isótopos do urânio, um nêutron é utilizado, mas somente um é produzido, o que inviabiliza a sustentação da reação nuclear em cadeia. Isso também acontece com outros núcleos grandes.

Se a massa da amostra submetida à fissão nuclear é pequena, os nêutrons emitidos podem não atingir outro núcleo de urânio-235, urânio-233 ou plutônio-239, pois escapam para a vizinhança sem colidir com outros núcleos fissionáveis. Sendo assim, a reação de fissão em cadeia não se estabelece. Entretanto, se um grande número de núcleos fissionáveis existir na amostra, muitos nêutrons atingirão outros núcleos fissionáveis, mantendo a continuidade do processo. A quantidade mínima de material fissionável necessária para assegurar que uma reação de fissão em cadeia ocorra é chamada de **massa crítica**.

Uma bomba atômica contém porções de urânio-235 ou plutônio-239 inferiores à massa crítica, mas que, no conjunto, perfazem uma massa total superior a ela. No momento da explosão, um detonador feito de explosivo comum coloca essas massas em contato, superando a massa crítica e provocando a explosão.

Após o início da Segunda Guerra Mundial, os interesses sobre fissão nuclear aumentaram devido à possível aplicação bélica. Nos Estados Unidos, um grupo de cientistas chefiados por Julius Robert Oppenheimer (1904-1967) construiu uma **bomba de fissão**, ou **bomba atômica** (**bomba A**), que foi testada na manhã de 16 de julho de 1945, no deserto do Novo México. Alguns dias depois (6 de agosto de 1945), uma bomba atômica de fissão de urânio-235 foi detonada na cidade japonesa de Hiroshima (Fig. 8). Três dias depois, outra bomba atômica, dessa vez de fissão de plutônio-239, foi explodida sobre Nagasaki.

Cada uma das bombas detonadas no Japão correspondia a cerca de 20 quilotons (um quiloton equivale ao poder destrutivo de mil toneladas de TNT). Aproximadamente 71 mil pessoas foram mortas instantaneamente em Hiroshima. As mortes nos cinco anos subsequentes, em decorrência da exposição à radiação, são estimadas em 200 mil. Quase 98% das construções de Hiroshima foram destruídas ou seriamente danificadas. Em Nagasaki, algo em torno de 74 mil pessoas morreram na explosão, que devastou 47% da cidade. Foi devido a essa lamentável demonstração que o mundo tomou conhecimento da enorme quantidade de energia que se encontra armazenada no núcleo dos átomos.

Tabela 4 Comparação da energia liberada em alguns processos

Processo	Energia (kJ/g)
fissão nuclear de ${}^{235}_{92}U$ em ${}^{142}_{56}Ba$ e ${}^{92}_{36}Kr$	$7{,}92 \cdot 10^{7}$
fusão nuclear* de ${}^{2}_{1}H$ e ${}^{3}_{1}H$ em ${}^{4}_{2}He$ e ${}^{1}_{0}n$	$3{,}37 \cdot 10^{8}$
combustão de gás hidrogênio, $H_2(g)$	$1{,}43 \cdot 10^{2}$
combustão de etanol líquido, $C_2H_5OH(l)$	$2{,}97 \cdot 10^{1}$

* A fusão nuclear foi conceituada no Capítulo 8 e será retomada mais adiante, neste capítulo.

Fontes consultadas: TIPLER, P. A.; LLEWELLYN, R. A. *Modern Physics*. 6. ed. Nova York: Freeman, 2012; 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.

Dialogando com o texto

Para você perceber que a fissão nuclear libera proporcionalmente muito mais energia que uma reação química, utilize os dados da Tabela 4 para determinar a massa de:

a) gás hidrogênio e

b) etanol líquido

que devem reagir na combustão a fim de liberar a mesma quantidade de energia que a fissão de 1 g de urânio-235.

SCHULTZ REINHARD/PRISMA BY DUKAS PRESSEAGENTUR GMBH/ALAMY/FOTOARENA

Figura 8 Ruínas de Hiroshima, fotografadas cerca de um mês depois de a cidade ter sido devastada pela explosão da bomba atômica. (Hiroshima, Japão, 1945.)

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

MODERNA

A fissão nuclear é realizada, de maneira controlada, em um tipo de dispositivo denominado **reator nuclear**, visando à produção de energia elétrica a partir do calor liberado na fissão. O reator nuclear e os demais equipamentos necessários a essa forma de geração de energia elétrica constituem uma **usina termonuclear**, ou, simplesmente, **usina nuclear** (Fig. 9).

Os principais componentes de um reator nuclear são: barras de material físsil, que pode ser urânio-235 (natural), urânio-233 ou plutônio-239 (artificiais); fluido trocador de calor; moderador (grafite ou água), que serve para diminuir a velocidade dos nêutrons, o que torna a reação possível (nêutrons rápidos não são eficientes para provocar a fissão); barras de controle (cádmio ou boro), que absorvem nêutrons e servem para evitar que a reação saia de controle, superaquecendo o reator.

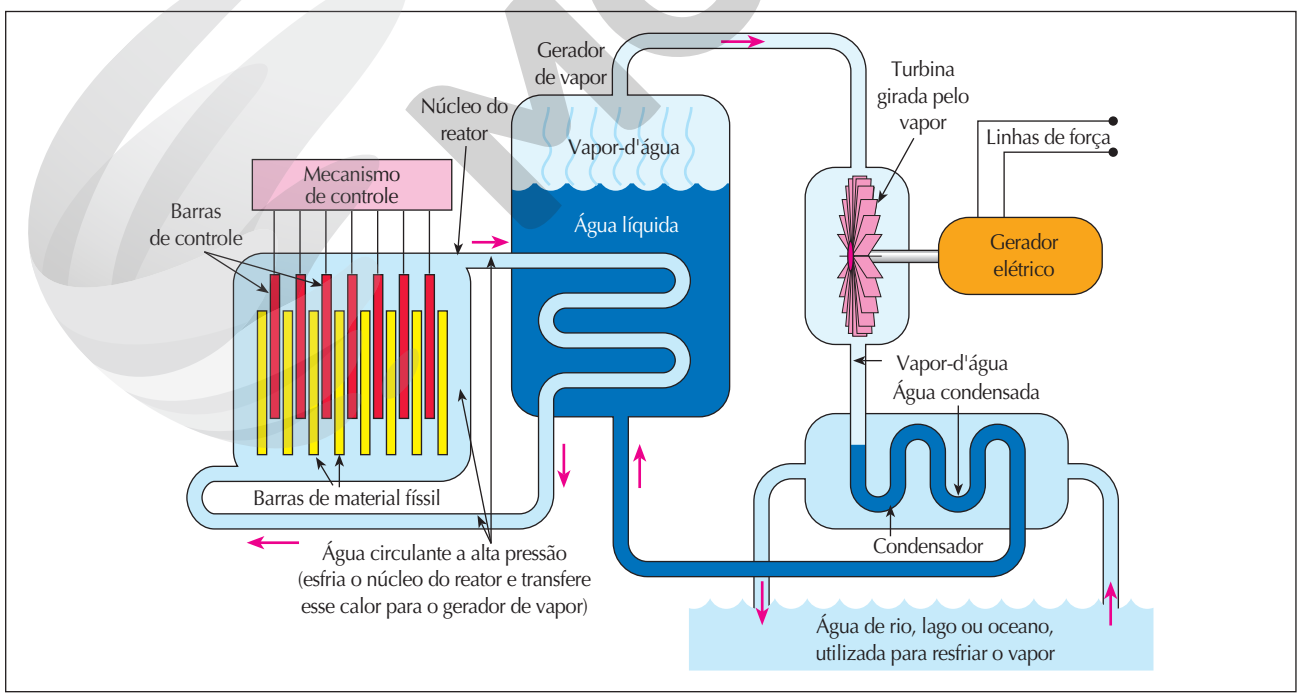
O conjunto das barras de material físsil tem uma massa que é igual ou superior à crítica, embora cada uma delas tenha massa subcrítica. A fissão nuclear em cadeia pode ser interrompida impulsionando as barras de controle para o centro do reator, onde absorvem os nêutrons. Na operação normal, a posição das barras é ajustada para que seja produzida a quantidade de calor desejada na fissão e o processo se mantenha.

Existem diferentes tipos de reator nuclear. Em um deles, chamado reator de água pressurizada, ou PWR (do inglês *pressurized water reactor*), como os das usinas Angra 1 e 2 (em Angra dos Reis, RJ), o calor liberado na fissão aquece a água (mantida a alta pressão) que está em contato com o material físsil. Esta aquece outra porção de água que entra em ebulição. O vapor produzido gira uma turbina, cujo eixo se liga a um gerador elétrico, o qual, por sua vez, transforma a energia do movimento em energia elétrica. Nesse tipo de reator (Fig. 10), a água funciona como fluido trocador de calor e também como moderador dos nêutrons.

Nos produtos da fissão, que constituem o **lixo nuclear**, existem dezenas de radionuclídeos emissores α, β e γ que representam sério risco às pessoas e ao meio ambiente. Esses resíduos devem ser armazenados em recipientes de chumbo e/ou de concreto e guardados em locais seguros por tempo suficiente para que a radiação diminua a níveis não prejudiciais. Entre os muitos nuclídeos perigosos do lixo nuclear, podemos citar o estrôncio-90 (que pode se acumular nos ossos), o iodo-131 (que pode se acumular na glândula tireoide) e o césio-137 (que se dispersa em todos os líquidos corporais).

DELFIM MARTINS/TYBA

Figura 9 Usinas nucleares Angra 1 (à direita), Angra 2 (à esquerda) e Angra 3 (ao fundo, em construção). (Praia de Itaorna, Angra dos Reis, RJ, 2019.)



ADILSON SECCO

Figura 10 Esquematização da geração de energia elétrica em uma usina termonuclear com reator de água pressurizada (PWR). (Representação fora de proporção; cores meramente ilustrativas.)

Fonte: ZUMDAHL, S. S. *et al. Chemistry*. 10. ed. Boston: Cengage, 2018.

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

MODERNA

6. Estrelas e bombas de hidrogênio

Conforme comentamos no Capítulo 8, **fusão nuclear** é a junção de núcleos, formando núcleos maiores e liberando grande quantidade de energia. Para ocorrer fusão nuclear é necessária uma temperatura muito elevada, pelo menos da ordem de 10 milhões de graus Celsius. O Sol contém grande quantidade de hidrogênio e a temperatura em seu interior é suficiente para que ocorra a fusão de átomos de hidrogênio, formando átomos de hélio e liberando a energia irradiada por essa estrela.

Ocorre também fusão nuclear na explosão de uma **bomba de hidrogênio** (ou **bomba H**, ou **bomba termonuclear**). Nesse caso, o processo pode envolver deutério ($^{2}_{1}H$) e trítio ($^{3}_{1}H$), sendo assim equacionado:

$$^{3}_{1}H + {}^{2}_{1}H \rightarrow {}^{4}_{2}He + {}^{1}_{0}n$$

Comparando-se massas iguais de material, essa transformação libera ainda mais energia que a fissão nuclear (reveja a Tabela 4). No entanto, para que a fusão ocorra, é necessária altíssima temperatura, conseguida através da explosão de uma bomba atômica, que funciona como detonador da bomba H (Fig. 11).

Aproveitar a energia da fusão nuclear para geração de energia elétrica em usinas seria extremamente vantajoso, pois o deutério e o trítio podem ser obtidos a partir da água do mar e o produto é menos perigoso que o lixo nuclear da fissão, contendo como radioisótopo apenas o trítio que eventualmente tenha restado. No entanto, ainda não existe tecnologia para realizar a fusão nuclear de maneira segura e controlada, embora existam estudos em andamento.

No próximo capítulo, você conhecerá o ciclo de vida das estrelas e descobrirá que, nelas, podem ocorrer diversos processos de fusão nuclear que formam átomos de outros elementos químicos além do hélio. Também aprenderá como se originaram os átomos que não são formados por processos de fusão nuclear.

SCIENCE & SOCIETY PICTURE LIBRARY/GETTY IMAGES

Figura 11 Nuvem de fumaça e destroços da explosão da primeira bomba de hidrogênio testada. Mais de 200 explosões nucleares já aconteceram por todo o planeta em testes nucleares. O lixo atômico desses eventos é espalhado pelo vento, pela água e pelos seres vivos (através das cadeias alimentares). A poeira e as cinzas lançadas na atmosfera podem subir além da camada das nuvens e permanecer meses em suspensão. (Teste realizado pelos Estados Unidos em 31 de outubro de 1952, no Atol Eniwetok, Oceano Pacífico.)

Em destaque

Veja comentários sobre essa atividade no Suplemento do Professor.

Controvérsias sobre o uso das tecnologias nucleares

A elevada meia-vida dos isótopos produzidos nos reatores nucleares significa que o lixo nuclear emitirá radiação por várias gerações. Atualmente, muitos resíduos nucleares são armazenados no local em que são produzidos, enquanto os países desenvolvem planos para instalações subterrâneas para armazenamento de longo prazo. [...]

Mais de 6.000 casos de câncer de tireoide foram reportados entre habitantes que eram crianças ou adolescentes na Ucrânia e em Belarus na época do acidente [na usina nuclear de Chernobyl]. [...]

Nas duas semanas que se seguiram [ao acidente na usina nuclear de Fukushima], o governo japonês determinou que aproximadamente 300 mil pessoas que viviam a uma distância de 30 km da usina deixassem a região. [...]

Fonte: FAHLMAN, B. D. *et al. Chemistry in context*: applying Chemistry to society. 9. ed. Nova York: American Chemical Society/McGraw-Hill, 2018. (Tradução dos autores.)

Neste capítulo, mostramos aplicações importantes para a sociedade de processos envolvendo transformações do núcleo de átomos. Comentamos, também, que existem utilizações controversas, como a bomba atômica e a bomba de hidrogênio. O uso das tecnologias nucleares requer reflexões e discussões da sociedade.

A critério do professor, cada equipe ficará encarregada de pesquisar um dos temas a seguir e elaborar um vídeo destinado aos demais colegas da classe. (Sugestões de uso de mídias digitais estão disponíveis no início do livro.)

- Consequências biológicas e psicológicas, ao longo dos anos, para os sobreviventes da explosão das bombas atômicas em Hiroshima e Nagasaki (Japão, 1945).
- Acidente na usina nuclear de Chernobyl (Ucrânia, 1986).
- Acidente com o radionuclídeo césio-137 (Brasil, 1987).
- Acidente na usina nuclear de Fukushima (Japão, 2011)

Após a classe ter assistido aos vídeos, cada equipe deverá fazer um levantamento de aspectos **positivos** e **negativos** do uso das diversas tecnologias relacionadas ao núcleo atômico (por exemplo, geração de energia elétrica, tratamentos médicos e pesquisas científicas), bem como de **argumentos favoráveis e contrários** à sua utilização. Em dia marcado, cada equipe deve expor o que obteve.

A seguir, realizem um debate, mediado pelo professor, em que cada estudante possa expressar sua **opinião** e suas **propostas** sobre a utilização dessas tecnologias nas diferentes áreas. A troca de ideias acerca de temas controvertidos como esses é oportuna porque ajuda um cidadão a ser bem informado, a refletir sobre implicações benéficas e maléficas para a sociedade e a se posicionar sobre eles.

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) Glicose marcada com nuclídeos de carbono-11 é utilizada na medicina para se obter imagens tridimensionais do cérebro, por meio de tomografia de emissão de pósitrons. A desintegração do carbono-11 gera um pósitron, com tempo de meia-vida de 20,4 min, de acordo com a equação da reação nuclear:

1. d

$$^{11}_{6}C \rightarrow {}^{11}_{5}B + {}^{0}_{1}e$$

(pósitron)

A partir da injeção de glicose marcada com esse nuclídeo, o tempo de aquisição de uma imagem de tomografia é de cinco meias-vidas. Considerando que o medicamento contém 1,00 g do carbono-11, a massa, em miligramas, do nuclídeo restante, após a aquisição da imagem, é mais próxima de

a) 0,200 **c)** 9,80 **e)** 200
b) 0,969 **d)** 31,3

2. (Uerj) Considere a tabela a seguir, na qual são apresentadas algumas propriedades de dois radioisótopos, um do polônio e um do rádio.

Radioisótopo	Meia-vida (anos)	Partícula emitida
polônio-208	3	α
rádio-224	6	β

Em um experimento, duas amostras de massas diferentes, uma de polônio-208 e outra de rádio-224, foram mantidas em um recipiente por 12 anos. Ao final desse período, verificou-se que a massa de cada um desses radioisótopos era igual a 50 mg. Calcule a massa total, em miligramas, de radioisótopos presente no início do experimento. Escreva também os símbolos dos elementos químicos formados no decaimento de cada um desses radioisótopos.

3. (UEPG-PR) Uma série radioativa consiste em um conjunto de radioisótopos que são formados a partir de um radioisótopo inicial, pela sucessiva emissão de partículas alfa e beta. Na série radioativa que se inicia com o $^{237}_{93}Np$ e termina com o $^{209}_{83}Bi$, o número de partículas α e β emitidas é de, respectivamente:

3. b

a) 3 e 5. **c)** 6 e 3. **e)** 8 e 6.
b) 7 e 4. **d)** 5 e 2.

4. (Uerj) O reator atômico instalado no município de Angra dos Reis é do tipo PWR — Reator de Água Pressurizada. O seu princípio básico consiste em obter energia através do fenômeno fissão nuclear, em que ocorre a ruptura de núcleos pesados em outros mais leves, liberando grande quantidade de energia. Esse fenômeno pode ser representado pela seguinte equação nuclear:

4. b

$$^{1}_{0}n + {}^{235}_{92}U \rightarrow {}^{144}_{55}Cs + T + 2\,{}^{1}_{0}n + \text{energia}$$

Os números atômico e de massa do elemento T são respectivamente:

a) 27 e 91. **b)** 37 e 90. **c)** 39 e 92. **d)** 43 e 93.

5. (Unopar-PR) Uma amostra de carvão mineral, originada pelo soterramento de árvores, numa devastação de floresta, revelou conter 25% de teor de carbono-14 existente na atmosfera. O tempo, em anos, em que essa árvore foi soterrada é ($t_{1/2}$ do C-14 = 5.730 anos)

5. d

a) 2.865. **c)** 8.595. **e)** 17.190.
b) 5.730. **d)** 11.460.

6. (Enem) Um problema ainda não resolvido da geração nuclear de eletricidade é a destinação dos rejeitos radiativos, o chamado "lixo atômico". Os rejeitos mais ativos ficam por um período em piscinas de aço inoxidável nas próprias usinas antes de ser, como os demais rejeitos, acondicionados em tambores que são dispostos em áreas cercadas ou encerrados em depósitos subterrâneos secos, como antigas minas de sal. A complexidade do problema do lixo atômico, comparativamente a outros lixos com substâncias tóxicas, se deve ao fato de:

6. a

a) emitir radiações nocivas, por milhares de anos, em um processo que não tem como ser interrompido artificialmente.
b) acumular-se em quantidades bem maiores do que o lixo industrial convencional, faltando assim locais para reunir tanto material.
c) ser constituído de materiais orgânicos que podem contaminar muitas espécies vivas, incluindo os próprios seres humanos.
d) exalar continuamente gases venenosos, que tornariam o ar irrespirável por milhares de anos.
e) emitir radiações e gases que podem destruir a camada de ozônio e agravar o efeito estufa.

7. (Enem) O debate em torno do uso da energia nuclear para produção de eletricidade permanece atual. Em um encontro internacional para a discussão desse tema, foram colocados os seguintes argumentos:

7. d

I. Uma grande vantagem das usinas nucleares é o fato de não contribuírem para o aumento do efeito estufa, uma vez que o urânio, utilizado como "combustível", não é queimado, mas sofre fissão.
II. Ainda que sejam raros os acidentes com usinas nucleares, seus efeitos podem ser tão graves que essa alternativa de geração de eletricidade não nos permite ficar tranquilos.

A respeito desses argumentos, pode-se afirmar que:

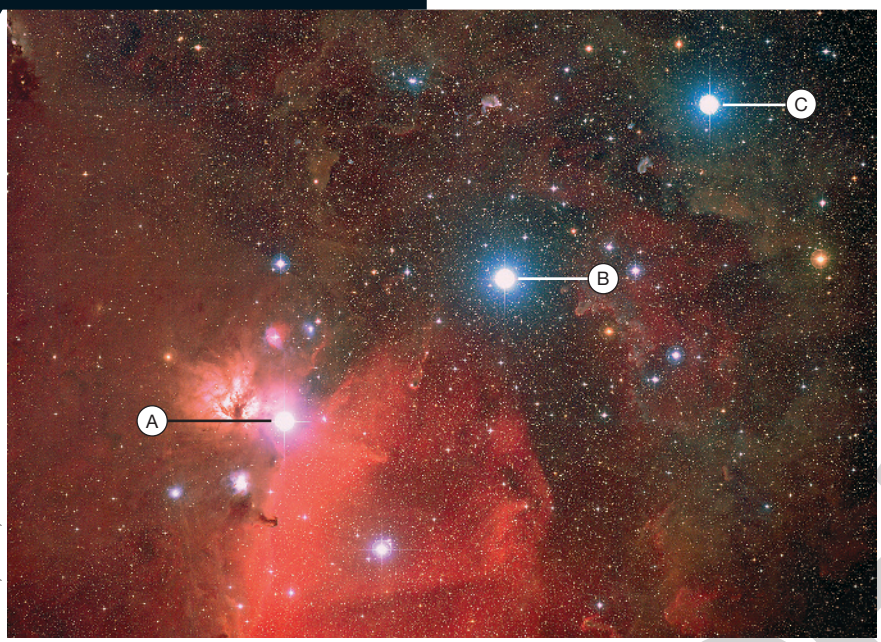
a) o primeiro é válido e o segundo não é, já que nunca ocorreram acidentes com usinas nucleares.
b) o segundo é válido e o primeiro não é, pois de fato há queima de combustível na geração nuclear de eletricidade.
c) o segundo é válido e o primeiro é irrelevante, pois nenhuma forma de gerar eletricidade produz gases do efeito estufa.
d) ambos são válidos para se compararem vantagens e riscos na opção por essa forma de geração de energia.
e) ambos são irrelevantes, pois a opção pela energia nuclear está se tornando uma necessidade inquestionável.

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

MODERNA

CAPÍTULO

12 ORIGEM DOS ELEMENTOS QUÍMICOS



MPIA-HD, BIRKLE, SLAWIK/SCIENCE PHOTO LIBRARY/FOTOARENA

Imagem da região celeste em que fica o asterismo conhecido como Três Marias, ou Cinturão de Órion. As estrelas indicadas são (A) Alnitak, (B) Alnilam e (C) Mintaka, respectivamente, a 800, 1.340 e 900 anos-luz da Terra. As manchas avermelhadas, na imagem, são nebulosas contendo principalmente hidrogênio. Parte da radiação emitida por estrelas próximas é absorvida pelos átomos de hidrogênio dessas nebulosas que, a seguir, emitem essa luminosidade característica. (Imagem óptica, obtida da Terra.)

A luz se propaga no vácuo com velocidade de 299,8 mil quilômetros por segundo. Para expressar as grandes distâncias envolvidas em Astronomia, é costume empregar a unidade **ano-luz**, que equivale à distância percorrida pela luz no vácuo em um ano: 9,46 trilhões de quilômetros. A estrela *Alpha Crucis*, a mais brilhante do Cruzeiro do Sul, está a 320 anos-luz de distância daqui. A estrela mais próxima da Terra, sem considerar o Sol, é *Proxima Centauri*, que fica a 4,2 anos-luz. A distância de Netuno ao Sol é cerca de 0,0005 ano-luz.

Há séculos, o Universo fascina o ser humano. Desde a Antiguidade, astrônomos observam o céu e registram essas observações. Existem diferentes sistemas de catalogação para galáxias, nebulosas e aglomerados de estrelas, entre os quais dois se destacam. Um deles se fundamenta nos trabalhos do astrônomo francês Charles Messier (1730-1817). Outro, conhecido como NGC (sigla do inglês *New General Catalogue*, "Novo Catálogo Geral"), é mais abrangente. Além dos códigos empregados nesses catálogos, alguns objetos celestes têm nomes comuns, geralmente bastante antigos. Por exemplo, a Galáxia de Andrômeda é o objeto M31 (Messier 31) ou NGC 224, e a Nebulosa de Órion é M42 ou NGC 1976. Ao se deparar com esses códigos, você pode utilizá-los para uma busca na internet, a fim de saber mais sobre o objeto astronômico a que se refere.

No Universo, os átomos que existem em maior quantidade são dos elementos químicos hidrogênio ($_1$H) e hélio ($_2$He). Os átomos desses elementos químicos – que, juntos, correspondem a mais de 99% do total – se formaram logo após o *big bang*, sobre o qual falamos nos Capítulos 1 e 6. Também se formaram pequenas quantidades de lítio ($_3$Li).

Os átomos dos demais elementos químicos se formaram posteriormente, por meio de processos nucleares a partir desses átomos de menor massa. Que processos são esses? Onde ocorreram? Eles continuam a acontecer ainda hoje? Este capítulo vai ajudá-lo a descobrir as respostas.

De olho na BNCC:
- EM13CNT201
- EM13CNT205
- EM13CNT209
- EM13CNT302
- EM13CNT303

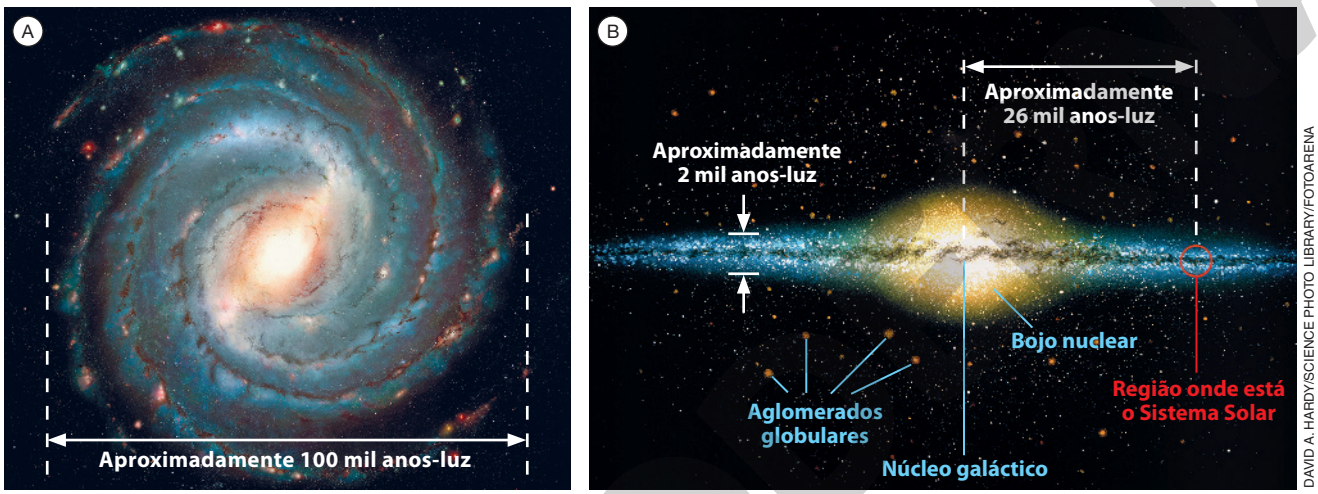
Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

CÓPIA

1. Nossa Galáxia é uma entre bilhões

Em uma noite sem luar e longe das luzes das cidades, milhares de estrelas podem ser vistas no céu. Existe uma região celeste, em forma de faixa irregular, em que a concentração de estrelas é perceptivelmente maior do que no restante do céu, que foi chamada Via Láctea (do latim *lactis*, "leite"), devido à semelhança com respingos de leite derramado.

A Via Láctea é a nossa Galáxia (do grego *gálaktos*, "leite"), um grande conjunto de estrelas, que inclui gás, poeira e também corpos celestes que orbitam as estrelas. A Via Láctea contém entre 100 e 400 bilhões de estrelas distribuídas em uma enorme região em forma de disco circular cujo diâmetro é de aproximadamente 100 mil anos-luz (Fig. 1.A). A espessura aproximada do disco galáctico é de 2 mil anos-luz e ele apresenta uma protuberância na região central, denominada bojo nuclear, cujo centro é o núcleo galáctico. Em ambos os lados do disco, há grupos de estrelas, chamados aglomerados globulares, que também fazem parte da Via Láctea. O Sol está a cerca de 26 mil anos-luz do núcleo galáctico (Fig. 1.B).



MARK GARLICK/SCIENCE PHOTO LIBRARY/FOTOARENA

DAVID A. HARDY/SCIENCE PHOTO LIBRARY/FOTOARENA

Figura 1 Ilustração esquemática do aspecto que a Via Láctea teria para (A) um observador fora dela olhando para o centro da Galáxia perpendicularmente ao disco galáctico e (B) para um observador fora dela, posicionado no plano do disco galáctico e olhando para o centro da Galáxia por um eixo perpendicular à linha que une o Sol a esse centro. (Representações fora de proporção; cores meramente ilustrativas.)

A Via Láctea está em rotação ao redor do seu centro. O Sol e o Sistema Solar movimentam-se a 200 km/s ao redor desse centro e completam uma volta ao redor dele a cada 250 milhões de anos. Do nosso ponto de vista, aqui da Terra, percebemos nossa Galáxia como uma faixa no céu porque o que conseguimos ver é a grande concentração de estrelas no disco galáctico.

Daqui, não é possível ver diretamente o núcleo galáctico, pois há uma enorme nuvem de gás e poeira no caminho, que não é atravessada pela luz visível. No entanto, outras ondas eletromagnéticas provenientes do núcleo galáctico, tais como ondas de rádio, infravermelho e raios X, atravessam essa nuvem. A análise dessas emissões possibilitou aos astrônomos estudar o centro da Via Láctea.

Com auxílio de telescópicos, é possível visualizar agrupamentos de estrelas, muitos deles com formato elíptico ou circular, que não pertencem à nossa Galáxia e que, segundo evidências astronômicas, são outras galáxias. Entre as galáxias mais próximas da Terra estão a Grande Nuvem de Magalhães, a cerca de 160 mil anos-luz, e Andrômeda (Fig. 2), a aproximadamente 2,5 milhões de anos-luz.

Os astrônomos estimam que o número de galáxias no Universo observável pode ser da ordem de 2 trilhões. E cada uma delas pode conter bilhões de estrelas. A temperatura dessas estrelas é bastante variável e, dependendo dela, pode ocorrer a formação de átomos de diversos elementos químicos. Para compreender como acontece essa formação, precisamos entender um pouco melhor alguns dos eventos importantes que ocorrem durante a existência de uma estrela e, principalmente, como sua massa inicial (isto é, quando ela se formou) é um fator determinante dos elementos químicos que nela podem se formar.

ADAM BLOCK/SCIENCE PHOTO LIBRARY/FOTOARENA

Figura 2 Galáxia de Andrômeda, que está a mais de 2 milhões de anos-luz da Terra, apresenta diâmetro superior a 200 mil anos-luz. Ela é constituída por aproximadamente um trilhão de estrelas. Em cada uma delas pode ocorrer a formação de átomos de outros elementos químicos a partir do hidrogênio. (Imagem óptica obtida por captação de luz visível com telescópio.)

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

2. Sistema Solar

O Sol, a estrela mais próxima da Terra, apresenta massa 333 mil vezes maior que a do nosso planeta e tem diâmetro da ordem de 1,4 milhão de quilômetros (cerca de 110 vezes o diâmetro terrestre, que é de aproximadamente 12.742 km). Comparado às demais estrelas, que serão nosso assunto mais à frente, o Sol é uma estrela de massa e temperatura medianas.

É constituído principalmente dos elementos químicos hidrogênio e hélio, contendo quantidades relativamente bem menores de alguns outros elementos químicos. A detecção dos elementos químicos presentes no Sol se fundamenta na análise da luz emitida por ele.

Experimentos em laboratório realizados na segunda metade do século XIX mostraram que os átomos de cada elemento químico, quando isolados e em fase gasosa, absorvem luzes de frequências específicas. Recorde, do Capítulo 2, que a luz é uma onda eletromagnética e cada uma das diferentes tonalidades de cores do espectro da luz visível apresenta um valor característico de frequência.

Analisando, com instrumentos de grande precisão, todas as frequências de luzes visíveis emitidas pelo Sol, astrônomos detectaram que algumas frequências estão ausentes. Isso foi interpretado como indicativo da presença, na parte externa do Sol, de átomos de elementos químicos que absorvem luzes dessas frequências e, por isso, elas não são detectadas aqui da Terra. Comparando os valores dessas frequências com aquelas que já se sabia que eram absorvidas pelos diferentes átomos, foi possível deduzir quais elementos químicos existem no Sol.

Quando essa determinação foi realizada (por volta de 1868), os cientistas notaram que algumas das frequências luminosas que faltavam na luz solar não correspondiam a nenhum elemento químico conhecido na época. Isso evidenciou a existência, no Sol, de algum elemento não descoberto até então. Esse elemento, que foi posteriormente detectado na atmosfera terrestre (na qual existe em porcentagem minúscula, por volta de 0,00052%, em volume), foi denominado hélio (do grego *hélios*, "Sol").

Diversos corpos celestes orbitam o Sol, como planetas (Mercúrio, Vênus, Terra, Marte, Júpiter, Saturno, Urano e Netuno), planetas-anões (Ceres, Plutão, Makemake, Éris), satélites naturais de planetas-anões e de planetas (a Lua, por exemplo), asteroides (corpos rochosos menores que planetas-anões) e cometas. O Sol e todos esses corpos celestes que o orbitam constituem o **Sistema Solar**.

Os planetas do Sistema Solar, em função de suas características, podem ser divididos em dois grupos. Mercúrio, Vênus, Terra e Marte apresentam crostas rochosas e têm composição química relativamente semelhante, sendo chamados **planetas telúricos** (do latim *telluris*, "terra") ou **planetas rochosos**. São bem menores que os outros quatro planetas, têm conteúdo relativamente alto de elementos químicos metálicos e apresentam quantidade relativamente pequena dos gases hidrogênio (H_2) e hélio (He). Diferentemente deles, Júpiter, Saturno, Urano e Netuno são bem maiores e com elevado conteúdo de gases, especialmente hidrogênio e hélio. Eles são denominados **planetas jovianos** (do latim *jovis*, "relativo a Júpiter") ou **planetas gigantes gasosos**. Apresentam um núcleo sólido ao redor do qual existe grande quantidade de gases. As porções mais internas desses gases, logo acima do núcleo planetário, encontram-se liquefeitas devido à alta pressão a que estão submetidas.

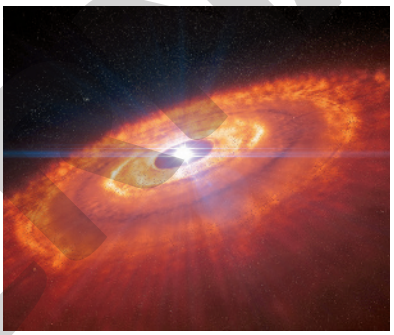
Evidências científicas indicam que a formação do Sistema Solar ocorreu há cerca de 4,6 bilhões de anos, a partir de uma nuvem de gás e poeira cósmica (Fig. 3). Devido à atração gravitacional (Capítulo 6), a matéria constituinte dessa nuvem coalesceu (aglutinou-se) em diferentes pontos, originando o Sol, os planetas, seus satélites e todos os demais corpos constituintes do Sistema Solar.

Mercúrio, o planeta mais próximo do Sol, perdeu gradualmente sua atmosfera. Para explicar como isso ocorreu, vamos usar dados da Tabela 1.

Veja comentários sobre essa atividade no Suplemento do Professor.

Dialogando com o texto

Ao ler o segundo parágrafo desta página, você pode ter se perguntado: como os demais elementos químicos, além do hidrogênio e do hélio, foram parar no Sol? Isso você descobrirá ainda neste capítulo.



L. CALCADA/SCIENCE PHOTO LIBRARY/FOTOARENA

Figura 3 Concepção artística da nuvem circular de matéria interestelar (gás e poeira cósmica) orbitando o Sol recém-formado (que está no centro), há cerca de 4,6 bilhões de anos. Aos poucos, a matéria desse disco foi coalescendo em alguns pontos e originando os planetas do Sistema Solar. (Representação fora de proporção; cores meramente ilustrativas.)

Tabela 1 Massas dos planetas do Sistema Solar e respectivas velocidades de escape.

Planeta	Massa (10^{24} kg)	Velocidade de escape (km/s)
Mercúrio	0,33	4,3
Vênus	4,87	10,4
Terra	5,97	11,2
Marte	0,64	5,0
Júpiter	1.898,60	59,5
Saturno	568,46	35,5
Urano	86,83	21,3
Netuno	102,43	23,5

Fonte consultada: HAYNES, W. M. (ed.). *CRC Handbook of Chemistry and Physics*. 97. ed. Boca Raton: CRC Press, 2017.

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

EM MODERNA

Para que um corpo que não tem propulsão própria vença a atração gravitacional de um planeta e rume em direção ao espaço sem retornar à superfície ou ficar preso em órbita, é necessário que ele apresente determinada velocidade mínima, denominada **velocidade de escape**. Esse valor é condicionado pela massa do planeta; quanto maior for essa massa, maior será a atração gravitacional e, consequentemente, maior a velocidade de escape (Tabela 1).

Em uma amostra gasosa, as moléculas não têm todas a mesma velocidade. Umas são mais velozes, e outras, mais lentas. O número de colisões entre as moléculas de gás é muito elevado. A 25 °C e 1 atm, por exemplo, cada molécula colide aproximadamente um bilhão de vezes por segundo com outras e, em cada colisão, ocorre intercâmbio de energia cinética entre elas. A que estava mais lenta pode se tornar mais veloz e vice-versa. Apesar dessa intensa atividade molecular e de existir uma curva de distribuição de velocidades (Fig. 4), valores de velocidade média são um parâmetro útil para certas análises.

Para você ter uma ideia, a 25 °C e 1 atm, a velocidade média das moléculas dos gases hidrogênio (H_2), nitrogênio (N_2), oxigênio (O_2) e dióxido de carbono (CO_2) são, respectivamente, 1,77 km/s, 0,47 km/s, 0,44 km/s e 0,38 km/s. Note que, nas mesmas condições, a velocidade média diminui com o aumento da massa molecular. No caso, a massa das moléculas envolvidas (expressas em u, unidade de massa atômica unificada), são, na ordem apresentada, 2 u, 28 u, 32 u e 44 u.

Voltemos à perda da atmosfera de Mercúrio. A massa de Mercúrio é inferior a 6% da massa da Terra, e a velocidade de escape daquele planeta é 4,3 km/s. O aquecimento da atmosfera de Mercúrio, devido à proximidade do Sol, fez com que as moléculas dos gases presentes adquirissem, ao longo do tempo, energia cinética suficiente para escapar do planeta.

A superfície de Mercúrio apresenta muitas crateras, que se formaram devido ao impacto de meteoritos, principalmente nos primeiros 800 milhões de anos de sua existência. Assim como acontece no caso da Lua, essas crateras ainda estão lá porque, não havendo água nem atmosfera, não foram alteradas pela erosão.

O segundo planeta em distância a partir do Sol, que é Vênus, perdeu parte de sua atmosfera, principalmente dos gases de menor massa molecular, como hidrogênio e hélio. O percentual de gás carbônico na atmosfera de Vênus é muito elevado (cerca de 96%, em volume), o que acarreta um efeito estufa muito mais acentuado do que ocorre na Terra e faz a temperatura na superfície atingir aproximadamente 480 °C.

A Terra, o terceiro planeta, devido a fatores como massa, distância ao Sol e composição química, reuniu condições para o aparecimento e a manutenção da vida, assunto que discutimos no Capítulo 1. Reteve atmosfera (apesar de ter perdido parte dela, principalmente hidrogênio e hélio) e contém água líquida. Um efeito estufa moderado manteve a temperatura em níveis adequados para que o planeta não fosse muito frio e a água não congelasse totalmente.

Marte tem um diâmetro de aproximadamente metade do terrestre. Sua massa é cerca de 9 vezes menor que a da Terra. No Equador marciano, a temperatura varia de aproximadamente 30 °C, durante o dia, a –130 °C, à noite. Existe um pouco de vapor de água na atmosfera (0,02%, em volume), mas é insuficiente para a formação de chuva. Não há rios, lagos ou oceanos (Fig. 5). A espessura da atmosfera é mais fina que a da Terra e ela é muito mais rarefeita que a nossa, contendo menor teor de gás oxigênio, apenas 0,13%, em volume.

Júpiter e os demais planetas jovianos encontram-se muito distantes do Sol, apresentando temperaturas baixíssimas. Isso não favoreceu o escape de gases, e esses planetas mantiveram elevado conteúdo deles. Esses planetas têm massas bem superiores às dos planetas telúricos e, em função disso, apresentam elevadas velocidades de escape (Tabela 1), o que também contribuiu para que os gases ficassem retidos.

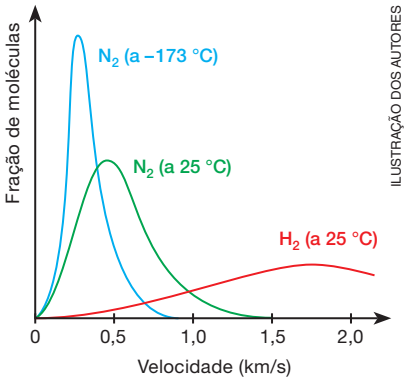


ILUSTRAÇÃO DOS AUTORES

Figura 4 Curvas de distribuição das velocidades moleculares de amostras gasosas, conhecidas como curvas de distribuição de Maxwell-Boltzmann. Ao comparar um mesmo gás em diferentes temperaturas (por exemplo, N_2 a –173 °C e a 25 °C), a velocidade molecular aumenta com o aumento da temperatura. Ao comparar gases diferentes a uma mesma temperatura (por exemplo, N_2 e H_2 a 25 °C), aquele com menor massa molecular (H_2) tem maior velocidade média.

Fontes consultadas: LEVINE, I. *Physical Chemistry*. 6. ed. Nova York: McGraw-Hill, 2009; KONDEPUDI, D.; PRIGOGINE, I. *Modern Thermodynamics*. 2. ed. Chichester: John Wiley, 2015; WALKER, J. S. *Physics*. 5. ed. San Francisco: Pearson, 2017.

NASA/JPL/CORNELL UNIVERSITY/MAAS DIGITAL

Figura 5 Em meados de 2003, a Nasa (agência espacial estadunidense) enviou dois veículos automatizados (e não tripulados) para explorar Marte, com a finalidade de investigar aspectos ambientais e geológicos do planeta. Eles pousaram em solo marciano no início de 2004. Na internet, você pode encontrar mais informações sobre essas missões e seus resultados. Entre as expressões que você pode usar para uma busca, estão: veículos exploradores de Marte, cronologia das missões a Marte, sonda *Spirit* e sonda *Opportunity*. A ilustração mostra um dos dois veículos enviados para Marte. (Concepção artística; cores meramente ilustrativas.)

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

EM MODERNA

3. Cor e temperatura de estrelas

Nas décadas finais do século XIX, cálculos teóricos referentes à quantidade de energia emitida pelo Sol indicavam que não era possível que essa energia fosse proveniente da queima de combustíveis. Se fosse essa a fonte da energia solar, a quantidade queimada de combustíveis, a cada segundo, teria de ser tão gigantesca que o astro já teria esgotado seu suprimento de energia e parado de emitir luz há muito tempo. Nas primeiras décadas do século XX, os físicos gradualmente descobriram a resposta. O que ocorre no Sol não são reações químicas, mas fenômenos nucleares, entre os quais três deles são assim equacionados:

$$ {}_{1}^{1}H + {}_{1}^{1}H \rightarrow {}_{1}^{2}H + {}_{+1}^{0}\beta + {}_{0}^{0}\nu $$

$$ {}_{1}^{2}H + {}_{1}^{1}H \rightarrow {}_{2}^{3}He + {}_{0}^{0}\gamma $$

$$ {}_{2}^{3}He + {}_{2}^{3}He \rightarrow {}_{2}^{4}He + {}_{1}^{1}H + {}_{1}^{1}H $$

Também ocorre uma sequência de processos nucleares que, considerados em sua totalidade, equivalem a:

$$ 4\,{}_{1}^{1}H \rightarrow {}_{2}^{4}He + 7\,{}_{0}^{0}\gamma + 2\,{}_{0}^{0}\nu $$

A energia proveniente do Sol resulta, portanto, de eventos de **fusão nuclear** (Capítulos 8 e 11). A energia liberada na fusão nuclear de determinada massa do elemento químico hidrogênio é aproximadamente 9 milhões de vezes maior que na combustão de igual massa de carbono grafite. A cada segundo, o Sol converte milhões de toneladas de hidrogênio em hélio.

A fusão nuclear não ocorre nas temperaturas usuais aqui da Terra, mas é possível em temperaturas extremamente elevadas, como a da região mais interna do Sol. Para expressar a temperatura de estrelas, os cientistas comumente utilizam a unidade **kelvin**, simbolizada por **K** (atente que **não se diz** "grau" kelvin **nem se escreve** "°K"). Para converter de graus Celsius para kelvins, somamos 273 ao valor numérico da temperatura em Celsius. Assim, por exemplo, 25 °C equivalem a 298 K, 100 °C equivalem a 373 K e 1.000.000 °C equivalem a 1.000.273 K. A temperatura no centro do Sol é da ordem de 15 milhões de kelvins e, na sua superfície, é cerca de 5.800 K.

Quando falamos de temperaturas muitíssimo elevadas como aquelas do núcleo das estrelas, expressar a temperatura em K ou em °C não faz assim tanta diferença. O interior no Sol, por exemplo, está a cerca de 15 milhões de kelvins. Acontece que a própria imprecisão no valor dessa temperatura pode ser maior do que a diferença entre os valores nas duas escalas, que é de 273 unidades. Em outras palavras, quando tratamos da temperatura no interior das estrelas, tenha em mente que a diferença entre as duas escalas torna-se cada vez menos relevante quanto maior for a temperatura em questão.

Talvez você esteja com uma dúvida: para que a fusão nuclear aconteça, é necessária altíssima temperatura. Então, como a fusão nuclear se iniciou em uma estrela? O que a aqueceu até uma temperatura que tornasse a fusão nuclear possível? Você descobrirá as respostas mais à frente.

Existem estrelas vermelhas, laranjas, amarelas, brancas e azuis (Fig. 6). As diferentes cores estão relacionadas à temperatura da parte externa da estrela, aquela que é responsável pela emissão de luz. Mesmo entre as estrelas de uma mesma cor (digamos estrelas amarelas), diversas tonalidades podem ocorrer.

No final do século XIX e no início do século XX, muitos cientistas realizaram estudos sobre a luz emitida pelas estrelas, entre eles estão os da escocesa Williamina Fleming (Fig. 7) e da estadunidense Annie Jump Cannon (Fig. 8).

Esses estudos possibilitaram dividir as estrelas em categorias chamadas **classes espectrais**, designadas pelas letras O, B, A, F, G, K e M. Nessa sequência, a temperatura decresce de O para M, ou seja, as estrelas da classe O são as mais quentes e as estrelas da classe M são as mais frias (Fig. 9, na próxima página).

ESA/HUBBLE NASA

Figura 6 Existem estrelas de diferentes cores, como vemos nessa imagem do aglomerado de estrelas NGC 6121, a aproximadamente 7.200 anos-luz da Terra. (Imagem óptica captada pelo Telescópio Espacial Hubble.)

EMILIO SEGRE VISUAL ARCHIVES/AMERICAN INSTITUTE OF PHYSIC

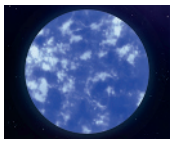
Figura 7 A astrônoma escocesa Williamina Fleming (1857-1911), em foto tirada na década de 1890. Trabalhou na classificação de estrelas a partir de seu espectro luminoso, desenvolvendo um sistema de classificação que permitiu com que ela catalogasse mais de 10 mil estrelas em 9 anos. Descobriu dezenas de estrelas e nébulas.

SMITHSONIAN INSTITUTION/SCIENCE PHOTO LIBRARY/FOTOARENA

Figura 8 A astrônoma estadunidense Annie Jump Cannon (1863-1941), em foto da década de 1920. Foi responsável por um acervo de 250 mil espectros estelares, desenvolvendo um sistema de classificação das estrelas, agrupando-as em classes espectrais conforme a temperatura da superfície emissora de luz, sistema que, com algumas alterações, é ainda utilizado.

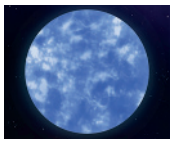
Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

MODERNA



Classe O
(Azul ou violeta)

30.000-50.000 K
Exemplos:
Naos, Mintaka.



Classe B
(Azul)

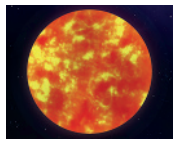
11.000-30.000 K
Exemplos:
Espiga, Rígel.

Classe A
(Branca ou levemente azul)
7.500-11.000 K
Exemplos:
Sírio, Vega.

Classe F
(Branca ou amarela)
5.900-7.500 K
Exemplos:
Canopeia, Prócion.

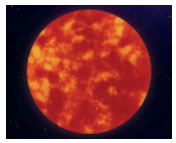
Classe G
(Amarela)

5.200-5.900 K
Exemplos:
Sol, Capella.



Classe K
(Laranja)

3.900-5.200 K
Exemplos:
Arcturo, Aldebarã.

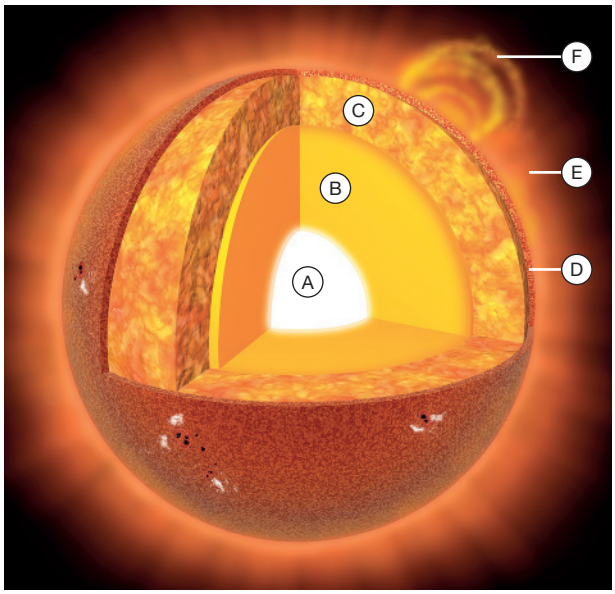


Classe M
(Laranja ou vermelha)
2.500-3.900 K
Exemplos:
Antares, Betelgeuse.

VERONIKA BY/SHUTTERSTOCK

Figura 9 Classes espectrais de estrelas. O texto junto de cada ilustração menciona a cor predominante da classe espectral, a faixa de temperatura da superfície estelar e exemplos de estrelas da classe. (Representações fora de proporção; cores meramente ilustrativas.)

Fonte consultada: COMINS, N. F.; KAUFMANN III, W. J. *Discovering the Universe*. 8. ed. Nova York: Freeman, 2008.



PAUL WOOTTON/SCIENCE PHOTO LIBRARY/FOTOARENA

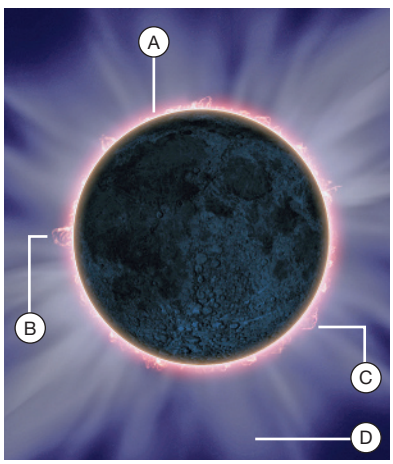
Figura 10 Esquema, em corte parcial, de camadas da estrutura do Sol:
(A) núcleo;
(B) zona radiativa;
(C) zona convectiva;
(D) fotosfera;
(E) cromosfera.
A indicação (F) refere-se a uma proeminência solar. (Representação fora de proporção; cores meramente ilustrativas.)

O **núcleo** do Sol (Fig. 10.A), é a região solar mais quente, com temperaturas da ordem de 15 milhões de kelvins. É no núcleo que ocorre a fusão nuclear do hidrogênio, formando hélio. Seu diâmetro é cerca de 140 mil quilômetros e lá existe hidrogênio suficiente para que a fusão nuclear continue por mais 5,4 bilhões de anos. Distanciando-se do núcleo, a temperatura diminui até que não mais seja suficiente para manter a fusão nuclear. A energia liberada no núcleo se irradia por ondas eletromagnéticas através da região chamada de **zona radiativa** (Fig. 10.B).

Na **zona convectiva** (Fig. 10.C), o aquecimento dos gases solares cria correntes de convecção, movimentações de material fluido devido a diferenças de temperatura. As porções mais quentes movem-se em direção à superfície, e as mais frias, no sentido contrário. As correntes de convecção conduzem energia até a camada seguinte, a **fotosfera** (Fig. 10.D), que é relativamente fina (cerca de 400 quilômetros de espessura) e cuja temperatura média é de aproximadamente 5.800 K. Ela tem esse nome (do grego *photós*, "luz") porque é a região que emite luz visível.

O Sol tem ainda outras duas camadas, uma delas com 2 mil a 3 mil quilômetros de espessura, chamada **cromosfera** (do grego *chroma*, "cor") (Fig. 10.E). Ela tem coloração róseo-avermelhada, e foi fotografada durante eclipses solares totais, nos quais a Lua fica à frente do Sol encobrindo a luminosidade da fotosfera (Fig. 11.A).

A coloração da cromosfera se deve principalmente às emissões provenientes de elétrons excitados quando retornam ao estado fundamental em átomos de hidrogênio. Essa camada apresenta um contorno irregular devido às chamadas proeminências solares (Figs. 10.F, 11.B e 11.C), jatos de gás aquecido que se estendem a alturas de cerca de 700 quilômetros. A última camada do Sol, extremamente rarefeita, é um grande halo esbranquiçado e irregular, também fotografável durante eclipses solares totais, chamado **coroa solar** (Fig. 11.D).



CHRIS BUTLER/SCIENCE PHOTO LIBRARY/FOTOARENA

Figura 11 Durante um eclipse solar total, a Lua encobre a fotosfera solar. Nessa situação, à qual se refere a imagem, pode-se ver o tom róseo-avermelhado da cromosfera (A) e seu contorno irregular devido às proeminências, duas delas indicadas (B) e (C).
A imagem também mostra o enorme halo esbranquiçado de gases muito rarefeitos, que é denominado coroa solar (D). (Imagem óptica composta, representando a Lua à frente do Sol, este fotografado durante eclipse solar total.)

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

MODERNA

4. Protoestrelas e sua massa

A hipótese científica mais aceita é de que as estrelas se formam a partir de nébulas, nuvens interestelares contendo predominantemente gases, com cerca de três quartos de hidrogênio e um quarto de hélio (Fig. 12). Pode haver eventualmente outros elementos químicos presentes, mas contribuem no máximo com cerca de 2% da massa. Gradualmente, a atração gravitacional provoca a aglutinação do material da nébula, que, à medida que se encolhe, gira cada vez mais rápido ao redor de seu centro, torna-se mais plana e com um centro cada vez mais definido e protuberante, no qual se forma uma enorme esfera de gás.

Durante a aglutinação que forma essa esfera gasosa, a temperatura no interior dela aumenta muito. Para entender a razão desse aquecimento, pense no caso de um objeto, aqui na Terra, suspenso a alguns metros de altura do solo. Se ele for solto, a energia potencial gravitacional do sistema objeto-Terra diminuirá durante a queda. Como a energia se conserva, a energia potencial se converterá em energia cinética e, quando o objeto for freado pelo choque com o solo, esta será convertida em energia térmica. Assim, a energia potencial gravitacional inicial se converteu, ao final, em energia térmica. Quando as grandes massas de gás das nuvens interestelares se aproximem devido à atração gravitacional, a energia potencial gravitacional inicial do sistema (constituído pelas partículas de gás muito separadas) converte-se gradualmente em energia térmica, o que faz a temperatura aumentar muito à medida que a nuvem se aglutina.

Chamamos de **protoestrela** (do grego *prôtos*, "primordial") o estágio precursor de uma estrela, antes que se inicie a fusão nuclear, quando ainda está havendo acréscimo de gás e poeira estelar devido à atração gravitacional. Os eventos subsequentes dependerão da massa da protoestrela.

Se a massa da protoestrela for, no mínimo, 0,08 vezes a massa solar (isto é, 8% da massa do Sol), o aumento de temperatura proveniente da atração gravitacional possibilitará que a temperatura no núcleo chegue a 10 milhões de kelvins, o mínimo necessário para que a fusão nuclear se inicie e se mantenha. Caso a massa seja inferior a esse mínimo necessário, a temperatura não subirá suficientemente para sustentar a fusão nuclear e o corpo celeste formado, nesse caso, é denominado **anã marrom**. Se, por outro lado, a massa inicial for muito grande, superior a 100 vezes a massa do Sol, a temperatura no núcleo subirá tanto que a fusão nuclear ocorrerá com enorme rapidez, a ponto de a energia liberada provocar a violenta explosão da esfera de gás, espalhando seus constituintes pelo espaço, não havendo formação da estrela. Assim, para que uma protoestrela se transforme em uma estrela, sua massa deve estar aproximadamente entre 0,08 e 100 vezes a massa solar.

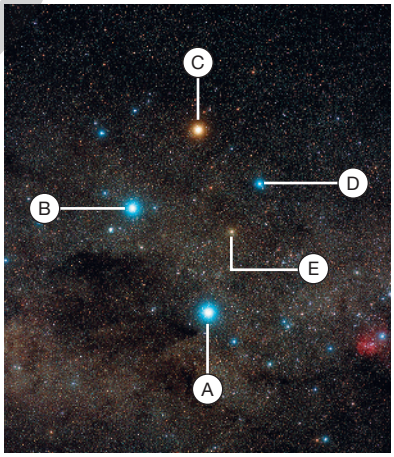
Entre as características estelares estão a cor e o brilho. A cor, como já comentamos (Fig. 9), depende da temperatura da superfície da estrela. Já o brilho está relacionado a dois fatores: a quantidade de energia que a estrela irradia e a distância a que ela se encontra. As estrelas Betelgeuse e Prócion, por exemplo, aparentam ter brilhos semelhantes quando observadas da Terra, mas a primeira emite cerca de 5 mil vezes mais luz que a segunda. Ocorre que Betelgeuse está muito mais longe de nós, a mais de 400 anos-luz, enquanto Prócion está mais perto, a aproximadamente 11 anos-luz.

Para poder comparar a intensidade da luz das estrelas sem se preocupar com a diferença de distância, os astrônomos empregam o conceito de **luminosidade** estelar, que expressa a potência luminosa da estrela (energia luminosa emitida por segundo), informando o resultado em comparação com o Sol.

A luminosidade das estrelas é muito diversa (Fig. 13). Algumas são milhões de vezes mais luminosas que o Sol; outras têm menos de um centésimo de milésimo da luminosidade da nossa estrela. Por exemplo, a luminosidade de Betelgeuse é milhares de vezes a do Sol. Já a de *Proxima Centauri* é inferior a um décimo de milésimo da luminosidade solar.

ESA, AND THE HUBBLE HERITAGE TEAM (STSCI/AURA) – ESA/HUBBLE COLLABORATION/NASA

Figura 12 Região formadora de estrelas NGC 602, a cerca de 196 mil anos-luz da Terra. Nessa imagem, um grupo de estrelas azuis (ao centro), relativamente recentes, ilumina o que sobrou da nébula que deu origem a elas. (Imagem óptica captada pelo Telescópico Espacial Hubble.)



ECKHARD SLAWIK/SCIENCE PHOTO LIBRARY/FOTOARENA

Figura 13 Na parte central dessa imagem aparecem as cinco estrelas mais luminosas da Constelação Cruzeiro do Sul, que formam um asterismo que lembra uma pipa. Elas podem ser vistas com relativa facilidade, do Hemisfério Sul, no outono. As letras indicam a ordem decrescente de luminosidade:
(A) *Alpha Crucis*, *Acrux* ou Estrela de Magalhães.
(B) *Beta Crucis* ou Mimosa.
(C) *Gamma Crucis* ou Rubídea.
(D) *Delta Crucis* ou Pálida.
(E) *Epsilon Crucis* ou Intrometida.
Suas distâncias aproximadas à Terra são, respectivamente, de 320, 280, 87, 345 e 230 anos-luz.
(Imagem óptica obtida da Terra.)

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

SEM VALOR COMERCIAL

5. Diagrama H-R

Apesar de a luminosidade e a temperatura serem propriedades distintas, no caso de muitas estrelas existe uma relação entre elas. No início do século XX, o dinamarquês Ejnar Hertzsprung (1873-1967) e o estadunidense Henry Norris Russel (1877-1957) elaboraram um gráfico, conhecido como **diagrama de Hertzsprung-Russel**, ou **diagrama H-R** (Fig. 14), em que essa relação ficou evidente. No eixo horizontal do diagrama, são indicadas as temperaturas da superfície emissora de luz das estrelas, crescendo da direita para a esquerda. No eixo vertical, são indicadas as luminosidades em relação ao Sol, crescendo de baixo para cima. Cada estrela, sendo caracterizada por uma luminosidade e uma temperatura, pode ser representada por um ponto do diagrama.

Os pontos correspondentes à maioria das estrelas formam uma faixa nesse diagrama, chamada de **sequência principal**. Nela, há uma relação perceptível: quanto mais luminosa é uma estrela, maior é sua temperatura e mais azulada ela é. Inversamente, quanto menor a luminosidade, mais fria e mais avermelhada é a estrela. O Sol e mais de 91% das estrelas próximas ao Sistema Solar estão na sequência principal (localize o Sol no diagrama). As estrelas da sequência principal são aparentadas do Sol. Quanto maior sua massa, maior a temperatura e mais rapidamente ocorre fusão nuclear, emitindo mais luminosidade e sendo mais azuladas. No extremo oposto da sequência, estão estrelas de menor massa, que consomem o hidrogênio mais lentamente, emitem menos luz e são mais frias, sendo conhecidas como **anãs vermelhas**.

Além da sequência principal, verificamos no diagrama H-R a existência das chamadas **gigantes**, que, apesar de relativamente frias (e, por isso, avermelhadas), são tão grandes que emite muita luz devido ao tamanho. Seus diâmetros são 10 a 100 vezes maiores que o do Sol. Aldebarã (na Constelação de Touro) e Arcturo (na Constelação de Boieiro) são estrelas dessa categoria. Outro grupo, o das **supergigantes**, é constituído de estrelas ainda maiores, com diâmetros acima de 1.000 vezes o do Sol. Nele, se incluem Betelgeuse (na Constelação de Órion) e Antares (na Constelação de Escorpião). As gigantes e as supergigantes abrangem apenas cerca de 1% das estrelas da nossa vizinhança espacial.

Na parte inferior do diagrama estão as **anãs brancas**, estrelas de alta temperatura (por isso, são brancas ou azuladas), mas de tamanho muito pequeno, o que explica o fato de serem tão pouco luminosas que não são visíveis da Terra a olho nu. As anãs brancas, que correspondem a 8% das estrelas de nossa vizinhança cósmica, são mais quentes que o Sol e têm tamanho equiparável ao da Terra.

ESO

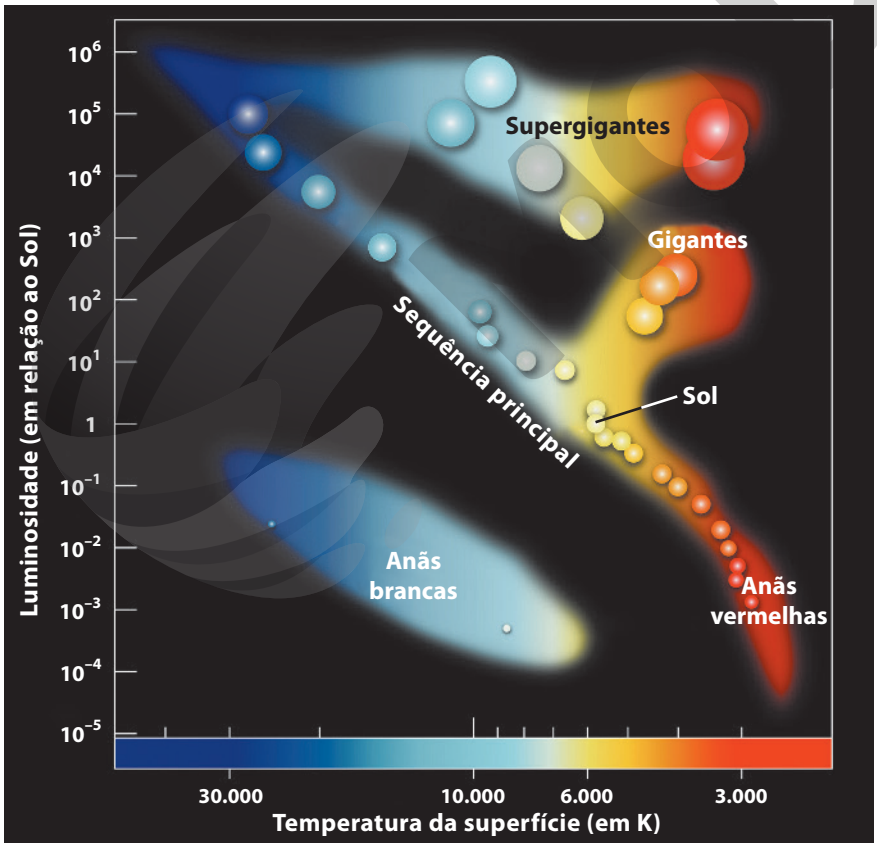


Figura 14 Diagrama de Hertzsprung-Russel, ou diagrama H-R. No eixo horizontal, estão as temperaturas (em K) da superfície emissora de luz das estrelas. No eixo vertical, estão as luminosidades, expressas como múltiplos da luminosidade do Sol. (Representação fora de proporção; cores meramente ilustrativas.)

Fonte: ROTTNER, R. M. *Making the invisible visible*. Washington: Nasa, 2017.

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

6. Formação de elementos por fusão nuclear

A Cosmologia é a parte das Ciências Naturais que estuda a origem, a estrutura e a evolução do Universo. Essa área elucidou muitos aspectos da **evolução estelar**, ou seja, da sequência de eventos que ocorre a partir do surgimento da estrela, momento em que começa a ocorrer fusão nuclear em seu interior (Item 4). Uma das consequências desse estudo das estrelas foi a elucidação de como os átomos dos elementos químicos se formaram (Fig. 15)

Após o surgimento de uma estrela, o aquecimento devido à energia liberada na fusão nuclear provoca aumento da pressão em seu interior, o que tende a fazer a estrela se expandir. Contudo, existe um fator que se opõe a essa expansão, a atração gravitacional, que tende a provocar a contração do astro. Uma estrela permanece estável, mantendo seu tamanho ao longo do tempo, enquanto esses dois fatores permanecerem equilibrados, um compensando o outro. Enquanto esse equilíbrio perdurar, uma estrela permanece em sua posição, na sequência principal do diagrama H-R (Fig. 14).

O tempo de permanência na sequência principal depende da massa da estrela (Tabela 2). As de maior massa realizam fusão nuclear mais rapidamente, liberando energia mais rapidamente e acarretando maior tendência à expansão do astro, que é equilibrada pela maior atração gravitacional. As estrelas de maior massa esgotam o suprimento de hidrogênio do núcleo em menos tempo. O Sol, uma estrela de massa mediana, tem tempo de permanência na sequência principal de aproximadamente 10 bilhões de anos, dos quais 4,6 bilhões de anos já se passaram desde sua origem.

Quando o suprimento de hidrogênio no interior da estrela diminui significativamente, importantes mudanças podem ocorrer e a estrela entra em uma nova fase de sua existência. A pressão interna diminui e não mais equilibra a atração gravitacional, o que provoca contração da estrela. Isso aquece muito o interior e possibilita a fusão nuclear de átomos de hélio, produzindo átomos de carbono.

$$^{4}_{2}\text{He} + {}^{4}_{2}\text{He} \rightarrow {}^{8}_{4}\text{Be}$$

$$^{8}_{4}\text{Be} + {}^{4}_{2}\text{He} \rightarrow {}^{12}_{6}\text{C} + {}^{0}_{0}\gamma$$

Dependendo de a massa da estrela ser suficientemente elevada, estágios posteriores da evolução estelar podem conduzir a temperaturas internas ainda maiores, possibilitando diversos outros fenômenos de fusão nuclear (com eventuais decaimentos radioativos de alguns dos produtos), conduzindo à síntese de núcleos maiores, por exemplo, $^{16}_{8}\text{O}$, $^{20}_{10}\text{Ne}$, $^{23}_{11}\text{Na}$, $^{24}_{12}\text{Mg}$, $^{28}_{14}\text{Si}$, $^{31}_{15}\text{P}$, $^{32}_{16}\text{S}$.

Assim, a partir de átomos de hidrogênio, fenômenos estelares produzem átomos de outros elementos químicos. Contudo, essa síntese não tende a ultrapassar o ferro-56 ($^{56}_{26}\text{Fe}$), ou seja, átomos com número atômico superior ao desse elemento não têm propensão a serem produzidos nessas condições. Discutiremos, a seguir, qual é a explicação para esse fato.

MICHAEL WEBB/KEYSTONE/HULTON ARCHIVE/GETTY IMAGES

Figura 15 A astrofísica britânica Eleanor Margaret Burbidge (1919-2020), em foto de 1971. Aplicou aspectos teóricos de Física a problemas astronômicos e cosmológicos. Em 1957, publicou um artigo científico com 104 páginas intitulado *Síntese de elementos em estrelas*, juntamente com os astrônomos britânicos Geoffrey Burbidge (1925-2010) e Fred Hoyle (1915-2001) e o físico estadunidense William Fowler (1911-1995). Nesse trabalho, os autores propuseram uma nova teoria, segundo a qual processos nucleares em estrelas foram responsáveis pela origem da diversidade dos elementos químicos. Esse artigo é considerado seminal (isto é, apresentou uma ideia de grande relevância e influência nesse campo do conhecimento), originando a área de estudos hoje denominada **nucleossíntese** dos elementos.

Tabela 2 Tempo de permanência de estrelas na sequência principal, dependendo da massa estelar

Massa (em relação ao Sol)	Temperatura da superfície (K)	Luminosidade (em relação ao Sol)	Tempo de permanência na sequência principal (anos)
25	35.000	80.000	3 milhões
15	30.000	10.000	15 milhões
3	11.000	60	500 milhões
1,5	7.000	5	3 bilhões
1,0 (Sol)	5.800	1	10 bilhões
0,75	5.000	0,5	15 bilhões
0,50	4.000	0,03	200 bilhões

Fonte: COMINS, N. F.; KAUFMANN III, W. J. *Discovering the Universe*. 8. ed. Nova York: Freeman, 2008.

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

MODELO

7. Curva de energia de ligação por núcleon

Consideremos um núcleo do átomo de ^4_2He. Vamos comparar a massa desse núcleo com a massa dos prótons e nêutrons que o constituem. Para isso, utilizaremos os seguintes valores obtidos experimentalmente, expressos em unidades de massa atômica unificada (u):

- massa de um próton: 1,00728 u
- massa de um nêutron: 1,00866 u
- massa de um núcleo de ^4_2He: 4,00150 u

Somando a massa de dois nêutrons (2 · 1,00866 u) e dois prótons (2 · 1,00728 u) chegamos ao valor de 4,03188 u, que é maior que a massa do núcleo de ^4_2He (4,00150 u). A conclusão é que esse núcleo tem massa menor que a de seus constituintes isolados. A repetição do mesmo procedimento para todos os átomos conhecidos revelou que apresentam massa inferior à dos seus **núcleons** (prótons e nêutrons) isolados.

A diferença entre a soma da massa de todos os núcleons isolados e a massa experimental de um núcleo atômico é denominada **defeito de massa**, que representaremos por Δm. No caso do ^4_2He, o valor dessa grandeza é:

$$\Delta m = 4{,}03188\ u - 4{,}00150\ u = 0{,}03038\ u$$

Considerando a relação entre u e kg, que é $1\ u = 1{,}661 \cdot 10^{-27}$ kg, podemos expressar o defeito de massa em quilogramas, obtendo $5{,}046 \cdot 10^{-29}$ kg.

A equação de Einstein, $E = m \cdot c^2$ (em que c é a velocidade da luz no vácuo, $2{,}998 \cdot 10^8$ m/s), enuncia uma equivalência entre massa (m) e energia (E). Vamos empregar essa equação em duas situações:

- núcleons isolados: $E_{núcleons} = m_{núcleons} \cdot c^2$
- núcleo atômico: $E_{núcleo} = m_{núcleo} \cdot c^2$

Subtraindo a segunda equação da primeira, temos:

$$E_{núcleons} - E_{núcleo} = (m_{núcleons} - m_{núcleo}) \cdot c^2$$

ou

$$\Delta E = (\Delta m) \cdot c^2$$

Nessa expressão, Δm é o defeito de massa e ΔE representa a diferença de energia entre os núcleons isolados e o núcleo do átomo. Em outras palavras, ΔE é uma medida de quanto o núcleo de um átomo é mais estável que os seus constituintes isolados, denominada **energia de ligação do núcleo**.

No caso do núcleo de ^4_2He, temos:

$$\Delta E = \Delta m \cdot c^2 = 5{,}046 \cdot 10^{-29}\ kg \cdot (2{,}998 \cdot 10^8\ m/s)^2 = 4{,}535 \cdot 10^{-12}\ J$$

O resultado indica que a fragmentação de um núcleo de ^4_2He em dois prótons e dois nêutrons necessitaria de absorção de $4{,}535 \cdot 10^{-12}$ J. Inversamente, a formação de um núcleo de ^4_2He a partir de dois prótons e dois nêutrons liberaria $4{,}535 \cdot 10^{-12}$ J.

Dividindo a energia de ligação pelo número de massa (A), que expressa o total de núcleons, obtemos a **energia de ligação por núcleon**. No caso do ^4_2He:

$$\text{energia de ligação por núcleon do } ^4_2He = \frac{\Delta E}{A} = \frac{4{,}535 \cdot 10^{-12}\ J}{4} = 1{,}134 \cdot 10^{-12}\ J$$

É comum expressar a energia de ligação por núcleon em megaelétron-volt ($1\ MeV = 1{,}6 \cdot 10^{-13}$ J). No caso do ^4_2He, o valor é 7,1 MeV. Para o $^{56}_{26}Fe$ ela vale 8,8 MeV e para o $^{238}_{92}U$, 7,6 MeV.

A Figura 16 (na próxima página) representa como a energia de ligação por núcleon varia em função do número de massa (A) para alguns núcleos. De modo geral, ela é baixa para núcleos pequenos, cresce até um valor máximo para o $^{56}_{26}Fe$ e decresce à medida que A aumenta além disso. Se comparados aos núcleons formadores isolados, os núcleos com número de massa próximo ao do ferro-56 são mais estáveis que átomos bem menores ou bem maiores. (A curva esclarece, por exemplo, que na fissão nuclear, estudada nos Capítulos 8 e 11, núcleos muito grandes fragmentam-se em outros mais estáveis.)

No tocante à fusão nuclear em estrelas, a Figura 16 indica que ela produz núcleos de maior estabilidade. A ocorrência de processos desse tipo depende, contudo, de a temperatura nas partes centrais da estrela ser suficientemente elevada. Se a massa estelar possibilitar que essa temperatura atinja valores adequados, processos de fusão nuclear produzem átomos de elementos químicos com núcleos até por volta do ferro-56, não além. Então, como os demais elementos químicos se formaram?

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

MODERNA

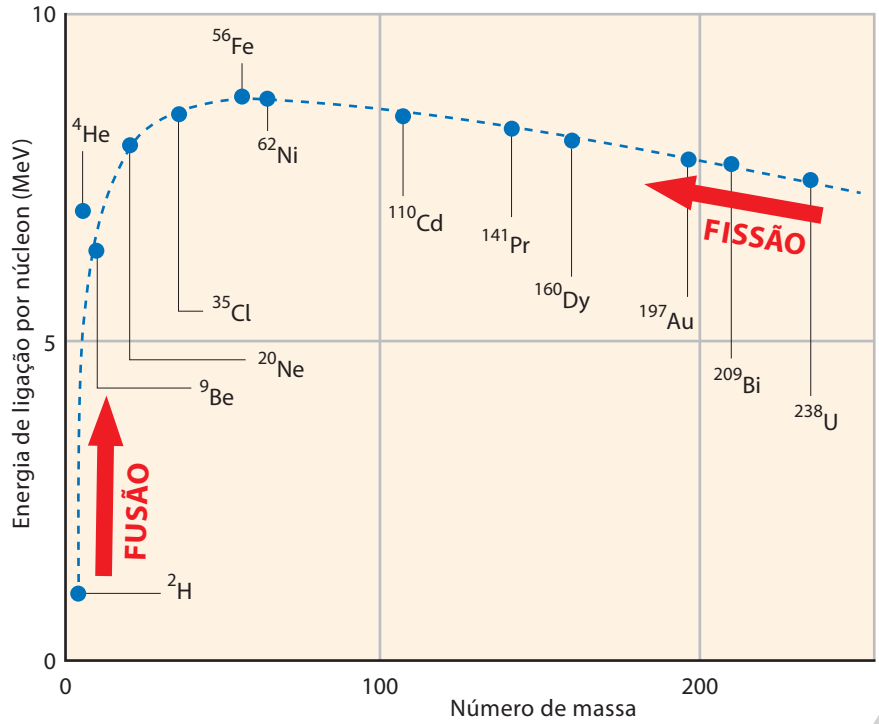


ILUSTRAÇÃO DOS AUTORES

Figura 16 Valores de energia de ligação por núcleon, em megaelétron-volt (MeV), em função do número de massa para alguns núcleos, representados pelos pontos indicados por círculos. A linha tracejada indica a tendência geral observada, embora nem todos os valores estejam exatamente sobre ela. Dos núcleos indicados, o que mais destoa é o de hélio-4. O ponto máximo da curva ocorre no ferro-56, que é o núcleo de maior estabilidade se comparado aos núcleons isolados. Os núcleos do bismuto (Bi) em diante, inclusive, não são estáveis em relação a decaimentos nucleares espontâneos.

Fontes consultadas: RYAN, S. G.; NORTON, A. J. *Stellar evolution and nucleosynthesis*. Cambridge: Cambridge University Press, 2010; JOSÉ, J. *Stellar explosions*; hydrodynamics and nucleosynthesis. Boca raton: CRC Press, 2016; WALKER, J. *Halliday & Resnick Fundamentals of Physics*. 10. ed. ampliada. Hoboken: John Wiley, 2018.

8. Formação de elementos por outros processos

Quando a quantidade de hidrogênio no interior do Sol diminuir significativamente, a liberação de calor por fusão de núcleos de átomos desse elemento será reduzida e a temperatura também. Assim, a pressão no interior da estrela diminuirá e não mais equilibrará a atração gravitacional, que causará a contração do astro. Durante esse processo, a conversão de energia potencial gravitacional em energia térmica aquecerá o interior e possibilitará a ocorrência da fusão nuclear de átomos de hélio. O centro da estrela se tornará mais quente do que era (devido à energia liberada nesse novo estágio de fusão nuclear), as camadas de gás externas se expandirão muito e a estrela passará a ser uma **gigante vermelha**, permanecendo nessa categoria por milhões ou, no máximo, poucos bilhões de anos.

O Sol se transformará em gigante vermelha daqui a cerca de 5,4 bilhões de anos. Seu diâmetro ficará maior que as órbitas de Mercúrio e de Vênus, talvez até maior que a da Terra. Se nosso planeta não for engolfado, a atmosfera será perdida devido ao aquecimento, e a água dos oceanos, rios e lagos vaporizará. A Terra não terá mais condições de sustentar vida. Júpiter perderá seus componentes gasosos, deixando seu núcleo rochoso exposto. O destino de estrelas com massa superior a 0,40 vezes a massa do Sol (isto é, 40% da massa solar) é se transformarem em gigantes (algumas, em supergigantes).

Já as estrelas com massa entre 0,08 e 0,40 vezes a massa do Sol (ou seja, de 8% a 40% da massa solar) não chegam a esse estágio. Quando cessa a fusão do hidrogênio, elas apenas esfriam lentamente no espaço. Como comentamos anteriormente, massas inferiores a 8% da massa do Sol (0,08 vezes a massa solar) são insuficientes para que uma estrela chegue a se formar.

Voltemos ao caso do Sol. Após cerca de 1 bilhão de anos como gigante vermelha (há controvérsias sobre esse tempo), quando processos de fusão nuclear não mais ocorrerem, a atração gravitacional prevalecerá e provocará sua violenta contração. Nessa contração, o interior se aquecerá ainda mais (pela conversão de energia potencial gravitacional em energia térmica) e a estrela explodirá, lançando parte de seu material no espaço, restando um corpo celeste muito compacto. O material ejetado constitui uma nuvem de gás e poeira chamada **nébula planetária**.

Veja comentários sobre essa atividade no Suplemento do Professor.

Atividade em grupo

O cientista estadunidense Carl Edward Sagan (1934-1996), além de atuar em diversas áreas, como Física, Astronomia e Astrofísica, teve vasta produção intelectual de divulgação científica. Escreveu vários livros, entre eles *Cosmos* e *Pálido ponto azul*.

Na obra *Conexão cósmica: uma perspectiva extraterrestre*, publicada originalmente em 1973, assim escreveu referindo-se à composição química dos seres humanos: "**nós somos poeira de estrelas**". Essa frase já foi repetida por vários outros intelectuais em textos sobre a vida na Terra e os elementos químicos em que ela se fundamenta.

Em equipes, após o estudo do Item 8, produzam um vídeo de divulgação científica que explique à comunidade o significado dessa frase, sob o ponto de vista das Ciências da Natureza. (Sugestões de uso de mídias digitais estão disponíveis no início do livro.)

Para essa produção, pesquisem informações que considerarem necessárias e recursos digitais (animações, vídeos, simuladores) que ajudem na transmissão da ideia.

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

MODERNA

O corpo celeste resultante será uma **anã branca** (Fig. 17), com tamanho similar ao da Terra, porém massa próxima à do Sol, resultando uma densidade elevadíssima, da ordem de uma tonelada por mililitro (isto é, um milhão de vezes mais densa que a água líquida). Uma anã branca tem temperaturas elevadas e, por isso, emite luz branca ou azulada. Ela continuará emitindo luz e calor durante bilhões de anos, esfriando progressivamente. Nesse estágio, a estrela não mais produz energia por fusão nuclear. A transformação em anã branca é o destino das estrelas com massa de 0,40 a 8 vezes a massa solar.

As estrelas com massa maior que 8 vezes a do Sol têm outros destinos. Após alguns milhões de anos como gigantes e supergigantes, quando o material que poderia passar por fusão nuclear está terminando, ocorre violenta contração devido à atração gravitacional, causando rápida e altíssima elevação da temperatura interna, o que provoca uma explosão de proporções extremamente grandes. Essa explosão é um fenômeno denominado **supernova**.

A energia liberada por uma supernova é tão grande que pode ser maior que o total emitido por todas as estrelas da galáxia naquele momento. O brilho resultante pode ser observado durante dias. Alguns eventos desse tipo com estrelas da nossa Galáxia ocorreram em 1006, 1054 (Fig. 18), 1572 e 1604. É possível que as estrelas Betelgeuse e Antares, um dia, originem supernovas.

A explosão de uma supernova projeta material do interior da estrela em todas as direções, a altíssimas velocidades. A colisão de partículas provenientes dessa explosão com núcleos atômicos presentes no caminho (por exemplo, nas camadas mais externas da própria estrela) origina nuclídeos com números atômicos superiores ao do ferro. Entre os diversos processos que podem ocorrer, destacam-se as **capturas neutrônicas**, em que nêutrons arremessados na explosão colidem com nuclídeos e se incorporam a eles. Capturas neutrônicas também acontecem em estágios tardios da existência de gigantes vermelhas, contribuindo para a síntese de elementos com número atômico superior ao do ferro. Muitos dos nuclídeos resultantes são instáveis e passam por sucessivos decaimentos radioativos até chegar a nuclídeos estáveis ou com tempo de meia-vida muito elevado. Entre os inúmeros processos nucleares formadores desses elementos, podemos esquematizar os seguintes, a título de exemplo:

$$^{56}_{26}\text{Fe} \xrightarrow{^{0}_{0}n} {}^{57}_{26}\text{Fe} \xrightarrow{^{0}_{0}n} {}^{58}_{26}\text{Fe} \xrightarrow{^{0}_{0}n} {}^{59}_{26}\text{Fe} \xrightarrow{^{0}_{0}n} \text{etc.}$$

$$^{59}_{27}\text{Co} \xrightarrow{^{0}_{0}n} {}^{60}_{27}\text{Co} \quad \text{(emissão } \beta^-\text{ de } {}^{59}_{26}\text{Fe}\text{)}$$

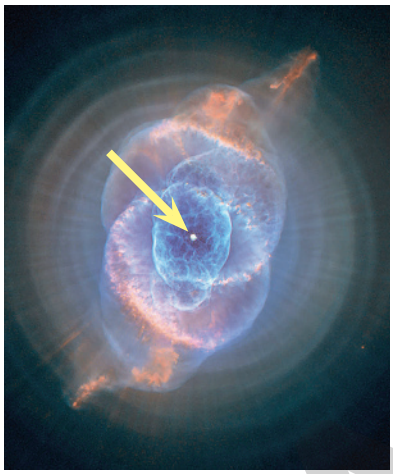
$$^{60}_{28}\text{Ni} \xrightarrow{^{0}_{0}n} {}^{61}_{28}\text{Ni} \xrightarrow{^{0}_{0}n} {}^{62}_{28}\text{Ni} \xrightarrow{^{0}_{0}n} {}^{63}_{28}\text{Ni} \xrightarrow{^{0}_{0}n} \text{etc.} \quad \text{(emissão } \beta^-\text{ de } {}^{60}_{27}\text{Co}\text{)}$$

$$^{63}_{29}\text{Cu} \xrightarrow{^{0}_{0}n} \text{etc.} \quad \text{(emissão } \beta^-\text{ de } {}^{63}_{28}\text{Ni}\text{)}$$

Assim foram produzidos os átomos de elementos com número atômico superior ao do ferro, que se espalharam pelo Universo juntamente com os demais restos de explosões estelares (contendo elementos até o ferro), incorporando-se a nébulas e podendo originar, posteriormente, novas estrelas e planetas.

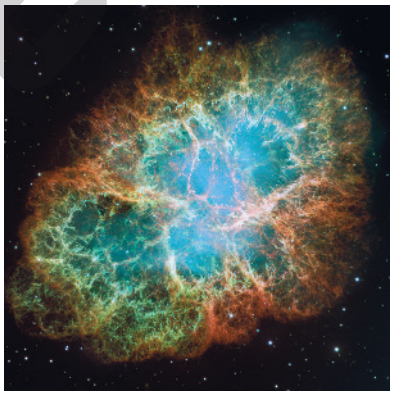
A idade do Universo é estimada em cerca de 13,8 bilhões de anos, enquanto o Sistema Solar tem 4,6 bilhões de anos. Nosso Sistema Solar se originou de uma nébula que continha restos da explosão de estrelas que existiram antes de sua formação e explodiram como supernovas.

O Sol e o Sistema Solar não são, portanto, uma primeira geração de astros. Se fossem, conteriam apenas hidrogênio, hélio e pequeníssima quantidade de lítio, provenientes do *big bang*. Diferentemente disso, são constituídos de materiais que foram violentamente ejetados de uma geração anterior de estrelas que chegaram ao estágio de supernova.



ESA, HEIC, AND THE HUBBLE HERITAGE TEAM (STSCI/AURA); R. CORRADI (ISAAC NEWTON GROUP OF TELESCOPES, SPAIN) AND Z. TSVETANOV (NASA)

Figura 17 Nebulosa do Olho de Gato (NGC 6543), uma nébula planetária a 3.300 anos-luz de distância da Terra. O ponto luminoso no centro, indicado pela seta, é uma anã branca, remanescência da estrela (uma gigante vermelha) que ejetou o material que constitui a nébula. (Imagem óptica captada pelo Telescópio Espacial Hubble.)



ESA AND ALLISON LOLL/JEFF HESTER (ARIZONA STATE UNIVERSITY), DAVIDE DE MARTIN (ESA/HUBBLE)/NASA

Figura 18 Nebulosa do Caranguejo (NGC 1952), que está a 6.500 anos-luz da Terra e tem diâmetro de 11 anos-luz, aproximadamente. Ela é remanescente da supernova que ocorreu em 1054, tão luminosa que foi vista da Terra, de dia, por 23 dias consecutivos. (Imagem óptica captada pelo Telescópio Espacial Hubble.)

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

MODERNA

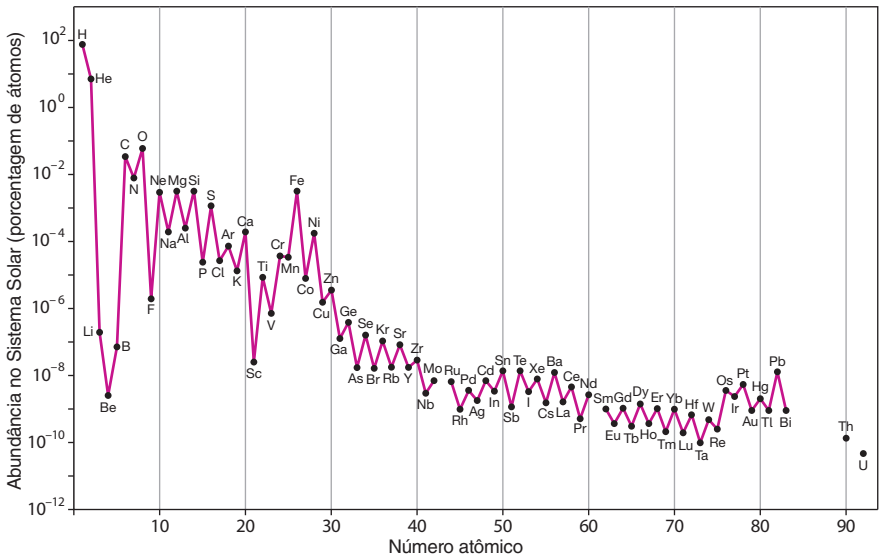
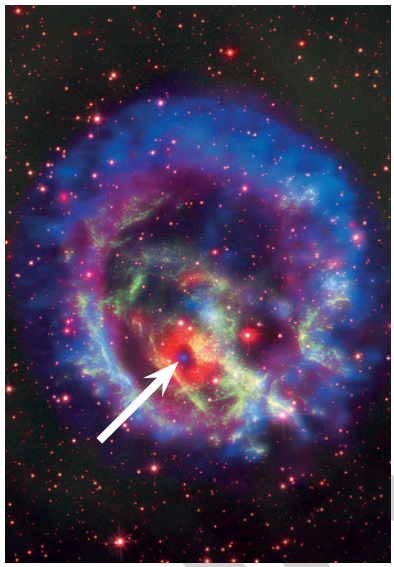


ILUSTRAÇÃO: ADILSON SECCO

Figura 19 Gráfico da abundância de elementos químicos no Sistema Solar, expressa como porcentagem do total de átomos, em função do número atômico.

Fonte: COX. P. A. *apud* RAYNER-CANHAM, G.; OVERTON, T. *Descriptive Inorganic Chemistry*. 6. ed. Nova York: Freeman, 2014.



X-RAY (NASA/CXC/ESO/F.VOGT ET AL.); OPTICAL (ESO/VLT/MUSE & NASA/STSCI)

Figura 20 Estrela de nêutrons (indicada pela seta) envolta pela nuvem remanescente de uma supernova. Essa foi a primeira estrela de nêutrons detectada fora da Via Láctea. Ela se encontra na Pequena Nuvem de Magalhães, galáxia situada a 200 mil anos-luz. (Imagem que combina luz visível e outras radiações eletromagnéticas captadas por diversos observatórios astronômicos. Cores meramente ilustrativas.)

As abundâncias dos diferentes elementos no Sistema Solar (Fig. 19) revelam que hidrogênio e hélio permaneceram com elevada abundância; apenas pequena parte deles reagiu nos processos nucleares de fusão. Átomos de lítio ($_3$Li), berílio ($_4$Be) e boro ($_5$B) não se acumularam em grande quantidade devido à rapidez com que foram transformados, por fusão nuclear nas estrelas, em outros elementos subsequentes. Os mais abundantes, depois de hidrogênio e hélio, são oxigênio ($_8$O), carbono ($_6$C) e nitrogênio ($_7$N). Em linhas gerais, a abundância decresce até o zinco ($_{30}$Zn), com o ferro ($_{26}$Fe) representando uma notável exceção a essa tendência devido à sua grande estabilidade nuclear. Os elementos de números atômicos pares tendem a ser mais abundantes que seus vizinhos de número atômico ímpar. Se a abundância de todos os elementos posteriores ao zinco for somada, o resultado não supera a abundância do ferro.

Quando estrelas com massa entre 8 e 25 vezes a do Sol explodem como supernovas, resta um corpo celeste mais denso que uma anã branca, denominado **estrela de nêutrons** (Fig. 20). Esses astros, constituídos exclusivamente de nêutrons, têm diâmetro de poucos quilômetros e massas maiores que a do Sol. A primeira evidência experimental de uma estrela de nêutrons foi obtida pela astrônoma britânica Jocelyn Bell Burnell (Fig. 21). Quando estrelas de massa superior a 25 vezes a do Sol explodem como supernovas, o que resta é uma região do espaço com densidade tão alta (maior ainda que a de uma estrela de nêutrons) que nenhuma porção de matéria nela presente conseguiria escapar de sua atração gravitacional. Essa remanescência estelar é denominada **buraco negro**.

Existe, atualmente, intensa pesquisa em Astronomia, Cosmologia e Astrofísica. A tecnologia dos equipamentos de observação e dos computadores usados no processamento dos dados obtidos aumenta a cada ano. Muitas descobertas interessantes certamente estão por acontecer.

Há muito por investigar e muito por descobrir. As Ciências da Natureza são um empreendimento interminável. As ideias científicas são permanentemente provisórias e estão continuamente sujeitas a reavaliações e reelaborações. O que abordamos neste capítulo permite que você entenda, em linhas gerais, como a Ciência concebe o surgimento dos diversos elementos químicos. Essas conclusões são fruto da curiosidade humana concretizada na atividade científica e nos esforços de legiões de pesquisadores. Depois deste capítulo, talvez você nunca mais olhe para uma tabela periódica da mesma maneira.

TAYLOR HILL/GETTY IMAGES

Figura 21 A astrônoma britânica Susan Jocelyn Bell Burnell (nascida em 1943), em foto de 2018. Em 1967, trabalhando com radioastronomia (estudo de ondas de rádio provenientes de corpos celestes), fez a primeira observação de um pulsar, estrela de nêutrons que rotaciona rapidamente, emitindo ondas de rádio cuja intensidade oscila com período igual ao de rotação da estrela. O pulsar descoberto por ela completava uma rotação a cada 1,33 s. Hoje, são conhecidos pulsares que realizam centenas de rotações por segundo.

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

MANUAL DO PROFESSOR

Consulte a tabela periódica sempre que considerar necessário.

1. O seguinte trecho foi extraído de um artigo científico, publicado em 1957, escrito por quatro pesquisadores, entre eles a astrofísica britânica Eleanor Margaret Burbidge (Figura 15 deste capítulo):

1. d

> Em contraste com as outras teorias que requerem matéria em um determinado estado primordial particular a respeito do qual não temos evidência, esta teoria está intimamente relacionada ao fato de que transformações nucleares ocorrem rotineiramente dentro de estrelas. [...] É necessário que os elementos químicos, como quer que sejam formados, estejam distribuídos em uma escala cósmica. As estrelas fazem isso ejetando material, o mais eficiente dos mecanismos sendo provavelmente a ejeção explosiva de material por supernovas [...].
>
> **Fonte:** BURBIDGE, E. A.; BURBIDGE, G. R.; FOWLER, W. A.; HOYLE, F. Synthesis of the elements in stars. *Reviews of Modern Physics*. v. 20, n. 4, 1957. p. 550. (Tradução dos autores.)

O trecho apresenta argumento para apoiar a teoria:

a) da formação de elementos químicos em explosões nucleares causadas pelo ser humano.

b) de que todos os átomos de elementos químicos foram criados no *big bang* ou logo depois dele.

c) de que as estrelas contêm grande diversidade de elementos químicos, que fazem parte de sua composição desde o momento de sua formação.

d) da formação da maioria dos elementos químicos por processos nucleares relacionados à evolução estelar.

e) apenas a fusão nuclear é suficiente para explicar a formação de todos os elementos químicos.

2. Modelos científicos sugerem que, durante a história da Galáxia, supernovas sintetizaram cerca de metade do ferro existente no Sistema Solar. Estrelas massivas sintetizaram a outra metade.

2. c

> **Fonte:** ZAIKOWSKI, L. FRIEDRICH, J. M. *Chemical evolution across space & time*; from the big bang to prebiotic Chemistry. Washington: American Chemical Society, 2008. p. 54. (Tradução dos autores.)

Quanto à origem dos átomos do elemento químico mencionado, presente em nosso planeta, é uma visão aceita atualmente pela Ciência que:

a) resultaram de reações químicas que aconteceram durante a formação do planeta.

b) são o resultado de sucessivas fusões nucleares que aconteceram no interior da Terra quando esse interior era bem mais quente que hoje.

c) já existiam quando nosso planeta se formou, há cerca de 4,6 bilhões de anos.

d) são extragalácticos, ou seja, são provenientes de outras galáxias.

e) resultaram de combustão ocorrida em estrelas.

3. Estrelas que, durante sua evolução, atingem temperaturas suficientemente elevadas para a fusão nuclear do carbono propiciam a formação de alguns elementos químicos por processos como os equacionados a seguir, em que X, Y, Z e W são representações literais para os nuclídeos produzidos:

$$^{12}_{6}C + {}^{12}_{6}C \rightarrow X + {}^{0}_{0}\gamma$$
$$^{12}_{6}C + {}^{12}_{6}C \rightarrow Y + {}^{1}_{1}H$$
$$^{12}_{6}C + {}^{12}_{6}C \rightarrow Z + {}^{4}_{2}He$$
$$^{12}_{6}C + {}^{12}_{6}C \rightarrow W + 2\,{}^{4}_{2}He$$

Determine os números atômico e de massa dos nuclídeos produzidos e identifique-os pelo símbolo e pelo nome do respectivo elemento químico.

4. O esquema a seguir representa alguns dos inúmeros processos de síntese de nuclídeos que acontecem durante explosões de supernovas.

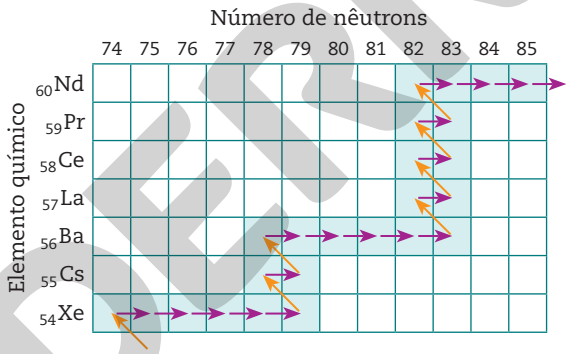


ILUSTRAÇÃO DOS AUTORES

> **Fonte:** SHAVIV, G. *The Synthesis of the Elements*; the astrophysical quest for nucleosynthesis and what it can tell us about the Universe. Heidelberg: Springer, 2012.

Nesse esquema, cada quadradinho colorido representa um nuclídeo formado. As setas indicam dois tipos de transformações nucleares.

a) Que processo é representado pelas setas roxas?

b) Represente, por meio de uma equação, a transformação do isótopo mais leve de xenônio (Xe) presente no esquema no isótopo que tem um nêutron a mais do que ele.

c) As setas em laranja representam que decaimento?

d) Equacione a transformação do isótopo mais pesado de bário (Ba) no isótopo mais leve de lantânio (La) representados no esquema.

5. Alguns átomos de elementos químicos leves são produzidos quando partículas vindas do espaço (raios cósmicos) – prótons, por exemplo – atingem núcleos de átomos na atmosfera. Dois exemplos são:

$$^{1}_{1}p + {}^{12}_{6}C \rightarrow X + {}^{3}_{2}He + {}^{1}_{1}p$$
$$^{1}_{1}p + {}^{12}_{6}C \rightarrow Y + 2\,{}^{1}_{1}p$$

Determine de que elementos químicos são os nuclídeos X e Y produzidos, e represente-os por seus símbolos, acompanhados de número atômico e número de massa.

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

MODERNA

Ampliando os conhecimentos

CAPÍTULO 1

Impresso

Origem da vida, de Hernani L. S. Maia e Ilda V. R. Dias. São Paulo: Livraria da Física, 2010.
O que exatamente caracteriza a vida? Há quanto tempo existe vida na Terra? Terá surgido aqui ou veio de outras partes do Universo? Se ela veio de fora, terá sido por acidente ou servido a um propósito? Teve origem única ou mais de um início? Que limites extremos do ambiente impediriam seu surgimento? Eis algumas perguntas sem resposta unânime ou simplesmente sem resposta, entre as muitas outras formuladas e discutidas nesse livro, acompanhando diferentes épocas do pensamento filosófico e expondo-as à luz das fronteiras atuais da pesquisa científica. O livro mostra ainda o trabalho de especialistas que investigam a vida sob diferentes ângulos e apresentam uma variedade de respostas.

Internet

Tabela periódica interativa: ordenando o Universo
Tabela periódica interativa que permite conhecer um pouco mais sobre os elementos químicos que estão presentes em tudo o que existe: o vivo e o não vivo, o que vemos e que não vemos. Disponível em: <http://www.invivo.fiocruz.br/tabela/>. Acesso em: ago. 2020.

CAPÍTULO 2

Impresso

***Laser* e suas aplicações em ciência e tecnologia**, de Vanderlei Salvador Bagnato. São Paulo: Livraria da Física, 2008.
Nesse livro o autor aborda, de forma simples e numa linguagem acessível, os conceitos básicos do *laser*, seu surgimento, as aplicações e os últimos avanços da pesquisa sobre esse magnífico instrumento.

O que é rádio em ondas curtas, de Célio Romais. São Paulo: Brasiliense, 1994. (Coleção Primeiros Passos)
Nesse livro, o autor apresenta um breve histórico das transmissões radiofônicas em ondas curtas (OC), modalidade bastante ouvida nos anos 1950. O livro traz uma relação de estações de rádio que transmitem o sinal em ondas curtas a partir de várias regiões do globo, inclusive do Brasil, e que podem ser captadas por aqui. Se você for curioso e tiver um rádio capaz de sintonizar OC, vale a pena experimentar.

Radiação ultravioleta: características e efeitos, de Emico Okuno e Maria Aparecida Constantino Vilela. São Paulo: Livraria da Física, 2005. (Coleção Temas Atuais de Física)
Esse livro mostra a forte correlação entre o câncer de pele e a exposição à radiação ultravioleta. Explica os perigos da exposição exagerada ao sol sem proteção adequada ou mesmo das câmaras de bronzeamento artificial, já proibidas no Brasil, visando atingir o padrão de beleza e de saúde vigentes na nossa sociedade.

A cultura digital, de Rogério da Costa. 3. ed. São Paulo: Publifolha, 2008. (Coleção Folha Explica)
O autor, professor da PUC-SP, discute o rumo das relações humanas em meio aos artefatos tecnológicos e como a internet, os celulares, os jogos eletrônicos e outras tecnologias digitais mudaram nossa vida.

Internet

Ondas de rádio e campos eletromagnéticos, da Universidade do Colorado (EU).
Nesse simulador você pode visualizar a geração de uma onda eletromagnética a partir do movimento de elétrons em uma antena transmissora de ondas de rádio. Explore as diferentes maneiras de visualização da onda. Disponível em: <https://phet.colorado.edu/pt_BR/simulation/radio-waves>. Acesso em: ago. 2020.

Interferência de ondas, da Universidade do Colorado (EU).
Nesse simulador pode-se verificar a interferência de ondas na água, de ondas sonoras e de ondas luminosas. Explore e manipule as variáveis de cada experimento, frequência e intensidade das ondas, tamanho das fendas, distância entre as fendas e distância entre as fendas e o anteparo. Disponível em: <https://phet.colorado.edu/pt_BR/simulation/wave-interference>. Acesso em: ago. 2020.

Cristais líquidos, da Universidade Federal de São Carlos.
O artigo publicado no Caderno Catarinense de Ensino de Física analisa as propriedades características dos cristais líquidos, e suas aplicações tecnológicas e as instituições que realizam pesquisas nesse tema no Brasil. Disponível em: <https://periodicos.ufsc.br/index.php/fisica/article/view/5799/5320>. Acesso em: ago. 2020.

CAPÍTULO 3

Impresso

Darwin no Brasil, de Flávio de Almeida. São Paulo: Vieira & Lent, 2009.
História em quadrinhos que descreve os principais fatos da viagem de Darwin ao Brasil, em 1832.

Internet

Descobertas de dinossauros ao acaso. *Ciência Hoje*.
O autor do artigo afirma que nem todos os achados paleontológicos são feitos por cientistas. Muitos se devem a moradores que encontram ossos distintos nos locais onde vivem.
Disponível em: <https://cienciahoje.org.br/coluna/descobertas-de-dinossauros-ao-acaso/>. Acesso em: ago. 2020.

CAPÍTULO 4

Impresso

Moléculas, de Peter William Atkins. São Paulo: Edusp, 2006.
Livro de divulgação científica em que o autor relaciona 160 substâncias, seus modelos moleculares, suas aplicações, propriedades, ocorrência e importância no cotidiano. A maior parte das substâncias citadas é orgânica.

CAPÍTULO 5

Impresso

Fármacos e quiralidade, de Fernando A. S. Coelho. Cadernos temáticos de *Química Nova na Escola*, n. 3, 2001. p. 23-32.
O autor discute a relação entre quiralidade e atuação de fármacos com centros quirais. Também apresenta exemplos de fármacos que apresentam centros assimétricos.

Amor ao primeiro odor. A comunicação química entre os insetos, de J. Tércio B. Ferreira (*in memoriam*) e Paulo H. G. Zarbin. *Química Nova na Escola*, n. 7, 1998. p. 3-6.

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

MODERNA

Esse artigo apresenta a classificação dos feromônios segundo suas funções, dá exemplos de estruturas e comenta aplicações dessas substâncias. Entre os exemplos, vários apresentam isomeria geométrica.

Razões da atividade biológica: interações micro e biomacromoléculas, de Carlos Alberto Manssour Fraga. *Cadernos temáticos de Química Nova na Escola*, n. 3, 2001. p. 33-42.
O autor discute a interação de um fármaco com seu sítio de ação, destacando o papel das forças intermoleculares e da configuração espacial do fármaco e de seu sítio de ação.

O mesmo e o não mesmo, de Roald Hoffmann. São Paulo: Editora Unesp, 2007.
Livro que apresenta diversos aspectos interessantes relacionados à Química e sua presença no cotidiano. Inclui diversas informações referentes à isomeria em compostos orgânicos.

Catálise assimétrica e o Prêmio Nobel de Química de 2001. Novos paradigmas e aplicações práticas, de Ronaldo Aloise Pilli. *Química Nova na Escola*, n. 14, 2001. p. 16-24.
Esse artigo faz uma revisão dos trabalhos dos ganhadores do Nobel de Química de 2001, William Knowles, Barry Sharpless e Ryoji Noyori, que desenvolveram métodos para produção em escala industrial de substâncias quirais em forma enantiomericamente pura. Tais processos têm aplicação, entre outras, nas áreas de fármacos, agroquímicos e fragrâncias.

Os feromônios e o ensino de Química, de Ana Luiza de Quadros. *Química Nova na Escola*, n. 7, 1998. p. 7-10. (Veja também errata no n. 8, p. 41.)
A autora apresenta o conceito de feromônio e apresenta variados exemplos, entre os quais alguns apresentam isomeria geométrica.

Alquimistas e químicos: o passado, o presente e o futuro, de José Atílio Vanin. 2. ed. atualizada. São Paulo: Moderna, 2010. (Coleção Polêmica)
Paradidático que oferece um panorama da atuação da Química e dos químicos. O capítulo 4 inclui informações históricas que conduziram à compreensão da assimetria molecular.

CAPÍTULO 6

Impresso

Astrofísica para apressados, de Neil De Grasse Tyson. São Paulo: Planeta, 2017.
Em uma linguagem simples, o autor explica tópicos da astrofísica como matéria escura, energia escura, exoplanetas, entre outros.

Big bang, de Heather Couper e Nigel Henbest. São Paulo: Moderna, 1998.
Com grande quantidade de ilustrações e linguagem acessível, os autores contam como teria surgido o Universo a partir dessa grande explosão primordial e discorrem sobre o empenho dos cientistas em encontrar provas de que realmente foi assim que aconteceu.

Cosmos, de Carl Sagan. São Paulo: Companhia das Letras, 2017.
No capítulo "A harmonia dos mundos", o autor descreve, de modo agradável e didático, os caminhos dos cientistas para alcançar a verdade do conhecimento científico.

George e o segredo do Universo, de Lucy Hawking e Stephen Hawking. Rio de Janeiro: Ediouro, 2007.
Em linguagem didática, os autores relatam as aventuras de uma viagem, repleta de ciência, pela vastidão do tempo e do espaço cósmico.

Os gênios da ciência: sobre os ombros de gigantes, de Stephen Hawking. Rio de Janeiro: Campus, 2005.
É uma excelente fonte de conhecimento histórico sobre a evolução da Astronomia contada por um dos maiores teóricos do século XX.

CAPÍTULO 7

Impresso

A descoberta da sombra, de Roberto Casati. São Paulo: Companhia das Letras, 2001.
O livro revela que muitos fenômenos científicos foram determinados com a observação e o estudo das sombras, como o cálculo do diâmetro da Terra, a origem dos eclipses, entre outros.

Ciência e mágica com luz, de Chris Oxlade. São Paulo: Nobel, 1995.
Por meio de truques de mágica, realizáveis com materiais do dia a dia, o livro apresenta princípios básicos de Óptica.

Internet

Eclipse lunar, da Universidade da Virgínia (EU).
Nesse aplicativo, você pode visualizar um eclipse lunar. Disponível em: <http://galileo.phys.virginia.edu/classes/109N/more_stuff/flashlets/eclipse3.htm>. Acesso em: ago. 2020.

Refração da luz, da Universidade do Colorado (EU).
Nesse simulador, você pode observar a refração da luz em diversos comprimentos de ondas através de diferentes objetos, meios e índices de refração. Disponível em: <https://phet.colorado.edu/sims/html/bending-light/latest/bending-light_pt_BR.html>. Acesso em: ago. 2020.

CAPÍTULO 8

Impresso

Descobrindo o Universo, de Sueli M. M. Viegas e Fabíola de Oliveira (org.). São Paulo: Edusp, 2004.
O tema desse livro é a história do Universo, desde sua gênese até a época atual.

O incrível mundo da Física moderna, de George Gamow. São Paulo: Ibrasa, 2004.
O autor explica os principais conceitos e fenômenos do mundo atômico e subatômico, mesclando ciência, ficção, bom humor e um talento especial para contar estórias.

Internet

Espalhamento de Rutherford, da Universidade do Colorado (EU).
Nesse aplicativo, você pode bombardear núcleos com partículas alfa e visualizar o espalhamento. Você também pode variar o número de prótons e o número de nêutrons no núcleo, bem como a energia das partículas alfa. Disponível em: <https://phet.colorado.edu/pt_BR/simulation/rutherford-scattering>. Acesso em: ago. 2020.

Fissão nuclear, da Universidade do Colorado (EU).
Nesse aplicativo, você pode simular uma fissão nuclear, disparando nêutrons contra um núcleo do urânio e visualizar os núcleos resultantes da reação. Você pode também simular uma reação em cadeia, disparando nêutrons contra vários núcleos alvos. Com o cursor, é possível alterar a direção dos disparos. Disponível em: <https://phet.colorado.edu/pt_BR/simulation/nuclear-fission>. Acesso em: ago. 2020.

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

MODERNA

CAPÍTULO 9

Impresso

A deriva dos continentes, de Samuel Murgel Branco e Fábio Cardinale Branco. São Paulo: Moderna, 2004.
Nesse livro são abordados assuntos desde as visões clássicas sobre a estrutura do planeta até as modernas teorias que relacionam a chamada tectônica de placas com a configuração atual dos continentes, oceanos e ecossistemas abissais.

Internet

Ramificações ancestrais nos macacos-pregos. *Pesquisa Fapesp*.
Criando e manipulando ferramentas que os ajudam a quebrar cascas, cutucar lagartos e aranhas – e até a paquerar! –, os macacos-pregos mostram como tradições culturais podem evoluir e ser criadas entre animais. Disponível em: <https://revistapesquisa.fapesp.br/ramifica%C3%A7%C3%B5es-ancestrais-dos-macacos-prego/>. Acesso em: ago. 2020.

CAPÍTULO 10

Impresso

A grande árvore genealógica humana, de Fabrício R. Santos.
Artigo que aborda diversos aspectos sobre evolução humana e suas ramificações. Disponível em: <https://www.ufmg.br/revistaufmg/downloads/21/05_pag88a113_fabriciosantos_agrandearvore.pdf>. Acesso em: ago. 2020.

CAPÍTULO 11

Impresso

A Ciência através dos tempos, de Attico Chassot. 2. ed. atualizada. São Paulo: Moderna, 2011. (Coleção Polêmica)
Apresenta um panorama da evolução da atividade científica, da pré-história aos dias atuais. O capítulo 10 inclui a descoberta dos raios X, da radioatividade e a transmutação nuclear.

A Química do tempo: carbono-14, de Robson Fernandes de Farias. *Química Nova na Escola*, n. 16, 2002. p. 6-8.
Nesse artigo, o autor apresenta uma visão geral sobre a técnica de datação fundamentada no isótopo-14 do carbono.

A radioatividade e a história do tempo presente, de Fábio Merçon e Samantha Viz Quadrat. *Química Nova na Escola*, n. 19, 2004. p. 27-30.
Os autores abordam a utilização das reações nucleares a partir da Segunda Guerra Mundial, incluindo comentários sobre a Guerra Fria, as usinas e os acidentes nucleares.

A utilização do elemento tecnécio-99*m* no diagnóstico de patologias e disfunções dos seres vivos, de Elaine Bortoleti de Araújo. *Cadernos Temáticos de Química Nova na Escola*, n. 6, 2005. p. 31-35.
Artigo sobre a utilização do isótopo artificial tecnécio-99 (metaestável) em diagnósticos médicos e pesquisas.

Internet

Energia nuclear e suas aplicações, de Eliezer de Moura Cardoso. 3. ed. Rio de Janeiro: CNEN, 2012.
Apostila educativa em PDF publicada pela Comissão Nacional de Energia Nuclear (CNEN), órgão do Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação. Disponível em: <http://www.cnen.gov.br/images/cnen/documentos/educativo/apostila-educativa-aplicacoes.pdf>. Acesso em: ago. 2020.

História da energia nuclear, da Comissão Nacional de Energia Nuclear (CNEN). Rio de Janeiro: CNEN, s. d.
Apostila educativa em PDF elaborada pela Comissão Nacional de Energia Nuclear (CNEN), órgão do Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação. Disponível em: <http://www.cnen.gov.br/ultimas-noticias/75-cin/material-didatico-cnen/150-historia-da-energia-nuclear> Acesso em: ago. 2020.

CAPÍTULO 12

Impresso

O cerne da matéria: a aventura científica que levou à descoberta do Bóson de Higgs, de Rogério Rosenfeld. São Paulo: Companhia das Letras, 2013.
O autor fala sobre a importância dos aceleradores de partículas, em especial do Grande Colisor de Hádrons, para as investigações na área de Física de partículas. O Grande Colisor de Hádrons localiza-se nas instalações da Organização Europeia para a Pesquisa Nuclear, conhecida como CERN (sigla derivada do nome anterior, em francês, *Conseil Européen pour la Recherche Nucléaire*).

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

MODELO

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 tenessino Ts	118 oganessônio Og

Número atômico

Nome **Símbolo**

Massa atômica

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

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

BAUER, W.; WESTFALL, G. D. *University Physics with modern Physics*. 2. ed. Nova York: McGraw-Hill, 2014.

Livro consultado para aspectos referentes aos processos nucleares de fusão e fissão nuclear.

BEISER, A. *Concepts of Modern Physics*. 6. ed. Nova York: McGraw-Hill: 2003.

Obra de referência sobre decaimentos alfa, beta negativo, beta positivo, gama e também sobre a cinética desses processos.

BENVENUTO, M. A.; WILLIAMSON, T. (ed.). *Elements old and new*: discoveries, developments, challenges and environmental implications. Washington: American Chemical Society, 2017.

Livro que inclui informações sobre a síntese de elementos artificiais e sobre nucleossíntese em estrelas.

BERG, J. M.; TYMOCZKO, J. L.; GATTO JR., G. J.; STRYER, L. *Biochemistry*. 8. ed. Nova York: Freeman, 2015.

Referência usada para estrutura e propriedades de biomoléculas.

BERTINI, I.; GRAY, H. B.; STIEFEL, E. I.; VALENTINE, J. S. *Biological Inorganic Chemistry*: structure and reactivity. Sausalito: University Science Books, 2007.

Obra que inclui informações sobre a abundância de elementos químicos e a relevância de alguns deles para a vida.

BLEI, I.; ODIAN, G. *General, Organic and Biochemistry*: connecting Chemistry to your life. 2. ed. Nova York: Freeman, 2006.

O livro traz informações e explicações sobre diversos aspectos da Química e foi utilizado como referência para abordar compostos orgânicos.

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.

CAREY, F. A.; GIULIANO, R. M. *Organic Chemistry*. 10. ed. Nova York: McGraw-Hill, 2017.

O livro é uma tradicional referência na área de Química Orgânica.

CHESMAN, C.; ANDRÉ, C.; MACÊDO, A. *Física moderna experimental e aplicada*. São Paulo: Livraria da Física, 2004.

Este livro apresenta exemplos didáticos e curiosidades, associados a temas diversos da Física Moderna, e descrição de experiências fundamentais e acessíveis.

COOPER, G. M. *The cell: a molecular approach*. 8. ed. Nova York: Sinauer, 2019.

Obra consultada sobre estrutura e propriedades de compostos químicos presentes em seres vivos.

COPLEY, J. Proof of Life. *New Scientist*, v. 177, n. 2.383, p. 28-31, 2004.

Artigo que explora argumentos que envolvem a definição de vida.

DARWIN, C. *A origem das espécies*. Belo Horizonte: Itatiaia; São Paulo: Edusp, 1985.

Livro com as ideias originais de Charles Darwin.

DOBZHANSKY, T. *Genética do processo evolutivo*. São Paulo: Polígono/Edusp, 1973.

Esta obra mostra relações entre seleção natural e Genética.

EL-HANI, C. N.; VIDEIRA, A. A. P. (org.). *O que é vida?*: para entender a Biologia do século XXI. Rio de Janeiro: Relume Dumará, 2000.

Livro usado como fonte de informações para o estudo da origem da vida.

FAVRE, H. A.; POWELL, W. H. *Nomenclature of Organic Chemistry: IUPAC recommendations and preferred names 2013*. Cambridge: Royal Society of Chemistry, 2014.

Livro de referência sobre as normatizações da União Internacional de Química Pura e Aplicada (IUPAC) para a nomenclatura de compostos orgânicos.

FUTUYAMA, D. J. *Biologia evolutiva*. 2. ed. Ribeirão Preto: Sociedade Brasileira de Genética, 1992.

Este material traz diversos dados sobre análises evolutivas.

GAMUN, L.; VINES, G. *The evolution of life*. Oxford: Oxford University Press, 1991.

Livro usado como referência no estudo de evolução biológica.

HECHT, J. People and chimps belong together on the family tree. *New Scientist*, n. 2.396, p. 15, 2003.

Artigo que aborda aspectos da evolução humana.

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.

JOSÉ, J. *Stellar explosions*: hydrodynamics and nucleosynthesis. Boca Raton: CRC Press, 2016.

Obra consultada a respeito da nucleossíntese de elementos químicos em estrelas, especialmente em explosões de supernovas.

LEAKEY, M.; WALKER, A. Os primeiros fósseis hominídeos da África. *Scientific American Brasil*, edição especial: Novo olhar sobre a evolução humana, n. 2, p. 16-21, 2003.

Artigo que aborda aspectos da evolução humana.

MARKERT, B.; FRÄNZLE, S.; WÜNSCHMANN, S. *Chemical evolution*: the biological system of the elements. Cham: Springer, 2015.

Livro que aborda aspectos relacionados à importância de elementos químicos para a vida.

NARLIKAR, J. *The lighter side of gravity*. 2. ed. Cambridge: Cambridge University Press, 1996.

O livro cobre todas as manifestações da gravidade de Copérnico a Einstein. Foi usado como obra de consulta para temas do cap. 6.

NELSON, D. L.; COX, M. M. *Lehninger principles of Biochemistry*. 7. ed. Nova York: Freeman, 2017.

Livro de referência sobre biocompostos, sua estrutura e suas propriedades.

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

MODERNA

NEVES, W. A.; HUBBE, M. Luzia e a saga dos primeiros americanos. *Scientific American Brasil*, edição especial: Novo olhar sobre a evolução humana, n. 2, p. 64-71, 2003.

Artigo que aborda aspectos da evolução humana.

OKUNO, E. *Radiação*: efeitos, riscos e benefícios. São Paulo: Harbra, 1988.

Este livro apresenta conceitos básicos da Física das radiações, bem como seus efeitos biológicos e suas aplicações na indústria e na Medicina.

OLIVEIRA, I. S. *Física moderna para iniciados, interessados e aficionados*. São Paulo: Livraria da Física, 2005.

Com estilo informal e bem-humorado, este livro aborda diversos conceitos relacionados à Física Moderna, sendo acessível para qualquer pessoa que se interesse pelo tema.

ORGEL, L. O. The Origin of life on the Earth. *Scientific American*, v. 271, n. 4, p. 53-61, 1994.

Artigo que relata dados e hipóteses sobre a origem da vida na Terra.

PERUZZO, J.; POTTKER, W. E.; do PRADO, T. G. *Física moderna e contemporânea*: das teorias quânticas e relativísticas às fronteiras da Física. 2. ed. São Paulo: Livraria da Física, 2014. 2 v.

Obra em dois volumes que inclui informações sobre radioatividade e processos nucleares.

REECE, J. B. *et al*. *Biologia de Campbell*. 10. ed. Porto Alegre: Artmed, 2015.

Livro que traz diversas informações sobre diferentes áreas da Biologia.

REHDER, D. *Chemistry in space*: from interstellar matter to the origin of life. Weinheim: John Wiley, 2010.

Livro que inclui informações sobre produção de elementos químicos por fusão nuclear nas estrelas e em explosões estelares.

RIDLEY, M. *Evolução*. 3. ed. Porto Alegre: Artmed, 2004.

Este livro foi usado como fonte nos capítulos sobre evolução.

RYAN, S. G.; NORTON, A. J. *Stellar evolution and nucleosynthesis*. Cambridge: Cambridge University Press, 2010.

Obra consultada sobre evolução das estrelas e formação de elementos químicos por nucleossíntese.

SCHUTZ, B. *Gravity form the ground*. 4. ed. Cambridge: Cambridge University Press, 2007.

Obra de referência para uma introdução sobre Gravitação, Cosmologia e Relatividade Geral, usada para consultas sobre temas do cap. 6.

SCHWITENBERG, J. *No-Nonsense Electrodynamics*. Karlsruhe: No-Nonsense Books, 2019.

O livro apresenta os conceitos de Eletromagnetismo de forma clara e direta, sem perder a profundidade. Foi usado como fonte para o cap. 2.

SCHWITENBERG, J. *No-Nonsense Quantum Mechanics*. Karlsruhe: No-Nonsense Books, 2019.

O livro apresenta os conceitos da Mecânica Quântica de forma clara e direta, sem perder a profundidade. Foi usado como fonte para o cap. 8.

SHAVIV, G. *The Synthesis of the elements*; the astrophysical quest for nucleosynthesis and what it can tell us about the universe. Heidelberg: Springer, 2012.

Livro consultado sobre nucleossíntese de elementos químicos.

SMITH, J. G. *Organic Chemistry*. 5. ed. Nova York: McGraw-Hill, 2017.

Obra com informações variadas acerca de compostos orgânicos e isomeria.

SOLOMONS, T. W. G. *et al*. *Organic Chemistry*. 12. ed. Hoboken: Wiley, 2016.

Livro usado como referência para os temas que envolvem Química Orgânica e isomeria.

THORNE, K.; BLANDFORD, R. *Modern Classical Physics*. Princeton: Princeton University Press, 2017.

Obra de conteúdo muito abrangente e avançado sobre toda a Física Clássica, usada para consulta sobre os temas dos capítulos 2 e 6.

TIMBERLAKE, K. C. *Chemistry*: an introduction to General, Organic, and Biological Chemistry. 11. ed. Upper Saddle River: Pearson Prentice Hall, 2012.

Livro que aborda fundamentos de Química Geral e Orgânica, contextualizando-as com aspectos inerentes aos seres vivos.

TIPLER, P. A.; LLEWELLYN, R. A. *Modern Physics*. 6. ed. Nova York: Freeman, 2012.

Obra de referência para o estudo de decaimentos nucleares e processos de fissão e fusão nuclear.

VOET, D.; VOET, J. G.; PRATT, C. W. *Fundamentals of Biochemistry*: life at the molecular level. 5. ed. Danvers: Wiley, 2016.

Referência para estrutura e propriedades de compostos químicos existentes em seres vivos.

VOLLHARDT, P.; SCHORE, N. *Organic Chemistry*: structure and function. 8. ed. Nova York: Freeman, 2018.

O livro mostra diversos aspectos da Química Orgânica, incluindo isomeria.

WILLIAMS, R. J. P.; da SILVA, J. J. R. *The Chemistry of evolution*: the development of our ecosystem. Amsterdam: Elsevier, 2006.

Obra que inclui aspectos sobre a abundância dos elementos químicos, sua origem e importância para a vida.

WHEELER, J. A. *Un viaje por la gravedad y el espacio-tiempo*. Madri: Alianza Editorial, 1994.

Essa obra foi usada como consulta sobre Gravitação e Cosmologia.

WHITFIELD, P. *From so simple a beginning*: the book of evolution. Nova York: Macmillan, 1993.

Livro com diversas informações sobre evolução.

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

MODERNA

MODERNA

ISBN 978-65-5779-329-9

MODERNA