Biologia

PVC

PRÉ-VESTIBULAR **CECIERJ** | volume **1**

Celina M. S. Costa

Max F. Pierini

Renato M. Lopes

Fundação CECIERJ

Secretaria de Ciência, Tecnologia e Inovação

GOVERNO DO ESTADO RIO DE JANEIRO

SEM TEMPO A PERDER

Biologia

PVC

PRÉ-VESTIBULAR **CECIERJ** | volume **1**

Fundação CECIERJ

Secretaria de Ciência, Tecnologia e Inovação

GOVERNO DO ESTADO RIO DE JANEIRO
SEM TEMPO A PERDER

GOVERNO DO ESTADO DO RIO DE JANEIRO

Governador
Cláudio Castro

Secretário de Estado de Ciência, Tecnologia e Inovação
Dr. Serginho

FUNDAÇÃO CECIERJ

Presidente
Rogerio Tavares Pires

Vice-Presidente de Educação Superior a Distância
Caroline Alves da Costa

Pré-Vestibular Cecierj

Diretor
Luiz Fernando Jardim Bento

Elaboração de Conteúdo
Mauricio R. M. P. Luz, Celina M. S. Costa, Lucimar S. Motta, Max F. Pierini e Renato M. Lopes

Revisão e Adaptação de Conteúdo
Celina M. S. Costa, Max F. Pierini e Renato M. Lopes

Biblioteca
Any Bernstein, Simone da Cruz Correa de Souza e Vera Vani Alves de Pinho

cecierj.edu.br/pre-vestibular-social/

Material Didático

Diretor de Material Didático
Ulisses Schnaider Cunha

Diretora de Design Instrucional
Diana Castellani

Diretora de Material Impresso
Bianca Giacomelli

Projeto Gráfico
Cristina Portella e Maria Fernanda de Novaes

Ilustração da Capa
Renan Alves

Design Instrucional
Vittorio Lo Bianco
Flávia Busnardo e Paula Barja

Revisão Linguística
Yana Gonzaga

Diagramação
Cristina Portella

Tratamento de Imagens e Ilustrações
Renan Alves

Produção Gráfica
Fabio Rapello

FICHA CATALOGRÁFICA

P922

Pré-Vestibular Cecierj. Biologia. Volume 1 / Mauricio R. M. P. Luz, Celina M. S. Costa, Lucimar S. Motta, Max F. Pierini, Renato M. Lopes. – Rio de Janeiro : Fundação Cecierj, 2021.

178 p.; 21 x 28 cm.
ISBN: 978-85-458-0249-5

1. Pré-Vestibular Cecierj. 2. Biologia. 3. Funções vitais. 4. Tipos celulares. 5. Ecologia. 6. Alimentos e energia. 7. Sociedade e meio ambiente. 8. Evolução. 9. Reprodução humana. I. Luz, Mauricio R. M. P. II. Costa, Celina M. S. III. Motta, Lucimar S. IV. Pierini, Max F. V. Lopes, Renato M. 1. Título

CDD: 570

Referências bibliográficas e catalogação na fonte de acordo com as normas da ABNT.
Texto revisado segundo o Novo Acordo Ortográfico da Língua Portuguesa.

Biologia

sumário

Apresentação

Prezado(a) estudante,

Temos o prazer de apresentar os livros da disciplina Biologia do Pré-Vestibular Cecierj. Os temas e conteúdos que compõem esses livros foram cuidadosamente selecionados e preparados para auxiliá-lo em seus estudos, possibilitando uma aprendizagem significativa para que você alcance o objetivo de ingressar no ensino superior.

Ressaltamos a importância da leitura dos textos e da resolução das atividades e exercícios propostos em cada unidade. Também é imprescindível que você compareça regularmente às aulas, participando ativamente e tirando suas dúvidas com o seu mediador.

Bom curso e boa sorte na sua jornada!

Coordenação de Biologia do Pré-Vestibular Cecierj

Funções vitais e tipos celulares

01

meta

Apresentar a integração das funções vitais e a diferença entre células eucarióticas e procarióticas.

objetivos

Esperamos que, ao final desta unidade, você seja capaz de:

- identificar as inter-relações existentes entre algumas das funções biológicas que caracterizam os seres vivos;
- caracterizar célula procariota e eucariota.

Introdução

Nesta primeira unidade, discutiremos algumas funções que caracterizam os seres vivos. Por caracterizarem a vida, são denominadas funções vitais. Nosso foco estará voltado inicialmente para os seres pluricelulares, ou seja, aqueles que são formados por mais de uma célula (centenas, milhares, milhões ou mesmo bilhões delas).

Os organismos pluricelulares são muito diferentes entre si. Na verdade, na classificação biológica, não existe um grupo que inclua todos eles, pois existem plantas, fungos e animais pluricelulares, e cada um desses grupos tem histórias evolutivas muito diferentes.

Para iniciar nosso estudo, nos concentraremos nos animais vertebrados, um grupo específico de seres pluricelulares que possuem coluna vertebral. De fato, trataremos, nesta unidade, de um grupo ainda mais restrito de vertebrados: os mamíferos. Faremos isso porque é o grupo ao qual pertence a espécie humana. Tratar das funções vitais usando nosso próprio organismo como exemplo facilitará muito a compreensão dos conceitos que apresentaremos. Ao longo do curso, porém, iremos nos aprofundar em algumas dessas funções e discutiremos como elas ocorrem em outros tipos de seres vivos.

As funções vitais

Se você parar por alguns momentos para pensar, será capaz de imaginar uma lista de fenômenos que precisam acontecer para que você se mantenha vivo. A lista crescerá um pouco mais se você incluir nela o que aprendeu em Ciências e Biologia na escola. Essas "coisas que precisam ocorrer" para que a vida continue são, em muitos casos, aquilo que denominamos *funções vitais*. Se uma delas parar (seja por poucos minutos em alguns casos ou por períodos mais longos em outros), nosso organismo enfrentará problemas e provavelmente morrerá. É exatamente esta abordagem, de que as funções vitais estão inter-relacionadas, que pretendemos utilizar ao longo desta unidade.

A respiração

Comecemos por uma função que não pode ser interrompida por mais de uns poucos minutos: a respiração. Quando inalamos o ar (inspiramos), ele entra pelas nossas narinas, passa por várias estruturas e órgãos até chegar aos pulmões. O ar é uma mistura de gases, ou seja, é composto por muitos tipos de gases diferentes. O gás mais abundante na atmosfera da Terra, o nitrogênio, não tem muita importância para a nossa respiração. Porém, o segundo mais abundante, o oxigênio, é fundamental para nossa sobrevivência. Quando o ar inalado chega aos pulmões, mais especificamente aos alvéolos pulmonares, uma quantidade grande de oxigênio do ar passa para o sangue.

Naturalmente, os pulmões não escolhem os gases que passam para o sangue. Se um indivíduo permanecer em um ambiente fechado no qual haja um vazamento de gás de cozinha, este gás passará também para o sangue, causando intoxicação ou mesmo a morte de quem o inalar.

Em unidades futuras, veremos que os organismos possuem várias superfícies, chamadas *superfícies de troca,* por onde diversas substâncias atravessam do interior do organismo para o ambiente externo e vice-versa. Nessas superfícies, as trocas acontecem nos dois sentidos, isto é, se uma substância consegue atravessar espontaneamente em um sentido, ela também atravessará no sentido contrário. O oxigênio não é exceção à regra! Mas, se ele pode atravessar livremente os alvéolos nos dois sentidos, como explicar a afirmação comum de que nos alvéolos "o oxigênio passa para dentro do sangue"? Em geral, as substâncias que atravessam as superfícies de troca encontram-se em maior quantidade de um lado do que do outro. No ar que está no interior dos nossos alvéolos pulmonares, por exemplo, há maior concentração de oxigênio do que no sangue que chega aos pulmões. Desse modo, embora o oxigênio atravesse nos dois sentidos, haverá muito mais oxigênio passando do ar alveolar para o sangue do que do sangue para o ar.

Para que serve o oxigênio? Para encontrarmos a resposta a essa pergunta, temos que observar o que acontece em outra superfície de troca do nosso corpo: o sistema digestório.

A digestão

Os alimentos que ingerimos são compostos de partes de outros seres vivos, seja um bife (preparado a partir da carne de um animal) ou uma salada (composta de folhas e frutos de plantas). Até mesmo alimentos preparados com muitos ingredientes, como um bolo, por exemplo, são feitos de partes de outros seres vivos: farinha (trigo ou milho moído), manteiga (derivada do leite), ou margarina (produzida de partes de plantas), ovos de galinha e açúcar (produzido a partir da cana). Os componentes presentes nesses alimentos são essenciais para que o organismo cresça (pelo menos até uma certa idade) e recomponha suas partes (no caso de cicatrização de uma ferida ou do crescimento de cabelos e unhas, por exemplo). Entretanto nem todos os componentes do corpo humano são exatamente iguais aos dos seres vivos (ou partes deles) que ele ingere. Comemos amido, por exemplo, mas não temos amido em nosso corpo.

Os alimentos que ingerimos são, muitas vezes, compostos de moléculas grandes, que são desmontadas (ou quebradas) ao longo do sistema digestório. À medida que os alimentos saem da boca e chegam ao estômago (passando pela faringe e pelo esôfago no processo de deglutição), indo para o intestino, essas moléculas grandes vão sendo quebradas em moléculas cada vez menores. Mal comparando, se imaginarmos uma molécula como se fosse uma palavra, durante a digestão, ela seria quebrada em sílabas e depois em letras.

Na **Figura 1.1**, as palavras FATO, COTOVELO e NEVE representam as moléculas grandes dos alimentos que são ingeridos. Durante a digestão, moléculas grandes são quebradas em moléculas menores (representadas pelas sílabas e letras das palavras). Observe que nem todas as palavras foram quebradas em sílabas ou letras, isto é, nem todas as moléculas grandes ingeridas são quebradas na digestão.

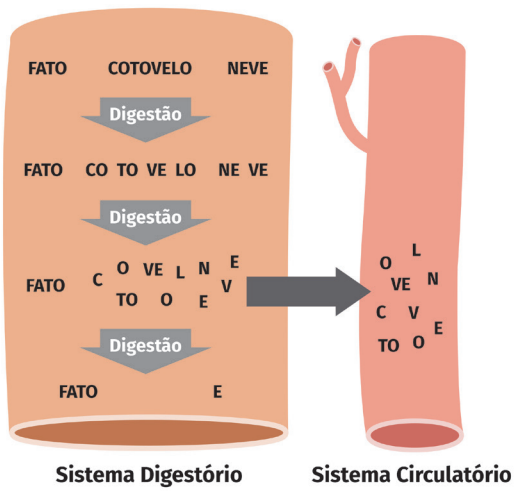


Figura 1.1: Esquema representando a quebra de moléculas grandes em moléculas pequenas na digestão e a passagem dessas moléculas pequenas para a circulação sanguínea.

O destino das moléculas pequenas

Após a digestão, uma grande parte das moléculas pequenas que compunha o alimento passa do interior dos intestinos para os vasos sanguíneos. Observe que nem todas as moléculas, mesmo as pequenas, passam para o sangue após a digestão. Depois de absorvidas, as moléculas resultantes da digestão são transportadas pelo sangue para todas as partes do corpo onde serão utilizadas pelas células em diversas atividades.

Algumas dessas moléculas pequenas podem ser unidas em uma nova ordem, formando outras moléculas grandes que se tornam componentes do organismo humano. Os cabelos e as unhas crescem continuamente e são um exemplo disso. Eles são feitos de proteínas, que são diferentes das presentes nos alimentos de origem animal ou vegetal que forneceram as tais moléculas pequenas. Da mesma maneira, uma pessoa pode engordar, isto é, acumular gordura em seus tecidos, ingerindo apenas açúcares, pães e massas por exemplo. Além disso, diariamente células morrem e são substituídas pela duplicação de outras no organismo (**Figura 1.2**). Cabelos, unhas, gordura e componentes das novas células são fabricados com os nutrientes obtidos da digestão (quebra) dos alimentos ingeridos.

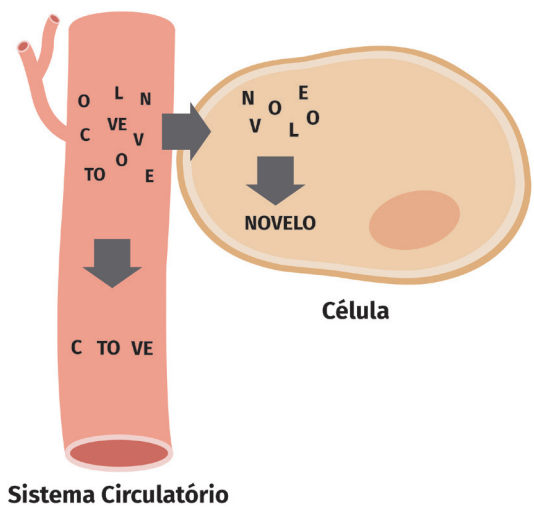


Figura 1.2: Moléculas pequenas transportadas pelo sangue chegam a todas as células e podem ser usadas para construir moléculas grandes.

Na **Figura 1.2**, algumas moléculas pequenas (representadas pelas letras O, L, N, V e E), transportadas pelo sangue, entram na célula, onde são unidas novamente, formando uma nova molécula grande (a palavra NOVELO).

Alguns dos nutrientes que chegam à célula, porém, podem ser utilizados na produção de energia. Essa produção de energia, essencial para quase todos os processos que ocorrem em nosso organismo, desde a contração do músculo do coração até a transmissão de estímulos pelo sistema nervoso, depende, quase sempre, da utilização do oxigênio em reações químicas.

Junto com alguns tipos de nutrientes obtidos após a digestão dos alimentos, o oxigênio será utilizado para a produção de energia pelas células (**Figura 1.3**). Esse importante processo de produção de energia a partir dos nutrientes com consumo de oxigênio é chamado de *respiração celular*. Note que também chamamos de respiração a troca de gases que ocorre nos pulmões, entretanto a troca de gases e a respiração celular são processos distintos.

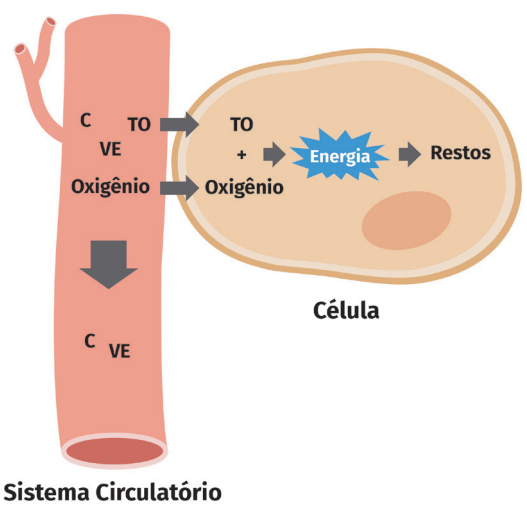


Figura 1.3: Outras moléculas pequenas transportadas pelo sangue podem ser utilizadas pelas células na produção de energia.

Vale destacar aqui que um mesmo tipo de nutriente pode ser utilizado para diferentes funções. Assim, ele pode servir para produzir energia em uma célula e para compor a estrutura de outra. Na verdade, em uma mesma célula, um mesmo nutriente pode servir em momentos diferentes para produzir energia ou construir uma parte da célula.

A eliminação dos resíduos: excreção

A produção de energia a partir de nutrientes e de oxigênio no processo de respiração celular gera pelo menos dois tipos de restos (resíduos): o *gás carbônico* e a *água*. Outros tipos de transformação de moléculas também geram restos no interior das células. Esses resíduos são, muitas vezes, compostos de moléculas extremamente tóxicas para o organismo. Assim, à medida que as reações químicas essenciais à sobrevivência ocorrem no interior das células de um organismo, inúmeros resíduos vão sendo lançados no sangue. A vida só pode prosseguir normalmente se esses resíduos forem eliminados, ou seja, colocados para fora do organismo. Essa eliminação de resíduos é denominada *excreção*. No organismo humano, os resíduos são eliminados por dois processos principais. Quando o sangue, contendo grandes concentrações de gás carbônico, passa pelos pulmões, uma grande parte desse gás atravessa rapidamente as superfícies dos tecidos que lá existem e passa para o ar. Quando o ar é expelido, contém, portanto, grande parte do gás carbônico produzido durante a respiração celular. Outros gases e substâncias voláteis (que evaporam facilmente) que estejam em grande quantidade no sangue também podem ser eliminados pelos pulmões e lançados no ar que será expirado (como, por exemplo, o álcool). Muitos tipos de restos, porém, não podem ser eliminados como gases. É aí que entram os rins.

Quando o sangue passa pelos rins, uma grande parte das substâncias presente no sangue passa para o outro lado da superfície de trocas que lá existe. Dessa forma, os

rins formam uma solução rica em resíduos, mas também em nutrientes. Felizmente, existem nos rins diversos processos que permitem transportar de volta para o sangue a maior parte dos nutrientes, deixando do lado de fora os resíduos, uma grande quantidade de sais e, sobretudo água, muita água. A solução final produzida nos rins é denominada urina, e o processo que leva à expulsão de resíduos e do excesso de sais do organismo é denominado *excreção*.

Há ainda outras formas de eliminação de resíduos do organismo. Algumas células do sangue, quando morrem, são destruídas e produzem substâncias muito tóxicas. Esses restos são lançados pelo fígado no interior do sistema digestório. Eles, juntamente com as partes não digeridas (ou não absorvidas, apesar de digeridas) dos alimentos, irão compor as fezes ou excrementos, que são eliminadas ao final do processo de digestão. É preciso, portanto, entender que existe uma diferença entre excrementos (restos da digestão) e excretas (produtos do metabolismo, que são eliminados em geral na urina), ainda que os excrementos contenham também alguns tipos de resíduos do metabolismo.

A regulação das funções vitais

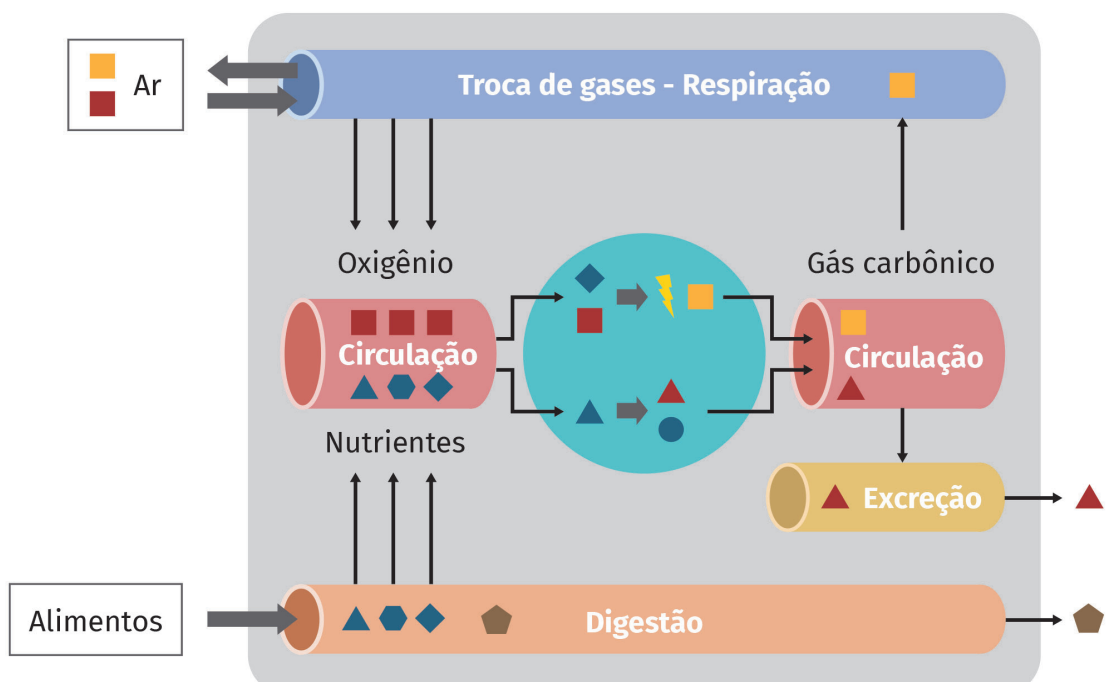


Figura 1.4: Integração dos sistemas representando algumas funções vitais.

Na **Figura 1.4**, apresentamos um resumo do que vimos até o momento sobre as funções vitais.

Como podemos observar, as diversas funções vitais estão interligadas. Se alguma dessas funções apresentar problemas, eles se refletirão nas outras. Entretanto, os seres vivos possuem

diversos mecanismos de regulação das funções vitais, que permitem, muitas vezes, que algumas delas se adaptem e compensem o problema de outras. Assim, dificuldades respiratórias podem ser compensadas por alteração na circulação (aumento da velocidade com que o coração bate ou dilatação dos vasos sanguíneos).

O organismo também é capaz de se adaptar a situações fisiológicas diferentes, alterando para isso algumas de suas funções. Um exemplo fácil que vivenciamos muitas vezes ocorre durante o exercício físico. Quando corremos, por exemplo, respiramos mais rapidamente, e o ritmo do coração também se acelera. Isso se deve, é claro, à maior necessidade de energia de todo o organismo, em especial dos músculos. O maior consumo de energia demanda mais oxigênio para sua produção. Movimentos respiratórios mais intensos permitem que mais oxigênio chegue ao sangue, e as alterações no sistema circulatório levam esse oxigênio mais rapidamente e em maior quantidade aos músculos e outros órgãos que necessitam dele. As funções vitais se adaptam às necessidades dos organismos, em grande parte, devido à capacidade de os diferentes órgãos, tecidos e células se comunicarem. Essa comunicação pode ocorrer por meio do sistema nervoso e de hormônios (sistema endócrino). A ação sincronizada desses dois sistemas integradores mantém a homeostase, ou seja, o equilíbrio dos sistemas orgânicos.

Células: as unidades fundamentais do mundo vivo

Na seção anterior, apresentamos a integração das funções vitais em organismos pluricelulares, tomando o ser humano como exemplo. No entanto, é bom não esquecer que os organismos unicelulares (formados de uma única célula) também realizam as mesmas funções a que nos referimos. A célula, portanto, é a unidade fundamental dos seres vivos.

As células, tanto dos organismos unicelulares quando dos pluricelulares, são extremamente complexas e diversificadas. Vale destacar que a diversidade existente pode ser dividida em duas categorias principais: células com núcleo definido (eucariontes) e sem núcleo definido (procariontes).

O núcleo é uma estrutura muito importante, pois é lá que está armazenado o material genético (DNA) dos eucariontes. No caso dos procariontes, embora não exista um núcleo definido, o DNA também está presente. Você verá em unidades posteriores que o *material genético*, presente em todos os seres vivos, é responsável pela capacidade de reprodução e pela hereditariedade, duas características fundamentais dos seres vivos. Até os vírus (os seres vivos mais simples que existem), mesmo não sendo formados por células (são acelulares), possuem material genético.

 # lá na plataforma

Saiba mais sobre os tipos celulares e a diversidade de forma e tamanho das células na plataforma.

Resumo

- Os organismos possuem várias superfícies de troca, por meio das quais gases, líquidos e substâncias diversas passam do interior do corpo para o ambiente externo e vice-versa.
- As substâncias que entram e saem do organismo o fazem porque estão em quantidades diferentes de um lado e do outro da superfície de troca.
- As trocas acontecem nos dois sentidos, entretanto passam mais moléculas do lado mais concentrado para o lado menos concentrado do que o contrário.
- Nos pulmões, ocorre a passagem de oxigênio em maior quantidade para a corrente sanguínea e a passagem de gás carbônico em maior quantidade do sangue para os alvéolos.
- Os alimentos que ingerimos são desmontados ao longo do sistema digestório, quebrados em moléculas menores.
- No intestino, as moléculas pequenas passam para a circulação sanguínea.
- À medida que as substâncias absorvidas são utilizadas pelas células de um organismo, resíduos são produzidos e lançados no sangue.
- As células podem ser divididas em duas categorias: com núcleo definido (eucariontes) e sem núcleo definido (procariontes).
- A eliminação dos resíduos produzidos pelo metabolismo celular é denominada excreção.
- Vírus não são formados por células, porém possuem material genético.

Atividade

A ingestão de bebidas alcoólicas por motoristas de veículos automotores, como carros, ônibus e caminhões, é responsável por milhares de mortes por ano somente no Brasil. Mesmo bebidas consideradas leves, como cerveja e vinho, ainda que ingeridas em quantidades consideradas inofensivas, tornam os reflexos dos motoristas mais lentos e suas ideias mais confusas, contribuindo para uma parte considerável das mortes que ocorrem nas ruas e estradas de nosso país. Essas mortes poderiam ser evitadas se os motoristas não ingerissem bebidas alcoólicas antes de dirigir.

Para identificar motoristas sob efeito de álcool, utiliza-se um aparelho apelidado pela população de “bafômetro”. O motorista deve expirar por um tubo ligado ao aparelho. Pela composição do ar expirado, o “bafômetro” determina a concentração de álcool no sangue do motorista, permitindo ao policial saber se ela está dentro dos limites permitidos por lei.

Explique por que é possível identificar a presença de álcool no sangue a partir do ar expirado, mesmo sabendo que ele foi ingerido em bebidas e não inalado.

Resposta comentada

Acesse a resolução comentada desta atividade lá na plataforma.

Introdução ao estudo da ecologia: a energia e os seres vivos

02

meta

Apresentar o conceito de ecossistema.

objetivos

Esperamos que, ao final desta unidade, você seja capaz de:

- descrever os níveis de organização do mundo vivo;
- identificar os níveis de organização que são objeto de estudo da ecologia;
- descrever como ocorre o fluxo de energia nos ecossistemas;
- identificar e caracterizar os níveis tróficos nas cadeias alimentares;
- identificar o papel dos decompositores nos ecossistemas.

Introdução

Ecologia. Com certeza você já ouviu essa palavra em noticiários, filmes, propagandas etc. Em geral, ela aparece ligada a temas, como aquecimento global, desmatamento, poluição, extinção de espécies e outras questões ambientais que afetam nossas vidas, e nos faz pensar em como nossas práticas econômicas, políticas e sociais colocam em risco a vida no planeta. Mas será que o nosso conceito de ecologia é o mesmo da comunidade científica?

A palavra *ecologia* vem do grego *oikos* que significa casa, referindo-se ao ambiente que nos cerca, e *logia* que significa estudo. Em 1870, o zoólogo Ernest Haeckel deu à palavra um significado mais abrangente:

> Por ecologia, queremos dizer o corpo de conhecimento referente à economia da natureza, à investigação das relações totais dos animais tanto com o seu ambiente orgânico quanto com seu ambiente inorgânico, incluindo, acima de tudo, suas relações amigáveis e não amigáveis com aqueles animais e plantas com os quais vêm direta ou indiretamente a entrar em contato. Numa palavra, ecologia é o estudo de todas as inter-relações complexas denominadas por Darwin como as condições da luta pela sobrevivência (HAECKEL apud RICKLEFS, 2003).

De um modo resumido, podemos definir *ecologia* como a ciência que estuda a interação dos organismos (animais, plantas e micróbios) entre si e com o ambiente físico. O campo de estudo ecologia, portanto, pode ser delimitado a partir da análise dos níveis de organização do mundo vivo.

Toda a área ao redor do planeta, habitada por seres vivos, pode ser considerada um conjunto único, que recebe o nome de *biosfera*. A biosfera pode ser dividida em oceanos, florestas, mares, rios, lagoas etc. Essas regiões, das quais o planeta está repleto, são chamadas de *ecossistemas*. Um ecossistema deve ser constituído de dois fatores básicos: os abióticos e os bióticos. Fatores abióticos são os fatores físico-químicos do ambiente.

Se tomarmos uma floresta de mata atlântica como exemplo de ecossistema, os fatores abióticos seriam a umidade do ar, o oxigênio disponível, a luminosidade etc. Já os fatores bióticos são os seres vivos do ecossistema. Em nosso exemplo, os fatores bióticos seriam todos os seres vivos que habitam a floresta, ou melhor, todas as *populações* que habitam o ecossistema floresta (população de pitangueiras, de sapucaias, de micos-leões-dourados, de preás etc.). Essas populações em conjunto formam a *comunidade* do ecossistema.

Podemos definir uma população como um grupo de *organismos* da mesma espécie, que vive em local e intervalo de tempo definidos. Como vimos anteriormente, um organismo é formado por *sistemas* integrados que o mantêm vivo, os quais são compostos de *órgãos*, como coração e rins, por exemplo. Essas estruturas, os órgãos, são formados por *tecidos* especializados. O coração, por exemplo, é formado por tecido muscular, tecido epitelial (endotélio), tecido conjuntivo, tecido nervoso. Todos esses tecidos são compostos por *células* com funções definidas.

Esses níveis de organização da vida podem ser representados em ordem crescente de complexidade a partir da sua unidade fundamental, a célula:

célula - tecido - órgão - sistema - organismo - população - comunidade - ecossistema - biosfera

No campo de estudo específico da ecologia, estão os cinco últimos níveis desse espectro, do organismo à biosfera (**Figura 2.1**). Do mesmo modo que dizemos que a célula é a unidade fundamental da vida, podemos dizer que o organismo é a unidade fundamental da ecologia, o sistema ecológico mais elementar.

Figura 2.1: Níveis de organização dos seres vivos estudados pela ecologia.

O conhecimento ecológico pode ser abordado de vários pontos de vista. Cada nível da hierarquia dos sistemas ecológicos deu origem a uma abordagem diferente no estudo da ecologia. Nesta unidade, vamos abordar o nível de *ecossistema* focando nas relações entre os seres vivos e na maneira como a energia circula entre eles.

lá na plataforma

Saiba mais sobre as diferentes abordagens no campo da ecologia lá na plataforma.

O estudo dos ecossistemas

Vamos começar com uma afirmativa simples: *as substâncias que compõem os seres vivos contêm energia*. Essa afirmação pode ficar mais clara se nos lembrarmos de algumas observações de nosso dia a dia. Em um churrasco, usamos carvão para fazer fogo e assar a carne. Para acender o carvão, usamos geralmente fósforos. Mas, uma vez aceso, o carvão passa a liberar luz e calor intenso durante muito tempo e, consequentemente, a carne é assada. O mesmo acontece quando encostamos um fósforo aceso em uma folha de papel. Ela também passa a liberar calor e luz durante algum tempo. Papel, madeira, carvão são todos obtidos a partir de plantas. No caso de outros combustíveis, como a gasolina e o óleo diesel, esse processo também ocorre. Eles são produzidos a partir do petróleo, que, por sua vez, é o resultado da decomposição parcial de seres vivos microscópicos que viveram há milhões anos. Ou seja, esses seres vivos acumularam durante sua vida energia suficiente para gerar um combustível capaz de mover carros, navios e aviões. O calor, a luz e o movimento, ou seja, a energia liberada pela queima de todos esses produtos derivados dos seres vivos, estavam contidos na forma de energia química nas moléculas das substâncias que os compõem.

A queima, entretanto, não é a única maneira de liberar a energia contida nas substâncias que formam os seres vivos. Como vimos na Unidade 1, moléculas pequenas, obtidas pela digestão dos alimentos, podem ser utilizadas nas células para a produção de energia. Assim como os combustíveis citados anteriormente (carvão, papel, madeira, petróleo), praticamente todos os alimentos que consumimos foram, em algum momento, parte de outros seres vivos (frutas, sementes, carne, ovos etc), o que nos leva à afirmação inicial de que as substâncias que compõem o corpo dos seres vivos contêm energia.

A seguir, vamos nos concentrar em duas perguntas a respeito da energia armazenada nos seres vivos:

- De onde vem essa energia?
- Como cada tipo de ser vivo obtém essa energia?

Fluxo de energia e cadeia alimentar

Para respondermos a essas perguntas, podemos analisar mais algumas observações de nosso dia a dia, para depois voltarmos à biologia. Quando utilizamos o gás de botijões no fogão, esse gás está sendo queimado e produzindo calor para cozinharmos os alimentos. Quando o gás acaba, a única maneira de conseguir mais é comprando um novo botijão cheio. Ou seja, à medida que se consome uma substância para a produção de energia, essa substância é transformada em outras, que já não contêm mais a mesma quantidade de energia do início; afinal, uma boa parte dela foi transformada em luz e calor.

Podemos pensar de modo semelhante em relação à energia presente no corpo dos seres vivos. A energia que obtemos da carne, por exemplo, vem dos componentes do corpo do boi que, por sua vez, foram fabricados com os componentes dos alimentos ingeridos por ele. Portanto, uma parte da energia presente nos frutos e grãos ingeridos pelo boi ficou armazenada na carne dele. Cada animal, portanto, obtém energia dos alimentos que ingere e que são ou foram parte do corpo de outros seres vivos. Quando esses alimentos são utilizados pelas suas células para a obtenção de energia, eles se transformam em outras substâncias que já não contêm mais a energia inicial, como o gás carbônico liberado na respiração. A única maneira de obter mais energia é obtendo mais alimento. No caso dos animais, sejam eles carnívoros ou herbívoros, basta comerem de novo. Mas... e no caso das plantas?

As folhas ou grãos que alimentaram o boi de nossa breve história faziam parte de vegetais (plantas). Essas plantas não se alimentaram de nenhum ser vivo. Como as plantas obtêm alimento? Qual a fonte de energia que utilizam? A resposta está em uma palavra que você provavelmente já ouviu: fotossíntese. As plantas realizam fotossíntese, e a fonte de energia que utilizam é a luz. No momento, não iremos detalhar o processo de fotossíntese. Entretanto é importante saber que nesse processo as plantas absorvem gás carbônico (CO_2) e água (H_2O) do ambiente e produzem glicose e oxigênio (O_2). A glicose permanece na planta, sendo utilizada na sua respiração e na produção de outras substâncias orgânicas, e o oxigênio é liberado na atmosfera.

Em nossos exemplos anteriores, utilizamos os seres humanos e animais domésticos para ilustrar o fluxo de energia entre os seres vivos. No entanto, o mesmo ocorre em toda a parte entre animais e plantas silvestres: as plantas produzem substâncias ricas em energia a partir de outras substâncias pouco energéticas. Os animais herbívoros consomem as plantas, obtendo energia dos componentes de seu corpo. Os carnívoros se alimentam de outros animais e deles obtêm a energia de que necessitam. Esse conjunto de relações entre espécies, nas quais umas consomem as outras, obtendo energia de seus componentes é denominado *cadeia alimentar* (**Figura 2.2**).

Para que exista uma cadeia alimentar, precisamos de organismos capazes de produzir substâncias ricas em energia a partir de substâncias pouco energéticas existentes no ambiente. Esses seres vivos são, por isso mesmo, denominados *produtores*. No mar, onde não existem plantas propriamente ditas, as algas microscópicas (*fitoplâncton*), que vivem ao sabor das correntes marinhas, realizam a maior parte da fotossíntese. Esse fitoplâncton é o alimento de pequenos invertebrados que, por sua vez, são consumidos por invertebrados maiores ou por vertebrados.

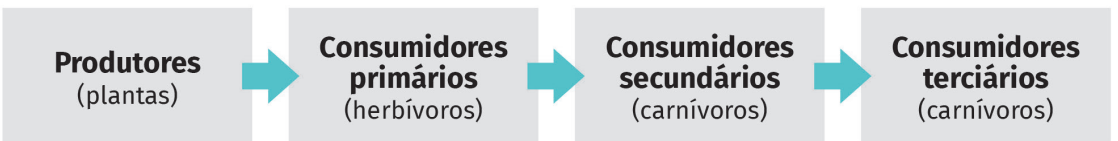


Figura 2.2: Esquema geral de uma cadeia alimentar. As setas indicam a direção em que a matéria e a energia fluem através dos níveis tróficos.

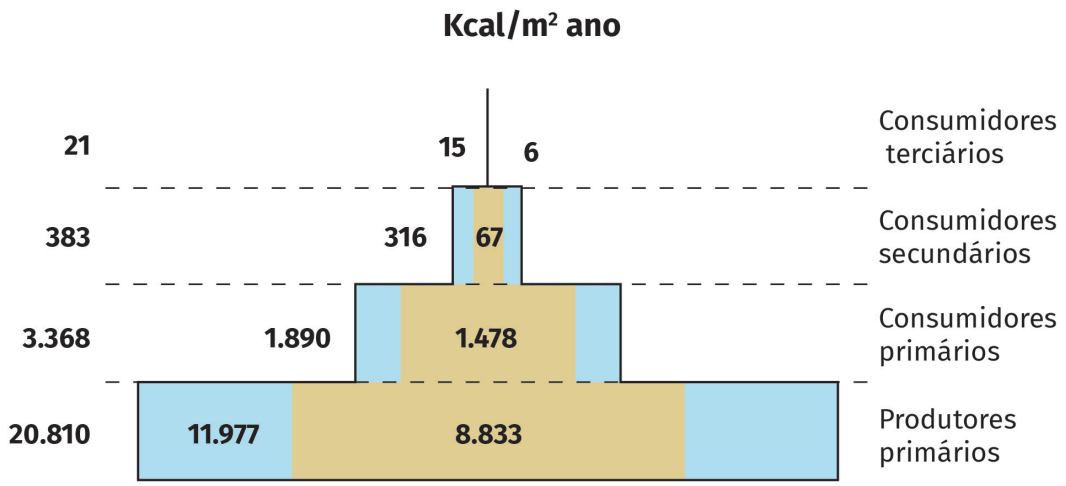
Um animal herbívoro consome um produtor e, por isso mesmo, é denominado *consumidor primário*, ou seja, como se alimenta de um produtor, ele é o primeiro consumidor na cadeia alimentar. Se um carnívoro se alimenta de um herbívoro, é denominado *consumidor secundário*. Um carnívoro que se alimenta desse consumidor secundário denomina-se *consumidor terciário* e assim por diante, como mostrado na **Figura 2.2**.

Em uma cadeia alimentar, diz-se que a energia flui entre os seres vivos, ou melhor, entre os níveis tróficos (produtor, consumidor primário, consumidor secundário etc.). As setas na **Figura 2.2** mostram exatamente o sentido em que a energia flui nas cadeias alimentares. As moléculas ou substâncias que contêm energia, presentes nas plantas, podem tanto ser utilizadas pelas próprias plantas em seu crescimento, quanto ser transferidas para um herbívoro que delas se alimenta. Quando o animal obtém alimento a partir de componentes da planta, consegue necessariamente a energia que esses componentes contêm. Da mesma forma, a energia contida em herbívoros pode tanto ser utilizada por eles mesmos para se manterem vivos, quanto ser transferida para um carnívoro que deles se alimenta. De fato, todos os seres vivos consomem uma boa parte da energia contida em seus alimentos para se manterem vivos, crescerem e se reproduzirem. Esse consumo de energia é especialmente fácil de perceber nos mamíferos, como por exemplo, nós, seres humanos. Isso porque nosso corpo produz calor o tempo todo, já que nossa temperatura se mantém por volta de 37ºC, independentemente de estar frio ou calor à nossa volta. Esse calor que produzimos vem necessariamente de componentes de nosso corpo obtidos dos alimentos.

Reflita agora sobre a seguinte pergunta: a quantidade de energia que um carnívoro obtém ao ingerir um herbívoro é maior, menor ou igual à que o herbívoro obteve das plantas que comeu? Para facilitar, considere que o carnívoro comeu todo o herbívoro, inclusive os alimentos que ainda estivam no trato digestivo dele.

Parte da energia da presa, correspondente ao material não digerível que será disponibilizado para os decompositores, não é assimilada pelo predador. Além disso, a transferência de energia entre os níveis tróficos geralmente não é muito eficiente. Em média, apenas cerca de 10% da energia armazenada como biomassa em um nível trófico (por exemplo, nos produtores) será armazenada como biomassa no próximo nível trófico (nos consumidores primários). Isso significa que, se uma área de plantio que, durante um ano, produz vegetais que alimentam 100 pessoas for utilizada como pastagem para criação de gado, a quantidade de carne produzida será suficiente para alimentar no máximo cinco pessoas durante esse período.

A maneira mais comum de representar esse fenômeno são as pirâmides de energia (**Figura 2.3**). Como você pode notar, a quantidade de energia disponível vai diminuindo de um nível para o outro.



Baseado em Odum, H.T. (1957) *Ecological Monographs*, 27(1): 55-12.

Figura 2.3: Um exemplo de pirâmide de energia. Em ocre está representada a energia armazenada na biomassa disponível para o nível seguinte; em azul a energia perdida na respiração. A soma, à esquerda, é a energia total assimilada. Fonte (adaptado): https://pt.wikipedia.org/wiki/Pir%C3%A2mide_ecol%C3%B3gica#/media/Ficheiro:Piramide_energia.png. CC BY-SA 2.1 es.

 # lá na plataforma

Conheça outros tipos de pirâmides ecológicas lá na plataforma.

Teia alimentar

Na seção anterior, utilizamos exemplos simplificados de cadeias alimentares, mas, na prática, essas sequências simples de espécies que consomem umas às outras praticamente não existem, ou melhor, elas fazem parte de um conjunto maior de relações alimentares. Na natureza, poucas são as espécies que se alimentam exclusivamente de uma única outra espécie, tanto no caso de herbívoros quanto de carnívoros. E ainda existem animais onívoros, que se alimentam tanto de vegetais quanto de animais, como, por exemplo, o urso e o próprio ser humano. Com isso, o que existe de fato são teias alimentares, em que o fluxo de energia é complexo, refletindo as diversas relações alimentares existentes num dado ambiente (**Figura 2.4**).

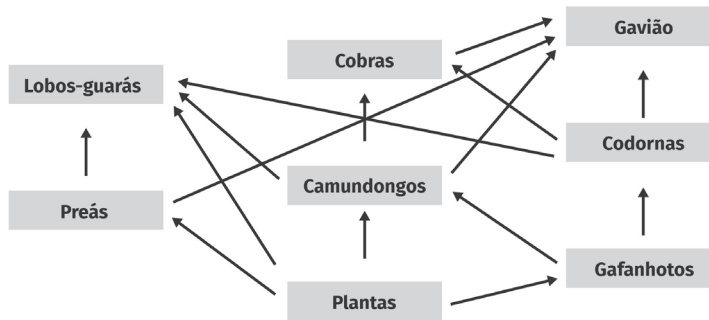


Figura 2.4: Uma típica teia alimentar existente em ambientes silvestres.

Observe a teia representada na **Figura 2.4**.

- É possível determinar o nível trófico ocupado pelos lobos guarás? E aquele ocupado pelos gaviões?
- A energia disponível no nível trófico ocupado pelos camundongos é igual, maior ou menor do que aquela disponível no nível das cobras?

lá na plataforma

Já ouviu falar em magnificação trófica? Não? Então acesse a plataforma e descubra o que é e como se relaciona com as cadeias alimentares e pirâmides de energia!

O papel dos micro-organismos

Para concluirmos esta unidade, precisamos introduzir um último conceito, essencial para a compreensão das cadeias e teias alimentares. Durante sua existência, plantas e animais produzem e perdem estruturas que não são imediatamente utilizados como alimento. Estruturas como folhas secas, sementes, flores, frutos, ossos, chifres, excrementos, urina, juntamente com plantas e animais mortos contêm partes que podem não servir de alimento diretamente para os consumidores. Entretanto, todos esses restos de plantas e animais contêm nutrientes importantes, especialmente sais minerais, que podem ser utilizados por uma variedade de seres vivos, muitas vezes microscópica, que encontra nesses restos a base de sua nutrição. Tais seres vivos são essencialmente as *bactérias* e os *fungos* (alguns dos quais produzem os conhecidos cogumelos e orelhas de pau – **Figura 2.5c**).

As bactérias e os fungos decompõem os restos de outros seres vivos, obtendo alguma energia deles e, ao decompô-los, tornam disponíveis alguns de seus componentes para as plantas, em especial os sais minerais que estavam "aprisionados" nesses restos. Embora não sejam usados diretamente na fotossíntese (como o gás carbônico e a água), os sais minerais são essenciais

para que as plantas possam crescer e se multiplicar. Elas os obtêm do solo, e os animais, dos alimentos. Se esses micro-organismos não existissem, com o passar do tempo, os sais tenderiam a se acumular nos restos de animais e plantas e não estariam mais disponíveis para as plantas ainda vivas, levando ao empobrecimento do solo. Por seu papel nas teias e cadeias alimentares, esses microrganismos são denominados *decompositores* e são essenciais para a reciclagem da matéria nas teias alimentares e ecossistemas.

Portanto, além do fluxo de energia, existe, também, um fluxo de matéria nos ecossistemas e, com o que vimos até o momento, podemos concluir que esse fluxo pode ser entendido como um *ciclo*, em que a matéria é constantemente transformada de matéria orgânica (substâncias que compõem o corpo dos seres vivos) para inorgânica (gases atmosféricos, sais minerais e água) e vice-versa. Os produtores transformam, por meio da fotossíntese, a matéria inorgânica em matéria orgânica, que é é utilizada por todos os niveis tróficos da cadeia alimentar, e os decompositores transformam a matéria orgânica em inorgânica (**Figura 2.5**).

Figura 2.5: (a) Fotossíntese: utilizando a energia luminosa, a planta consome CO_2 e H_2O, produz açúcares, que permanecem em suas células, e O_2, que é liberado na atmosfera; (b) consumidores dependem dos alimentos produzidos pelas plantas para obterem energia; (c) o cogumelo orelha de pau acelera a decomposição de um tronco caído, garantindo o retorno dos materiais para o solo. Foto (a) Aurimas Gudas.

lá na plataforma

Conheça os ciclos dos materiais visitando a plataforma.

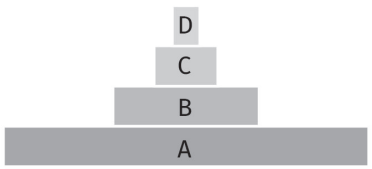
No caso da energia, não temos um ciclo. O fluxo de energia é unidirecional, pois os seres vivos não podem reciclar a energia gasta em seu metabolismo. Uma vez liberada no ambiente, essa energia não pode ser reutilizada. Por isso, os ecossistemas necessitam de uma fonte externa constante de energia para que os produtores possam produzir matéria orgânica. Essa fonte, na grande maioria dos ecossistemas terrestres, é o Sol.

Resumo

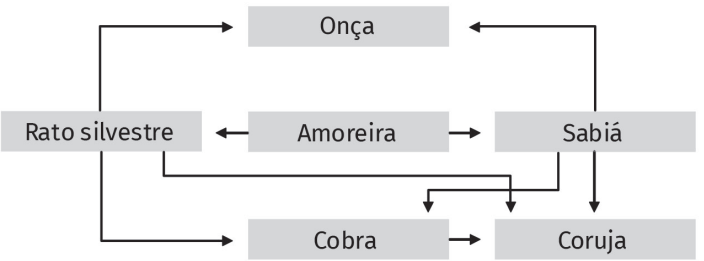
- A ecologia estuda os cinco últimos níveis da organização do mundo vivo: organismo - população - comunidade - ecossistema - biosfera.
- Os seres vivos precisam da energia química presente nos componentes dos alimentos para sobreviver.
- A cadeia alimentar é uma sequência de seres vivos em que um se alimenta do outro, representando a transferência de energia e de matéria dos produtores para os consumidores.
- A energia flui através do ecossistema, normalmente entrando sob a forma de luz e saindo na forma de calor.
- A quantidade de energia disponível diminui ao longo da cadeia alimentar à medida que se afasta dos produtores.
- A fonte de energia para os produtores fotossintéticos é a luz solar.
- Os produtores são seres vivos capazes de produzir substâncias ricas em energia (substâncias orgânicas ou alimentos) a partir de outras substâncias pouco energéticas (água, gás carbônico e sais minerais).
- Consumidores são seres vivos que consomem a matéria orgânica presente em outros seres vivos.
- Decompositores são seres vivos que obtêm energia dos restos de animais e plantas mortas devolvendo a matéria ao ambiente na forma de moléculas mais simples, como os sais minerais.
- A matéria é reciclada nos ecossistemas, isto é, os mesmos átomos são reutilizados inúmeras vezes.

Atividade

Observe as figuras abaixo e responda às questões aplicando os conceitos estudados nesta aula. É importante que você tente responder sozinho ao que se pede.



1. Pirâmide de energia



2. Teia alimentar

1. Sobre a pirâmide da figura 1, é correto afirmar que:

   a) O fluxo de energia ocorre no sentido D → A.
   b) A diminuição da energia disponível em B e A se deve à fotossíntese.
   c) A diminuição da energia disponível entre B e C se deve à respiração.
   d) As espécies nos níveis B e C são necessariamente onívoras.
   e) As espécies no nível C são herbívoras.

2. Considerando a pirâmide e a teia das figuras 1 e 2, analise as afirmativas abaixo.

   I. A coruja pode estar nos níveis tróficos C e D da pirâmide.
   II. A amoreira só pode estar no nível A da pirâmide.
   III. Os sabiás são consumidores secundários.

Assinale a opção que contém apenas afirmativa(s) correta(s):

   a) 1, 2 e 3
   b) 1 e 2
   c) 1 e 3
   d) 2 e 3
   e) Todas estão incorretas

3. (Enem, 2016) Suponha que um pesticida lipossolúvel que se acumula no organismo após ser ingerido tenha sido utilizado durante anos na região do Pantanal, ambiente que tem uma de suas cadeias alimentares representadas no esquema:

PLÂNCTON → PULGA-D'ÁGUA → LAMBARI → PIRANHA → TUIUIÚ

Um pesquisador avaliou a concentração do pesticida nos tecidos de lambaris da região e obteve um resultado de 6,1 partes por milhão (ppm).

Qual será o resultado compatível com a concentração do pesticida (em ppm) nos tecidos dos outros componentes da cadeia alimentar?

a)

Plâncton	Pulga-d'água	Piranha	Tuiuiú
15,1	10,3	4,3	1,2

b)

Plâncton	Pulga-d'água	Piranha	Tuiuiú
6,1	6,1	6,1	6,1

c)

Plâncton	Pulga-d'água	Piranha	Tuiuiú
2,1	4,3	10,4	14,3

d)

Plâncton	Pulga-d'água	Piranha	Tuiuiú
2,1	3,9	4,1	2,3

e)

Plâncton	Pulga-d'água	Piranha	Tuiuiú
8,8	5,8	5,3	9,6

Resposta comentada

Acesse a plataforma e encontre a resolução comentada destas atividades.

Referências

CASSINI, Sérvio Túlio. *Ecologia*: conceitos fundamentais. Vitória: Universidade Federal do Espírito Santo, 2005. Disponível em: *http://www.inf.ufes.br/~neyval/Gestao_ambiental/Tecnologias_Ambientais2005/Ecologia/CONC_BASICOS_ECOLOGIA_V1.pdf*. Acesso em: 18 de maio 2021.

MACIEL, C. M.; LIMA, I. *Biologia 3ª série do Ensino Médio, Parte I*: Ecologia. Rio de Janeiro, 2016. Apostila utilizada no 3º ano do ensino médio do Colégio de Aplicação da UFRJ.

RICKLEFS, R. L. *A economia da natureza*. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2003.

Alimentos e energia

03

meta

Apresentar metodologias que auxiliem na interpretação de dados e na resolução de problemas.

objetivos

Esperamos que, ao final desta unidade, você seja capaz de:

- analisar e construir tabelas;
- interpretar dados;
- identificar os nutrientes mais frequentes nos alimentos;
- determinar os nutrientes que fornecem energia;
- calcular a quantidade de energia fornecida por cada nutriente;
- identificar os macro e micronutrientes.

Introdução

Antes de avançar no nosso estudo da ecologia, vamos realizar uma atividade para desenvolver o raciocínio lógico e a análise de evidências e que também nos ajudará a compreender a relação entre a cadeia alimentar e a transferência de energia entre os seres vivos. Essa habilidade será muito importante, pois há várias questões de vestibular que se baseiam na análise pura e simples de resultados de experiências (evidências experimentais), sem praticamente exigir conhecimentos de Biologia. Estamos chamando de *evidências* os resultados de algum tipo de experiência ou observação. Nesta unidade, vamos tratar os rótulos dos alimentos como fonte de evidências para resolver alguns problemas propostos.

Os nutrientes presentes nos alimentos

Se você observar rótulos de alimentos que encontramos nos supermercados, verá que eles apresentam várias informações, como a lista de ingredientes e uma tabela com a composição nutricional, entre outras (**Figura 3.1**).

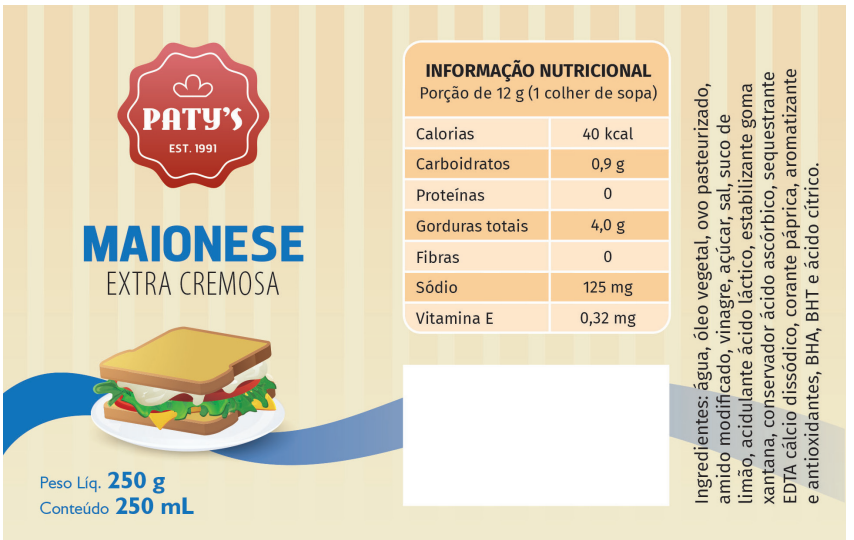


Figura 3.1: O que os rótulos nos informam.

lá na plataforma

Para compreender o significado das informações presentes nos rótulos de alimentos, visite a plataforma.

Nosso primeiro desafio será descobrir quais são os nutrientes mais frequentes, isto é, aqueles que aparecem mais vezes em um conjunto de alimentos que consumimos no dia a dia. Faremos isso analisando as tabelas nutricionais apresentadas na **Figura 3.2**, obtidas dos rótulos desses alimentos.

MACARRÃO TALHARIM Porção de 80 g (1 prato)	
Calorias	290 kcal
Carboidratos	61 g
Proteínas	8,4 g
Gorduras totais	1,4 g
Fibras	1,7 g
Sódio	80 mg

QUEIJO MUÇARELA Porção de 30 g (1 fatia)	
Calorias	96 kcal
Proteínas	7,4 g
Gorduras totais	7,4 g
Sódio	158 mg
Cálcio	234 mg

AÇÚCAR REFINADO Porção de 5 g (1 colher de chá)	
Calorias	20 kcal
Carboidratos	5,0 g

OVO Porção de 50 g (1 unidade)	
Calorias	74 kcal
Carboidratos	1 g
Proteínas	6,3 g
Gorduras totais	5 g
Sódio	24 mg
Cálcio	2,5 mg
Ferro	6 mg

GELATINA SEM SABOR Porção de 12 g (1 colher de sopa)	
Calorias	40 kcal
Proteínas	10 g

MAIONESE Porção de 12 g (1 colher de sopa)	
Calorias	40 kcal
Carboidratos	0,9 g
Gorduras totais	4,0 g
Sódio	125 mg
Vitamina E	0,32 mg

AZEITE Porção de 13 ml (1 colher de sopa)	
Calorias	108 kcal
Lipídeos	12 g

ARROZ TIPO 1 Porção de 50 g (1/4 de xícara)	
Calorias	175 kcal
Carboidratos	40 g
Proteínas	3,7 g
Fibras	0,7 g

FEIJÃO PRETO Porção de 60 g (1/2 xícara de chá)	
Calorias	192 kcal
Carboidratos	36 g
Proteínas	12 g
Fibras	6,0 g
Sódio	100 mg
Cálcio	88 mg
Ferro	2,0 mg

BISCOITO CREAM CRACKER Porção de 30 g (4 unidades)	
Calorias	135 kcal
Carboidratos	19 g
Proteínas	3,6 g
Gorduras totais	5,1 g
Fibras	1,2 g
Sódio	173 mg

ACHOCOLATADO Porção de 20 g (2 colheres de sopa)	
Calorias	71 kcal
Carboidratos	17 g
Proteínas	0,7 g
Fibras	1,2 g
Sódio	29 mg
Cálcio	150 mg
Ferro	2,1 mg
Magnésio	33 mg
Vitamina B1	0,36 mg
Vitamina B2	0,39 mg
Niacina	4,8 mg
Vitamina B6	0,39 mg
Vitamina B12	0,72 mg
Ácido Pantotênico	1,5 mg
Biotina	0,009 mg

CAFÉ Porção de 50 ml (1/4 de xícara)	
Calorias	0
Não contém quantidades significativas de carboidratos, gorduras totais, proteínas e fibras.	

Figura 3.2: Tabelas nutricionais de alguns alimentos.

Vamos, então, utilizar a **Tabela 3.1** para fazer uma espécie de *placar alimentar*, no qual listaremos quantas vezes cada um dos componentes aparece nas tabelas nutricionais. Preencha a segunda coluna (*Frequência*) da tabela com a quantidade de vezes em que o componente aparece. Observe que o item *calorias* aparece em 11 das 12 tabelas nutricionais, portanto o número 11 foi colocado na primeira linha da coluna *Frequência*. Faça o mesmo para cada um dos outros componentes.

Tabela 3.1: Placar alimentar

Componente	Frequência (valor absoluto)	Frequência de porções iguais ou maiores que 1g	Frequência de porções menores que 1g
Calorias	11		
Carboidratos			
Proteínas			
Gorduras totais (lipídeos)			
Fibra alimentar			
Sódio			
Cálcio			
Ferro			
Magnésio			
Vitamina B1			
Vitamina B2			
Niacina			
Vitamina B6			
Vitamina B-12			
Ácido Pantotênico (Vit. B-5)			
Biotina			
Vitamina E			

Após preencher a primeira coluna do placar, você deve ter notado que o componente que aparece mais vezes são as calorias. O que são calorias? Para descobrir, vamos ao dicionário.

A seguir, temos a definição de *caloria* encontrada em dois dos principais dicionários brasileiros.

Definição 1 (HOUAISS, 2002):

"Unidade de energia originalmente definida como a quantidade de calor necessária para elevar a temperatura de um grama de água de 14,5ºC para 15,5ºC."

Definição 2 (HOLLANDA, 2000):

"Quantidade de calor necessária para elevar de 14,5ºC para 15,5ºC a temperatura de um grama de água."

A partir dessas duas definições, podemos concluir que as calorias, embora façam parte do alimento, não são um nutriente, mas sim uma indicação da *quantidade de energia* fornecida pelos outros componentes, chamados *nutrientes*. Bem, como nosso objetivo é determinar os nutrientes (ou moléculas) mais frequentes, não faz sentido incluir as calorias na discussão. Assim, podemos dizer que o "líder" ou os "líderes" do placar alimentar foi/foram o(s)/a(s) _____.

Também podemos identificar o vice-campeão, o *sódio*, seguido das gorduras totais em terceiro. Observe que o sódio, apesar de ser vice-campeão de frequência, aparece em quantidades bem menores do que as gorduras que ficaram em terceiro.

Como próximo desafio, vamos propor algumas perguntas para você responder usando apenas os alimentos disponíveis na **Figura 3.2**, e, claro, o seu poder de observação e dedução.

Descobrindo nutrientes que fornecem energia

Na seção anterior, aprendemos que as calorias que aparecem nos rótulos são uma medida da energia que o alimento nos fornece. Sabemos que a energia se encontra armazenada nas moléculas que compõem o alimento, entretanto cada alimento contém diferentes nutrientes. Cabe então perguntar: a energia que está nos alimentos vem de todos os seus nutrientes ou vem só de alguns? Se é assim, quais são eles?

Vamos refletir sobre as perguntas feitas acima. Podemos dizer que elas representam uma mesma dúvida, que pode ser reescrita da seguinte maneira: qual é ou quais são as fontes da energia contida nos alimentos? Afinal, cada alimento é composto de diversos nutrientes, mas as tabelas nutricionais nada nos informam sobre quais deles fornecem as calorias.

Seria possível descobrir quanto de energia (calorias) cada nutriente fornece somente consultando as informações nutricionais? Afirmamos que sim. Leia cuidadosamente cada tabela novamente.

A comparação das diversas tabelas da **Figura 3.2** permite perceber que alimentos ricos em gorduras contêm muitas calorias e que alimentos ricos em carboidratos também são muito calóricos. Mas essa comparação só é possível se confrontarmos porções iguais de alimentos. Como as porções presentes em cada tabela são diferentes, você teria que fazer alguns cálculos. E ainda assim, diante de uma lista de componentes de um dado alimento, as perguntas "qual desses nutrientes contêm calorias?" e "qual desses nutrientes contêm mais calorias?" não poderiam ser respondidas.

Para chegar à resposta, você deverá refletir e propor uma maneira simples, utilizando apenas as informações contidas nas tabelas, para determinar quais dos nutrientes contêm calorias e, dentre estes, qual contém mais calorias. Para isso, retorne à **Figura 3.2** e examine as tabelas atentamente, uma a uma. Todos os alimentos apresentados possuem todos os nutrientes? Pense nisso para elaborar sua proposta.

Uma possibilidade para começar a identificar nutrientes que possuem calorias seria buscar, dentre os disponíveis, *alimentos compostos de um único nutriente*. Usando essa estratégia com nossas tabelas, será possível identificar três nutrientes que fornecem energia. Assinale os alimentos utilizados e anote, na coluna 1 da **Tabela 3.2**, os nutrientes identificados.

Agora que já descobrimos, somente observando tabelas nutricionais, três nutrientes que contêm energia, elabore uma estratégia por meio da qual seja possível determinar qual dessas três moléculas contém mais calorias. Você só precisa realizar contas simples para descobrir quantas calorias por grama cada nutriente fornece. Por exemplo: na tabela do açúcar, obtemos a informação de que uma porção fornece 20 kcal e contém 5 g de carboidratos. Se dividirmos as 20 kcal pelos 5 g, chegaremos ao valor de 4 kcal/g (quatro kcal por grama), que corresponde ao valor calórico dos carboidratos, isto é, 1 grama de carboidrato fornece 4 kcal de energia. Registre esse resultado na **Tabela 3.2**. Repita esse procedimento para os outros dois nutrientes identificados e termine de preencher a segunda coluna com os valores encontrados. Compare os resultados e descubra qual deles fornece mais energia por grama. Destaque, na tabela, o nutriente mais energético dentre os três.

Tabela 3.2: Comparando o valor calórico de três nutrientes.

Nutriente	Valor calórico (kcal/g)

E a energia dos outros nutrientes?

Até agora identificamos três nutrientes que fornecem energia: carboidratos, proteínas e gorduras (lipídeos) (**Tabela 3.2**). Entretanto, ainda não conseguimos descobrir se as fibras, as vitaminas e os sais minerais fornecem ou não fornecem energia. Os alimentos “vitaminados” não seriam ricos em energia? Não é por isso que as vitaminas são tão importantes? Seria possível prosseguir com a atividade e determinar se vitaminas e sais minerais são ou não são fontes de calorias para os seres vivos?

Dessa vez, vamos dar três pistas para você ganhar tempo: você precisará fazer contas um pouco mais complexas, mas não precisará procurar outros alimentos além desses que apresentamos. Você vai utilizar apenas um alimento: aquele que possui a maior variedade de componentes dentre todos. Neste caso, é o achocolatado. O interessante desse procedimento é que ele funciona usando a tabela nutricional de qualquer outro rótulo que tenhamos à mão, contendo grande variedade de nutrientes.

Dica: você já sabe quantas calorias são fornecidas por grama de carboidratos, de gorduras e de proteínas. Comece por eles.

lá na plataforma

O café é considerado por muitas pessoas uma bebida energética. Essa ideia faz sentido do ponto de vista da nutrição humana? Descubra acessando a plataforma!

Identificando macronutrientes e micronutrientes

Voltemos agora ao nosso placar alimentar, representado na **Tabela 3.1**. Ao preencher a tabela, você descobriu quais são os componentes mais frequentes e os menos frequentes nos alimentos. Outra informação importante que pode ser obtida a partir da análise das tabelas nutricionais dos rótulos é a quantidade com que cada nutriente aparece na porção recomendada do alimento. Podemos fazer uma estimativa dessa quantidade com um método bastante simples. A forma mais fácil de explicá-lo é com um exemplo. Olhe com atenção a tabela nutricional do *queijo muçarela*. Ele contém 7,4 gramas de gorduras totais (lipídeos) por porção. Portanto, a quantidade de lipídeos na porção recomendada é maior do que 1g. Com base nisso, você deve fazer uma marca na terceira coluna do placar (porções iguais ou maiores do que 1 grama), na linha correspondente a gorduras totais. Esse mesmo alimento também possui 158 mg (0,158 g) de sódio e, por isso, você deve fazer também uma marca na quarta coluna da tabela (porções menores do que 1 grama) na linha correspondente ao sódio. Repita esse procedimento para todos os outros componentes do queijo e para todos os componentes dos outros alimentos apresentados. Ao final você deverá contar o número de marcas registradas em cada linha e coluna e terá o total de porções maiores e menores do que 1 grama presentes em todos os rótulos. Isso nos dará uma boa ideia de quais nutrientes aparecem em quantidades grandes (iguais ou maiores do que 1 g) e em quantidades pequenas (menores do que 1 g) nas porções recomendadas dos alimentos. Observe os dados registrados nas colunas três e quatro e responda: a qual dos dois grupos pertencem os nutrientes registrados na **Tabela 3.2**, isto é, em qual das duas colunas eles aparecem mais vezes?

Como você deve ter notado, carboidratos, proteínas e gorduras são os nutrientes que aparecem em maiores quantidades nas porções apresentadas. Por isso mesmo são chamados de *macronutrientes* (macro = grande). Já os sais minerais e as vitaminas, que aparecem em quantidades bem menores (miligramas ou microgramas), são os *micronutrientes.*

Graças à nossa capacidade de observar e analisar os dados fornecidos nas tabelas nutricionais dos rótulos de alimentos industrializados, conseguimos descobrir que alguns nutrientes fornecem energia e outros não. No primeiro caso, estão os macronutrientes — carboidratos, lipídeos e proteínas — e, no segundo, os micronutrientes — vitaminas e sais minerais. A importância desses micronutrientes será estudada na próxima unidade.

lá na plataforma

A fibra alimentar é um carboidrato essencial nas dietas, mas não é digerível e, portanto, não fornece energia ao organismo humano. Então para que serve? Saiba mais sobre as fibras alimentares lá na plataforma.

Um outro aspecto importante dos alimentos diz respeito à sua origem. Todos os alimentos que fornecem energia foram, em algum momento, parte de outros seres vivos. Mesmo quando não comemos diretamente uma planta ou a carne de um animal, nossos alimentos industrializados são fabricados com partes desses seres vivos. Proteínas, lipídeos e carboidratos compõem a carne e a gordura dos animais, bem como as folhas, raízes e sementes das plantas. Observe os rótulos dos alimentos apresentados e tente identificar os seres vivos que deram origem a cada um deles. Em geral, os rótulos apresentam, além da tabela nutricional, uma lista de ingredientes em que é possível identificar de onde foram obtidos. A muçarela, por exemplo, que contém proteína e gordura, é fabricada com o leite que é produzido pela vaca. A maionese, que contém carboidrato e gordura, é feita com ovos (animal), óleo vegetal e amido (planta). O macarrão, que contém carboidrato, proteína e gordura, é produzido com farinha de trigo (planta) e ovos. Você é capaz de encontrar algum alimento contendo calorias que não provenha de planta, animal ou qualquer outro ser vivo?

Quando um animal consome uma planta ou outro ser vivo qualquer, a energia que ele obtém vem dos macronutrientes que formam o corpo do ser vivo consumido. Assim, toda a energia transferida de um ser vivo para outro na cadeia alimentar provém dos macronutrientes que compõem o corpo dos seres vivos que são consumidos. E as plantas? Como elas obtêm os macronutrientes necessários para sua sobrevivência? Como vimos na Unidade 2, as plantas são chamadas de *produtores*, pois fabricam seus próprios alimentos utilizando gás carbônico, água e a energia proveniente do sol. Elas, portanto, são capazes de produzir substâncias ricas em energia (carboidratos, proteínas e lipídeos) a partir de substâncias pouco energéticas existentes no ambiente (CO_2, H_2O e sais minerais). As plantas transformam a energia luminosa em energia química que fica armazenada nos macronutrientes.

Resumo

- Os alimentos são compostos por diferentes nutrientes.
- *Macronutrientes* estão presentes em maior quantidade nas porções de alimentos, e *micronutrientes* são necessários em pequenas quantidades.
- Os macronutrientes são os nutrientes energéticos: carboidratos, proteínas e lipídeos (gorduras).
- Os micronutrientes são as vitaminas e os sais minerais.
- A energia transferida de um ser vivo para outro na cadeia alimentar provém dos macronutrientes presentes no corpo desses seres vivos.
- A energia presente nos macronutrientes é resultado da atividade das plantas que transformam a energia luminosa em energia química, armazenando-a nas moléculas de proteínas, carboidratos e gorduras.

Atividade

O exercício que apresentaremos a seguir parece não ter "nada a ver" com o tema deste capítulo. No entanto, ele vai servir para lhe mostrar que algumas questões de vestibular podem ser resolvidas com muito poucas informações e muito raciocínio.

Muitas dessas questões são divididas em duas partes, que chamamos de *enunciado* e *comando*.

Na primeira parte, no enunciado, são apresentadas informações sobre um ou mais assuntos. Elas podem vir na forma de textos, gráficos, tabelas, quadros, esquemas, fotos ou combinações desses formatos.

Na segunda parte, no comando, temos a pergunta que precisa ser respondida usando não apenas seus conhecimentos, mas também as informações apresentadas no enunciado. Nem sempre todas as informações são realmente necessárias para responder à questão. Uma habilidade importante para resolvê-las é localizar as informações mais importantes do enunciado.

O que se espera do candidato é que ele entenda a pergunta e raciocine sobre as informações que recebeu. Para resolver esse tipo de questão, três etapas são igualmente importantes:

1. Leia o enunciado com atenção. Se houver um gráfico ou tabela, procure entender o que eles mostram. Por exemplo: o que está mostrado nas linhas (seções horizontais) e nas colunas (seções verticais).

2. Leia a pergunta, procurando identificar claramente o que ela "quer saber" ou "quer que você mostre que sabe".

3. Retorne ao enunciado, encontre as informações que possam ser úteis e relacione-as ao que você sabe sobre o assunto, procurando a resposta para a questão.

Usando as dicas acima, responda à questão a seguir sobre um tema bem conhecido por nós: a dengue. Observe que há uma tabela como a que você construiu nesta unidade.

1. (Enem, 2006) O Aedes aegypti é vetor transmissor da dengue. Uma pesquisa feita em São Luís – MA, de 2000 a 2002, mapeou os tipos de reservatório onde esse mosquito era encontrado. A tabela abaixo mostra parte dos dados coletados nessa pesquisa.

Tipos de reservatórios	**População de A. aegypti**		
	2000	2001	2002
Pneu	895	1.658	974
Tambor/tanque/depósito de barro	6.855	46.444	32.787
Vaso de planta	456	3.191	1.399
Material de construção/peça de carro	271	436	276
Garrafa/lata/plástico	675	2.100	1.059
Poço/cisterna	44	428	275
Caixa d'água	248	1.689	1.014
Recipiente naturala/ armadilha / piscina e outros	615	2.658	1.178
Total	10.059	58.604	38.962

Fonte: Caderno Saúde Pública, v. 20, n. 5, Rio de Janeiro, out 2004 (com adaptações).

De acordo com essa pesquisa, o alvo inicial para a redução mais rápida dos focos do mosquito vetor da dengue nesse município deveria ser constituído por:

(A) pneus e caixas d'água.
(B) tambores, tanques e depósitos de barro.
(C) vasos de plantas, poços e cisternas.
(D) materiais de construção e peças de carro.
(E) garrafas, latas e plásticos.

Resposta comentada

Você percebeu que todas as informações para a resposta estão no próprio enunciado? Desde o nome científico do mosquito vetor da dengue até os principais focos onde ele pode ser encontrado, apresentados na tabela. Para solucionar esta questão, é preciso responder a algumas perguntas:

Sobre o enunciado:

1. O que é mostrado em cada linha da tabela?

2. O que é mostrado nas colunas da tabela?

3. Qual a diferença entre o que é mostrado em cada uma das três colunas da tabela?

4. Em que ano foram encontrados mais mosquitos no conjunto dos reservatórios?

5. Qual tipo de reservatório apresentou menor quantidade de *Aedes aegipty* na soma dos três anos?

6. Qual tipo de reservatório apresentou maior quantidade de Aedes aegipty na soma dos três anos?

Sobre o comando (pergunta):

7. O que se deseja fazer com a quantidade de focos de mosquitos vetores da dengue?

8. Para alcançar esse objetivo, devemos nos preocupar com os focos com maior ou com menor quantidade de insetos?

Após responder a essas perguntas, você deverá ter em mãos tudo o que precisa para resolver a questão. Caso não tenha conseguido resolvê-la antes, volte a ela e tente novamente! Procure resolver sozinho a questão antes de ler, abaixo, as respostas das perguntas.

1. Cada linha mostra diferentes tipos de reservatórios de mosquitos.

2. As colunas mostram a quantidade de mosquitos encontrada em cada tipo de reservatório.

3. Cada coluna mostra a quantidade de mosquitos encontrada em cada tipo de reservatório em um ano diferente.

4. No ano de 2001, quando foram encontrados 58.604 animais.

5. O que apresentou a menor quantidade de mosquitos foram os poços e cisternas.

6. O que apresentou a maior quantidade de mosquitos foram os tambores/tanques/depósitos de barro.

7. O objetivo é reduzir a quantidade de focos.

8. Devemos nos preocupar com os focos com maiores quantidades de mosquitos, pois assim a população desses insetos seria mais atingida.

A resposta correta para a questão, portanto, é a alternativa B.

---

lá na plataforma

Para treinar a resolução de mais exercícios desse tipo, de análise de tabelas e gráficos, vá até a plataforma.

Referências

HOUAISS, Antonio. *Dicionário Houaiss da Língua Portuguesa*. Rio de Janeiro: Editora Objetiva e Instituto Antonio Houaiss, 2002.

HOLLANDA, Aurélio Buarque de. *Novo Dicionário Aurélio da Língua Portuguesa*. Rio de Janeiro: Editora Nova Fronteira, 2000.

NEPA. *Tabela brasileira de composição de alimentos*. Campinas: Unicamp, 2011. Disponível em: *https://www.cfn.org.br/wp-content/uploads/2017/03/taco_4_edicao_ampliada_e_revisada.pdf*. Acesso em: 15 mar. 2020.

AGÊNCIA Nacional de Vigilância Sanitária – Anvisa. *Manual de orientação aos consumidores. Educação para o consumo saudável*. Brasília, 2008. Disponível em: *https://www.gov.br/anvisa/pt-br/centraisdeconteudo/publicacoes/alimentos/manuais-guias-e-orientacoes/manual_consumidor.pdf/view*. Acesso em: 30 set. 2021.

Outras funções dos nutrientes: analisando experimentos

04

meta

Apresentar as outras funções dos nutrientes além do fornecimento de energia.

objetivos

Esperamos que, ao final desta unidade, você seja capaz de:

- analisar resultados de experiências simples apresentados na forma de tabelas e gráficos;
- construir gráficos a partir de tabelas;
- reconhecer a função do grupo controle em um experimento;
- determinar os problemas decorrentes da falta de algumas vitaminas e de sais minerais na dieta;
- determinar outras funções das proteínas além da produção de energia.

Introdução

Vimos na unidade 3 que a energia que os seres vivos obtêm dos alimentos vem apenas dos macronutrientes. Será que fornecer energia é a única função dos macronutrientes? E os micronutrientes, que não fornecem energia, possuem alguma função ou estão nos alimentos por acaso? Trataremos das respostas a essas perguntas nesta unidade, analisando resultados de alguns experimentos simples.

Muitas experiências e estudos foram realizados pelos cientistas para desvendar o papel dos diversos nutrientes, na tentativa de identificar a causa de doenças comumente observadas em algumas populações. Esse foi o caso, por exemplo, do escorbuto, comum em marinheiros e causado pela falta de vitamina C na comida, e do bócio, comum em populações que viviam em montanhas, longe do mar, e causado pela falta de iodo nos alimentos. No caso do bócio, a distância do mar era importante, porque alimentos vindos de lá, como peixes e mariscos, contêm bastante iodo. Quando for ao supermercado, dê uma olhada na embalagem do sal e veja: o iodo é mencionado?

As funções de outros nutrientes, porém, foram identificadas com o auxílio de experiências realizadas com animais, além da observação de doenças humanas. Isso porque, como você deve imaginar, não se pode submeter seres humanos a dietas pobres em um determinado nutriente e esperar que eles fiquem doentes para descobrir qual a função nutricional. No entanto, esse tipo de experimento pode ser executado com animais em laboratório. Os ratos e camundongos (muito utilizados em experiências desse tipo) são divididos em dois grupos e mantidos em gaiolas separadas com água e alimentos. Um dos grupos recebe alimentos ricos em todos os nutrientes, enquanto o outro recebe alimentos pobres em um único nutriente. Os cientistas mantêm os animais nessas condições por um certo período de tempo (digamos, por um mês), pesando-os e medindo-os diariamente. Nas seções a seguir, veremos os resultados de experimentos realizados de acordo com esse procedimento.

As vitaminas

Um pesquisador interessado no estudo da importância das vitaminas manteve três grupos de ratos em dietas nas quais faltavam duas vitaminas em cada uma. Após um mês, ele avaliou a saúde desses ratos, anotando os problemas apresentados por cada um dos grupos. Os resultados do pesquisador estão mostrados na **Tabela 4.1**.

Tabela 4.1: Sintomas apresentados por ratos mantidos em três dietas diferentes

	Grupo 1	Grupo 2	Grupo 3
Ausente da dieta	Vitamina A	Vitamina B	Vitamina B
	Vitamina D	Vitamina A	Vitamina D
Sintomas após 1 mês	Ossos deformados e fracos	Perda de visão à noite	Inflamação nos nervos
	Perda de visão à noite	Inflamação nos nervos	Ossos deformados e fracos

Com base nesses resultados, é possível saber quais são os problemas causados pela falta de cada uma das três vitaminas estudadas. Faça como o pesquisador e descubra esses problemas, registrando-os na **Tabela 4.2**. Explique seu raciocínio e os passos dados para chegar à sua resposta.

Tabela 4.2: Problemas causados pela falta de algumas vitaminas na dieta

Ausência de	Problemas causados	Justificativa
Vitamina A		
Vitamina B		
Vitamina D		

Os sais minerais

O mesmo pesquisador usou metodologia semelhante para estudar a importância dos sais minerais na dieta. Para isso, manteve quatro grupos de camundongos em dietas nas quais faltavam dois sais minerais em cada uma. Após um mês, ele avaliou a saúde desses animais, anotando os problemas apresentados por cada um dos grupos. Os resultados do pesquisador estão mostrados na **Tabela 4.3** a seguir.

Tabela 4.3: Sintomas apresentados por camundongos mantidos em quatro dietas diferentes

	Ausente da dieta	Sintomas após um mês
Camundongos grupo 1	Cálcio e Ferro	Anemia, ossos e dentes fracos
Camundongos grupo 2	Iodo e Cálcio	Ossos e dentes fracos, hipotireoidismo
Camundongos grupo 3	Iodo e Ferro	Anemia, hipotireoidismo
Camundongos grupo 4	Ferro e Potássio	Anemia e câimbras

Com base nesses resultados, é possível saber quais são os problemas causados pela falta de cada um dos quatro sais minerais estudados. Faça como o pesquisador e descubra tais problemas, registrando-os na **Tabela 4.4**. Explique seu raciocínio e os passos dados para chegar à sua resposta.

Tabela 4.4: Problemas causados pela falta alguns sais minerais na dieta

Ausência de	Problemas causados	Justificativa
Ferro		
Potássio		
Cálcio		
Iodo		

As outras funções das proteínas

Como já aprendemos, os alimentos são fundamentais, pois é deles que os seres vivos extraem a energia necessária para realizar seus processos vitais.

Na unidade 3, observamos, por meio da análise de rótulos, que os nutrientes presentes nos alimentos são os carboidratos, as gorduras, as proteínas, as fibras alimentares, as vitaminas e os sais minerais. Descobrimos também que apenas três deles são responsáveis pelo fornecimento de energia: os carboidratos, as gorduras e as proteínas.

Porém, será que os três macronutrientes servem apenas para fornecer energia? Que outras funções eles poderiam desempenhar?

Na experiência que vamos descrever, um grupo de animais foi alimentado com uma dieta normal contendo os três macronutrientes, enquanto o outro recebeu alimentos sem proteínas. Esses animais foram medidos e pesados várias vezes ao longo de 250 dias (quase um ano!). Lembre-se de que ratos vivem apenas dois ou três anos, então já estão adultos com 250 dias de idade.

Os resultados obtidos pelo pesquisador estão mostrados na **Tabela 4.5**, porém, antes de analisá-la, pense na seguinte questão: se já sabemos que animais alimentados com todos os nutrientes crescem e ganham peso normalmente, por que os cientistas precisaram manter um grupo de animais com dietas normais?

Tabela 4.5: Relação entre peso e idade de ratos mantidos em diferentes dietas

	Dieta rica em proteínas	Dieta sem proteínas
Idade (dias)	Peso (g)	Peso (g)
0	100	100
100	500	200
150	600	300
200	600	400
250	600	400

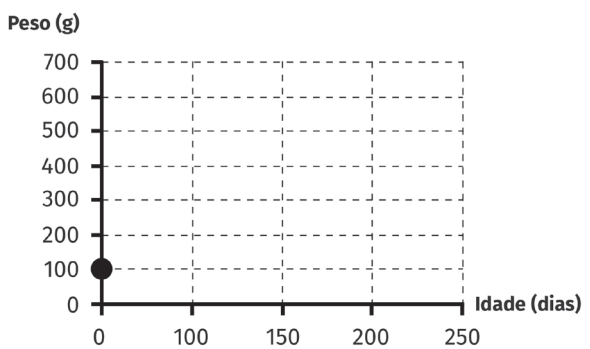
Para ajudar você a entender os resultados, vamos construir um gráfico com os dados da

tabela (**Gráfico 4.1**). Na primeira coluna da **Tabela 4.5**, temos o dia da experiência (à esquerda) e, nas outras duas colunas, o peso médio de cada grupo de ratos naquele dia. Para marcar no **Gráfico 4.1** o peso do animal em dieta normal no primeiro dia do experimento, que é de 100 gramas, colocamos o lápis no número 0 (zero) da linha que mostra a idade em dias (eixo x) e subimos até encontrar a linha pontilhada que começa no número 100 do eixo que mostra o peso (eixo y).

Pronto! Aquela bolinha preta indica que, no primeiro dia,, o rato alimentado com dieta rica em proteínas pesava 100 gramas.

Agora é com você. Marque os pontos no gráfico, mostrando o peso dos ratos nos outros dias. Depois ligue os pontos correspondentes ao peso desse rato com linhas contínuas. Faça o mesmo com os dados relativos ao peso dos animais mantidos na dieta sem proteínas, porém marque os pontos com um X e use linhas tracejadas.

Gráfico 4.1: Relação entre peso e idade de ratos submetidos a dietas com e sem proteínas



Após traçar os gráficos, analise-os e preencha a **Tabela 4.6** com as respostas apropriadas.

Tabela 4.6: Análise do gráfico de crescimento dos ratos

Pergunta	Dieta rica em proteínas	Dietas sem proteínas
Em que dia o rato parou de crescer?		
Como você chegou a essa conclusão?		
Qual era o peso do rato nesse dia?		

Comparando o crescimento dos dois grupos, você diria que os ratos alimentados sem proteínas crescem mais, menos ou o mesmo tanto que ratos que recebem alimentos ricos em proteínas?

E quanto à velocidade de crescimento? Ratos alimentados com alimentos sem proteínas crescem mais rápido, mais devagar ou na mesma velocidade que os que recebem alimentos ricos em proteínas?

Com base nos resultados dessas experiências, o que você pode concluir a respeito das funções que as proteínas desempenham no nosso organismo?

#lá na plataforma

Uso de animais em experimentos

Acesse a plataforma e conheça a função do uso de animais em experimentos científicos.

Resumo

- Vitaminas participam de diversos processos metabólicos no organismo.
- Sais minerais são utilizados na construção de várias estruturas do organismo.
- Proteínas, além de fornecerem energia, participam da construção de estruturas do organismo.
- Os outros macronutrientes – gorduras e carboidratos – além de fornecerem energia, também participam da construção das estruturas do organismo.
- Grupo controle é o grupo de indivíduos que não recebe o tratamento testado no experimento. Esse grupo funciona como padrão para comparação que permite avaliar o efeito do tratamento testado.

Atividade

Considerando as funções das vitaminas, dos sais minerais e das proteínas estudadas neste módulo, identifique os problemas de saúde apresentados por um animal que tenha ingerido, desde o nascimento, uma dieta pobre em vitamina D, iodo e proteínas. Justifique sua resposta. *(Anote as respostas em seu caderno.)*

Resposta comentada

Você encontra a resposta desta atividade lá na plataforma.

Referências

SABBATINI, Renato M. E. *A história das vitaminas*: alimentos que salvam. Disponível em: *http://www.nutriweb.org.br/n0201/hipovitaminoses.htm*. Acesso em: 15 mar. 2021.

ABBUD, Karina. *Nutrientes e suas funções*: equilíbrio é fundamental quando se trata de alimentação saudável. Disponível em: *https://alimentacaoemfoco.org.br/nutrientes-e-suas-funcoes/*. Acesso em: 15 mar. 2021

Conceitos básicos de ecologia

05

meta

Apresentar conceitos de ecologia de populações (como habitat, nicho ecológico, competição, potencial biótico e resistência do meio), e exemplos de etapas úteis na solução de questões de vestibular.

objetivos

Esperamos que, ao final desta unidade, você seja capaz de:

- explicar conceitos básicos de ecologia, tais como *habitat*, *nicho ecológico* e *competição*;
- interpretar gráficos de crescimento populacional;
- aplicar os conceitos básicos aprendidos na solução de problemas de vestibular;
- solucionar alguns problemas de vestibulares, aplicando as seguintes etapas: identificação das informações relevantes fornecidas no enunciado, articulação delas com os conceitos necessários à solução da questão e identificação da pergunta a ser efetivamente respondida.

Introdução

Nesta unidade, vamos trabalhar de uma maneira bem diferente daquela das unidades anteriores. Podemos dizer que o conteúdo será dividido em duas etapas. Vamos apresentar alguns conceitos básicos de ecologia e, em seguida, exemplificar como eles, associados a algumas habilidades desenvolvidas em capítulos anteriores (análise de gráficos e formulação de hipóteses), podem ser fundamentais (e suficientes) para resolver algumas questões de vestibular.

Nesta primeira etapa, os conceitos serão apresentados de modo direto, sem necessidade de interpretação dos resultados de experiências. Vamos a eles!

Habitat e nicho ecológico

Um primeiro conceito a ser compreendido é o de *habitat*, que pode ser definido como ambiente em que um organismo vive. O habitat de uma espécie de papagaio, por exemplo, pode ser a floresta tropical. Pode-se também usar uma definição mais restrita, por exemplo: duas **espécies** de papagaios (A e B) podem usar uma mesma árvore para viver e se reproduzir, mas uma delas usa os galhos mais altos e próximos do tronco para fazer seus ninhos, enquanto a outra usa as pontas dos galhos mais baixos.

espécie

Ernst Mayr define espécie como grupos de populações naturais que se intercruzam, real ou potencialmente, estando reprodutivamente isoladas de outros grupos.

Em um mesmo habitat, podemos ter diversas populações, como no exemplo dos papagaios, mas poderíamos incluir também a população de uma ave de rapina, como o gavião, por exemplo, que é um predador das duas espécies, assim como as próprias árvores onde os pássaros fazem seus ninhos, ou melhor, todas as árvores daquela floresta tropical. Esse conjunto de populações que vive em um determinado local em um dado tempo e que é característico daquelas condições ambientais é denominado de *comunidade*.

Um conceito importante e que inclui o habitat é o de *nicho ecológico*. É, na verdade, um conceito abstrato, mas, de modo geral, podemos dizer que ele significa o modo de vida único e particular de uma espécie, como ela explora e se relaciona com seu habitat. O conceito de nicho, embora bastante impreciso, é muito útil e, em geral, é mais bem compreendido quando usamos exemplos. Vamos aproveitar o exemplo do papagaio A, que é uma espécie frutívora, que se alimenta de frutos de casca relativamente dura de algumas espécies de árvores, é diurna, nidifica em árvores de uma determinada espécie e serve de presa para os gaviões e jaguatiricas. Essa descrição caracteriza o nicho ecológico do papagaio da espécie A. Como você deve ter notado, o nicho inclui características de vários tipos. De um modo simplificado, podemos dizer que o nicho é o papel desempenhado pela espécie no meio ambiente.

A quantidade de nichos ecológicos de uma região é uma de suas características mais importantes. Se imaginarmos que cada espécie ocupa um nicho ecológico específico, quanto maior a diversidade de nichos, maior a diversidade de espécies. Embora não seja realista pensar em contar nichos ecológicos, já que se trata de um conceito abstrato, é possível perceber algumas relações entre os diferentes tipos de ambientes e os nichos. Nas florestas temperadas, por exemplo, as condições climáticas (como o inverno rigoroso) restringem a diversidade de plantas capazes de sobreviver. As árvores e plantas, em geral, estão intimamente relacionadas aos animais existentes, pois são fonte de alimento, de abrigo e, muitas vezes, são o próprio habitat de algumas espécies (esquilos, por exemplo, passam a maior parte do tempo na copa das árvores, longe do solo).

Nas florestas tropicais, o clima razoavelmente constante e ameno, e a abundância de água durante todo o ano permitem o surgimento de uma grande diversidade de plantas. Essa grande diversidade gera também aquilo que chamamos de *microclimas*. Ou seja, no topo das árvores (dossel), há muita luminosidade; já abaixo dele, a luminosidade é reduzida, mas a umidade aumenta. Essa diversidade de microclimas, entre outras razões, permite a sobrevivência de muitas espécies de animais diferentes. Cada espécie de animal encontra-se adaptada a um nicho muito específico, determinado muitas vezes pelas condições de um microclima. Algumas espécies de animais dependem inteiramente de uma única espécie de planta, que só existe em um determinado microclima. Nas florestas tropicais, a existência de muitas espécies está relacionada à existência de microclimas e à diversidade de plantas. Em última análise, cada espécie explora um conjunto de recursos muito específico. Por esse motivo, o número de espécies é alto, assim como a proporção de espécies endêmicas (que só existem naquela região), já que cada uma está associada a um nicho muito específico.

Há casos em que a abundância de água é relativa, como na tundra, situada nas regiões mais ao norte do hemisfério norte. Ali, embora exista água abundante no solo, ela se encontra congelada na maior parte do tempo, devido às baixas temperaturas. Essa condição é denominada *seca fisiológica* e limita severamente a quantidade de espécies de plantas (e, portanto, de animais) existentes na região. De modo similar, a escassez de água dos desertos implica menor diversidade de plantas e animais, e também há menos nichos ecológicos disponíveis.

Como vimos, embora não seja possível contar os nichos existentes em uma região, é possível perceber que há uma relação entre os fatores abióticos (luminosidade, umidade, temperatura e outros fatores não vivos) e os seres vivos. Em última análise, os dois se afetam mutuamente, já que os fatores abióticos impõem restrições a algumas espécies e favorecem outras, ao mesmo tempo em que as espécies que vivem em uma região influenciam seus fatores abióticos, como mostramos no caso dos microclimas mencionados das florestas tropicais.

A sobreposição de nichos ecológicos

Vamos trabalhar com o conceito de nicho ecológico para compreendermos melhor as consequências de sua utilização. A **Tabela 5.1** apresenta os nichos ecológicos de quatro espécies de aves (A, B, C e D). Suponha que você seja proprietário de um sítio ou fazenda e gostaria de usar

suas terras como uma espécie de reserva florestal, para que nela vivesse o maior número de espécies de aves, com o maior número de indivíduos de cada espécie. Você começaria soltando cinco casais de cada espécie escolhida dentre as quatro apresentadas. Procure agora avaliar quais as espécies que você deveria ter em sua reserva para atingir os objetivos desejados.

Tabela 5.1: Nichos ecológicos das aves A, B, C e D.

característica	espécie A	espécie B	espécie C	espécie D
período de atividade	diurno	noturno	diurno	noturno
alimentação	insetívoro	frutívoro	sementes	frutívoro
nidifica em:	buracos no chão	galhos altos	troncos ocos	galhos baixos
espécie de árvore em que nidifica	-	sumaúma	-	sumaúma
época de acasalamento	maio a agosto	janeiro a março	maio a agosto	janeiro a março
predadores	aves de rapina	aves de rapina	aves de rapina	aves de rapina

A resposta não é simples, como você deve ter notado. Vamos tentar comparar alguns pares de espécies de cada vez. Quais dificuldades teríamos se colocássemos as espécies A e B juntas? Os nichos ecológicos das duas espécies são quase totalmente diferentes, exceto pelos predadores, que são os mesmos. Uma maneira de resolver a questão é pensar no seguinte: se a população das duas espécies for aumentando ao longo do tempo, isso trará problemas para ambas, ou, pelo menos, para uma delas? Dificilmente.

Agora, se compararmos os nichos das espécies B e D, podemos notar que eles são muito parecidos, exceto pelos locais de nidificação. Mas isso seria um problema? Vamos pensar na época da reprodução. De janeiro a março, as populações das duas espécies serão maiores, pois ambas estarão se reproduzindo. Isso significa que precisarão de mais alimento, e ambas se alimentam de frutos. No começo de seu projeto, as populações seriam relativamente pequenas, e o alimento seria suficiente para adultos e filhotes, fazendo com que ambas crescessem a cada ano. Esse aumento causaria uma maior demanda de alimento para o crescente número tanto de adultos quanto de filhotes, porém o número de árvores, e, portanto, de frutos, seria o mesmo do começo do projeto. Como resultado disso, as duas espécies acabariam disputando o alimento e, em algum momento, as populações das duas espécies não poderiam crescer mais, porque não haveria alimento suficiente. Para que uma população cresça a partir desse momento, é necessário que a outra diminua, sobrando mais alimento para a primeira. Ocorreria, portanto, entre as populações dessas espécies, um processo de competição, e um dos resultados é a redução do tamanho de uma população ou mesmo a extinção de uma delas do local (no caso, o seu sítio).

A extinção de uma das espécies não é a única possibilidade nos casos de competição. Poderia também acontecer de uma espécie se adaptar a comer outro alimento que não frutos, o que automaticamente reduziria a competição entre elas.

Há outras possibilidades, mas você já deve ter percebido que a competição ocorre quando os nichos ecológicos se superpõem em características que limitam o crescimento das populações.

Uma outra maneira de ver esse fenômeno é pensar nos nichos como conjuntos de características. Quanto maior a interseção entre eles, maior a chance de haver competição. É claro que nem todas as características comuns entre os nichos geram competição entre as espécies. O fato de duas espécies serem presas de um mesmo predador não gera competição entre elas, por exemplo. Ou, no caso das espécies A e C da tabela, embora elas se reproduzam na mesma época e sejam diurnas, não competem por alimento. Dificilmente o tamanho de uma população influenciaria no tamanho da outra. A princípio, porém, podemos dizer que quanto maior a interseção ou, como se diz em ecologia, quanto maior a superposição de seus nichos ecológicos, maior a probabilidade (chance) de ocorrer competição entre duas ou mais espécies.

Potencial biótico e resistência do meio

Vamos supor então que, para resolver o problema da competição, você decidisse incluir somente casais da espécie A. Dessa forma, podemos esperar que a população de aves da espécie A cresça sem parar. Essa capacidade de uma população aumentar sem restrições é denominada *potencial biótico* de uma espécie.

No caso de haver uma única espécie, ela poderia realmente dar vazão a todo seu potencial biótico? Afinal, introduzindo apenas uma espécie, deixaria de haver competição? Em qualquer ambiente (incluindo o seu sítio), existem diversos fatores que impõem limites ao crescimento das populações. Assim, embora muitos filhotes nasçam a cada ano, uma boa parte deles morre de doenças, é atingida por parasitas ou consumida por predadores. Além disso, existe sempre uma certa taxa de mortalidade entre os adultos da população. Esses fatores que impõem restrições ao crescimento das populações compõem aquilo que é chamado de *resistência ambiental* ou *resistência do meio*. Em função de suas características, cada ambiente impõe um limite ao tamanho de uma população. Ou seja, existe um número máximo aproximado de indivíduos de cada espécie que pode viver naquele ambiente (**Figura 5.1**).

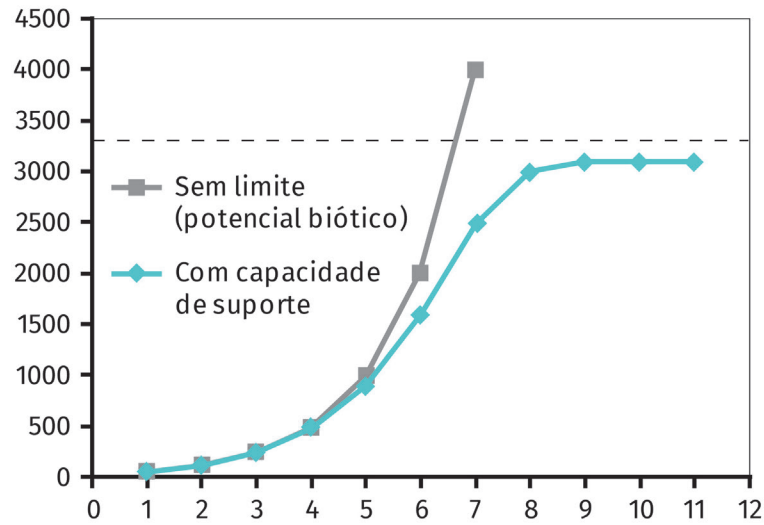


Figura 5.1: Curvas de crescimento populacional: sem limite do meio (potencial biótico) e com resistência ambiental limitando o crescimento.

Esse número máximo que o ambiente é capaz de manter é denominado *capacidade de suporte*. É de se esperar, portanto, que o tamanho das populações se mantenha próximo da capacidade de suporte (**Figura 5.2**). Em ambientes naturais, isso parece ocorrer com frequência.

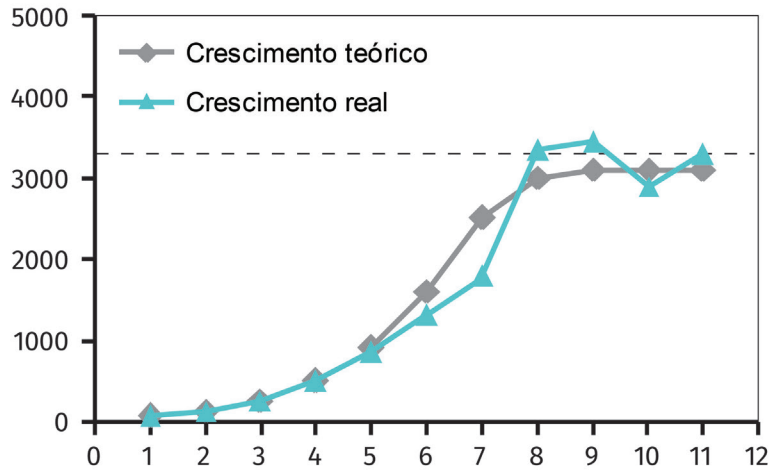


Figura 5.2: Curva de crescimento teórica de uma população e o tipo de resultados que se obtém em estudos reais. No caso desses últimos, os valores são próximos dos esperados, mas erros de medida e variações nas características do ambiente tornam o traçado da curva menos regular.

A resistência ambiental é consequência do equilíbrio de uma série de fatores que vêm interagindo por muito tempo ao longo do processo evolutivo. Existem casos em que uma mudança muito acentuada em um deles pode ter consequências drásticas sobre o tamanho de uma população. Um fenômeno desse tipo foi observado no caso de uma certa espécie de veados americanos, o *Odoicoileus hemionus*.

Eles foram intensamente caçados entre os séculos XVIII e XIX. A caça em si já era um fator novo que passou a compor a resistência ambiental enfrentada pela espécie. No entanto, ela foi tão intensa, que reduziu o número de veados até quase sua extinção. Sua população caiu tão drasticamente que, em 1906, a caça foi proibida. A caça aos predadores dos veados, no entanto, continuou, e foi até mesmo estimulada, como um mecanismo adicional para permitir o crescimento da população da espécie ameaçada. Por consequência disso, predadores, como os pumas e os lobos, foram intensamente caçados e, como era de se esperar, a população de ambos diminuiu assustadoramente. Esta redução fez com que a população de veados experimentasse um crescimento contínuo e elevado por cerca de 20 anos. No entanto, após esse período, verificou-se que a mortalidade entre os filhotes tornou-se extremamente alta. O alimento tornou-se escasso, as pastagens foram irreversivelmente danificadas pelos veados numerosos e famintos, de modo que a maior parte deles morreu em um curto período tempo. Nos vinte anos seguintes, a população diminuiu até praticamente retornar ao tamanho que tinha na época da proibição da caça.

Uma interpretação aparentemente coerente para o fenômeno que descrevemos acima é a de que, com a eliminação dos predadores, eliminou-se também um importante fator de resistência ambiental. Com isso, a população de veados pôde crescer provavelmente até um número muito superior à capacidade de suporte do ambiente, atravessou uma crise e decaiu novamente. É possível que a presença de um número adequado de predadores pudesse ter contribuído para que a população de veados não ultrapassasse tão amplamente a capacidade de suporte do meio.

#lá na plataforma

Quer saber mais sobre a ação dos lobos num ecossistema? Vá lá na plataforma e veja o vídeo "Como lobos mudam rios".

Um caso semelhante, mas sem interferência humana, foi observado na ilha Royale, no Alaska, que foi naturalmente colonizada por um pequeno grupo de alces que caminhou sobre o gelo até por volta de 1900. Em 35 anos, havia cerca de 3000 alces na ilha. Esse grande número de herbívoros consumiu praticamente toda a pastagem existente. Em consequência, nos anos seguintes, cerca de 90% dos animais morreu de inanição ou doenças a ela associadas. Como alguns animais sobreviveram e a pastagem se recuperou, em 1948, o número de alces alcançou valores próximos a 3000 e, mais uma vez, a maioria morreu.

Uma maneira simplificada de entender o problema com os alces e veados é perguntar: qual é a espécie que possui um nicho ecológico mais semelhante, ou melhor, idêntico ao dos alces? A resposta é: os próprios alces. E, nesse caso, a competição ocorre por todas as características do nicho. O caso dos alces é um exemplo extremo de competição entre membros de uma mesma espécie, ou *competição intraespecífica*. Na verdade, alguma competição está sempre ocorrendo entre os membros de uma mesma população, e esse é um dos fatores que influenciam a evolução das espécies, ou seja, os indivíduos mais adaptados entre os membros de uma po-

pulação tendem a ter mais chances de se reproduzir. Com isso, suas características (no caso, as herdáveis, ou seja, as geneticamente determinadas) tornam-se mais frequentes nas gerações seguintes e, portanto, na população (e, neste caso, na espécie).

Interação presa-predador

A ideia de que os predadores e presas podem exercer papéis mútuos e fundamentais no controle do tamanho da população de ambos veio de um estudo realizado no século XIX, na Baía de Hudson, no Canadá. A companhia responsável pelo comércio local de peles manteve, desde 1800, arquivos rigorosos quanto ao número de peles de lince e de lebre vendidas. Esses valores refletiriam o tamanho da população de cada espécie, uma vez que, se a população de lebres fosse grande, mais exemplares da espécie seriam capturados nas armadilhas. O mesmo valeria para a população de linces. A **Figura 5.3** mostra os tamanhos das populações dos dois animais ao longo do século XIX e início do século XX.

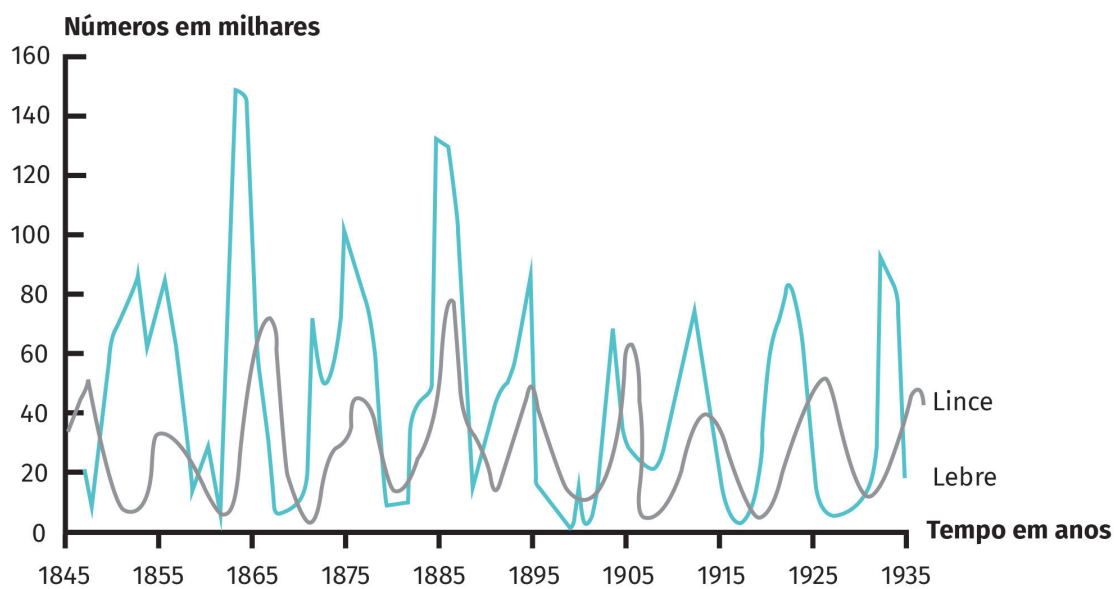


Figura 5.3: Variação no tamanho das populações de linces e lebres ao longo do tempo. (adaptado de Ricklefs, 2003.)

Observe atentamente a **Figura 5.3** com atenção e procure descrever, de forma resumida, as variações que ocorreram com a população de lebres ao longo do tempo de observação. Não precisa detalhar ano a ano, apenas identificar e descrever o padrão de variação existente – se houver algum. Em seguida, faça o mesmo para a população de linces.

Reflita e proponha uma hipótese que relacione as variações nos tamanhos das populações das duas espécies.

Como você deve ter notado, sempre que há um aumento no número de lebres, ocorre uma elevação quase imediata da população de linces. A explicação mais tentadora para esses dados e que foi utilizada durante muito tempo é a de que o aumento da população de lebres torna o alimento dos linces (as próprias lebres) mais abundantes e, com isso, o número de linces que atinge a idade adulta também aumenta. Porém, com o crescimento do número de linces, aumenta a predação das lebres e seu número diminui. Com o alimento dos linces tornando-se escasso, o número desses animais cai, fazendo com que a predação das lebres diminua e sua população volte a crescer. Essa explicação é muito simples e tentadora, mas nem por isso é necessariamente verdadeira (embora tampouco se tenha mostrado que ela é falsa). Você chegou à mesma proposta que nós? Talvez não, já que vínhamos discutindo a capacidade de suporte nas seções anteriores desta unidade.

Proponha, então, uma explicação para a variação observada na população de lebres, que *não considere a população de linces*.

Uma possível explicação está relacionada à capacidade de suporte das próprias lebres. Pode ser que, quando o número desses animais aumenta muito, o alimento torna-se escasso, e a inanição e as doenças a ela associadas sobrevêm, causando a redução da sua população. Com a queda no número de lebres, o estoque de alimento desses animais poderia se recuperar e, com isso, a população voltaria a crescer. Isso teria realmente uma consequência sobre as linces, pois, devido à escassez de lebres, esses predadores encontrariam menos alimento e muitos pereceriam. Nessa explicação, apenas a população de presas regula a população de predadores, mas ela mesma é regulada por outros fatores. Essa explicação é a preferida de muitos autores.

Um estudo experimental interessante foi realizado por dois autores americanos, na década de 1980, para analisar um outro caso de regulação de populações por seus predadores ou competidores. Os autores do estudo observaram que, em ilhas em que existiam lagartos, as populações de aranhas eram muito pequenas, ou mesmo ausentes. Por outro lado, o número de espécies e o número de indivíduos de cada espécie de aranha eram muito maiores em ilhas nas quais não havia lagartos. Os autores selecionaram então algumas áreas de ilhas onde havia lagartos e cercaram-nas com uma tela que impedia a entrada ou a saída desses animais no local. De alguns dos cercados, foram removidos todos os lagartos, enquanto em outros esses animais foram deixados no interior. Em seguida os autores introduziram aranhas em todos os cercados. Após dois anos, os autores mostraram que tanto a quantidade de aranhas, quanto a diversidade de espécies desses artrópodes era maior nos cercados sem lagartos, sendo possível propor pelo menos dois mecanismos para explicar as diferenças entre os dois tipos de cercado.

lá na plataforma

Acesse a plataforma e faça a atividade interativa proposta para descobrir esses mecanismos.

Demonstrar diretamente um fenômeno de autorregulação de populações de predadores e presas não é simples e, na maioria dos casos, mais de uma explicação (hipótese) pode ser formulada para explicar as observações, o que não permite que se determine qual delas está correta.

Resumo

- Habitat é o ambiente onde uma espécie vive.
- Nicho ecológico é o papel que uma espécie desempenha no ambiente.
- Quanto maior a superposição dos nichos ecológicos de duas espécies, maior será a chance de ocorrer competição entre elas.
- Potencial biótico é a capacidade de uma população crescer sem restrições em condições favoráveis.
- Resistência do meio é o conjunto de fatores que impõem restrições ao crescimento das populações, tais como parasitismo, predatismo, competição, disponibilidade de alimentos, disponibilidade de espaço, doenças e condições climáticas.
- Capacidade de suporte do meio é o número máximo de indivíduos de uma espécie que o ambiente pode manter.

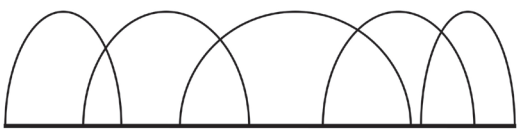
Atividade

A questão a seguir caiu no vestibular da UFRJ em 2002. É uma questão que parece simples, mas que envolve a articulação de vários conceitos de ecologia. Por isso vamos resolvê-la usando uma sequência de passos muito definida. Não se trata de uma receita que vai servir para resolver qualquer questão, nem de uma receita que você terá de seguir sempre. A abordagem que estamos propondo é boa para você usar agora e nas questões propostas na plataforma. Com o tempo, você aprimorará a habilidade de fazer esses passos mental e rapidamente. Mas, por enquanto, é preciso fazer cada questão com calma e muita atenção para "pegar o jeito".

Leia o enunciado com atenção. Isso significa ler a primeira parte da questão, em que são dadas as informações pelo menos duas vezes antes de ler a pergunta propriamente dita. Identifique por escrito os conceitos tratados na questão. Enuncie os conceitos por escrito. Por exemplo, se a questão se refere ao habitat, escreva uma definição muito sintética de habitat, para estar seguro de que se recorda dela. Não consulte este material (pelo menos não nessa primeira tentativa). Trata-se de uma questão de ecologia, portanto tenha isso em mente ao destacar os conceitos.

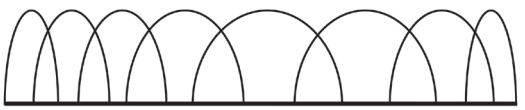
(Prova 2, UFRJ, 2002) As figuras abaixo (A e B) mostram graficamente dois conjuntos de espécies e seus respectivos nichos (áreas delimitadas pelas curvas). Uma das figuras representa a zona temperada, e a outra, a zona tropical. Qual figura corresponde à zona tropical e qual corresponde à zona temperada? Justifique sua resposta, apresentando duas razões para sua escolha. *(Anote as respostas em seu caderno.)*

A



Eixo dos recursos

B



Eixo dos recursos

- *Você pode notar que o enunciado fornece algumas informações. Algumas delas serão essenciais para resolver a questão; outras não. Essa questão tem um gráfico que é, na verdade, o foco do problema que deverá ser resolvido em seguida. Analise o gráfico e descreva, por escrito, as informações que ele contém, antes de ler a pergunta.*
- *Leia a pergunta propriamente dita. Identifique os conceitos novos que ela pode ter introduzido. Antes de respondê-la, releia suas anotações.*

Qual figura corresponde à zona tropical e qual corresponde à zona temperada? Justifique sua resposta, apresentando duas razões para sua escolha.

- R*esponda à questão. Em geral você deverá ter de relacionar os conceitos da primeira parte com os da pergunta. Esteja atento para isso.*
- *Se não conseguir responder após duas ou três tentativas (leituras completas), releia na apostila as definições dos conceitos que você mesmo identificou na questão. Em seguida, tente responder de novo.*
- *Agora trate sua resposta como uma hipótese, ou seja, volte ao gráfico e verifique se a resposta que você propôs é compatível com as inf*ormações mostradas no gráfico.

Se possível, compare sua resposta com a de seus colegas antes de ler o gabarito. Caso vocês tenham proposto respostas diferentes, discutam os conceitos e raciocínios em que cada um se baseou para dar uma determinada resposta. Vejam se um consegue convencer o outro da resposta dada, ou seja, se chegam a uma resposta comum. Isso é importante, porque, como já dissemos, em seguida à questão, virá a resposta. Às vezes, mesmo depois de propor a resposta errada, quando olhamos o

gabarito, percebemos que cometemos um erro bobo e pensamos "agora eu não erro mais isso". Essa ideia pode até estar correta, mas o fato é que questões muito parecidas não costumam cair nos vestibulares mais concorridos. Além disso, do ponto de vista do exercício a que estamos nos propondo, a questão estará perdida, pois não adiantará nada você voltar e refazer os passos depois de olhar a resposta. Isso porque estará fazendo os passos conhecendo o gabarito, o que, acredite, é completamente diferente de tentar dar esses mesmos passos sem saber se está indo na direção certa.

Resposta

A área A representa a zona temperada, pois há menos espécies e os nichos são maiores. A área B representa a zona tropical, pois há mais espécies e os respectivos nichos são menores.

---

lá na plataforma

Você vai encontrar a resolução passo a passo desta atividade lá na plataforma, além de outras questões sobre o tema desta unidade.

Referências

MAYR, Ernst. *Systematics and the origin of species from the viewpoint of a zoologist*. New York: Columbia University Press, 1942.

RICKLEFS, Robert. E. *A economia da natureza*. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan. 2003.

Relações ecológicas

06

meta

Apresentar os conceitos de relação harmônica e relação desarmônica nos ecossistemas.

objetivos

Esperamos que, ao final desta unidade, você seja capaz de:

- definir relações harmônicas e desarmônicas;
- identificar e descrever as principais relações harmônicas e desarmônicas.

Introdução

Já vimos que os seres vivos podem se relacionar de várias maneiras nos ecossistemas. Essas relações ocorrem tanto entre indivíduos de espécies diferentes (*relações interespecíficas*), como no caso da predação em que animais carnívoros se alimentam de outros animais, quanto entre indivíduos da mesma espécie (*relações intraespecíficas*), como no caso da competição intraespecífica por água, alimento, território. Algumas relações entre seres vivos acarretam benefícios para os indivíduos de uma espécie e prejuízo para os de outra. Há relações que trazem benefícios para todos os envolvidos, como é o caso, por exemplo, das sociedades de cupins, formigas e abelhas. Com base na existência de benefício ou prejuízo para os organismos envolvidos, as relações ecológicas também podem ser classificadas como *harmônicas* e *desarmônicas*.

Figura 6.1: Exemplos de relações ecológicas: (a) garça se alimentando - carnivorismo (predação); (b) abelhas em uma colmeia-sociedade. Foto (a) Autor: Jim Skea. Foto (b) Fonte: https://pixabay.com/pt/photos/mel-de-abelhas-insetos-colmeia-337695/. Autor: PollyDot.

Relações harmônicas e desarmônicas

Já estudamos algumas relações entre seres vivos que acarretam benefícios para indivíduos de uma espécie e prejuízo para indivíduos de outra, como é o caso da *predação* (**Figura 6.1a**). Em alguns casos, os animais se alimentam de vegetais ou de suas partes, o que é chamado de *herbivorismo*. Nesses casos, diz-se, de modo geral, que o animal obtém benefícios (alimento), e a planta é prejudicada, já que é destruída e consumida. O mesmo acontece na relação entre hospedeiro e parasita (*parasitismo*) em que o parasita se aloja no corpo do hospedeiro, extraindo dele nutrientes de que necessita. O parasita se beneficia e o hospedeiro é prejudicado. Essas relações, em que ocorre prejuízo para pelo menos um dos organismos envolvidos, são chamadas *relações desarmônicas*.

Entre indivíduos da mesma espécie, também podem ocorrer relações desarmônicas, como vimos na *competição intraespecífica*, que pode limitar o crescimento da população de uma dada espé-

cie, sendo parte da resistência ambiental. Tanto a competição intraespecífica quanto a competição interespecífica são classificadas como *desarmônicas*, pois trazem prejuízo aos envolvidos.

Há, porém, casos de relações entre indivíduos de uma mesma espécie que trazem benefícios para os envolvidos, como o caso das abelhas (**Figura 6.1b**). Essas relações, em que não há prejuízo para nenhum dos organismos envolvidos, são chamadas de *relações harmônicas*. Nas sociedades de cupins, formigas e abelhas, indivíduos com funções especializadas cooperam com benefícios para todos os envolvidos, embora apenas alguns deles efetivamente se reproduzam (rainhas e zangões). Esses insetos e outros animais sociais em geral dependem da sociedade e não sobrevivem por muito tempo nem se reproduzem sem ela.

Embora possa parecer improvável, indivíduos de espécies diferentes também podem estabelecer relações harmônicas. Existem espécies de caranguejos que usam as conchas vazias de moluscos (caramujos) para se abrigar. Entretanto, essa não é uma relação ecológica, pois não ocorre entre seres vivos (o molusco já está morto, só a concha é usada). A relação ecológica acontece quando esse caranguejo coloca uma ou mais anêmonas sobre sua concha para aumentar a proteção, uma vez que elas possuem substâncias urticantes em seus tentáculos que ferem os possíveis predadores. Já as anêmonas ganham mobilidade, pois são transportadas pelo caranguejo, facilitando a obtenção de alimento e diminuindo a competição com outras. Nesse caso, ambos se beneficiam, e a relação é denominada de *cooperação* ou *protocooperação*. Sabe-se que as anêmonas não estão sobre a concha por acaso, porque já se observou que, quando um caranguejo deixa uma concha menor para usar outra maior, ele retira a anêmona da concha antiga e coloca-a sobre a nova.

Entre as plantas, há o caso das epífitas, plantas pequenas que vivem sobre os galhos de árvores mais altas, beneficiando-se da luz – pois não conseguiriam de outro modo, devido ao seu pequeno tamanho – enquanto a árvore não é afetada. Bromélias e orquídeas são exemplos de plantas epífitas, que estabelecem com as árvores relações denominadas de *inquilinismo* (para se recordar desse nome, lembre-se do caso de inquilinos humanos, que habitam – alugam – imóveis de propriedade de outras pessoas). Aqui cabe um alerta: bromélias e orquídeas não devem ser confundidas com outras plantas, como o cipó-chumbo e as ervas-de-passarinho, que também crescem sobre árvores, mas possuem raízes especializadas que penetram nos tecidos da árvore e extraem a seiva contida nelas. Essas plantas são, como muitos animais, parasitas (relação de parasitismo) que se beneficiam de seus hospedeiros, prejudicando-os.

Existem, ainda, outros tipos de relações interespecíficas harmônicas, como é o caso do *comensalismo*, no qual uma espécie não é afetada, mas outra é beneficiada. Essa relação se estabelece, por exemplo, entre tubarões e rêmoras, um pequeno peixe capaz de “grudar” no ventre de tubarões, acompanhando-os enquanto eles se alimentam. A rêmora, então, consome restos e pedaços dos alimentos, mas o tubarão não é beneficiado nem prejudicado pela relação. Note que inquilinismo e comensalismo são diferentes quanto à sua natureza, pois o primeiro está relacionado ao local de vida, e o segundo, à alimentação.

Um caso extremamente importante de relação harmônica interespecífica é a que ocorre entre os cupins e os microrganismos que vivem no seu trato digestivo. Os cupins da madeira se alimentam de restos de vegetais. No entanto, são incapazes de digerir o principal componente das plantas: a celulose. São os microrganismos (protozoários ou bactérias, dependendo da espécie de cupim) que vivem no trato digestivo dos cupins que digerem a celulose, liberando parte dos açúcares que a compõem. Esse açúcar pode ser utilizado pelo cupim. No caso, ambas as espécies se beneficiam: o microrganismo ganha um habitat protegido e comida farta, e o cupim, a capacidade de aproveitar a energia da celulose que ele é incapaz de digerir. Esse tipo de relação chama-se *mutualismo*. É bom notar que nem o cupim vive sem o microrganismo, nem o microrganismo vive fora do cupim. Ao longo da evolução, estabeleceu-se uma relação essencial para ambas as espécies.

Se você achou o exemplo de mutualismo entre cupim e protozoário curioso, vai ficar ainda mais impressionado quando souber que muitos outros herbívoros (bovinos, carneiros, cabras, veados, antílopes, cavalos) são também incapazes de digerir a celulose, que representa a maior parte dos alimentos (folhas) ingeridos por eles. Para esses animais, o herbivorismo só é possível porque eles estabeleceram relações de mutualismo com microrganismos que vivem em seus tratos digestivos e que são capazes de digerir a celulose. Mais interessante ainda é que virtualmente todos os animais, inclusive nossa espécie, possuem em seus tratos digestivos bactérias essenciais para a digestão ou absorção de certos nutrientes e a síntese de algumas vitaminas, entre outras atividades essenciais à vida.

lá na plataforma

Você já pensou em como as sementes de plantas parasitas podem parar no alto das árvores, quando não há nenhuma outra planta da mesma espécie nos galhos superiores de onde a semente pudesse ter caído? Acesse a plataforma e veja como isso é possível!

Relações entre animais e plantas: os frutos e as flores

Há relações, entretanto, em que benefícios e prejuízos são menos evidentes, especialmente quando o animal não consome a planta em si, mas somente partes dela, como frutos, por exemplo. Os frutos contêm, em geral, carboidratos (açúcares) ou gorduras, que são de fácil digestão e podem ser usados na produção de energia por animais. Não seria, portanto, um grande desperdício para a planta produzir e acumular tantos nutrientes energéticos em uma estrutura que atrai animais e é comida por eles?

Imagine uma situação em que as plantas competem entre si. É comum, por exemplo, que ocorra a competição pela luz solar (as plantas que crescem rápido alcançam rapidamente a luz, sobrepujando outras de crescimento mais lento). Uma planta que não produz frutos pode gastar a energia que gastaria com eles para realizar seu próprio crescimento, levando vantagem na competição em relação a outra da mesma espécie que produz frutos, certo? Então, para que frutos?

Uma possível resposta está dentro do fruto: as sementes (**Figura 6.2**). À medida que o fruto vai sendo formado, vão se desenvolvendo em seu interior as sementes, que contêm os embriões da futura planta. Como todos os embriões, as sementes levam algum tempo para estarem prontas para germinar. Quando um animal consome o fruto maduro, pode largar a semente longe da árvore (quando a semente é relativamente grande) ou ingere as pequenas junto com a polpa. Após digerir a polpa, quando o animal defeca, acaba liberando as sementes longe da árvore original (muitas sementes resistem ao processo digestivo de animais). Como as plantas são seres imóveis, esses processos, chamados de *dispersão,* ajudam-nas a se espalharem pelo ambiente.

Portanto, nessa situação, a planta não estaria sendo exatamente prejudicada pelo consumo do fruto. Muitos ecologistas costumam considerar que a produção de frutos é um tipo de "investimento" da planta na sua reprodução, e que as relações estabelecidas entre animais frugívoros (comedores de frutas) e as árvores frutíferas são casos de *mutualismo*.

#lá na plataforma

Por que os frutos maduros são em geral coloridos e os não maduros são verdes?

Descubra lá na plataforma!

O caso das flores é semelhante ao dos frutos. Nelas, são produzidos os grãos de pólen, que têm em seu interior os espermatozoides das plantas. As flores também possuem um ovário, onde estão os óvulos. Para que se forme uma semente, é preciso que os espermatozoides de dentro do pólen cheguem até os óvulos, que muitas vezes estão em outras flores. Mas, como todos sabemos, as flores não se movem. Muitas espécies de plantas produzem abundantes grãos de pólen que, por serem leves e pequenos, são transportados pelo vento. Como são muitos grãos, há uma chance de que alguns deles caiam nas flores de outro indivíduo da mesma espécie, o que permite que os espermatozoides possam fecundar os óvulos. Outras plantas, no entanto, produzem em suas flores o néctar, uma solução açucarada, rica em nutrientes energéticos. Animais como morcegos, abelhas, borboletas e beija-flores vêm se alimentar do néctar e acabam transportando, por acidente, os grãos de pólen de uma flor para outra (**Figura 6.3**). Isso aumenta as chances de o pólen chegar até flores de outro indivíduo da mesma espécie, sem depender do vento.

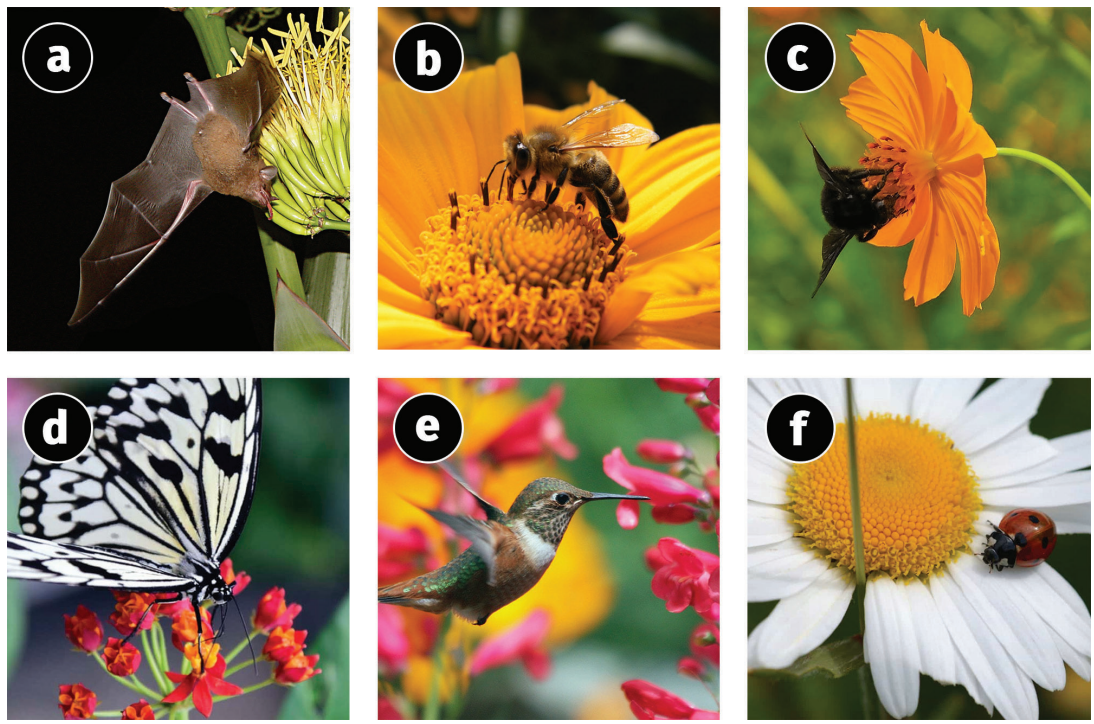


Figura 6.3: Diversidade de polinizadores: (a) morcego, (b) abelha; (c) mamangava; (d) borboleta; (e) beija-flor; (f) joaninha. (a) Autor: Jim Skea. (b) Fonte: https://pixabay.com/pt/photos/mel-de-abelha-abelha-flor-fechar-se-336425/. Autor: Zarapp. (c) Fonte: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Mamangava_na_flor_do_cosmo.jpg. Autor: Uenio João Roto, CC BY-SA 4.0. (d) Fonte: https://pixnio.com/pt/animais/inseto/borboletas-tracas/natureza-inseto-borboleta-folha-flor-verao-planta-erva. Autor: Ulleo, CCO. (e) Fonte: https://pixabay.com/pt/photos/beija-flor-p%C3%A1ssaro-flores-5566297/. Autor: Steve Crowhurst. (f) Fonte: https://pixnio.com/pt/plantas/flores/margaridas/verao-flor-joaninha-inseto-flora-natureza-jardim-margarida-macro, CCO.

Algumas plantas produzem flores de perfume intenso e outras produzem flores de cores vivas; às vezes uma flor tem ambas as características. Flores brancas também são comuns. A cor e o perfume das flores também estão associados à polinização, atraindo tipos diferentes de polinizadores.

#lá na plataforma

Você já pensou em por que flores que se abrem à noite são em geral brancas e perfumadas? Descubra lá na plataforma.

É importante não associarmos a palavra “desarmônica” com ruim ou má ou “harmônica” com boa. Como vimos anteriormente, a competição e a predação, por exemplo, podem limitar o tamanho das populações naturais, o que pode ser essencial para a espécie de presa ou mesmo para as competidoras. No caso dos predadores, eles podem contribuir para limitar a população de presas, fator que pode ser essencial para a sobrevivência da espécie da própria presa que, sem controle, poderia ultrapassar a capacidade de suporte e causar danos irreversíveis

ao ambiente em que vive. A competição, por sua vez, pode ser um dos fatores que contribuem para o processo de evolução e surgimento de novas espécies. Já o herbivorismo é uma relação essencial para todos os animais não herbívoros, pois permite que se inicie o fluxo de energia entre os diversos níveis tróficos. A ideia de harmonia, no caso da ecologia, não está tampouco relacionada a uma visão da natureza pacífica ou benigna. As relações ecológicas se estabelecem entre indivíduos e espécies ao longo do tempo. Nos ecossistemas, as espécies se alimentam e se reproduzem, e as relações que se estabelecem entre elas são aquelas possíveis e determinadas pelas características dos próprios seres vivos e de seu ambiente, sem qualquer julgamento moral sobre serem boas ou ruins para os envolvidos. Afinal, a imagem da mãe natureza é apenas uma figura de linguagem.

#lá na plataforma

Vamos entender melhor como acontece a reprodução das plantas com flores? Acesse a plataforma e conheça o material que selecionamos pra você.

Resumo

- As relações ecológicas podem ser inter-específicas (entre indivíduos de espécies diferentes) ou intraespecíficas (entre indivíduos de uma mesma espécie).
- Existem dois tipos principais de relações entre os seres vivos: harmônicas (nenhum dos envolvidos é prejudicado) e desarmônicas (pelo menos um dos envolvidos é prejudicado).
- Muitas relações ecológicas desarmônicas são importantes fatores relacionados à resistência ambiental, na medida em que limitam os tamanhos de populações em um ecossistema.
- Relações harmônicas podem beneficiar os envolvidos em uma competição com outras espécies ou com indivíduos da mesma espécie.

Atividade

(UFRJ, 2005 / adaptada). As principais interações bióticas (relações ecológicas) entre indivíduos das diferentes espécies que compõem um determinado ecossistema são: predação, mutualismo, competição e comensalismo. Nessas interações, cada indivíduo pode receber benefícios (+), prejuízos (–) ou nenhum dos dois (0).

No quadro abaixo, as interações entre pares de espécies estão identificadas pelas letras A, B, C e D. Assinale a alternativa que identifica corretamente as interações A, B, C e D.

	1ª espécie	2ª espécie
A	+	+
B	+	–
C	+	0
D	–	–

(A) A-competição; B-mutualismo; C-predação; D-comensalismo.
(B) A-comensalismo; B-mutualismo; C-predação; D-competição.
(C) A-mutualismo; B-competição; C-comensalismo; D-predação.
(D) A-mutualismo; B-predação; C-comensalismo; D-competição.
(E) A-competição; B-predação; C-mutualismo; D-comensalismo.

#lá na plataforma

Acesse a plataforma para encontrar a resposta comentada para a atividade acima e realizar outras atividades sobre o tema desta unidade.

Referências

RICKLEFS, R. L. *A economia da natureza*. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2003.

Sociedade e meio ambiente

07

meta

Apresentar as consequências das ações antrópicas para o meio ambiente e a sociedade.

objetivos

Esperamos que, ao final desta unidade, você seja capaz de:

- definir efeito estufa;
- identificar os gases do efeito estufa;
- relacionar o aquecimento global com o efeito estufa;
- identificar as ações antrópicas causadoras do aquecimento global;
- identificar alterações climáticas decorrentes do aquecimento global.

Introdução

Todos os seres vivos dependem do ambiente para a sua sobrevivência. Eles interagem entre si e com o meio ambiente e, portanto, estão sempre alterando o ambiente em que vivem. Entretanto, a espécie humana, devido a sua habilidade de usar ferramentas, tem levado a exploração de recursos naturais a um nível tão intenso e para além de suas necessidades biológicas que vem colocando em risco a capacidade de renovação desses recursos. As habilidades tecnológicas humanas avançam muito mais rapidamente do que a capacidade de regeneração dos sistemas naturais, podendo levar ao esgotamento dos recursos. Como consequência das ações **antrópicas**, o planeta vem sofrendo alterações climáticas que têm um grande impacto no equilíbrio ecológico e na saúde humana.

antrópicas realizadas pelo homem.

Efeito estufa: um aquecimento necessário à vida no planeta

Em boa parte do território brasileiro, as temperaturas do ambiente são compatíveis com a agricultura, ainda que os produtos cultivados variem muito de uma região para outra. Em algumas localidades, bem como em países em que predominam temperaturas médias anuais mais baixas, alguns cultivos só são possíveis com o uso de estufas, que são estruturas metálicas cobertas de plástico, filme transparente ou vidro (**Figura 7.1**). Esses materiais transparentes permitem a passagem da maior parte da radiação solar visível (luz) e boa parte dela é transformada em infravermelho pelo solo, pelas plantas e por outras estruturas dentro da estufa. O vidro, entretanto, retém parte desse infravermelho, que acaba aquecendo o ar que fica dentro da estufa. Com isso, é possível utilizar a energia solar disponível para aquecer o ambiente interno da estufa até temperaturas compatíveis com a vida das plantas que se deseja cultivar.

Figura 7.1: Localizada no Jardim Botânico Real, em Londres, na Inglaterra, essa imensa estufa foi construída entre 1844 e 1848. Ela se encontra em funcionamento até hoje e abriga uma extensa amostra de habitats característicos de florestas tropicais. Fonte: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Kew.gardens.palm.house.london.arp.jpg. Autor: Adrian Pingstone, Jun 2005. Domínio público. Acesso em 18 de mar. 2020.

Um conjunto de fenômenos físicos que permite que a atmosfera terrestre seja aquecida pela radiação solar foi denominado *efeito estufa*, por causa da semelhança entre o aumento de temperatura causado pela presença da atmosfera e aquele produzido nas estufas. Essas semelhanças são, no entanto, superficiais, já que o aquecimento da atmosfera ocorre por processos diferentes e mais complexos do que o das estufas.

No efeito estufa propriamente dito, uma parte do calor vinda da superfície da terra é impedida de ser liberada para o espaço, sendo absorvida por gases e vapor d'água presentes na atmosfera e, posteriormente, liberada em todas as direções. A parte liberada em direção à superfície acaba retida no sistema, resultando no aquecimento do planeta (**Figura 7.2**). Quando existe um equilíbrio entre a energia solar incidente e a energia refletida na forma de calor pela superfície terrestre, o clima se mantém praticamente inalterado.

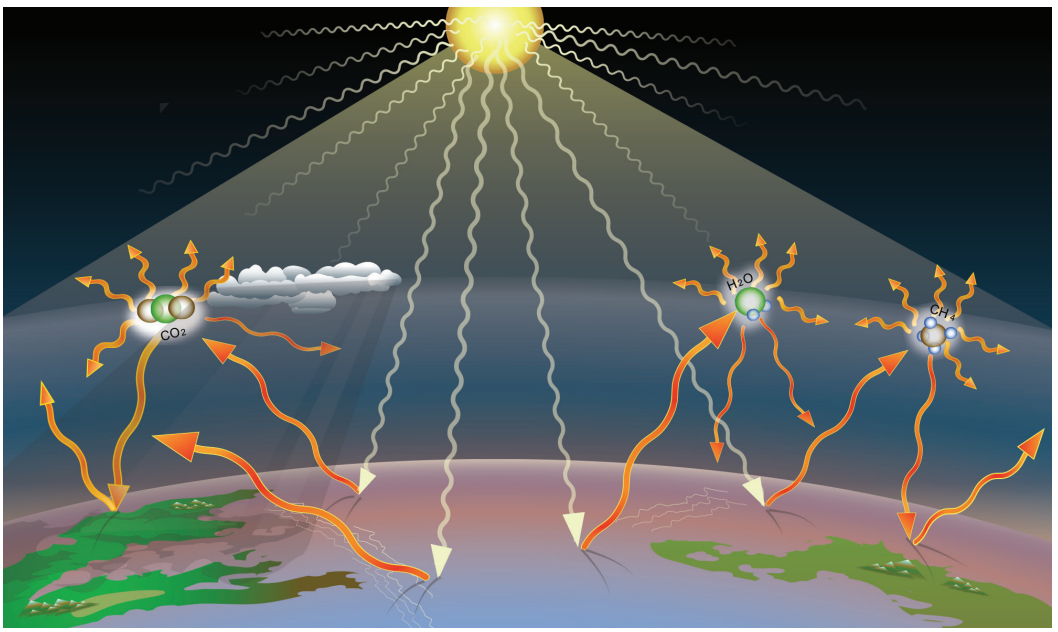


Figura 7.2: A terra recebe energia do sol na forma de ultravioleta, luz visível e infravermelho. Uma parte dessa energia é refletida de volta para o espaço, outra parte é absorvida pelo ar e pelas nuvens e uma terceira parte (setas brancas) é absorvida pela superfície do planeta. A energia absorvida pela superfície é convertida em radiação infravermelha (setas laranja) e emitida de novo para a atmosfera, sendo capturada pelas moléculas de água, CO_2 e CH_4 (metano). Essas moléculas irradiam o calor absorvido em todas as direções (setas laranja), e a parte irradiada para baixo é absorvida novamente pela superfície, mantendo o aquecimento do planeta. Fonte: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Greenhouse-effect-t2.svg. Autor: A loose necktie. CC BY-SA 4.0. Acesso em: 26 nov. 2020.

A presença de alguns gases e do vapor d'água na atmosfera mantém a temperatura da Terra em níveis estáveis e torna o planeta habitável. Caso não existisse o efeito estufa, a temperatura do planeta seria cerca de 30ºC mais baixa do que é hoje.

Nem todos os gases presentes na atmosfera produzem o efeito estufa. O nitrogênio e o oxigênio, os dois mais abundantes, praticamente não atuam nesse mecanismo. Embora as contribuições de cada componente ainda sejam objeto de discussão, é certo que os gases mostrados

na **Tabela 7.1** são os principais responsáveis pelo fenômeno. Se a concentração deles aumenta, o efeito estufa também o faz.

Tabela 7.1: Estimativa da contribuição de diferentes componentes da atmosfera para o efeito estufa.

Componente	Contribuição para o efeito estufa	
	mínima	máxima
vapor d'água	36%	70%
CO_2	9%	26%
metano	4%	9%
ozônio	3%	7%

lá na plataforma

Quer entender melhor como funciona o efeito estufa no nosso planeta? Acesse a plataforma e assista um vídeo sobre o assunto.

Aquecimento global e mudanças climáticas

Embora o efeito estufa seja um processo físico natural e necessário à vida, ele tem sido desequilibrado em tempos recentes pelo homem, gerando graves consequências para o equilíbrio dos ecossistemas e, por extensão, para a sociedade humana. Esse desequilíbrio recente se deve ao aumento da concentração de gases do efeito estufa (GEE) na atmosfera, produzidos continuamente e em grande escala por determinadas atividades humanas. Com o aumento da concentração desses gases na atmosfera, parte da energia que deveria ser irradiada para o espaço fica retida na Terra, ocasionando um aumento da temperatura terrestre, fenômeno conhecido como aquecimento global.

O fenômeno do aquecimento global, portanto, é consequência do aumento da intensidade do efeito estufa até níveis que os cientistas afirmam serem perigosos para muitos ecossistemas e formas de vida do planeta, bem como para as sociedades humanas em geral.

A **Figura 7.3** mostra o aumento dos gases do efeito estufa na atmosfera a partir de 1750, década que corresponde ao início da revolução industrial.

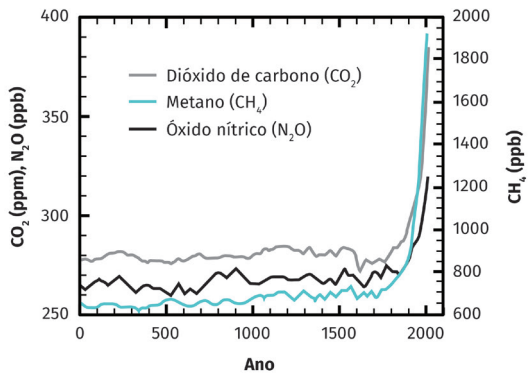


Figura 7.3: Concentrações de gases do efeito estufa até 2005. As unidades de concentração utilizadas são partes por milhão (ppm) e partes por bilhão (ppb). Fonte: https://nca2009.globalchange.gov/2000-years-greenhouse-gas-concentrations/index.html (adaptado, Foster et al, Blasing). Acesso em: 4 jun. 2020.

As relações do aumento desses gases com o consumo de quantidades maciças de combustíveis fósseis (inicialmente o carvão e posteriormente também os derivados do petróleo) e com o aumento da atividade industrial no mundo são algumas das evidências mais fortes de que as mudanças na atmosfera (e suas consequências) são causadas pelas atividades humanas.

De acordo com os dados recolhidos pelo IPCC (sigla em inglês para Painel Intergovernamental sobre as Mudanças Climáticas), o aquecimento global decorre de um conjunto complexo de fatores. A maioria deles tem em comum o fato de serem consequências de ações das sociedades humanas contemporâneas, ou seja, embora o efeito estufa e as mudanças climáticas sejam fenômenos naturais, o aquecimento global e as dramáticas alterações climáticas observadas nos últimos séculos estão relacionados essencialmente à forma como a sociedade humana explora os recursos naturais – baseada no consumo excessivo e no desperdício – e ao crescimento populacional. Em um dos seus documentos de síntese, o IPCC destacou as seguintes causas antrópicas para o aumento do efeito estufa, que leva às alterações climáticas recentes:

1. o uso de combustíveis fósseis para locomoção (gasolina, óleo diesel, querosene de aviação e carvão), o aquecimento residencial e industrial (óleo e carvão) e a produção de cimento e outros manufaturados aumentam as concentrações atmosféricas de dióxido de carbono (CO_2) na atmosfera.

2. o desflorestamento aumenta as concentrações de CO_2 pela queima de vegetação e reduz sua retirada da atmosfera, que ocorreria por meio da fotossíntese no caso de ecossistemas que ainda não atingiram o último estágio na **sucessão ecológica**.

3. os aterros sanitários (onde ocorre decomposição anaeróbica de matéria orgânica), o uso de gás natural como combustível e as atividades agropecuárias aumentam as concentrações de metano na atmosfera. Atualmente essas concentrações estão estabilizadas, porém em níveis muito elevados.

4. o uso de fertilizantes químicos nitrogenados contribui para a liberação de óxido nitroso.

sucessão ecológica

sequência de comunidades que se estabelecem em um ambiente, desde a colonização até a comunidade clímax.

5. a refrigeração industrial libera gases sintéticos, como os clorofluorcarbonetos (CFC), os hidrofluorcarbonetos (HFC) e o hexafluoreto de enxofre (SF_6), que apresentam potencial de aquecimento global altíssimo, chegando a índices milhares de vezes superiores ao do gás carbônico.

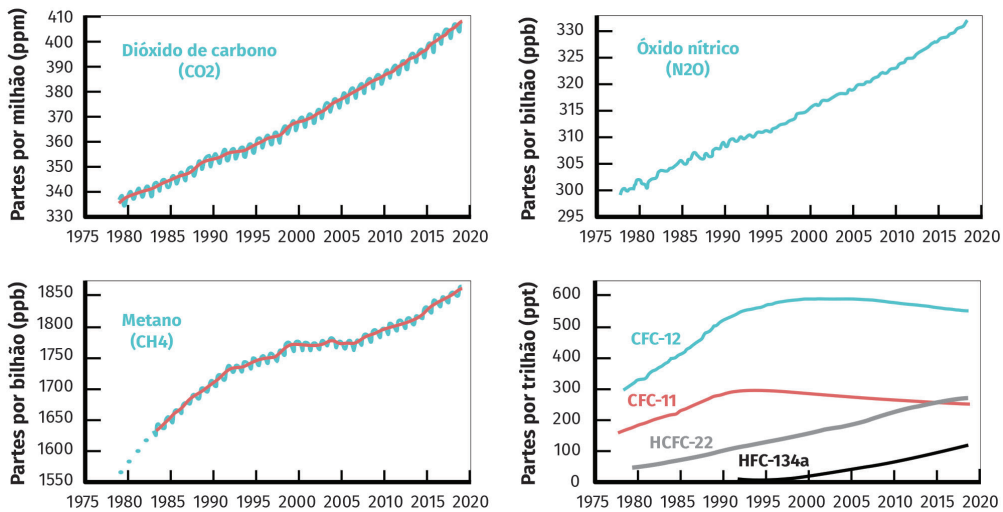


Figura 7.4: Curvas de concentração na atmosfera de gases do efeito estufa no período 1975-2020. Fonte: https://pt.wikipedia.org/wiki/Aquecimento_global#/media/Ficheiro:Major_greenhouse_gas_trends.png (adaptado). National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA), domínio público. Acesso em: 3 jun. 2020.

Os gráficos da **Figura 7.4** mostram as concentrações crescentes desses gases na atmosfera a partir de 1975. O aumento da temperatura média decorrente dos fatores mencionados nos itens 1 a 5, acima, tende a gerar, ainda, aumento na quantidade de vapor d'água na atmosfera, intensificando o processo de aquecimento global, já que o vapor contribui em grande parte para o efeito estufa (**Tabela 7.1**).

A expressão mudança climática abrange um leque amplo de fenômenos que inclui, além do aquecimento global, alterações nos índices pluviométricos (quantidade de chuvas), nos níveis dos oceanos, nos regimes de ventos e até mesmo de correntes marinhas.

Algumas dessas mudanças poderão ocorrer a longo prazo, outras já podem ser observadas atualmente. Em muitas regiões do planeta, as geleiras recuaram dezenas ou mesmo centenas de metros, chegando a desaparecer em alguns casos. Desde 1979, imagens de satélite mostram um declínio dramático na extensão do gelo no Ártico, a uma velocidade de 4% por década, levando a uma redução do habitat de espécies endêmicas de animais.

Os oceanos podem, também, ser extremamente afetados. Com o aumento do CO_2 emitido na atmosfera, há um avanço da captura desse gás pelos oceanos. Estima-se que os oceanos absorvam cerca de 25 milhões de toneladas de CO_2 por dia. Como resultado, a água próxima da superfície do oceano está mais ácida. O modo como esse aumento de acidez afeta as espécies marinhas ainda é desconhecido, porém já se sabe que o aumento da acidez da água reduz a ca-

pacidade de calcificação dos corais. A esse problema juntam-se o processo de branqueamento e a morte dos corais causados pelo aumento da temperatura da água do mar. A destruição dos corais afeta a cadeia alimentar nos oceanos, reduzindo a disponibilidade de alimentos para invertebrados e peixes, com impacto na pesca e, consequentemente, na disponibilidade de alimento para as populações humanas. A elevação do nível dos oceanos, devido ao degelo e às mudanças em índices pluviométricos, poderá afetar ecossistemas costeiros, importantes para a produtividade dos oceanos, tais como os manguezais, ou até levar ao desaparecimento deles.

#lá na plataforma

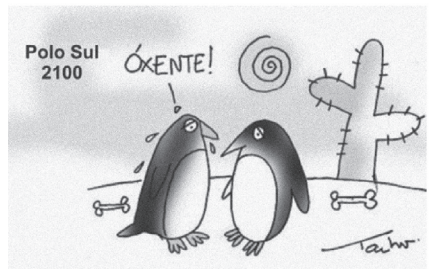
Você provavelmente já ouviu falar em buraco na camada de ozônio. Será que esse fenômeno tem relação com o aquecimento global? ***A resposta é não!*** *Acesse a plataforma e saiba mais sobre a camada de ozônio e sua importância para os seres vivos.*

Resumo

- O efeito estufa é um fenômeno natural produzido na atmosfera por gases, como o vapor de água e o gás carbônico.
- O efeito estufa é fundamental para a existência e a manutenção da vida no planeta.
- O aquecimento global é a elevação da temperatura do planeta devido à intensificação do efeito estufa.
- Ações antrópicas, tais como queimadas, desmatamento, uso de combustíveis fósseis, pecuária e agricultura aumentam as concentrações de gases do efeito estufa na atmosfera e são responsáveis pelo aquecimento global.

Atividade

(ENEM, 2009 / Reprodução)



Fontes: clickdigitalsj.com.br; http://conexaoambiental.zip.net/images/charge.jpg. Acesso em: 9 jul. 2009.

Reunindo-se as informações contidas nas duas charges, infere-se que:

a) os regimes climáticos da Terra são desprovidos de padrões que os caracterizem.

b) as intervenções humanas nas regiões polares são mais intensas que em outras partes do globo.

c) o processo de aquecimento global será detido com a eliminação das queimadas.

d) a destruição das florestas tropicais é uma das causas do aumento da temperatura em locais distantes como os polos.

e) os parâmetros climáticos modificados pelo homem afetam todo o planeta, mas os processos naturais têm alcance regional.

Resposta comentada

Acesse a plataforma e encontre a resolução comentada desta atividade.

Referências

IPCC. *Technical Summary*. 2019. Disponível em: *https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/sites/3/2019/11/04_SROCC_TS_FINAL.pdf*. Acesso em: 4 jun. 2020.

U.S. Global Change Research Program. *Global Climate Change Impacts in the United States*. 2009. Disponível em: *https://nca2009.globalchange.gov/2000-years-greenhouse-gas-concentrations/index.html*. Acesso em: 4 jun. 2020.

Saúde, ambiente, e mudanças climáticas

08

meta

Apresentar as relações entre saúde humana, ambiente e mudanças climáticas.

objetivos

Esperamos que, ao final desta unidade, você seja capaz de:

- caracterizar doenças emergentes e reemergentes;
- identificar os ciclos de transmissão das doenças infecciosas mediados por vetores biológicos e mecânicos (ambientais);
- identificar os fatores socioambientais que intervêm no surgimento e na disseminação de novas doenças, e no reaparecimento de doenças controladas ou erradicadas.

Introdução

Alterações climáticas podem agravar as condições de saúde humana de diferentes maneiras, seja pela produção de desastres, como inundações, ondas de calor, secas e queimadas, seja aumentando a incidência de doenças infecciosas e outras não transmissíveis, devido a alterações no ambiente. Aliadas à degradação ambiental pelas atividades humanas e à precarização dos serviços públicos (saúde, saneamento básico, educação), as mudanças climáticas levam ao agravamento dos problemas de saúde de amplas parcelas da população, em particular daquelas mais pobres nas cidades e no campo.

Doenças emergentes e reemergentes

Doença emergente é o surgimento ou a identificação de um novo problema de saúde ou de um novo agente infeccioso ou de micro-organismo que só atingia animais e que agora afeta também seres humanos. Já as doenças reemergentes são aquelas decorrentes da mudança no comportamento epidemiológico de doenças já conhecidas, que haviam sido controladas, mas que voltaram a representar ameaça à saúde humana.

Mais de 60% das doenças infecciosas do mundo são partilhadas entre humanos e animais. São as chamadas *zoonoses*. No século atual, emergiram ou reemergiram uma série de doenças infecciosas ou parasitárias, com destaque para parasitoses (tripanossomíases), ebola, dengue, chikungunya, zika, febre amarela, tuberculose, sarampo, varíola, HIV/AIDS, gripes (influenzas humana, aviária ou suína) e, mais recentemente, a COVID-19. A maioria dessas doenças são zoonoses.

A transmissão de zoonoses para o homem pode ocorrer de forma direta ou indireta. Na forma direta, acontece pelo contato com secreções (saliva, sangue, urina, fezes) ou contato físico (arranhaduras e mordeduras). A forma indireta ocorre por meio de vetores, como insetos e outros invertebrados, ou pelo consumo de alimento contaminado com o agente causador.

A degradação ambiental, forçando migrações de populações de espécies selvagens que muitas vezes invadem áreas habitadas pelo homem em busca de novos locais de abrigo e alimento, o crescente comércio de espécies selvagens exóticas, as mudanças no uso da terra, como desmatamento, urbanização desordenada e conversão para a agricultura, as mudanças climáticas, as secas e as inundações são fatores que vêm facilitando o surgimento de novas doenças e a alteração no comportamento epidemiológico de doenças antigas.

Algumas doenças infecciosas, como o sarampo, já haviam sido controladas ou mesmo erradicadas no século XX em alguns países, graças aos programas de vacinação. Até o final dos anos 70, o sarampo, uma doença viral com altas taxas de mortalidade entre crianças até 5 anos, era uma das principais causas de óbito devido às suas complicações. No Brasil, a partir da década de

1980, começou a ocorrer uma queda gradual no número de casos com a implantação do Plano Nacional de Eliminação do Sarampo, que levou ao aumento da cobertura vacinal. Em 2016, o Brasil chegou a receber o certificado de erradicação da doença fornecido pela Organização Pan-Americana de Saúde. Entretanto, em 2019, o país perdeu o certificado a partir do registro de novos casos surgidos em 2018 na região norte do país e, posteriormente, em 23 estados em 2019. Em 2020, o sarampo continuou avançando no Brasil em meio à pandemia de COVID-19.

Para garantir a proteção contra um determinado patógeno (agente causador de doença), a Organização Mundial de Saúde recomenda que a taxa de cobertura da vacinação para menores de 1 ano de idade seja de 95%. Nos países em que se consegue manter um alto índice de vacinação, a incidência da doença é baixa, pois os vírus só se reproduzem no interior de células de indivíduos não imunizados. Entretanto, no Brasil e em outros países, a taxa de cobertura vem caindo em razão de múltiplos fatores, dentre os quais a redução e a precarização dos serviços públicos de saúde e de vigilância epidemiológica, e o crescimento de movimentos antivacina e de negação de evidências científicas. O aumento do número de crianças não vacinadas faz com que a doença se alastre, permitindo que o vírus continue circulando no mundo.

#lá na plataforma

Descubra mais sobre doenças emergentes e reemergentes lá na plataforma.

Doenças e mudanças climáticas

Doenças infecciosas transmitidas por vetores são aquelas em que o agente causador (patógeno) precisa de um intermediário (vetor) para ser transmitido de uma pessoa para outra. De forma geral, o ciclo biológico de um parasita (agente etiológico ou causador) que é transmitido por um vetor envolve uma fase de permanência em algum(s) tecido(s) do vetor e outra fase em uma ou mais células do hospedeiro definitivo (homem). A **Figura 8.1** mostra um esquema geral do ciclo biológico de um parasita transmitido para o homem por um vetor.

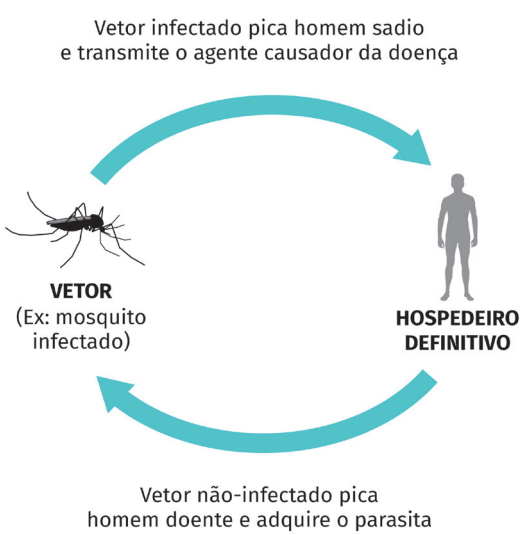


Figura 8.1: Ciclo biológico generalizado de um parasita transmitido por vetor. Esse ciclo, de forma geral, envolve uma fase de permanência em algum(s) tecido(s) do vetor e outra em uma ou mais células do hospedeiro definitivo (homem).

Esses vetores podem ser mosquitos, pulgas, carrapatos, percevejos, ratos, entre outros. As doenças transmitidas por eles são limita-

das por diversos fatores ambientais, como temperatura, umidade e vegetação, que interferem no ciclo de vida desses animais. Mudanças no regime de chuvas e aumento da temperatura média, por exemplo, afetam diretamente os ecossistemas, podendo levar à expansão das áreas de transmissão dessas doenças por meio de:

1. criação de novos ambientes, com temperatura e umidade adequadas à sobrevivência e à reprodução de insetos vetores de doenças que não existiam nessas áreas;

2. extinção de espécies endêmicas com capacidade de controlar populações de potenciais vetores (por meio da predação, competição ou parasitismo);

3. favorecimento da reprodução dos patógenos e de sua transmissão devido à elevação da taxa metabólica dos vetores.

Essas doenças são, atualmente, um dos principais problemas de saúde pública nos países de clima tropical. Embora fatores climáticos atuem no desencadeamento de epidemias, os principais fatores de ressurgimento dessas doenças são socioeconômicos, como as migrações, a densidade populacional nas cidades e a ineficácia das políticas públicas de controle dos vetores. A dengue, por exemplo, cujo vetor (*Aedes aegypti*) havia sido eliminado no Brasil nos anos de 1950 e 1960, após os esforços de erradicação da febre amarela, que é transmitida pelo mesmo vetor, ressurgiu em 1982. A malária continua sendo um problema grave na África, no sudeste asiático e na região amazônica de países da América do Sul, e a febre amarela ressurgiu no Brasil em regiões urbanas após décadas de erradicação.

#lá na plataforma

Quer conhecer o ciclo biológico de algumas doenças transmitidas por vetores, como dengue, malária, esquistossomose e doença de chagas? Dê uma olhada lá na plataforma e aprenda um pouco mais sobre elas!

Um grupo de doenças infecciosas, que também podem ser afetadas por mudanças climáticas, é aquele cuja transmissão está associada à água. O aumento do índice de pluviosidade, por exemplo, pode ocasionar inundações, que têm o potencial de contaminar lençóis freáticos e reservatórios de água aumentando os riscos de contato da população com agentes infecciosos causadores de hepatite A, leptospirose, gastroenterite, entre outras. O controle dessas doenças é realizado principalmente por ações de saneamento básico que incluem as redes de tratamento e de abastecimento de água, além das de coleta e tratamento de esgotos.

A **Figura 8.2** mostra o esquema geral de transmissão de doenças infecciosas através da água ou de alimentos contaminados.

Figura 8.2: Ciclo biológico generalizado de um parasita transmitido através da água ou de alimentos contaminados.

Resumo

- Doenças emergentes advêm do surgimento ou da identificação de um novo problema de saúde ou de um novo agente infeccioso ou de micro-organismos que só atingiam animais e que agora afetam também seres humanos.
- Doenças reemergentes são aquelas em que ocorre mudança no comportamento epidemiológico de doenças já conhecidas, que haviam sido controladas, mas voltaram a representar ameaça à saúde humana.
- A maior parte das doenças emergentes e reemergentes são zoonoses, isto é, são doenças partilhadas entre humanos e outros animais.
- A degradação ambiental, o comércio de espécies selvagens exóticas, as mudanças no uso da terra e os fatores socioeconômicos facilitam o surgimento de novas doenças e o ressurgimento ou a mudança de padrão de doenças já controladas.
- A cobertura vacinal acima de 95% é fundamental para a redução da incidência de doenças reemergentes para as quais existem vacinas, pois os vírus só se reproduzem em células de indivíduos não imunizados.
- O ressurgimento de doenças transmitidas por vetores se deve principalmente a fatores socioeconômicos, como as migrações, a densidade populacional nas cidades e a ineficácia das políticas públicas de controle dos vetores.
- Mudanças climáticas podem levar à expansão das áreas de transmissão de doenças transmitidas por vetores cujo ciclo de vida é limitado por diversos fatores ambientais, como temperatura, umidade e vegetação.
- Mudanças climáticas podem levar ao aumento de casos de doenças cuja transmissão está relacionada à água e cujo controle ocorre por meio de ações de saneamento básico.

Atividade

(UFPI, 2013 / Adaptada) Sobre as doenças emergentes e reemergentes, não é correto afirmar que:

a) Entre os fatores determinantes da emergência e reemergência das doenças infecciosas, destacam-se os demográficos, sociais, políticos, ambientais e ainda as mudanças e adaptações dos microrganismos.

b) A intensificação da aglomeração urbana, especialmente nas periferias das grandes cidades, associada ao saneamento inadequado, à habitação precária e à proliferação de vetores decorrente das agressões ao meio ambiente são fatores demográficos relevantes para o ressurgimento de muitas doenças.

c) Entre as doenças reemergentes, uma delas se destaca nos dias e cenários atuais, a dengue, pois já haviam ocorrido surtos nos anos de 1982 e 1986, com redução da ocorrência nos anos subsequentes, e o ressurgimento de novos surtos nos últimos anos com as formas mais graves da doença, como a febre hemorrágica.

d) A Aids, por ter sido identificada pela primeira vez no Brasil em 1980, não pode mais ser considerada uma doença emergente e reemergente.

e) Doenças infecciosas emergentes e reemergentes são aquelas cuja incidência em humanos vem aumentando nas últimas duas décadas ou ameaça aumentar num futuro próximo.

Resposta comentada

Acesse a plataforma e encontre a resolução comentada desta atividade.

Referências

BARCELLOS, C.; MONTEIRO, A. M. V.; CORVALÁN,C.;GURGEL, H. C.; CARVALHO, M. S.; ARTAXO, P.; HACON, S.; RAGONI, V. Mudanças climáticas e ambientais e as doenças infecciosas: cenários e incertezas para o Brasil. *Epidemiologia e Serviços de Saúde*, Brasília, v. 18, n. 3, set. 2009. Disponível em: *http://dx.doi.org/10.5123/S1679-49742009000300011*. Acesso em: 22 jul. 2020.

CENTRO DE CONTROLE DE ZOONOSES DA UFPEL. *Introdução às zoonoses*. DOI: *https://doi.org/10.1590/51982-45131009000300003*. Disponível em: *https://wp.ufpel.edu.br/ccz/apresentacao-2/o-que-sao-zoonoses/*. Acesso em: 31 jul. 2020.

MENDONÇA, F. A.; SOUZA, A. V., DUTRA, D. A. Saúde pública, urbanização e dengue no Brasil. *Sociedade e Natureza*, Uberlândia, v. 21, n. 3, dez. 2009.

MINISTÉRIO DA SAÚDE. *Brasil recebe certificado de eliminação do sarampo*. Disponível em: *https://www.saude.gov.br/noticias/agencia-saude/25846-brasil-recebe-certificado-de-eliminacao-do-sarampo*. Acesso em: 31 jul. 2020.

PAZ, F. A. Z.; BERCINI, M. A. Doenças Emergentes e Reemergentes no Contexto da Saúde Pública. *Boletim de Saúde*, ESP/RS, v. 23, n. 1, jan./jun. 2009. Disponível em: *http://www.boletimdasaude.rs.gov.br/conteudo/1441/doen%C3%A7as-emergentes-e-reemergentes-no-contexto-da-sa%C3%Bade-p%C3%Bablica-*. Acesso em: 20 ago. 2020.

ZANELLA, J. R. C. Zoonoses emergentes e reemergentes e sua importância para saúde e produção animal. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v. 51, n. 5, p. 510-519, maio 2016. Disponível em: *https://www.scielo.br/j/pab/a/LjPRt7VpRQdW3cWTY3KZ4Pj/?lang=pt&format=pdf*. Acesso em: 20 ago. 2020.

Evolução

09

meta

Apresentar os princípios gerais da evolução e a seleção natural.

objetivos

Esperamos que, ao final desta unidade, você seja capaz de:

- diferenciar as explicações propostas por Darwin e Lamarck para a evolução das espécies;
- reconhecer os princípios gerais da evolução;
- explicar a seleção natural.

Introdução

Você já parou para pensar por que os seres vivos se apresentam em tamanha diversidade de formas? Por que eles mudam ao longo do tempo? Cerca de dois séculos atrás, pessoas que se dedicavam ao estudo da natureza já se faziam essas perguntas. Nada mais natural que indagarmos: de onde vem toda essa diversidade? Como surgiram tantos seres diferentes?

No ocidente, até metade do século XVIII, os naturalistas e demais pesquisadores acreditavam que toda variedade de seres vivos que habita a Terra correspondia exatamente àqueles organismos criados por Deus, tal como se apresentam hoje. Segundo essa concepção, Deus havia criado as espécies uma por uma, e a diversidade com que nos deparamos seria o testemunho do seu poder criador. Pensava-se ainda que, uma vez criadas, as espécies jamais se transformariam. Essa ideia ficou conhecida como *fixismo*.

A partir do século XIX, quando aumentou o interesse pelas ciências naturais, alguns estudiosos começaram a questionar a imutabilidade das espécies. Várias observações, oriundas de estudos comparativos da anatomia dos organismos, da paleontologia e da biologia do desenvolvimento, entre outros, foram importantes para desafiar a visão fixista e desenvolver as ideias evolucionistas. Os evolucionistas acreditavam numa transformação das espécies no decorrer do tempo, originando novas espécies, o que levava a uma outra questão: se as espécies se transformam ao longo do tempo, que mecanismo explica esse processo de evolução?

Nesta unidade, discutiremos duas teorias que surgiram para responder a essa questão: a primeira, proposta pelo naturalista francês Jean Baptiste Lamarck, e a segunda, por Charles Darwin e Alfred Wallace, ambos naturalistas ingleses.

lá na plataforma

Conheça as evidências da evolução das espécies visitando a plataforma.

As ideias de Lamarck

O naturalista francês Jean Baptiste Pierre Antoine de Monet, le Chevalier de Lamarck (1744-1829), foi um dos pioneiros a propor uma teoria completa de evolução. Sua teoria foi publicada em 1809 (ano em que Darwin nasceu) no livro intitulado *Filosofia zoológica*.

Lamarck defendia a ideia de que formas de vida simples, chamadas de *germes*, podiam surgir espontaneamente de matéria gelatinosa inanimada, pela ação de fenômenos naturais. Esses

germes, por sua vez, podiam dar origem a seres mais complexos, plantas e animais, por transformações progressivas e contínuas ao longo de gerações sucessivas durante um longo espaço de tempo.

Para ele as espécies não se extinguiam. Animais como os dinossauros, por exemplo, desapareceram não por extinção, mas porque evoluíram se transformando, lenta e continuamente, ao longo do tempo, em espécies diferentes. Os organismos estariam bem adaptados ao ambiente em que vivem devido à capacidade inata dos seres vivos de reagir às mudanças ambientais em direção a uma maior complexidade e perfeição. Lamarck não propunha a existência de ancestrais comuns a espécies diferentes. Cada linhagem existente no presente teria tido origem em um evento independente de geração espontânea no passado, de tal forma que organismos mais complexos teriam tido mais tempo para evoluir e se aperfeiçoar, pois seriam descendentes de linhagens mais antigas. A **Figura 9.1** ilustra essa ideia.

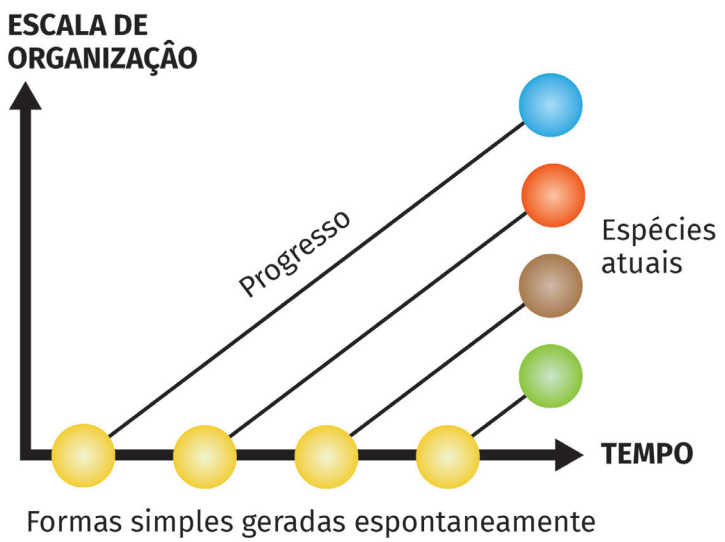


Figura 9.1: Eventos independentes de geração espontânea, ao longo do tempo, produziriam linhagens que evoluiriam progressivamente em direção ao aumento de complexidade. Fonte: Rosana Tidon, em https://www.researchgate.net/publication/262256417_A_teoria_evolutiva_de_Lamarck (adaptado).

Para explicar o surgimento de novas características ao longo da evolução, Lamarck propôs que alterações no ambiente provocariam uma mudança nas necessidades dos organismos que vivem naquele ambiente, levando ao desenvolvimento de novos hábitos e comportamentos. Um novo comportamento levaria ao maior ou menor uso de determinados órgãos ou estruturas, que poderiam, ao longo do tempo, se desenvolver ou se atrofiar. As adaptações dos organismos, portanto, seriam causadas pelo esforço de satisfazer às novas necessidades impostas pela mudança do ambiente.

Lamarck usou muitos exemplos da natureza para explicar o mecanismo do uso e desuso na transformação dos seres vivos ao longo do tempo. Segundo ele, os ancestrais das cobras teriam tido pernas e corpos curtos. Quando o ambiente em que viviam se modificou, esses animais

precisaram rastejar pelo solo e distender seus corpos para passar por aberturas estreitas e por isso suas pernas, além de não terem mais utilidade, ainda atrapalhavam o rastejar. Durante um longo período de desuso, ao longo de muitas gerações sucessivas, as pernas foram se atrofiando até desaparecerem, enquanto os corpos foram se tornando mais e mais alongados.

A lei do uso e desuso também poderia ser aplicada às plantas. Se, em uma região, a intensidade das chuvas diminuísse, as plantas passariam a ter necessidade de conservar água. Ao longo de muitas gerações, à medida que essa região ficasse mais seca, as plantas iriam desenvolvendo, lenta e gradualmente, características cada vez mais eficientes para economizar água, como a transformação das folhas em espinhos, por exemplo. Dessa maneira, teriam surgido as plantas típicas de regiões desérticas, como os cactos, capazes de armazenar grandes quantidades de água.

Na época de Lamarck, era amplamente difundida e aceita pelos naturalistas a ideia de que tudo o que fosse adquirido ou mudado na organização estrutural dos indivíduos, no decorrer da sua vida, poderia ser transmitido aos descendentes em determinadas situações, por exemplo, desde que essas mudanças adquiridas fossem comuns aos dois sexos. Assim, ele incorporou à sua teoria essa ideia, que ficou conhecida como *lei da herança dos caracteres adquiridos*. É importante destacar que, na época de Lamarck, as leis que regem a transmissão das características de uma geração para outra não eram conhecidas. O quadro a seguir resume os quatro princípios da Teoria de Lamarck.

PRINCÍPIOS DA TEORIA DE LAMARCK
1. Ocorrência frequente de geração espontânea
2. Lei do uso e do desuso
3. Herança dos caracteres adquiridos
4. Aumento da complexidade e progresso

Fonte: Rosana Tidon em https://www.researchgate.net/publication/262256417_A_teoria_evolutiva_de_Lamarck

A grande importância do trabalho de Lamarck está no fato de ele ter sido um dos primeiros naturalistas a propor uma teoria para a evolução das espécies e chamar a atenção para o fenômeno da adaptação, mostrando que as formas dos seres vivos estão bem adaptadas em relação ao ambiente em que vivem.

As ideias de Darwin

Aos 22 anos, 2 anos após a morte de Lamarck, o inglês Charles Darwin (1809-1882) embarcou como naturalista no navio H. M. S. Beagle, que iria empreender uma viagem ao redor do mun-

do, a qual durou cinco anos. Darwin levou o primeiro volume dos *Princípios de Geologia*, de Charles Lyell, publicado em 1830. A maioria dos geólogos da época era a favor da teoria das catástrofes, isto é, eles viam a história geológica da Terra como uma série de sucessivas catástrofes com períodos intercalados de poucas mudanças. Lyell não aceitava esse ponto de vista e sugeria um processo mais gradual de alterações contínuas, efetuadas pelos mesmos agentes que podiam ser vistos atuando sobre as rochas no presente, como as ondas e os ventos, por exemplo. Essas ideias tiveram um efeito duradouro sobre Darwin.

Em 1835, quando o Beagle visitou o arquipélago das Galápagos, Darwin, impressionado com a fauna e a flora do local, deixou de se interessar pela geologia e passou a desenvolver um grande interesse pela biologia. Em 1836, de volta à Inglaterra, ele estava de posse de uma imensa quantidade de informações sobre plantas e animais. Começou, então, a coletar todos os fatos conhecidos e, de algum modo, relacionados com a variação de animais e plantas, domesticados ou em estado natural, que poderiam ser usados para apoiar a teoria da evolução das espécies.

Uma observação que chamou a atenção de Darwin foi realizada numa das ilhas Galápagos, durante a viagem no Beagle. Ao estudar certos pássaros encontrados nelas, ficou impressionado com a notável semelhança entre as cerca de 14 espécies que lá viviam. Cada espécie se distinguia da outra apenas pelo tipo de bico. Os que viviam no solo, por exemplo, tinham bicos fortes e largos, excelentes para partir sementes, seu principal alimento. Os que viviam nas árvores tinham bicos curtos e espessos e se alimentavam principalmente de insetos. Entre estes havia uma espécie de bico muito longo e reto, semelhante ao do pica-pau, mas, não tendo a língua longa desta ave, usava um espinho de cacto ou um pequeno ramo para cavoucar os troncos das árvores à procura de besouros ou de outros insetos escondidos. O bico de uma outra variedade era fino e alongado, como o das aves canoras. As similaridades entre essas espécies, que se diferenciavam principalmente pelo formato do bico, levaram Darwin a pensar na possibilidade de essas espécies terem se originado de um ancestral comum. Porém, a questão central permanecia: se a evolução ocorria, qual era o mecanismo responsável por ela?

Acredita-se que Darwin leu o ensaio do economista Thomas Malthus sobre populações: *An Essay on Population*. Nele, Malthus defendia a ideia de que as populações humanas cresceriam muito mais rapidamente do que a capacidade de o homem produzir alimentos necessários para alimentá-la, levando as pessoas a uma intensa luta pela existência, trazendo fome, doenças e guerra. Segundo Malthus, a população humana crescia em **progressão geométrica (PG)**, enquanto a produção de alimentos tendia a crescer em **progressão aritmética (PA)**.

progressão geométrica

sucessão de termos em que cada termo é igual ao anterior multiplicado por um valor constante. Por exemplo, a sequência 3, 6, 12, 24, 48...

progressão aritmética

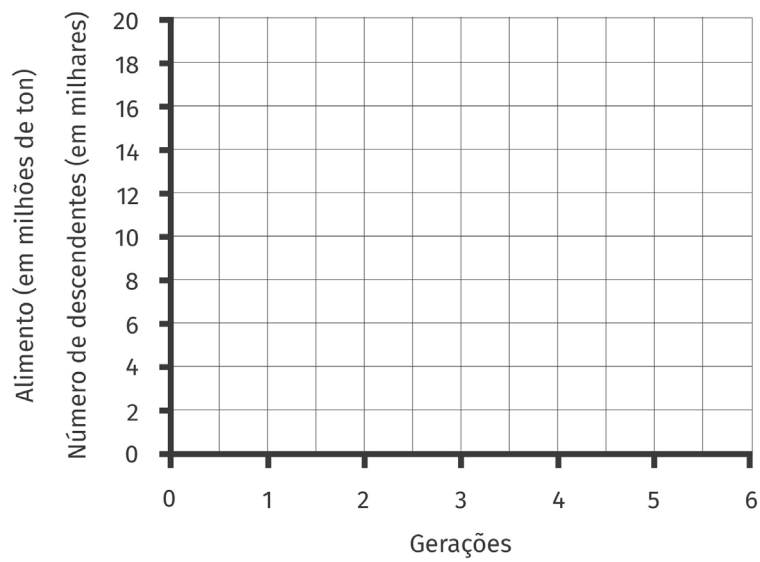
sucessão de termos em que cada termo é igual ao anterior somado a um valor constante. Por exemplo, a sequência 3, 5, 7, 9, 11...

Para entender melhor a teoria de Malthus, vamos construir um gráfico do crescimento de uma população e dos alimentos de acordo com as ideias propostas por ele.

Suponha que uma determinada população seja formada inicialmente por 1000 indivíduos e que ela dobre a cada geração. Registre o número de indivíduos a cada geração no **Gráfico 8.1.** Em seguida, suponha que essa população disponha

inicialmente de uma quantidade de alimento igual a 3 milhões de toneladas e que a produção de alimentos aumente, a cada geração, de um valor igual a 2 milhões de toneladas. Registre a quantidade de alimento disponível a cada geração no **Gráfico 9.1**.

Gráfico 9.1: Crescimento populacional e disponibilidade de alimentos de acordo com a teoria malthusiana.



Compare o aumento da quantidade de alimentos disponível com o aumento da população. Os dois crescem na mesma velocidade?

Supondo que 2 milhões de toneladas de alimentos sejam suficientes para alimentar 1000 indivíduos em cada geração, o que acontecerá com essa população à medida que o tempo passa? Para responder a essa questão, complete a **Tabela 9.1** a seguir:

Tabela 9.1: Crescimento populacional, disponibilidade e necessidade de alimentos de acordo com a teoria malthusiana

Geração	Nº de pessoas	Produção de alimentos (milhões de ton)	Necessidade de alimentos (milhões de ton)
0	1000	3	2
1	2000		
2			
3			
4			
5			
6			

lá na plataforma

Graças ao desenvolvimento da tecnologia e da produção agrícola, as previsões de Malthus foram contrariadas no século XX. Entre lá na plataforma e entenda mais sobre a produção de alimentos e a população humana atualmente.

As hipóteses de Malthus sobre o crescimento populacional humano influenciaram Darwin, que propôs um possível mecanismo para a evolução. Note que a curva relativa ao crescimento da população apresentada no **Gráfico 9.1** representa bem o conceito de potencial biótico, discutido anteriormente em ecologia.

De acordo com Darwin, todas as espécies têm potencialidade para aumentar em progressão geométrica de geração para geração (afirmação esta semelhante à que Malthus fez para a população humana) porque, para todos os organismos, em cada geração, o número de descendentes é maior do que o de pais. Entretanto, embora os organismos tenham tendência de aumentar em número, o número de indivíduos de uma determinada espécie, numa população natural, permanece praticamente o mesmo.

Você saberia explicar por que as populações tendem a se manter contantes apesar do número de filhos ser sempre maior do que o de pais?

Darwin concluiu que devia haver competição por alimento, água, luz e outros recursos do ambiente entre os indivíduos de uma espécie. Combinando a ideia de competição com suas outras observações, ele foi capaz de propor uma explicação de como a evolução deveria ocorrer e considerou que:

- há variações em todas as espécies, isto é, dentro de uma mesma espécie, os indivíduos são diferentes entre si;
- a escassez de recursos em uma população levaria à competição entre os indivíduos da mesma espécie, porque todos eles utilizam os mesmos recursos limitados;
- essa competição levaria à morte de alguns indivíduos enquanto outros sobreviveriam.

A partir desse raciocínio, Darwin concluiu que os indivíduos que tivessem variações mais vantajosas num determinado ambiente seriam mais capazes de sobreviver e reproduzir do que aqueles sem as variações vantajosas. Aqui é importante ressaltar que, para esse raciocínio, não importava qual era o mecanismo de surgimento das variações. Desde que essas variações pudessem ser herdadas pelos descendentes, as favoráveis se acumulariam dentro de um certo tempo, e os organismos que as possuíssem se tornariam tão diferentes dos indivíduos da espécie original que constituiriam uma nova espécie.

Baseado nessas suposições e conclusões, Darwin elaborou sua teoria para explicar o mecanismo da evolução: ele utilizou o termo *seleção natural* para descrever o processo pelo qual os

organismos com variações favoráveis sobrevivem e se reproduzem mais eficientemente. Uma variação que aumenta a chance de sobrevivência de um organismo em um ambiente particular é chamada de *adaptação*. Ao longo de muitas gerações, as adaptações se acumulariam e os organismos que as possuíssem se tornariam tão diferentes da espécie original que poderiam constituir uma nova espécie. Isso significa que, se voltássemos na linha do tempo em direção ao passado, encontraríamos o ancestral comum a todos os seres vivos.

Darwin utilizou essa teoria para explicar as semelhanças e diferenças entre os tentilhões das ilhas Galápagos.

lá na plataforma

Ficou curioso para saber como eram os tentilhões vistos por Darwin nas ilhas Galápagos? Vá lá na plataforma e observe as semelhanças entre as diferentes espécies.

Um possível exemplo de seleção natural em ação

Em geral, se pensa na evolução como algo que leva milhões de anos para se manifestar, porém um exemplo recente foi observado na cidade de Manchester no século XIX. Há cerca de duzentos anos, numa coleta de mariposas nos arredores de Manchester, durante o dia, era possível encontrar um grande número de mariposas claras, em repouso nos troncos das árvores, também claras e cobertas de líquens. Além dessas, eram encontradas também, mas muito raramente, mariposas escuras pertencentes à mesma espécie, sobressaindo com grande nitidez nos caules. Nessa época, Manchester começava sua industrialização. Cinquenta anos mais tarde (~1850), a cidade já era um grande centro industrial e, como resultado do grande número de fábricas, seus campos e florestas foram contaminados por fumaça e fuligem, que escureceram os troncos das árvores e eliminaram os líquens. Uma contagem da mesma espécie de mariposas produziu, então, um resultado bem diferente: havia um grande número de mariposas escuras, que, durante o dia, permaneciam pousadas sobre os troncos escurecidos das árvores, enquanto que as claras, que se sobressaíam nos troncos, eram em número bastante reduzido. Também era possível observar pássaros durante o dia caçando as mariposas que se destacavam nos troncos. De que maneira a teoria de Darwin explicaria a mudança de coloração na população de mariposas?

É importante observar que a teoria de Darwin não explicava como surgiam as novas características. Ele partia da observação de que não há dois indivíduos iguais numa mesma espécie (com exceção de irmãos gêmeos, é claro), isto é, a variabilidade estava presente em todas as espécies e muitas das variações eram hereditárias. Assim, o ambiente atuaria sobre essa va-

riabilidade presente, selecionando aqueles indivíduos com as características mais favoráveis (os mais adaptados).

A teoria da evolução, portanto, considera três fatores essenciais para que a evolução ocorra:

- *É preciso haver diversidade entre os indivíduos de uma mesma espécie.*

Se todos os indivíduos forem iguais (o que nunca acontece, é claro), as chances de sobrevivência e de reprodução de todos eles serão iguais, ou seja, todos teriam as mesmas chances de se reproduzir e assim transmitir suas características à geração seguinte. Pode-se dizer, portanto, que as características da geração seguinte são distribuídas ao acaso. Mesmo as pequenas diferenças, aparentemente sem importância, podem ser relevantes. A diversidade genética, hoje sabemos, é derivada dos processos de mutação e reprodução sexuada.

- *A diversidade precisa ser hereditária.*

Do ponto de vista da evolução, se um indivíduo é favorecido por suas características em um dado ambiente, mas não se reproduz, é como se ele nunca tivesse existido, já que suas características desaparecem com ele. Uma maneira simples de ver isso é o caso da mula e do burro. Eles são híbridos estéreis entre jumento e égua. Ambos são animais extremamente fortes e resistentes. Pode-se imaginar uma situação em que o burro levasse uma enorme vantagem sobre as suas duas espécies ancestrais (cavalo e jumento) em um dado ambiente. Pode-se supor que, com isso, um grande número de burros e mulas chegasse à idade adulta. No entanto, a mula e o burro são estéreis, ou seja, incapazes de se reproduzir, por isso, o número de burros e mulas na próxima geração seria determinado somente pelos cruzamentos entre jumentos e éguas. Num exemplo extremo, podemos imaginar que um burro nascesse com uma característica nova extremamente vantajosa. Mesmo assim, ela não seria transmitida aos seus descendentes.

- *É preciso que exista pressão seletiva para ocorrer a seleção natural sobre a diversidade de uma espécie.*

Um modo simples de explicar isso é afirmar que as diferenças entre os indivíduos fazem diferença, ou seja, uma dada característica deve ser vantajosa em relação à outra. Sendo assim, os portadores dessa característica vantajosa têm mais chances de chegar à idade adulta, reproduzir-se e deixar descendentes. A seleção natural está muitas vezes ligada ao conceito de competição intraespecífica e interespecífica que vimos em unidades anteriores. No caso da competição intraespecífica, os indivíduos portadores de uma dada característica vantajosa terão mais descendentes do que os outros. Ao longo do tempo, aquele tipo de indivíduo se tornará cada vez mais numeroso na população, podendo-se mesmo imaginar que toda a espécie será, um dia, daquele tipo. Isso explicaria por que as espécies mudam, transformam-se, ou seja, evoluem ao longo do tempo. Já a competição interespecífica pode fazer com que uma espécie mais adaptada leve à extinção outra menos adaptada, especialmente se as duas ocupam o mesmo nicho ecológico ou têm nichos parecidos. Isso ajudaria também a explicar a extinção de espécies ao longo do tempo.

lá na plataforma

Lá na plataforma você pode comparar as explicações de Darwin e Lamarck para o caso das mariposas . Corre lá!

Resumo

- Estudos comparativos da anatomia dos organismos, da paleontologia e da biologia do desenvolvimento são evidências que levaram os cientistas a afirmar que os organismos se modificam ao longo do tempo.
- De acordo com a teoria de Lamarck, os seres vivos se transformam progressivamente ao longo do tempo graças à capacidade de reagirem às mudanças ambientais e a uma tendência natural nos seres vivos de atingir continuamente uma maior complexidade e perfeição. As adaptações dos organismos seriam causadas pelo esforço de satisfazer às novas necessidades impostas pela mudança do ambiente. Essas novas necessidades levariam ao maior ou menor uso de determinados órgãos ou estruturas, que poderiam, ao longo do tempo, se desenvolver ou se atrofiar lentamente, causando alterações que seriam transmitidas ao longo das gerações.
- De acordo com a teoria de Darwin, existe previamente uma diversidade de características hereditárias entre os indivíduos de uma mesma espécie que competem por recursos limitados. Nessa competição, os indivíduos com variações mais vantajosas num determinado ambiente seriam mais capazes de sobreviver e reproduzir do que aqueles sem tais variações. Ao transmitirem essas variações aos seus descendentes, as favoráveis se acumulariam dentro de um certo tempo, e os organismos que as possuíssem se tornariam tão diferentes dos indivíduos da espécie original que constituiriam uma nova espécie.
- Seleção natural é o processo pelo qual organismos com variações favoráveis num dado ambiente sobrevivem e se reproduzem mais eficientemente do que aqueles sem essas variações.

Atividade

Alterações no meio ambiente podem ter consequências sérias sobre a biodiversidade. Isso ocorre em nível local e global. Um dos casos mais conhecidos, também utilizado para corroborar a Teoria da Evolução, de Darwin, é o das mariposas da espécie *Biston betularia*, frequentes na Inglaterra. Elas existem sob duas formas: uma clara, com leves manchas escuras, e outra uniformemente escura. Ambas são presas habituais dos pássaros da região. A forma melânica (escura) é dominante sobre a clara. No entanto, até o advento da Revolução Industrial, a forma melânica era muito rara na natureza. A industrialização trouxe a fumaça e a fuligem, que mataram os líquens e enegreceram os troncos das árvores das áreas poluídas. Em consequência, os espécimes escuros da mariposa aumentaram em número em relação aos de cor clara. Esse aumento intrigou os cientistas, que investigaram suas causas, libertando e recapturando mariposas claras e escuras em áreas poluídas e não poluídas. O resultado obtido foi o seguinte:

		claras	escuras
Birminghan (poluída)	libertadas	64	154
	recapturadas	16 (25%)	82 (53,2%)
Dorset Woods (não poluída)	libertadas	496	473
	recapturadas	62 (12,5%)	30 (6,3%)

Qual a melhor explicação para o resultado obtido pelos pesquisadores?

a) É mais fácil recapturar mariposas em Dorset Woods do que em Birmingham.

b) A fumaça e a fuligem provocam mutações no gene responsável pela coloração.

c) Em Birmingham, as mariposas escuras estão mais bem adaptadas do que as claras.

d) Mariposas claras vivem por mais tempo do que as mariposas escuras.

e) Em Dorset Woods, as mariposas claras são mais predadas do que as escuras.

Resposta comentada

Vamos analisar cada alternativa comparando com as informações apresentadas na tabela.

a) Falsa. Foram recapturadas proporcionalmente mais mariposas em Birminghan (25% de claras e 53% de escuras) do que em Dorset Wood (12,5% e 6,3%).

b) Falsa. A mutação não causa mudança de cor nos indivíduos liberados. As mutações hereditárias ocorrem nas células germinativas do indivíduo e só se manifestam nas gerações seguintes.

c) Verdadeira. Em Birminghan, 53,2% das mariposas escuras libertadas são recuperadas contra 25% das claras, indicando que a cor escura é mais vantajosa do que a clara nesse ambiente.

d) Falsa. As duas variedades pertencem à mesma espécie, portanto seu ciclo de vida deve ter a mesma duração.

e) Falsa. Em Dorset, são recapturadas 12,5% das claras contra 6,3% das escuras. Logo, as escuras são mais predadas nesse ambiente.

Referências

MARTINS, L. A. P. O papel da geração espontânea na teoria da progressão animal de J. B. Lamarck. *Revista da SBHC*, n. 11, p. 57-65, 1994.

REECE, J. B. et al. *Biologia de Campbell*. 10. ed. Porto Alegre: Artmed, 2015.

SADAVA, D. et al. *Vida*: A Ciência da Biologia. Volume II: Evolução, diversidade e ecologia. 8. ed. Porto Alegre: Artmed, 2009.

SOUTO, Ana Lúcia. Lamarck e a evolução das espécies. Disponível em: *https://pt.khanacademy.org/science/9-ano/teorias-da-evolucao-e-da-selecao-natural/evolucao-das-especies/a/lamarck-e-a-evolucao-das-especies*. Acesso em: 29 mar. 2021.

TIDON, R. A teoria evolutiva de Lamarck. *Genética na Escola*, v. 9, n. 1, 2014. Disponível em: *https://www.researchgate.net/publication/262256417_A_teoria_evolutiva_de_Lamarck*. Acesso em: 29 mar. 2021.

Especiação

10

meta

Apresentar as explicações da Biologia atual para o processo de formação de novas espécies em consequência da evolução.

objetivos

Esperamos que, ao final desta unidade, você seja capaz de:

- definir espécie;
- definir especiação;
- explicar os mecanismos de especiação alopátrica e simpátrica;
- explicar a importância do isolamento reprodutivo para a formação de novas espécies.

Introdução

Como vimos na unidade sobre evolução, os seres vivos se transformam ao longo do tempo. Os diferentes indivíduos de uma espécie estão constantemente sendo selecionados pelo ambiente. Se pensarmos no processo de surgimento da resistência ao DDT nos ambientes naturais, podemos supor que, passado um longo período de tempo, com uso constante de DDT, só restariam indivíduos resistentes a ele entre os insetos. Só para simplificar, vamos imaginar que toda a população de uma espécie de mosca que coloca seus ovos em maçãs tenha se tornado resistente a altas doses de DDT, ou seja, no início, a quase totalidade das moscas morria com pequenas concentrações de DDT no meio, mas hoje todas sobrevivem em contato com esse inseticida. A espécie, portanto, mudou ao longo do tempo. A pergunta então é: as moscas de hoje são da mesma espécie que eram no passado, digamos, há 100 anos antes de se iniciar o uso do DDT? Afinal, elas têm características diferentes. Para responder a essa pergunta, é preciso ter clareza acerca do conceito de espécie para a Biologia.

O conceito de espécie e especiação

Para nós é fácil reconhecer duas espécies de animais quando elas são muito diferentes entre si, tais como cães e gatos, ratos e elefantes, sardinhas e tainhas e assim por diante. O mesmo vale para plantas, pois ninguém confunde um pé de milho com uma roseira ou uma jaqueira. Nosso conceito de espécie está muito ligado à forma ou, como dizem os biólogos, à morfologia dos seres vivos. Se eles são muito diferentes, acreditamos intuitivamente que devem ser de espécies diferentes, certo? Mas a coisa não é tão simples assim. Vejamos por exemplo o caso dos cachorros. Na **Figura 10.1**, temos as imagens de quatro cães de raças diferentes. É fácil perceber que, embora sejam animais bem diferentes, pertencem todos à mesma espécie.

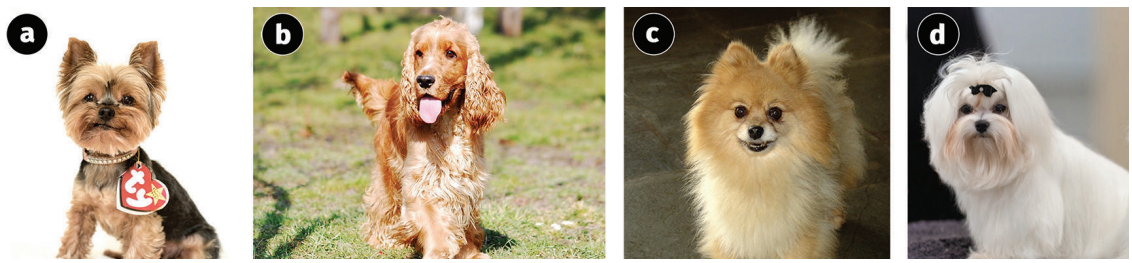


Figura 10.1: Quatro raças diferentes de cães. (a) Yorkshire. (b) Cocker Spaniel. (c) Lulu da Pomerânia. (d) Maltês. Fontes: (a) https://pixabay.com/pt/photos/yorkshire-terrier-yorkie-gorro-beb%C3%A9-2705770/. Autor: Pamjpat; (b) https://pixabay.com/pt/photos/o-cocker-spaniel-ingl%C3%AAs-2415289/. Autor: Katrina_S; (c) https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Spitz_Alem%C3%A3o_An%C3%A3o_-_Canil_Love_Blue_REFON_10.jpg. Autor: José Reynaldo da Fonseca, CC BY 2.5; (d) https://commons.wikimedia.org/wiki/File:01_AKC_Maltese_Dog_Show_2013.jpg. Autor: SheltieBoy, CC BY 2.0.

Já na **Figura 10.2**, temos um lobo e um pastor alemão que, como todos sabemos, pertencem a espécies diferentes. Porém, o que é mais parecido com um cão pastor: um lobo ou um cão Yorkshire Terrier?

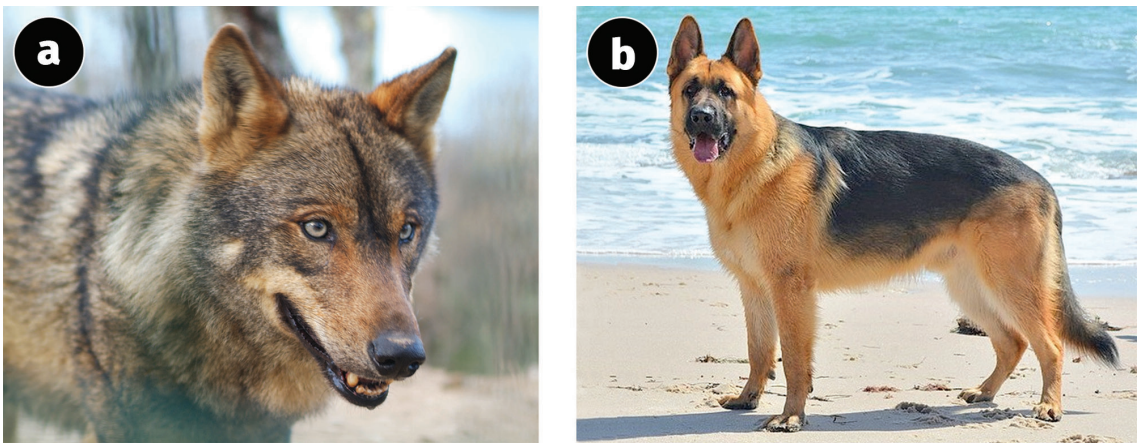


Figura 10.2: (a) Lobo e (b) Pastor alemão. (a) Fonte: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Lobo_en_cautividad.JPG. Autor: 3Félix, CC BY-SA 3.0. (b) Fonte: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:2._DSC_0346_(10096362833)2.jpg. Autor: Gomagoti, CC BY-SA 2.5.

O conceito de espécie, ao menos para os biólogos, não está necessariamente ligado à aparência dos seres vivos, embora ela seja muitas vezes importante para definir uma espécie e mesmo para diferenciar duas espécies. Porém, obviamente, a morfologia não pode ser o único critério, ou cada raça de cão seria considerada uma espécie diferente.

Sabemos também que as espécies podem mudar ao longo do tempo, mesmo que isso leve milhares ou milhões de anos, porque isso é, afinal, o que chamamos de evolução. Porém, se uma espécie muda ao longo do tempo, tornando-se diferente do que era no passado, em que momento deixa de ser a espécie inicial e torna-se a nova? Essa é uma pergunta difícil de responder. Por trás dela, está a ideia de que o conceito de espécie é necessariamente um pouco arbitrário ou, se preferir, artificial, pois, se a espécie vai se transformando gradualmente ao longo do tempo, como determinar em que momento se tornou outra espécie? Para definir esse limite, criou-se o conceito biológico de espécie, ainda no início do século XX, segundo o qual uma espécie é uma população (ou conjunto de populações) isolada reprodutivamente de qualquer outra população ou conjunto de populações.

De modo mais simples, indivíduos pertencem a uma mesma espécie quando, sendo de sexos opostos, podem se reproduzir, gerando descendentes potencialmente férteis (capazes de se reproduzir). Esse conceito ainda é o mais usado pelos cientistas de modo geral, ainda que tenha limitações. Vamos falar um pouco dessas limitações apenas para que você compreenda o quanto o assunto de que estamos tratando é especialmente interessante. Voltemos ao caso de cães e lobos.

Um bassê dificilmente poderia, de fato, cruzar com um pastor alemão ou um dinamarquês. Isso, no entanto, não impede que os consideremos de uma mesma espécie. Sabemos que as

raças de cães foram geradas por criadores que cruzavam apenas os exemplares que possuíam características desejadas para o tipo de função que o cão deveria exercer (caça, corrida ou pastoreio, por exemplo). Muitas raças de cães bastante diferentes podem cruzar entre si, dando origem ao conhecido cachorro vira-lata, mas... e o lobo e o cão podem cruzar e produzir descendentes férteis? A verdade é que podem. Apesar disso, para a ciência, eles são considerados como pertencendo a espécies diferentes, o que não é difícil de aceitar. Já os jumentos e os cavalos, embora possam cruzar, gerando burros ou mulas, são considerados como duas espécies independentes porque os dois híbridos (mulas e burros) são estéreis.

Há situações que fogem ainda mais à regra, como é o caso de bactérias e outros microrganismos, que se reproduzem por duplicação pura e simples. Nesses casos, a ideia de cruzamentos e descendentes férteis não faz qualquer sentido. Mesmo assim, os cientistas aceitam que existem milhares de diferentes espécies de bactérias e protistas.

A própria definição de espécie é, portanto, insuficiente para ser generalizada para todos os casos conhecidos. Porém, se quisermos entender o processo de evolução, temos de aceitar que as espécies existem, adotando um conceito que nos ajude a compreender e a explicar os fenômenos de transformação dos seres vivos ao longo do tempo. Admite-se, porém, que o processo de formação de uma nova espécie pode ser muito demorado (longo), durando milhares ou milhões de anos. Se a formação de uma nova espécie toma tanto tempo, ela não pode ser observada por seres humanos diretamente nem testada em laboratório, o que não significa, no entanto, que não existam evidências suficientes na natureza de que novas espécies surgem e outras desaparecem, como está documentado, por exemplo, nos fósseis.

O que é menos simples de demonstrar é o processo de formação de uma nova espécie a partir de outra, ou seja, é difícil identificar uma espécie ancestral e aquelas (ou aquela) que se formaram a partir dela posteriormente. Mesmo assim, há pelo menos duas explicações importantes para o processo de surgimento de novas espécies, conhecido como *especiação*. Nesta unidade, utilizaremos o conceito de espécie que apresentamos há pouco, mesmo sabendo de suas limitações. Como veremos, ele nos permite propor explicações para diversos fenômenos relacionados à evolução.

Mecanismos de especiação

Uma característica considerada essencial para o processo de especiação é o isolamento reprodutivo de duas populações. Isso significa que, para que uma mesma população de uma única espécie original dê origem a uma ou mais espécies novas, é preciso que ela seja dividida em duas populações (A e B, por exemplo) e que os indivíduos de uma dessas populações continuem cruzando entre si, mas sejam, de algum modo, impedidos de cruzar com a outra população (ou seja, indivíduos de A não cruzam com B). Isso pode parecer estranho, mas, se pensarmos na formação de novas espécies ao longo do tempo, poderemos compreender melhor a importância do isolamento reprodutivo. Vamos tentar explicar isso com ajuda da **Figura 10.3**.

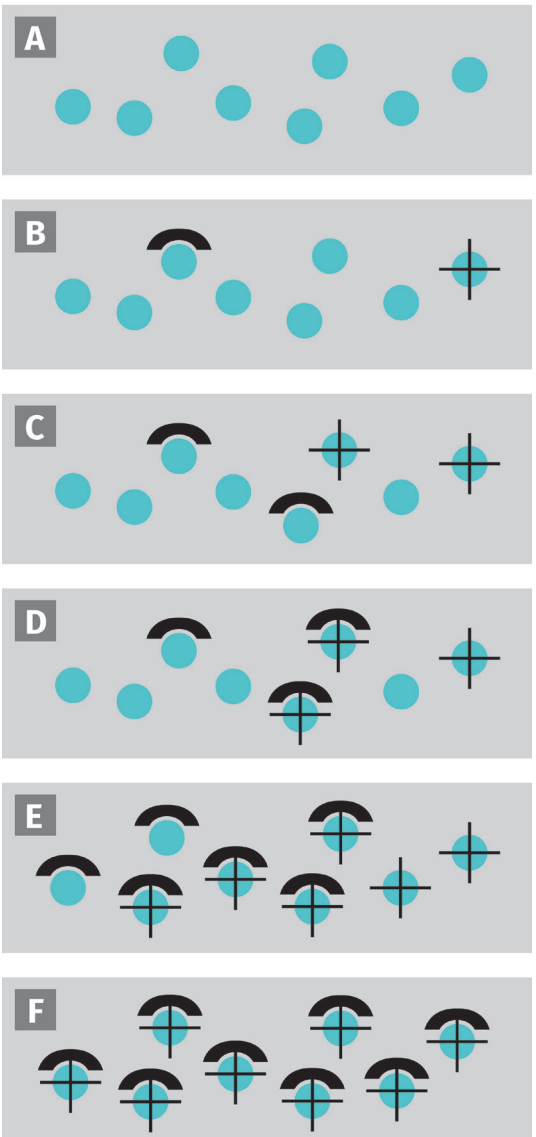


Figura 10.3: A transformação de uma espécie ao longo do tempo.

Em A, os círculos representam as características dos indivíduos de uma certa espécie no início da observação. Como vimos na unidade anterior, podem surgir indivíduos com algumas diferenças em uma população ao longo do tempo. Caso essas diferenças sejam genéticas, elas poderão ser transmitidas aos descendentes. Diferenças genéticas hereditárias são chamadas de *mutações*.

Vamos imaginar, como mostrado em B, que surjam dois indivíduos mutantes na população e que cada uma dessas mutações seja mais vantajosa para a sobrevivência desses indivíduos em relação aos indivíduos originais. Como elas são hereditárias, os descendentes dos dois indivíduos mutantes também as terão. Como ambas são vantajosas, os descendentes portadores de qualquer uma dessas mutações se tornarão numerosos (C). Por isso mesmo, poderão cruzar entre si, produzindo indivíduos portadores das duas mutações (D). Se, juntas em um mesmo indivíduo, as duas mutações continuarem sendo mais vantajosas, podemos imaginar que, após um longo tempo, todos os indivíduos da espécie serão portadores de ambas (D e E).

Ao final de um longo período, poderemos ter o surgimento de uma nova espécie, mas a espécie original terá desaparecido (F). É importante que você entenda que as mutações muitas vezes são desvantajosas (lembre-se de que a evolução não tem um propósito), porém, tendem a desaparecer, pois seus portadores, pelo que já vimos, têm menos possibilidade de se reproduzir e passar suas características aos seus descendentes.

Na verdade, a respeito do exemplo acima, pode-se dizer que a espécie original se transformou e não faz sentido chamá-la de uma nova espécie. Para essas espécies que se transformam muito ao longo do tempo, a ponto de ficarem muito diferentes do que eram antes, alguns pesquisadores sugeriram o termo cronoespécies. Entretanto, esse tipo de processo não leva ao surgimento de duas espécies a partir de uma única, porque, com o cruzamento dos indivíduos, as novas características se combinaram nos descendentes, alterando a população ao longo do tempo.

Agora vamos ver, na **Figura 10.4**, uma situação ligeiramente diferente.

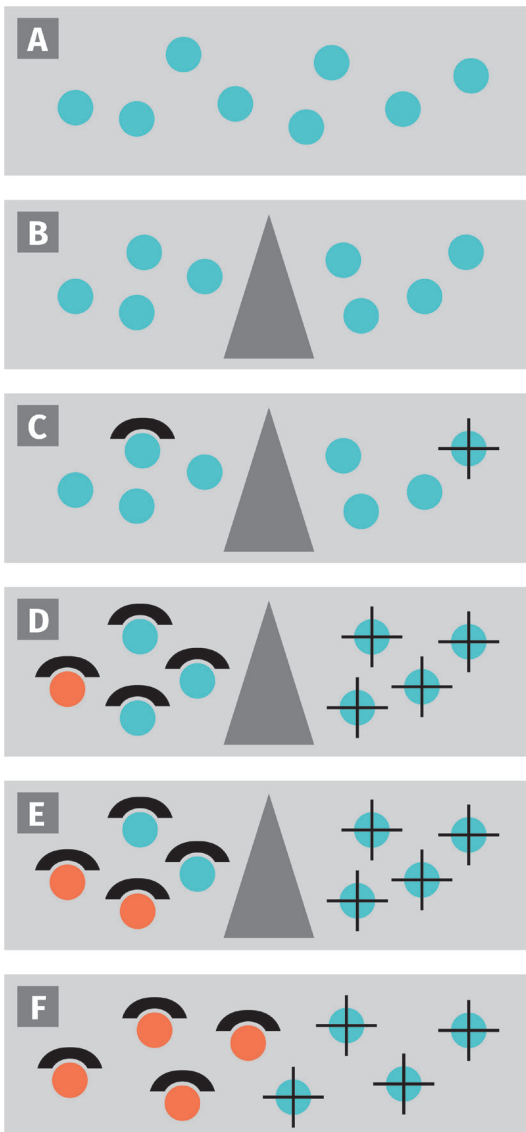


Figura 10.4: O surgimento de novas espécies.

Começamos com a mesma população (A). Porém, surge uma barreira (triângulo) que separa a população em duas novas populações (B). Geneticamente nada mudou, mas, agora, os indivíduos de uma população não podem mais cruzar com os da outra, simplesmente porque algum tipo de barreira os separou fisicamente. Imagine, por exemplo, que uma pequena porção de terra tenha sido separada do resto pelo mar, criando uma ilha, ou que um riacho tenha se tornado tão caudaloso que separou duas populações. Isso acontece muito mais frequentemente do que se pensa. Nos últimos milhões de anos, por exemplo, a quantidade de gelo na Terra variou muito, fazendo com que o nível do mar subisse e descesse muitas vezes (quanto mais gelo é formado, menos água em estado líquido resta nos oceanos). Isso fez com que ilhas surgissem, desaparecessem ou se unissem aos continentes.

Podemos imaginar ainda que os ambientes em que as duas populações ficaram sejam diferentes. Por exemplo, uma nova montanha tornou o ambiente à esquerda chuvoso, pela proximidade do mar, e o da direita mais seco, já que as chuvas caem do outro lado da montanha. Suponhamos que mutações vantajosas surjam em cada uma das duas populações (C). As mutações não apenas podem ser diferentes, como podem representar adaptações para ambientes diferentes, ou seja, são vantajosas de um lado da montanha, mas não do outro. Aquelas que são vantajosas tornam-se comuns nos descendentes, ao mesmo tempo que novas mutações vão surgindo (D e E).

Com o decorrer de milhares ou milhões de anos, as populações vão acumulando diferenças genéticas cada vez maiores, a ponto de se tornarem incapazes de cruzar entre si. Quando isso ocorre, diz-se que as populações sofreram *isolamento reprodutivo* ou que estão isoladas reprodutivamente. Isso não tem muita importância se a barreira permanecer, já que as duas populações não cruzariam de qualquer jeito, mas é especialmente importante se as populações entra-

rem novamente em contato, pois, nesses casos, as diferenças acumuladas impedirão que o cruzamento ocorra e, portanto, que se combinem em um mesmo indivíduo no futuro. Com isso, tem-se a formação de duas novas espécies (F).

O processo descrito acima é denominado *especiação alopátrica*. *Alo* significa diferente e *pátrico* (assim como pátria) significa lugar a que se pertence. Outro nome usado para o mesmo processo é *especiação geográfica*, já que uma barreira geográfica separa em duas ou mais uma mesma população inicial, permitindo que o processo se inicie.

Uma pergunta que pode estar lhe ocorrendo é: uma mesma espécie pode dar origem a novas espécies sem que a população seja dividida geograficamente? A resposta gerou muita controvérsia ao longo dos séculos XIX e XX, mas hoje parece resolvida para a maioria dos biólogos.

O principal problema para a aceitação de um processo de especiação simpátrica (em um mesmo lugar) era aquele mostrado na **Figura 10.3**: como duas populações poderiam se tornar tão diferentes a ponto de "especiar", se poderiam combinar suas características novas nos descendentes? Isso parecia (e parece ainda) impossível para algumas pessoas. Mas há outras maneiras de alcançar o isolamento reprodutivo sem que ocorra necessariamente o isolamento geográfico. Além de alguns exemplos teóricos para isso terem sido propostos, algumas observações práticas parecem corroborá-los. Vamos tratar de um exemplo, documentado nos últimos 20 anos por pesquisadores de importantes universidades dos Estados Unidos da América (EUA) e da Europa.

Na América do Norte, existe uma espécie de mosca (*Rhagoletis pomonella*) que deposita seus ovos nos frutos de uma planta arbustiva espinhosa pouco conhecida entre nós, cujo nome em português (ela existe em Portugal) é *pilriteiro*. Os ovos se desenvolvem, dando origem a larvas, que, por sua vez, abandonam os frutos e se refugiam no solo, dando origem posteriormente a novas moscas. No século XVIII, iniciou-se o cultivo de maçãs nos EUA, a partir de mudas trazidas da Europa. Logo se verificou que as moscas da espécie *Rhagoletis pomonella* estavam parasitando também as maçãs. Supôs-se, então, que pudessem estar surgindo duas espécies diferentes de moscas, uma que se reproduziria nas maçãs e outras nos pilriteiros.

Estudos têm confirmado que as duas populações parecem estar de fato se separando: as moscas nascidas em maçãs são atraídas pelo cheiro dessas frutas, mas respondem pouco ao cheiro do pilrito. Já as moscas nascidas em pilriteiros respondem ao odor desses frutos e não ao das maçãs. Diversas diferenças genéticas foram descritas entre as duas populações. Como as macieiras e os pilriteiros frutificam em épocas do ano um pouco diferentes, a explicação mais provável é que cada população de moscas esteja se tornando mais e mais adaptada ao fruto em que se desenvolve. Nesse caso, portanto, estariam se formando novas espécies em um mesmo local – sem isolamento geográfico. O que é mais interessante é que a mesma espécie de mosca parasita também as cerejas, ou seja, pode ocorrer (ou já estar ocorrendo) a formação de uma terceira espécie. Nesses casos, o isolamento reprodutivo pode estar se estabelecendo em função do local (fruto) preferido para a reprodução em associação com a época do ano em que cada fruto amadurece. É bom destacar, no entanto, que, embora as pesquisas sugiram que a especiação está ocorrendo, as duas populações ainda são consideradas de uma mesma espécie.

Em resumo, a especiação simpátrica possivelmente ocorre também, mas depende igualmente de isolamento reprodutivo. Esse isolamento, no entanto, poderia ocorrer em decorrência de fatores ecológicos (caso da *Rhagoletis*). Sugere-se, ainda, que fatores comportamentais poderiam levar ao isolamento reprodutivo e à especiação. Entre esses comportamentos estaria o canto usado por certas espécies de animais para atrair fêmeas. Todos sabemos que muitos pássaros cantam para atrair suas fêmeas, mas o que a maioria desconhece é que muitos insetos também o fazem. Em alguns casos, o canto de alguns machos poderia ser um pouco diferente, atraindo fêmeas especialmente sensíveis àquele canto. Com o tempo, fêmeas cada vez mais sensíveis ao canto diferente (que também poderia se tornar cada vez mais diferente) poderiam levar finalmente ao isolamento reprodutivo e, posteriormente, à especiação.

Essa é uma área em que muitas pesquisas importantes estão sendo desenvolvidas e que certamente apresentará muitas novidades em um futuro próximo.

lá na plataforma

Acesse a plataforma e saiba mais sobre os processos de especiação.

Resumo

- Espécie é uma população (ou conjunto de populações) isolada reprodutivamente de qualquer outra população ou conjunto de populações.
- Nem todas as mudanças evolutivas resultarão em uma nova espécie. Ocorre a especiação quando as mudanças evolutivas resultam em uma espécie-mãe se dividindo em duas ou mais espécies-filhas.
- A formação de novas espécies depende da existência de isolamento reprodutivo, o que permite que diferenças se acumulem entre duas ou mais populações.
- Quando o isolamento reprodutivo depende de uma barreira geográfica, a especiação é dita *alopátrica*.
- Quando o isolamento reprodutivo ocorre sem isolamento geográfico, mas com barreiras ecológicas ou comportamentais, a especiação é dita *simpátrica*.

Atividade

1.

> As ilhas do Havaí são habitadas por diversas espécies de mariposa do gênero *Hedylepta*, que se alimentam principalmente de palmeiras nativas das ilhas. No entanto, em uma ilha, existe uma espécie de *Hedylepta* que se alimenta exclusivamente de bananeiras, que foram introduzidas no arquipélago do Havaí pelos polinésios há apenas 1000 anos. Tudo indica que uma espécie ancestral que se alimentava em palmeiras deu origem à nova variedade que se adaptou às bananeiras e tornou-se uma nova espécie reprodutivamente isolada. A nova espécie é atualmente considerada pelos cultivadores de banana como uma praga, uma vez que afeta a produtividade dessas plantas.
>
> Adaptado de STANLEY, 1983, p. 21.

Sobre o processo de surgimento da nova espécie de mariposas no Havaí, é correto afirmar que:

a) Ocorreu por um processo alopátrico (alopatria), já que as bananeiras e as mariposas eram originárias de ambientes isolados anteriormente.

b) Ocorreu por um processo simpátrico, pois as mariposas ancestrais das duas espécies atualmente existentes se encontravam em um mesmo ambiente (ilha do Havaí).

c) Ocorreu ao acaso, uma vez que a adaptação ao consumo das bananeiras pelas mariposas aconteceu por mutação.

d) Demostra que a evolução ocorreu porque houve a especiação de duas espécies diferentes, as bananeiras e as mariposas do gênero Hedylepta.

e) Ocorreu por um processo alopátrico (alopatria), uma vez que as mariposas vivem em ilhas.

Resposta comentada

De acordo com o texto, há indicações de que a espécie que parasita as bananeiras se originou de uma espécie ancestral que parasitava as palmeiras nativas das ilhas do arquipélago. Como as mariposas da espécie que deu origem aos dois tipos existentes hoje (parasitas de palmeiras e parasitas de bananeira) viviam numa mesma região, ilha do Havaí, a especiação ocorreu por um processo simpátrico.

Resposta: B

---

2. (FGV, 2005) Embora os cangurus sejam originários da Austrália, no início dos anos 80, o biólogo norte-americano James Lazell chamou a atenção para a única espécie de cangurus existente na ilha de Oahu, no Havaí. A espécie é composta por uma população de várias centenas de animais, todos eles descendentes de um único casal australiano que havia sido levado para um zoológico havaiano, e do qual fugiram em 1916. Sessenta gerações depois, os descendentes

deste casal compunham uma nova espécie, exclusiva da ilha Oahu. Os cangurus havaianos diferem dos australianos em cor, tamanho, e são capazes de se alimentar de plantas que seriam tóxicas às espécies australianas.

Sobre a origem desta nova espécie de cangurus, é mais provável que

a) após a fuga, um dos filhos do casal apresentou uma mutação que lhe alterou a cor, tamanho e hábitos alimentares. Esse animal deu origem à espécie havaiana, que difere das espécies australianas devido a esta mutação adaptativa.

b) após a fuga, o casal adquiriu adaptações que lhe permitiram explorar o novo ambiente, adaptações essas transmitidas aos seus descendentes.

c) os animais atuais não difiram geneticamente do casal que fugiu do zoológico. As diferenças em cor, tamanho e alimentação não seriam determinadas geneticamente, mas devidas à ação do ambiente.

d) o isolamento geográfico e diferentes pressões seletivas permitiram que a população do Havaí divergisse em características anatômicas e fisiológicas de seus ancestrais australianos.

e) ambientes e pressões seletivas semelhantes na Austrália e no Havaí permitiram que uma população de mamíferos havaianos desenvolvesse características anatômicas e fisiológicas análogas às dos cangurus australianos, processo este conhecido por convergência adaptativa.

Resposta comentada

Acesse a plataforma e encontre a resolução comentada desta atividade.

Referências

SADAVA et al. *Vida:* a ciência da Biologia, v. II. 8. ed. Porto Alegre: Artmed, 2009.

STANLEY, S.M. *Evolution of life*: evidence for a new pattern. Chicago: Encyclopaedia Britannica, 1983.

Composição química dos seres vivos

11

meta

Apresentar noções básicas de ligação química, polaridade das moléculas de água e grau de acidez de soluções.

objetivos

Esperamos que, ao final desta unidade, você seja capaz de:

- reconhecer fórmulas moleculares e estruturais;
- identificar a polaridade das moléculas de água;
- explicar a solubilidade em água;
- relacionar o grau de acidez de uma solução com a presença de íons H^+.

Introdução

Vimos anteriormente que as substâncias orgânicas estão presentes nos organismos vivos. Elas são compostas, principalmente, por alguns poucos tipos de átomos: carbono, oxigênio, hidrogênio, nitrogênio e enxofre, e todos eles, com exceção do oxigênio, aparecem nos seres vivos em proporções muito mais elevadas do que na matéria inanimada (como a crosta terrestre). Em compensação, átomos extremamente abundantes na parte não viva de nosso planeta, como o silício e o ferro, são extremamente raros nos seres vivos (**Figura 11.1**).

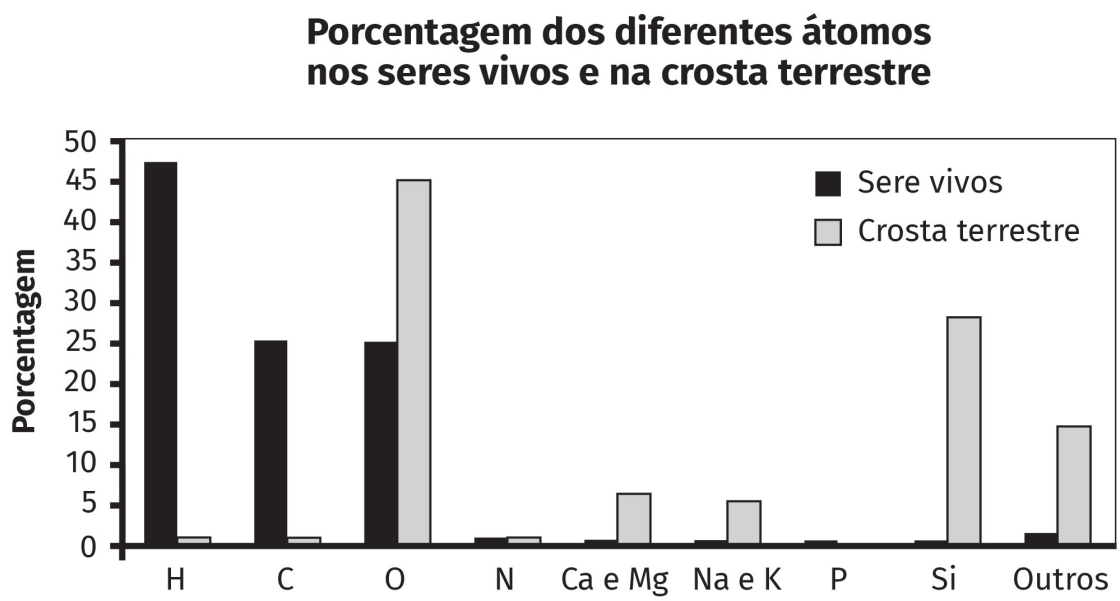


Figura 11.1: Porcentagem de alguns átomos presentes nos seres vivos e na crosta terrestre.

A primeira característica das substâncias orgânicas é que elas são compostas de uns poucos tipos de átomos específicos. Para podermos compreender outras características das substâncias orgânicas, precisamos conhecer um pouco mais sobre os átomos e como eles se organizam na composição dos materiais.

Moléculas são formadas por átomos

Um aspecto importante a respeito das substâncias orgânicas é o fato de que elas possuem propriedades muito diferentes, embora seus componentes químicos sejam muito semelhantes. Assim, tanto os carboidratos (como o açúcar) quanto os lipídeos (como os óleos) são formados somente de átomos de carbono, hidrogênio e oxigênio. Contudo, se a gente observar, as propriedades do óleo e do açúcar são muito diferentes. O que permite que duas moléculas de composições químicas tão similares sejam tão diferentes?

A resposta está na organização desses componentes. Assim como as palavras “bato” e “bota” podem ser formadas com as mesmas letras, embora ligadas em ordem diferente, também substâncias diferentes podem ser formadas com os mesmos átomos, porém ligados de maneiras distintas, formando o que chamamos de *moléculas*.

O que torna as moléculas diferentes são as proporções de cada tipo de átomo bem como as maneiras como eles se ligam uns aos outros em cada uma delas. Voltando ao exemplo das palavras: embora todos os tipos de letras presentes na palavra “abato” estejam presentes também em “bato”, a quantidade de letras das duas palavras é diferente, assim como seu significado. Da mesma forma, moléculas podem diferir entre si em função da quantidade de átomos presentes em cada uma delas.

Você com certeza já ouviu dizer que a água é formada por H_2O, que o gás carbônico pode ser chamado de CO_2. Mas o que esses símbolos significam?

Quando dizemos que a água é formada por H_2O, estamos nos referindo a uma molécula de água, que é formada por 2 átomos de hidrogênio (H_2) e 1 átomo de oxigênio (O). No caso do CO_2 (gás carbônico), temos uma molécula formada por 1 átomo de carbono (C) e 2 átomos de oxigênio (O_2). A **Figura 11.2** contém a representação de moléculas de algumas substâncias. Os átomos estão representados por círculos de tamanhos e cores diferentes, para indicar que eles têm massas e tamanhos diferentes.

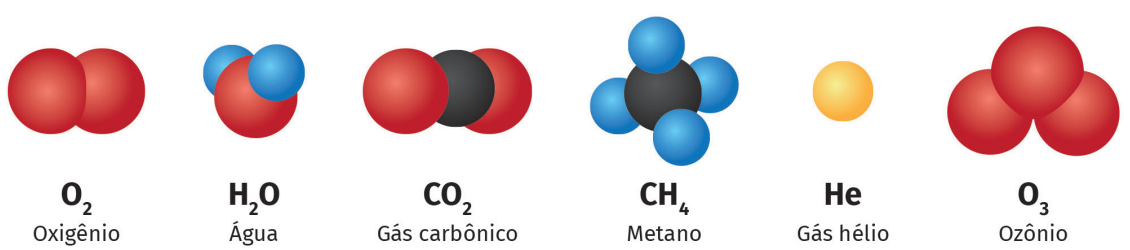


Figura 11.2: Representação de algumas moléculas.

Observe na figura que, embora representemos a água como H_2O, os dois átomos de hidrogênio não estão ligados entre si, mas ligam-se, ambos, ao único átomo de oxigênio presente. De modo semelhante, os dois átomos de oxigênio do CO_2 ligam-se ao carbono.

O que mantém os átomos ligados entre si?

Cada molécula, portanto, caracteriza-se pelo número de átomos que possui, pelos tipos e pela arrumação deles. Mas o que mantém um átomo preso ao outro numa molécula (de água, gás carbônico etc.)?

Os átomos apresentam um núcleo carregado com carga elétrica positiva, graças à presença de partículas chamadas *prótons*. Em torno do núcleo, ficam os *elétrons*, partículas de carga negativa. No núcleo também existem partículas sem carga elétrica, os *nêutrons*. Para o estudo dos

temas que nos interessam, os nêutrons não são importantes. Vamos nos concentrar somente nos prótons e elétrons e deixar os nêutrons para as aulas de química. Como os elétrons apresentam carga oposta à carga do núcleo, eles são atraídos pelo núcleo. Em geral, a quantidade de cargas negativas (elétrons) em um átomo é igual à quantidade de cargas positivas (prótons), de modo que átomos isolados são neutros.

Os elétrons que se distribuem na parte mais superficial de um átomo, porém, podem ser atraídos também pelo núcleo positivo de outro átomo. Essa atração pode ser mútua. Se isso acontecer, os dois átomos permanecerão juntos, ligados entre si por essa atração. Dizemos, então, que há uma ligação entre eles. É o que acontece com os 3 átomos (2 de hidrogênio e 1 de oxigênio) que formam a molécula de água. Os elétrons de cada átomo de hidrogênio são atraídos pelo núcleo do oxigênio, e os elétrons do oxigênio são atraídos pelos núcleos dos hidrogênios. Ou seja, cada hidrogênio estabelecerá uma ligação com o oxigênio, que ficará ligado a dois hidrogênios, como mostrado na **Figura 11.2**. Os elétrons compartilhados, isto é, aqueles que são atraídos pelos dois núcleos, mantêm os átomos ligados. Desse modo, os dois hidrogênios e o oxigênio permanecem juntos, formando a molécula de água.

Algo semelhante ocorre com os 3 átomos que formam o gás carbônico (CO_2). O núcleo do carbono atrai os elétrons superficiais dos átomos de oxigênio, e o núcleo de cada átomo de oxigênio atrai elétrons superficiais do carbono. Assim, cada oxigênio se ligará ao carbono, que ficará ligado aos 2 átomos de oxigênio, como mostrado na **Figura 11.2.** Note que, no caso da água, um átomo (oxigênio) compartilha elétrons (se liga) com dois outros (hidrogênios). Algo parecido ocorre no caso do gás carbônico. O número de ligações desse tipo que cada átomo pode formar dependerá do seu número de elétrons e da forma como estão distribuídos ao redor do núcleo. Mais uma vez, porém, podemos deixar esses detalhes para as aulas de química e nos concentrar no fato de que os átomos podem se ligar uns aos outros formando moléculas.

Nas células, existem desde substâncias formadas por moléculas pequenas (como a da água que só tem 3 átomos) até moléculas muito grandes, com um grande número de átomos ligados entre si (algumas proteínas são compostas de dezenas de milhares de átomos). A representação de moléculas utilizando bolinhas diferentes para cada tipo de átomo é algo muito trabalhoso, de modo que, para facilitar a identificação dos átomos e a maneira como estão ligados, utilizamos apenas seus símbolos (compostos de uma ou duas letras) numa representação chamada *fórmula*. A **Tabela 11.1** mostra alguns exemplos de moléculas que existem nas células, representadas pelas suas fórmulas estruturais, que indicam quais e quantos são os átomos presentes, bem como as ligações entre eles representadas por traços. Os dados relativos à molécula de água (H_2O) foram preenchidos. Complete o restante da tabela com os dados que faltam.

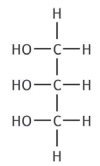
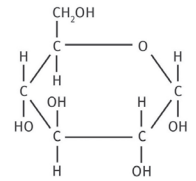
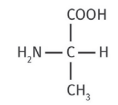
Tipos de átomos	Água	Glicerol	Glicose	Alanina
				
C	-			
H	2			
O	1			
N	-			
Total de átomos	3			

Tabela 11.1: Fórmula estrutural de algumas moléculas mostrando as quantidades de cada tipo de átomo presentes em cada uma delas.

Moléculas polares e moléculas apolares

De um modo simplificado, podemos dizer que existe uma relação entre o tipo de núcleo de um átomo e a força com que ele atrai elétrons. Quanto maior o núcleo de um átomo, isto é, quanto mais prótons ele tem, maior a força com a qual os elétrons são atraídos por ele.

No caso da molécula de água, o átomo de oxigênio tem um núcleo 8 vezes mais positivo do que o núcleo do hidrogênio. Ao redor de qual dos dois tipos de átomo você espera, então, que haja maior concentração de elétrons na molécula de água?

Se os elétrons, então, se concentram mais próximo do núcleo de um dos átomos, há um desequilíbrio na distribuição das cargas negativas nessa molécula. Em vez de ficarem homogeneamente distribuídos por toda a molécula, neutralizando igualmente os dois núcleos, os elétrons vão se concentrar mais em torno do núcleo maior; no caso da água, o oxigênio.

Uma maneira de representar isso se encontra na **Figura 11.3 (a)**. Como o oxigênio tem um núcleo mais positivo do que o hidrogênio, os elétrons superficiais ficarão mais concentrados em torno dele, tornando essa área mais negativa (representada em vermelho). Há uma falta de cargas negativas na região formada pelos átomos de hidrogênio, representada na cor azul, tornando-a mais positiva. Nessa representação, é possível identificar os dois polos criados na molécula de água resultante da distribuição desigual dos elétrons superficiais.

É importante observar que a molécula de água não tem carga efetiva, isto é, o número total de elétrons da molécula é igual ao número total de prótons. Mesmo assim, por ter elétrons distribuídos desigualmente, cada molécula de água acaba tendo cargas parciais opostas em regiões diferentes. Como essas duas regiões superficiais (uma positiva e outra negativa) estão

localizadas em polos opostos da molécula, ela se torna um dipolo elétrico (com dois polos de cargas elétricas opostas). A molécula de água, portanto, é uma molécula polar. Apesar de serem coisas diferentes fisicamente, pode-se pensar genericamente nas moléculas de água como semelhantes a pequenos "ímãs", com polos carregados positiva e negativamente.

Nem sempre a diferença nas forças de atração de dois núcleos será capaz de criar regiões de cargas em polos opostos na superfície de uma molécula. Dependendo da arrumação dos átomos, os elétrons superficiais ficarão distribuídos de modo que a molécula não terá polos carregados. É o que acontece com a molécula de CO_2, por exemplo.

Como mostrado na **Figura 11.3 (b)**, os núcleos dos átomos de oxigênio, localizados nas extremidades da molécula, atraem mais fortemente os elétrons superficiais do átomo de carbono, localizado no centro, fazendo com que haja maior concentração de elétrons nos extremos (vermelho) e menor concentração no centro (azul). Não é possível, portanto, "isolar" dois polos com cargas opostas na molécula de gás carbônico.

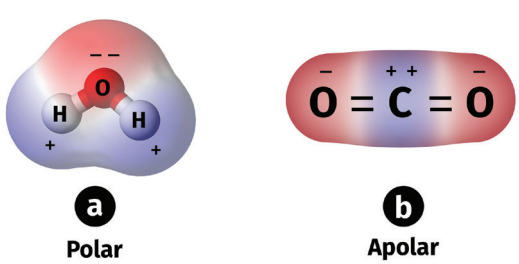


Figura 11.3: : (a) Distribuição de cargas superficiais na molécula de água criando dois polos. (b) Distribuição de cargas superficiais na molécula de gás carbônico (CO_2) sem formar polos.

Vamos agora utilizar essa propriedade das moléculas para analisar uma situação muito conhecida de todos. Se você colocar óleo e água num pote, agitar bem e, em seguida, deixar o pote em repouso, verá que o óleo, aos poucos, se separa da água, formando uma camada na superfície. Como se explica isso?

As moléculas de água, por terem polos com cargas opostas, atraem-se mutuamente, como mostrado na **Figura 11.4**. O polo negativo de uma atrai o polo positivo da outra.

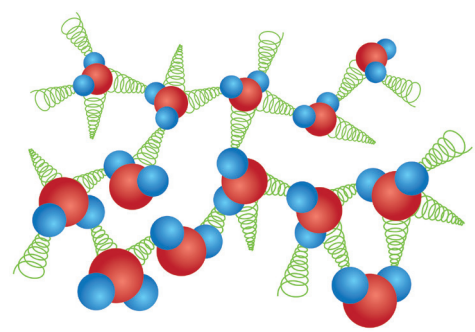


Figura 11.4: Na água, o polo positivo das moléculas, localizado nos átomos de hidrogênio, atrai o polo negativo de outra molécula, localizado no oxigênio. As linhas tracejadas em verde representam a atração entre polos diferentes. Essa atração é chamada de *ponte de hidrogênio*.

Para que as moléculas de uma substância qualquer se dissolvam na água, é necessário que elas sejam atraídas pelos polos das moléculas de água. Se isso não acontecer, elas serão repelidas, agrupando-se, até se separarem completamente da água. Isso explica por que as moléculas de óleo e de gordura não se dissolvem em água: nos óleos e nas gorduras, não há cargas parciais diferentes localizadas em polos opostos. Por não terem polos carregados com cargas opostas, não são atraídas pelos polos das moléculas de água. Essas moléculas são chamadas *apolares*.

As moléculas de água somente atrairão:

- outras moléculas de água;
- moléculas que tenham polos;
- moléculas que tenham cargas positivas ou negativas;
- átomos com quantidades diferentes de prótons e elétrons (chamados de *íons*).

Em resumo, os íons, as moléculas carregadas ou as moléculas polares se dissolvem com facilidade em água, pois são atraídas pelos polos positivo e negativo de suas moléculas.

Grau de acidez de uma solução

Uma propriedade importante das soluções e que afeta o funcionamento da célula é o seu grau de acidez. Você, com certeza, já ouviu falar em ácidos, referindo-se, por exemplo, à acidez do vinagre ou do limão. Nós reconhecemos substâncias ácidas pelo seu gosto azedo típico, como o do limão, do leite azedado (coalhada) e do vinagre, entre outros. A explicação para a acidez de uma substância está diretamente ligada ao átomo de hidrogênio, que faz parte das moléculas de muitas substâncias orgânicas e inorgânicas.

Embora seja o átomo mais simples que existe, com um único próton e um único elétron, o hidrogênio tem propriedades que o tornam muito importante na célula. Como o núcleo do hidrogênio é muito pequeno, o seu elétron tende a ficar mais próximo do núcleo de outros átomos em muitas das moléculas das quais ele faz parte.

Existe um grupo especial de substâncias importantes para a célula que, ao serem dissolvidas em água, perdem seus átomos de hidrogênio sob a forma de íons. Esses íons hidrogênio ficam livres na solução, pois, quando se desligam da molécula da qual faziam parte, não são capazes de carregar seus elétrons que estão firmemente atraídos pelos núcleos dos outros átomos dessa mesma molécula. Esse íon hidrogênio, livre na solução, sem o seu elétron, é chamado de *íon* H^+. Considerando que o hidrogênio só tem um próton e um elétron, ao perder o seu único elétron, fica reduzido a um próton. A representação H^+, portanto, equivale a um próton do hidrogênio.

Nem toda substância que apresenta hidrogênio em suas moléculas libera H^+ quando dissolvida em água. Quando uma substância, ao ser dissolvida na água, libera íons H^+, dizemos que ela é um ácido. O conceito químico mais preciso de ácido será visto nas aulas de química. A acidez de uma solução depende da quantidade de íons H^+ dissolvidos: quanto maior a quantidade de H^+ numa solução, mais ácida ela se torna.

A unidade de medida da acidez é o pH, cuja escala varia entre 0 e 14 (**Figura 11.5**). Quanto menor o valor de pH, mais ácida é a solução, isto é, mais íons H^+ estão dissolvidos. Quanto maior o valor de pH, mais alcalina é a solução. A definição de alcalinidade não importa no momento e também será vista nas aulas de química.

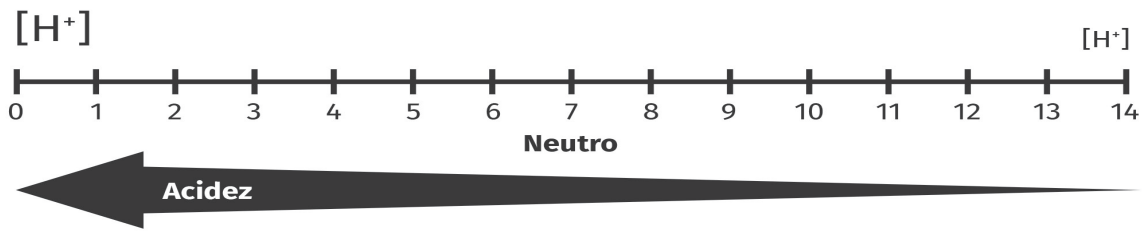


Figura 11.5: Escala de pH.

Resumo

- As substâncias orgânicas presentes nas células de todos os seres vivos são compostas, basicamente, pelos mesmos tipos de átomos: C, H, O, N, P, S.
- Átomos são formados por partículas com diferentes cargas elétricas: *prótons*, que são positivos; *elétrons*, que são negativos; e *nêutrons*, que são partículas neutras.
- Em determinadas situações, o núcleo de um átomo pode atrair os elétrons superficiais de outro átomo, fazendo com que eles permaneçam ligados entre si, formando moléculas.
- As moléculas diferem entre si pelos tipos de átomos de que são formadas, pela quantidade desses átomos e pela forma como eles se ligam.
- Nas *moléculas polares*, os elétrons superficiais se distribuem de maneira desigual entre os átomos, concentrando-se mais numa região do que em outra, criando uma região levemente negativa oposta a outra levemente positiva.
- Moléculas polares são neutras, não têm carga: o número de elétrons na molécula é igual ao número de prótons.
- Moléculas em que não há cargas superficiais diferentes localizadas em polos opostos são chamadas de *apolares*.
- A água, por ser uma substância polar, dissolve outras moléculas polares, moléculas carregadas e íons.
- Substâncias, como os óleos e as gorduras, apresentam moléculas apolares.
- Moléculas apolares não são atraídas pelas moléculas de água e, portanto, não se dissolvem nela.

- Certas substâncias, quando dissolvidas em água, perdem átomos de hidrogênio na forma de íons H+.
- A acidez de uma solução, medida pelo pH, depende da concentração dos íons H+.
- Quanto maior a concentração de íons H+, maior a acidez da solução e menor o seu pH.

Atividade

1. Sobre a diversidade de moléculas orgânicas existentes nos seres vivos, são feitas as seguintes afirmativas:

I. Os átomos mudam sua composição em termos de prótons e elétrons nas diferentes moléculas orgânicas.

II. As moléculas orgânicas só existem nos seres vivos porque são compostas de átomos especiais por eles produzidos.

III. As moléculas orgânicas são compostas dos mesmos elementos da matéria não viva, porém, suas proporções são diferentes.

Assinale a opção que contém apenas afirmativas corretas:

a) I, II, III
b) I e II
c) II
d) III
e) I e III

2. Na tabela abaixo estão mostradas as propriedades de algumas moléculas quanto a sua polaridade. Considerando que a água é uma substância polar e os lipídeos são apolares, complete a tabela marcando um X na coluna apropriada para indicar se a substância é solúvel em água ou em lipídeo. Escreva uma justificativa para sua resposta.

Molécula	Propriedade	Solubilidade em água	Solubilidade em lipídeos
colesterol	não polar		
vitamina D	não polar		
amônia	polar		
cloreto de sódio	iônico		
íon K	carga +		
íon Cl	carga -		

Resposta comentada

Acesse a plataforma e encontre a resolução comentada destsa atividades.

Referências

RUSSEL, J. B. *Química Geral.* São Paulo: McGraw-Hill do Brasil, 1982.

Uma molécula orgânica especial: a proteína

12

meta

Apresentar a composição química e a estrutura espacial das proteínas.

objetivos

Esperamos que, ao final desta unidade, você seja capaz de:

- identificar as partes comuns de todos os aminoácidos: os grupos *carboxila* e *amina*;
- apontar os radicais dos aminoácidos;
- reconhecer as propriedades elétricas dos diferentes radicais dos aminoácidos;
- reconhecer a ligação peptídica;
- descrever a estrutura primária das proteínas;
- relacionar a conformação das proteínas com a sequência primária dos aminoácidos e com as propriedades químicas da solução em que se encontram;
- explicar a conformação nativa de uma proteína.

Introdução

Entre as principais moléculas que compõem as células e, portanto, os seres vivos, estão as proteínas. Para se ter uma noção da importância dessas moléculas, basta saber que, depois da água, elas são os componentes mais abundantes nos seres vivos, sejam eles quais forem. Cerca de 15 a 20% da massa (peso) de um vertebrado é composta de proteínas com funções variadas, que vão desde a estruturação do organismo (caso do colágeno, abundante na pele e nos ossos) e o controle das reações químicas do metabolismo (caso de hormônios, como a insulina) até o transporte de oxigênio pelas hemácias (função da hemoglobina). Na verdade, poucas são as funções de uma célula ou de um organismo nas quais, pelo menos, uma proteína não está diretamente envolvida. Exatamente por essas moléculas serem tão importantes é que precisamos conhecê-las com um pouco mais de profundidade. Se compreendermos adequadamente as propriedades das proteínas, entenderemos mais facilmente as funções dos seres vivos.

A composição e a estrutura das proteínas

Os estudos iniciais a respeito das proteínas mostraram que elas são ricas principalmente em átomos de carbono, nitrogênio, hidrogênio e oxigênio. Algumas podem conter, ainda, enxofre, fósforo e outros elementos químicos em menores quantidades.

Sabe-se hoje que esses átomos estão distribuídos de modo muito característico nas moléculas de proteínas, as quais são conhecidas como *macromoléculas* (moléculas muito grandes), porque, na verdade, são compostas de moléculas menores e parecidas entre si, chamadas aminoácidos. Todas as proteínas existentes nas células são formadas por apenas 20 tipos diferentes de *aminoácidos*.

Podemos compreender melhor isso se imaginarmos as proteínas como palavras, e os aminoácidos como as letras que as compõem. Da mesma forma que é possível formar um grande número de palavras com alguns poucos tipos de letras, um grande número de proteínas pode ser formado com alguns poucos tipos de aminoácidos. O tamanho das proteínas, assim como o das palavras, depende do número de aminoácidos de que são formadas. Existem desde aquelas formadas por poucos aminoácidos, como o hormônio insulina (51), passando por outras compostas de centenas deles, como é o caso da hemoglobina (576), até outras muito maiores e mais pesadas, com até 8.500 aminoácidos.

Sabendo que existem 20 tipos de aminoácidos, tente calcular quantas “proteínas” diferentes, compostas por apenas 6 aminoácidos, podem ser formadas. É possível repetir o cálculo para proteínas com 50 aminoácidos? Para saber quantas proteínas de 6 aminoácidos podem existir, basta pensar que podemos colocar 20 tipos de aminoácidos diferentes em cada uma das seis

posições da nossa "proteína". Isso nos fornecerá um número de sequências possíveis de 6 aminoácidos igual a 20x20x20x20x20x20 que pode ser escrito como 20^6. Você tem ideia do tamanho desse número? O mesmo raciocínio pode ser feito para uma proteína com 50 aminoácidos.

#lá na plataforma

Veja lá na plataforma uma resolução detalhada para o problema apresentado.

Como você deve ter notado, com apenas vinte tipos de aminoácidos podem ser formadas praticamente infinitas proteínas diferentes, já que o número de aminoácidos numa proteína pode ir desde uns poucos até milhares. Mais uma vez, a analogia com as palavras pode ajudá-lo a compreender melhor esses conceitos, só que, neste caso, o tamanho das palavras (proteínas) é quase ilimitado (claro, ninguém precisa pronunciá-las...).

No entanto, embora pudessem existir bilhões ou mesmo trilhões de proteínas diferentes com centenas de aminoácidos, o fato é que apenas uns poucos milhares delas realmente existem. Existem sim, milhões, bilhões ou trilhões de cópias de uma mesma proteína em um organismo. Ou seja, existe um pequeno número de tipos de proteínas, mas cada um desses tipos é produzido aos milhões pelo organismo. Isso certamente indica que as proteínas não se formam de modo desordenado (ao acaso) nas células, com os aminoácidos se ligando aleatoriamente entre si. Afinal, se as proteínas se formassem ao acaso, existiriam muito mais tipos de proteínas e muito menos cópias de cada uma delas. Esse controle da síntese de proteínas é exercido pelo DNA, como veremos mais adiante.

Assim como as letras são as unidades que compõem as palavras, os aminoácidos são as unidades formadoras das proteínas. Se compreendermos as propriedades dos aminoácidos, poderemos compreender as propriedades das proteínas e, com isso, entender melhor como elas exercem suas variadas funções.

Se todas as unidades formadoras das proteínas são conhecidas como aminoácidos, é porque todas elas têm algo em comum. Porém, se dizemos que há 20 tipos de aminoácidos, é porque eles todos são também diferentes entre si.

Na **Figura 12.1** estão representadas as moléculas dos 20 tipos de aminoácidos presentes na célula. Observe cada fórmula e identifique o que há de comum em todas elas. (Você pode circular com um lápis na figura).

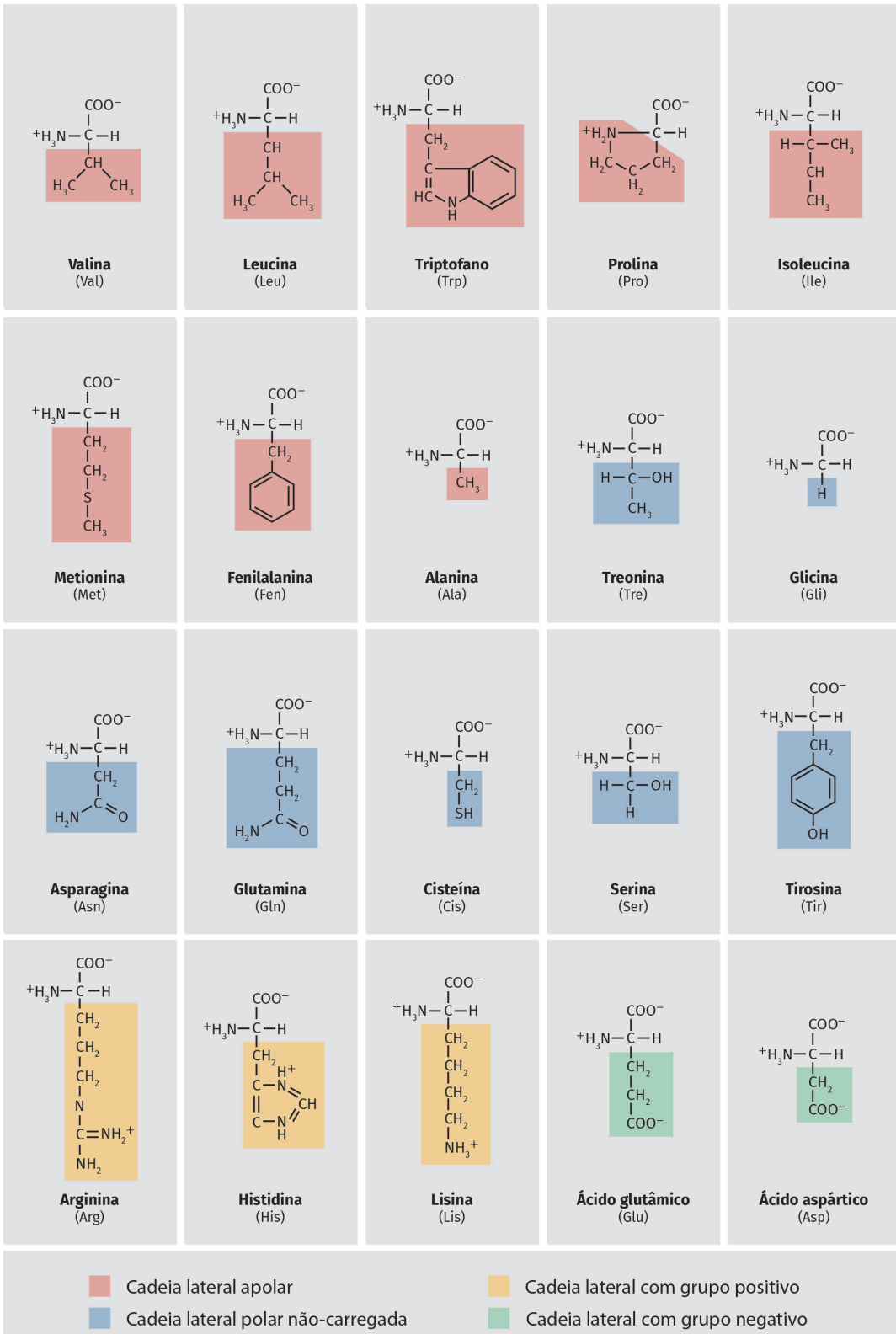


Figura 12.1: Fórmulas dos 20 tipos de aminoácidos presentes nas células.

Apesar das características comuns que você identificou, cada aminoácido tem também componentes diferentes em suas moléculas, os quais são chamados de *radicais* ou de *grupamentos laterais* (porque estão "pendurados" no pedaço comum a todos). Identifique-os na **Figura 12.1**.

Como você pode observar, alguns desses radicais podem apresentar cargas negativas, outros apresentam cargas positivas, enquanto outros não apresentam carga alguma. Existem ainda radicais que, de modo parecido com a água, apresentam polos, embora não apresentem cargas.

As porções comuns dos aminoácidos são importantes, porque é através delas que eles se ligam entre si. Essa ligação é controlada por mecanismos complexos da célula, que veremos mais tarde, mas segue um mesmo esquema geral que você pode acompanhar na **Figura 12.2**:

1. Um oxigênio e um hidrogênio ligados (OH) são removidos da porção comum de um aminoácido, e um hidrogênio (H) é removido da porção comum do outro aminoácido.

2. O OH e o H removidos formam uma molécula de água (H_2O).

3. O carbono (C) do aminoácido que perdeu OH se liga ao nitrogênio (N) do outro, que perdeu o H.

A ligação formada é denominada *ligação peptídica*.

A ligação peptídica é uma reação de desidratação, pois gera uma molécula de água como produto. Na quebra de uma molécula de proteína, por sua vez, a ligação peptídica é quebrada e, para isso, uma molécula de água é consumida. O resultado final é a separação de dois aminoácidos, com o "uso" do OH da água, que se liga ao C de um aminoácido, e do H da água, que se liga ao N do outro aminoácido. É fundamentalmente o contrário da reação de desidratação: essa nova reação é chamada de *hidrólise*: uma quebra (lise) que consome água (hidro).

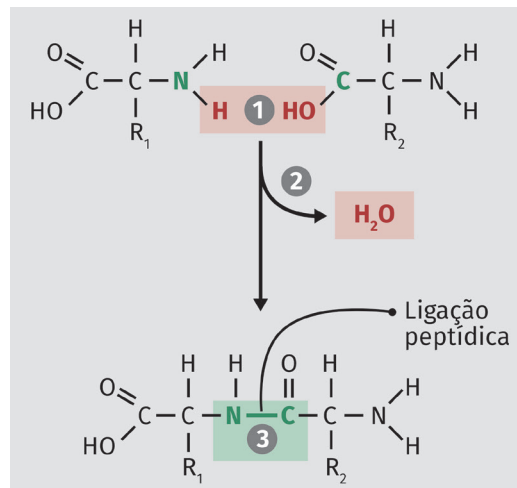


Figura 12.2: Ligação peptídica.

É através da sua porção comum que os aminoácidos se ligam formando proteínas. Entretanto, as partes diferentes, os radicais, são tão importantes quanto as porções comuns.

Como mostrado na **Figura 12.1**, alguns desses radicais (grupos laterais) podem apresentar cargas negativas, outros apresentam cargas positivas, enquanto outros não apresentam carga alguma. Existem ainda radicais que, de modo parecido com a água, apresentam polos, embora não apresentem cargas. Devido a essas propriedades, os radicais são, na verdade, os responsáveis pelas características das proteínas, pois, em uma mesma proteína, alguns aminoácidos terão radicais com carga positiva, outros com cargas negativas, e outros sem carga alguma.

Mas qual a importância dessa diferença de cargas numa mesma proteína? Para responder a essa questão, vamos representar cada aminoácido por um esquema simplificado, como mostrado na **Figura 12.3**. Nesse esquema, as porções cinza escuro representam a parte comum a todos, e as porções cinza claro, os grupos laterais (radicais) que podem ser carregados (A e B), polares sem cargas (D) ou apolares (C).

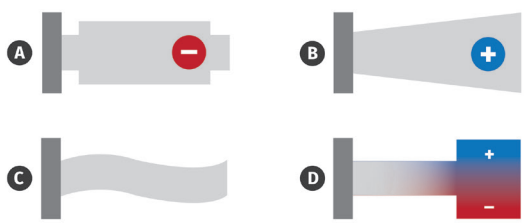


Figura 12.3: Esquemas representando 4 tipos de aminoácidos. (A) e (B) são carregados, (C) é neutro apolar e (D) é neutro polar.

Na **Figura 12.4**, representamos um trecho de uma proteína utilizando o modelo de aminoácidos da **Figura 12.3**. Observe que os aminoácidos estão ligados entre si pelas partes comuns (porções cinza escuro), que formam um "esqueleto" ao qual se prendem os radicais (porções cinza claro).

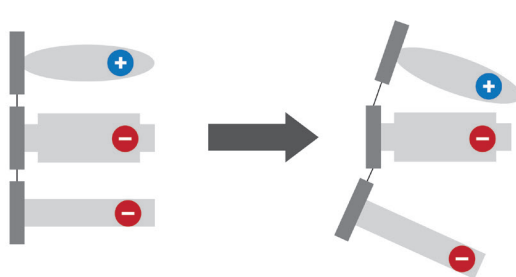


Figura 12.4: As cargas dos radicais dos diferentes aminoácidos interagem, fazendo com que as ligações entre as partes comuns se dobrem.

Como podemos observar na **Figura 12.4,** as cargas opostas dos radicais de aminoácidos próximos (azul e vermelho) vão se atrair, enquanto cargas iguais (os dois vermelhos vizinhos) vão se repelir. Claro que esse é um modelo bastante simplificado, pois, da mesma forma que o primeiro aminoácido (azul+) atrai o segundo (vermelho -), ele também atrai o terceiro (vermelho -). Como o segundo e o terceiro se repelem (são negativos), a posição relativa do segundo aminoácido será determinada pelas duas interações (atração pelo primeiro e repulsão pelo terceiro). Cada aminoácido, portanto, interage com vários outros, e não apenas com aqueles aos quais está diretamente ligado. Essas interações fazem com que as moléculas de proteínas se dobrem e enrolem. Para você ter uma ideia mais clara do resultado, pense no que ocorrerá com a troca de um ou mais dos três aminoácidos por outros com carga diferente (todos negativos, por exemplo). Isso mudará a conformação final desse trecho?

Vale a pena lembrar que as proteínas são, em geral, constituídas por dezenas, centenas, ou mesmo milhares de aminoácidos ligados uns aos outros. Por isso mesmo são dezenas, centenas ou milhares de interações entre aminoácidos, determinando a maneira como uma dada proteína deve se enrolar para "satisfazer" a todas as atrações e repulsões presentes.

#lá na plataforma

Aprenda mais sobre o enovelamento de proteína lá na plataforma.

Há um outro fator importante que determina a maneira como uma proteína se dobra e enrola. Para entender esse segundo fator,

devemos nos lembrar de que as proteínas são moléculas características dos seres vivos, que são compostos principalmente de água. É correto afirmar, portanto, que as proteínas existem quase sempre em ambientes onde existe também uma grande quantidade de água.

Como vimos anteriormente, a água é uma molécula polar, e, como acabamos de ver, os radicais de diversos aminoácidos possuem cargas, e vários outros formam polos. Moléculas carregadas e moléculas polares são *hidrofílicas*, ou seja, solúveis em água. Muitos aminoácidos, no entanto, possuem radicais apolares e sem cargas, ou seja, são *hidrofóbicos*. Assim, as proteínas podem ser vistas como longas correntes, nas quais alguns elos (aminoácidos) tenderiam a se dissolver em água, enquanto outros tendem a se juntar entre si e separar-se dela. No entanto, os aminoácidos de uma proteína estão presos uns aos outros.

Essas diferenças de solubilidade entre os aminoácidos geram mais um "jogo de empurra", no qual os hidrofóbicos tendem a se aproximar entre si e se afastar da água, enquanto os hidrofílicos interagem com os polos das moléculas de água. Também, em consequência desse "jogo de empurra", a proteína se dobra e enrola, de modo que os aminoácidos hidrofóbicos fiquem o mais possível protegidos da água, sendo envolvidos pelos hidrofílicos.

Suponha agora que as letras abaixo representem as sequências de aminoácidos de duas proteínas:

- **A-B-B-C-D-E-A-A-F-G**
- **A-F-B-C-E-D-A-A-B-G**

Os aminoácidos que as compõem são os mesmos? As duas deverão se enrolar da mesma forma? Por quê?

Como acabamos de ver, a forma como uma proteína se dobra depende do resultado final dos dois jogos de empurra: o das interações dos aminoácidos entre si e o dos aminoácidos com a água. E essas interações, por sua vez, são determinadas pela sequência com que os aminoácidos se organizam em uma proteína, o que é denominado de *estrutura primária* daquela proteína.

Naturalmente, duas proteínas com a mesma sequência primária se dobrarão exatamente da mesma maneira. Na verdade, duas proteínas com a mesma sequência primária são duas cópias de um mesmo tipo de proteína. Podemos dizer, de modo mais simples, que são duas proteínas iguais. Duas moléculas de insulina, por exemplo, possuem exatamente os mesmos aminoácidos ligados na mesma sequência, o que chamamos de *estrutura primária*.

Já as maneiras como as proteínas se enrolam são denominadas *estruturas secundária, terciária* e *quaternária*. Porém, no nosso caso, vamos deixar de lado os detalhes sobre cada uma dessas estruturas e dar atenção ao formato final da proteína decorrente desse enrolamento.

A forma final de uma dada proteína em condições fisiológicas é conhecida como sua conformação nativa. Todas as proteínas de um mesmo tipo possuem a mesma *conformação nativa*, ou seja, todas as moléculas de insulina se dobram e se enrolam do mesmo modo dentro da célula.

Neste ponto, você já deve ser capaz de explicar por que duas proteínas com a mesma sequência primária possuem exatamente a mesma conformação nativa.

#lá na plataforma

Quer saber mais sobre a estrutura das proteínas? Acesse a plataforma e descubra um pouco mais.

A conformação das proteínas depende do meio em que elas se encontram

Quando nos referimos às condições fisiológicas na seção anterior, estávamos nos remetendo às condições em que cada proteína é produzida nos diversos tecidos, órgãos ou células, ou seja, algumas proteínas são produzidas em "ambientes" muito diferentes de outras. Por exemplo, uma proteína secretada no estômago, como parte do suco gástrico, é lançada em um ambiente extremamente ácido; já uma proteína secretada no intestino é lançada num ambiente básico. Será que isso tem alguma importância?

Um dos fatores mais importantes na determinação da forma das proteínas é justamente a acidez de uma solução. Na verdade, o que influencia a conformação de uma proteína é o pH da solução. Para abordar esse ponto, vamos retomar aquela sequência de três aminoácidos mostrada na **Figura 12.4**. Suponha que uma proteína que contenha, na sua estrutura primária, aquela sequência de aminoácidos seja colocada em um frasco contendo uma solução bastante ácida. Lembre-se de que uma solução de pH ácido contém elevada concentração de_____.

Vamos, então, representar a nossa sequência de aminoácidos em um ambiente ácido. Observe a **Figura 12.5** e reflita: o que deve ocorrer com as cargas dos três aminoácidos nesse ambiente contendo muitos íons H^+? E com a conformação da proteína?

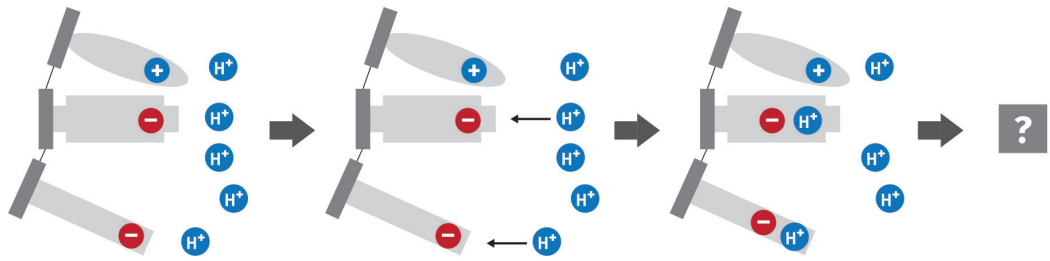


Figura 12.5: O pH é determinante para a conformação das proteínas, já que a maior ou menor concentração de H^+ altera a carga dos radicais dos aminoácidos. Os radicais podem ganhar ou perder H^+, dependendo da concentração desses íons na solução.

A conformação de uma proteína, portanto, depende também das condições do meio em que ela se encontra. Assim, uma proteína do suco gástrico, cujo pH é cerca de 2,0, terá sua conformação

alterada se for dissolvida em água (pH = 7,0). De modo semelhante, uma proteína secretada na boca, cujo pH é neutro, terá sua conformação alterada se for dissolvida em suco gástrico.

Resumo

- Proteínas são macromoléculas formadas por unidades menores, chamadas *aminoácidos*, ligadas entre si.
- Aminoácidos são moléculas orgânicas pequenas que apresentam uma parte comum a todos e uma parte que os distingue uns dos outros, chamada de *radical* ou *agrupamento lateral*.
- A ligação entre os aminoácidos na proteína ocorre pela parte comum e recebe o nome de *ligação peptídica*.
- A sequência em que os aminoácidos se ligam em uma proteína é chamada de *estrutura primária*.
- A estrutura primária da proteína se dobra e se enrola de várias maneiras originando o formato final da proteína.
- O formato final da proteína em condições fisiológicas é chamado de *conformação nativa*.
- A conformação nativa da proteína se deve a um jogo de interações elétricas entre os radicais dos diferentes aminoácidos e destes com a água.
- A acidez (presença de íons H^+) do meio altera a conformação das proteínas.

Atividade

As hemácias (ou eritrócitos) são as células do sangue responsáveis pelo transporte de oxigênio. O seu interior é quase totalmente preenchido por moléculas de uma proteína, a hemoglobina, que se associa ao oxigênio para transportá-lo.

A figura abaixo mostra imagens de hemácias de duas pessoas (A e B). A é normal e B tem uma doença denominada anemia falciforme, na qual o transporte de oxigênio é prejudicado. Os componentes do sangue de A e de B são iguais em tudo, exceto por um único aminoácido diferente em suas moléculas de hemoglobina. A hemoglobina normal possui na posição 6 de uma de suas cadeias o aminoácido ácido glutâmico (Glu), e a hemoglobina falciforme possui o aminoácido valina (Val) nessa mesma posição.

Considerando essa troca, proponha uma explicação para as diferenças apresentadas nas hemácias de A e de B (dica: compare as propriedades dos dois aminoácidos, ácido glutâmico (Glu) e valina (Val) na **Figura 12.1**).

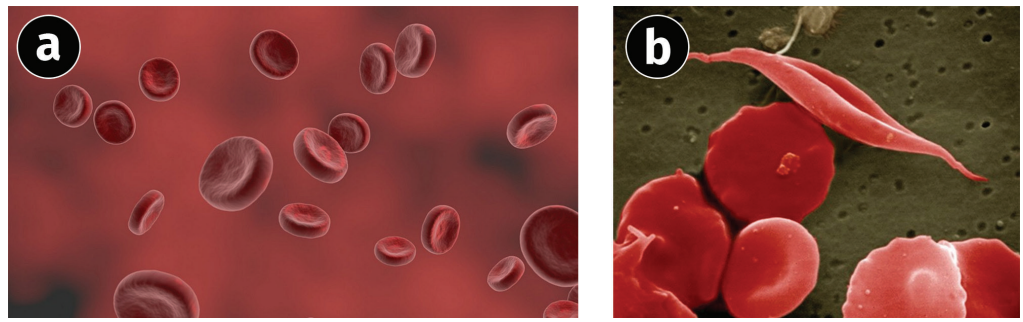


Figura 12.6: (a) indivíduo normal e (b) indivíduo com anemia falciforme. Fonte: (a) https://pixabay.com/pt/illustrations/hem%C3%A1cia-sangue-humano-micro-5280112/. Autor: Cristal Blair. (b) https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Eritrociti.jpg. EM Unit, UCL Medical School, Royal Free Campus, Wellcome Images. CC BY 4.0.

Resposta comentada

Observe que o radical do ácido glutâmico, presente na hemoglobina normal, é negativo e o da valina, presente na hemoglobina falciforme, é apolar (hidrofóbico). Essa troca faz toda a diferença no jogo de empurra de enovelamento da proteína, fazendo com que a hemoglobina falciforme seja mais insolúvel em água do que a hemoglobina normal (você saberia dizer por quê?).

Os cientistas descobriram que a hemoglobina S (falciforme), por ser mais insolúvel, precipita e forma agregados que deformam a hemácia, conferindo-lhe a forma de foice.

Referências

ALBERTS, B. *et al*. *Fundamentos da biologia celular*. 4. ed. Porto Alegre: Artmed, 2017.

LEHNINGER, A. L., NELSON, D. L. E COX, M. M. *Princípios de bioquímica*. 6. ed. Porto Alegre: Artmed, 2014.

Proteínas muito especiais: as enzimas

13

meta

Apresentar as características e os fatores que afetam o funcionamento das enzimas.

objetivos

Esperamos que, ao final desta unidade, você seja capaz de:

- identificar o papel dos catalisadores;
- relacionar a estrutura das enzimas ao seu funcionamento;
- reconhecer o efeito dos diferentes fatores que afetam a ação enzimática.

Introdução

Para estudar uma classe muito especial de proteínas, as *enzimas*, precisaremos rever o conceito de reação química. De um modo muito simplificado, podemos dizer que uma *reação química* é a transformação de uma ou mais moléculas em outras moléculas diferentes. Por exemplo, o amido de nossos alimentos reage com a água, gerando maltose.

As moléculas presentes no início de uma reação química e que reagirão entre si são denominadas *reagentes*. Já as moléculas das substâncias produzidas após a reação são denominadas *produtos*. Nas células e nos seres vivos, de modo geral, ocorrem milhares de reações químicas simultânea e ininterruptamente.

As reações químicas são representadas por equações químicas que seguem os esquemas abaixo, em que A, B, C e D representam as fórmulas das substâncias envolvidas na reação. À esquerda da seta, estão os reagentes e, à direita, os produtos:

(1) $A + B \rightarrow C$ (2) $C + D \rightarrow E + F$ (3) $F \rightarrow A + D$

Vejamos alguns exemplos:

(1) $H_2 + Cl_2 \rightarrow 2HCl$ (2) $C_2H_6O + 3O_2 \rightarrow 2CO_2 + 3H_2O$ (3) $H_2O \rightarrow H_2 + O_2$

Os números que aparecem antes das fórmulas são necessários para indicar que a quantidade de átomos se conserva na reação química, isto é, a quantidade de átomos presentes nos reagentes tem que ser igual à quantidade de átomos presentes nos produtos. Mais detalhes sobre as reações e equações químicas você encontra no seu material de Química.

Velocidade das reações químicas

A velocidade das reações químicas é geralmente determinada de duas maneiras. Em ambos os métodos, coloca-se uma quantidade conhecida de reagentes em um frasco. Em seguida, são retiradas amostras da solução do frasco a intervalos de tempo regulares. No primeiro método, determina-se a velocidade de desaparecimento dos reagentes, já que, à medida que a reação ocorre, eles vão sendo transformados nos produtos. A outra maneira utilizada, e bem mais comum, é medir a velocidade de aparecimento do(s) produto(s). A velocidade da reação é mais frequentemente expressa como uma razão entre a quantidade de produto formada por unidade de tempo (miligramas por minuto, por exemplo).

Para que uma reação química ocorra, é essencial que as moléculas dos reagentes se encontrem. Esses encontros, em geral, ocorrem ao acaso, ou seja, não precisa haver nada forçando os reagentes (amido e água, por exemplo) a se aproximarem uns dos outros. Esses encontros

ocorrem apenas devido ao movimento natural e aleatório das moléculas. Alguns fatores, no entanto, podem alterar a velocidade de uma reação química, como a concentração dos reagentes e a temperatura em que a reação ocorre.

Concentração dos reagentes

Um dos fatores que afetam a velocidade das reações é a concentração dos reagentes. A concentração indica a quantidade de moléculas presentes em um dado volume de solução. Quanto maior for a concentração dos reagentes em uma solução, maior será a velocidade da reação. Será que você consegue explicar por quê?

Temperatura

A temperatura é uma medida do grau de agitação das moléculas em um material. O gráfico da **Figura 13.1** mostra o efeito da temperatura sobre a velocidade de uma reação química. Analise-o atentamente e pense em uma explicação para as variações de velocidade observadas.

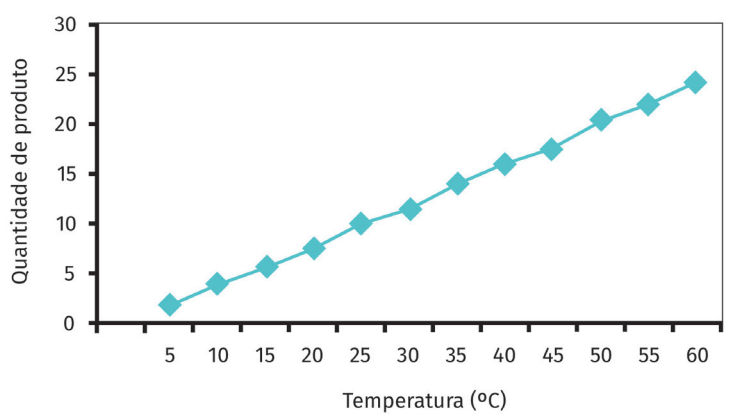


Figura 13.1: Gráfico mostrando a relação da temperatura e a velocidade da reação química.

Você deve ter considerado a relação entre temperatura e agitação das moléculas para explicar o comportamento do gráfico. Afinal, se as moléculas tiverem maior agitação, isso aumentará a possibilidade de choques entre elas.

Histórico e definição de enzimas

O estudo das enzimas iniciou-se no século XIX, com os trabalhos sobre a digestão no estômago e nos intestinos. Esses estudos mostravam que algumas reações químicas ocorriam mais rapidamente no interior dos órgãos digestivos do que fora deles. Foi observado, por exemplo,

que o amido era rapidamente transformado em moléculas de maltose, em presença de saliva. Se, em um tubo contendo água, for colocada uma solução de amido, também ocorre a quebra deste em maltose. Porém, a velocidade com que isso ocorre é muito maior na presença de saliva do que na ausência dela.

Por outro lado, as moléculas de maltose são fragmentos (pedaços) da molécula de amido e não contêm qualquer átomo ou molécula da saliva. A presença da saliva, portanto, acelera a reação de quebra do amido em maltose. Substâncias que aceleram a velocidade de reações químicas sem, no entanto, participarem diretamente delas são denominadas *catalisadores*. Sabia-se, portanto, que existia um processo de catálise de várias reações químicas nos organismos vivos.

Na segunda metade do século XIX, Louis Pasteur, estudando a fermentação do vinho, demonstrou que o processo dependia de catalisadores presentes em fungos microscópicos (leveduras), que realizavam as reações químicas que levavam à produção de álcool, ou seja, a transformação de suco de uva em vinho. Pasteur deu o nome de fermentos aos catalisadores existentes naqueles microrganismos. Ele propôs ainda que a ação dos "fermentos" sobre as reações químicas só poderia ocorrer na presença das leveduras vivas, pois ela não ocorria se as leveduras fossem fervidas.

Mais para o final do século XIX, mais precisamente no ano de 1897, Eduard Buchner conseguiu realizar o processo de fermentação a partir de extratos de leveduras. Um extrato é uma solução obtida a partir de organismos, células ou tecidos rompidos e homogeneizados e, portanto, não contém seres vivos, mas sim as substâncias que os compõem. É como se fosse um "suco de leveduras". Um detalhe importante para entender as experiências de Buchner é que ele não ferveu as leveduras ao preparar os extratos, mas apenas rompeu suas células. Com os resultados, ficou demonstrado que a catálise não dependia de seres vivos íntegros, mas apenas de substâncias químicas produzidas por eles.

Desde o início do século XX, inúmeras tentativas foram feitas para identificar a natureza química das enzimas. Em 1926, James Summer mostrou que uma proteína extremamente purificada era capaz de agir como uma enzima. No entanto, a maioria dos bioquímicos da época não aceitou seus resultados. Acreditava-se, então, que as enzimas deveriam ser substâncias pequenas e simples, como eram os catalisadores inorgânicos conhecidos, e não moléculas grandes, formadas por centenas de aminoácidos. Porém, muitas outras demonstrações semelhantes à de Summer foram realizadas para outras proteínas.

Por esses e outros motivos, aceitou-se que as enzimas são proteínas. Além disso, sabe-se hoje que muitas enzimas não atuam sozinhas. Para funcionarem, elas dependem de outras substâncias, denominadas *coenzimas* e, com frequência, as vitaminas agem como coenzimas. Como quase todas as reações indispensáveis à vida dependem da catálise por enzimas e, como muitas enzimas têm vitaminas como coenzimas, fica fácil compreender por que é importante uma alimentação rica em proteínas e vitaminas.

O gráfico da **Figura 13.2** mostra a velocidade de aparecimento de maltose em três tubos diferentes (A, B e C) que inicialmente continham somente amido. Você saberia dizer em que tubo foi adicionada saliva?

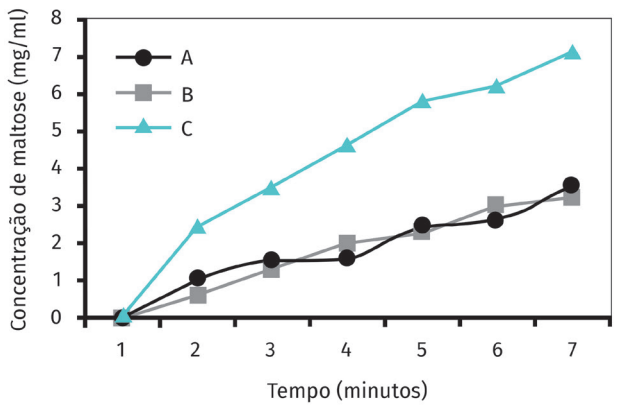


Figura 13.2: Gráfico mostrando a velocidade de surgimento de maltose a partir de amido em três tubos diferentes.

Determinando a atividade das enzimas

Em uma reação catalisada por enzimas, as moléculas iniciais, sobre as quais as enzimas atuam, são chamadas *substratos*, e aquelas que são produzidas ao final da reação são denominadas *produtos*. Você pode identificar o substrato e o produto na reação catalisada pela saliva na **Figura 13.2**.

A atividade de uma enzima é medida por meio da velocidade com que ocorre a reação que ela catalisa. A velocidade das reações enzimáticas é determinada da mesma maneira que a de reações não enzimáticas, ou seja, pelo desaparecimento do substrato ou pelo aparecimento do produto. A velocidade da reação é muitas vezes expressa como uma razão entre a quantidade de produto formado por quantidade de enzima por unidade de tempo (por exemplo: miligramas de produto por miligrama de enzima por minuto). Isso ocorre, pois, se adicionarmos mais enzima à reação, maior será sua velocidade. Ao se realizar um experimento, costuma-se utilizar uma quantidade constante de enzima nos diversos frascos. Dessa forma, a velocidade pode ser expressa simplesmente em unidades de massa por unidade de tempo, como nas reações não enzimáticas.

Os efeitos de diferentes fatores sobre a atividade da enzima são medidos comparando-se as velocidades da reação nas diversas condições estudadas. Utilizando-se uma mesma quantidade de enzima, altera-se uma condição experimental de cada vez. Dessa forma, foi possível estabelecer os fatores que afetam a atividade enzimática e, com base nesses resultados, propor mecanismos para explicar como as enzimas catalisavam as reações químicas.

Efeito do pH

A avaliação do efeito do pH sobre a atividade enzimática pode ser realizada preparando-se vários frascos com soluções que contenham rigorosamente as mesmas quantidades de substrato e de enzima. Em seguida, altera-se o pH das soluções em cada um dos frascos, adicionando diferentes quantidades de um ácido a cada um deles. Após um período de tempo (10 minutos, por exemplo), igual para todos os frascos, amostras das soluções são recolhidas e mede-se a quantidade de produto gerada naquele tempo.

O gráfico da **Figura 13.3** mostra o efeito de variações de pH sobre a atividade de uma enzima. Analise-o cuidadosamente e tente propor uma explicação para os efeitos observados, com base nos seus conhecimentos sobre a conformação das proteínas e sua relação com o pH do meio. Ao analisar o gráfico, observe os seguintes elementos: existe algum valor de pH no qual a atividade da enzima é máxima? Qual é esse valor? O que acontece quando o pH é menor ou maior do que esse valor?

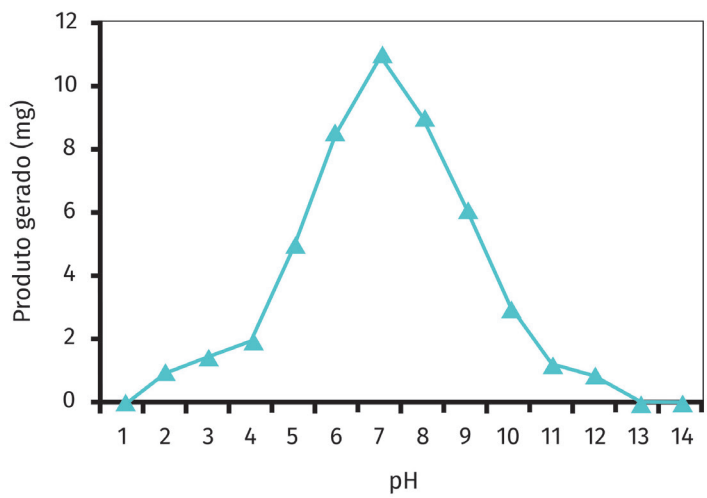


Figura 13.3: Gráfico mostrando o efeito do pH sobre a atividade de uma enzima hipotética.

Como você deve ter observado, a atividade da enzima mostrada na **Figura 13.3** aumenta até um certo valor de pH a partir do qual ela diminui até chegar a zero. O que pode causar esse comportamento? Se você se lembra do efeito do pH sobre as proteínas, terá chegado à resposta. Essa é uma evidência de que as enzimas dependem de sua conformação para poderem se associar ao substrato. O pH em que a reação atinge sua velocidade máxima é chamado de pH ótimo para atuação da enzima e varia de uma enzima para outra.

Efeito da temperatura

Já vimos anteriormente que as reações químicas são aceleradas pelo aumento de temperatura. Se essa reação for catalisada por uma enzima, o que deve ocorrer com a sua velocidade à medida que a temperatura for aumentando? Será que a velocidade da reação crescerá indefinidamente?

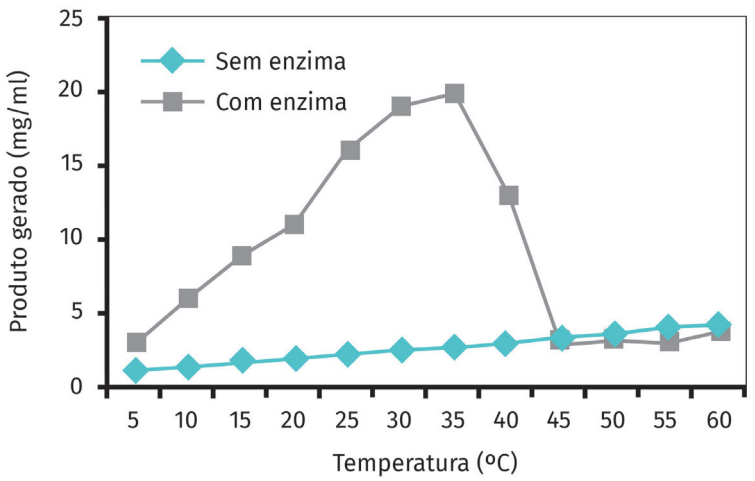


Figura 13.4: Efeito da temperatura sobre uma reação química na presença e na ausência de enzima.

O gráfico da **Figura 13.4** mostra os efeitos da temperatura sobre a velocidade de uma reação na presença e na ausência da enzima que a catalisa. Compare as duas situações representadas e proponha explicações para as variações observadas na reação sob ação da enzima entre 0ºC e 35ºC e entre 35ºC e 50ºC. Considere que a temperatura é uma medida do grau de agitação das moléculas e pense no efeito dessa agitação sobre a conformação das moléculas de proteínas.

Da mesma forma que acontece com o pH, a velocidade da reação enzimática aumenta até uma temperatura ótima, a partir da qual ela diminui até chegar a zero.

Efeito da concentração de reagentes

Um terceiro fator que afeta a velocidade de uma reação química é a quantidade de reagentes presentes na solução. De acordo com o que vimos anteriormente, se aumentarmos a concentração (quantidade por unidade de volume) de substrato (reagente), a velocidade da reação química (quantidade de produto por unidade de tempo) deverá aumentar. Você saberia explicar por quê? E no caso de uma reação catalisada por uma enzima, o que acontece?

O gráfico da **Figura 13.5** compara as duas situações. Ele mostra, de forma simplificada, os efeitos da concentração de reagentes (substratos) sobre a velocidade de uma reação na presença e na ausência da enzima que a catalisa.

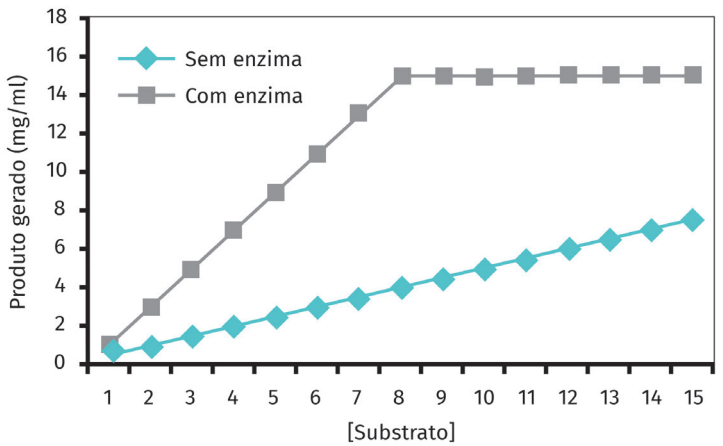


Figura 13.5: Efeito da concentração de substrato (reagente) sobre uma reação química na presença e na ausência de enzima.

O comportamento da curva da reação sem enzima é fácil de explicar: quanto mais reagente houver na solução, mais produto será formado. E o comportamento da curva da reação na presença de enzima? Observe que, no início, quanto maior a concentração de substrato (reagente), mais produto aparece, mas esse comportamento não permanece indefinidamente. Veja o que acontece quando a concentração de substrato atinge 8 mg/ml ou mais. Como explicar esse comportamento?

Para entendê-lo, precisamos conhecer um pouco dos mecanismos pelos quais as enzimas catalisam as reações químicas. As enzimas catalisam reações de diferentes tipos em todos os organismos. Na temperatura corporal (e celular) da maioria dos seres vivos, as reações acontecem lentamente, em uma velocidade insuficiente para que aquilo a que chamamos de vida possa continuar ocorrendo. Aliás, uma das características da vida é exatamente a ocorrência, em ritmo acelerado, de reações químicas que normalmente ocorrem muito lentamente.

As enzimas mais conhecidas de todos nós são aquelas que atuam quebrando ligações químicas (na digestão, por exemplo), mas existem outras que catalisam outros tipos de reações químicas, desde aquelas que formam ligações químicas entre diferentes moléculas (como as que ligam os aminoácidos durante a formação das proteínas) até as que transformam dois substratos em um ou mais produtos diferentes, como no esquema abaixo:

$$A + B + \text{enzima} \rightarrow C + D + \text{enzima}$$

Uma característica importante que podemos observar no esquema é que a enzima aparece dos dois lados da equação química, porque ela não se altera durante a reação, ou seja, sua composição química e sua estrutura ao final da reação que ela catalisa são as mesmas do início. A partir disso, é possível perceber que uma mesma molécula de enzima pode catalisar o mesmo tipo de reação química várias vezes.

Em uma reação enzimática, as enzimas se ligam temporariamente ao substrato, acelerando a sua transformação em produto. Uma vez realizada a transformação, o produto é liberado e a enzima pode se associar a uma nova molécula de substrato, e assim sucessivamente. A **Figura 13.6** mostra o esquema de funcionamento das enzimas e o efeito da concentração de substrato sobre a velocidade da reação. O gráfico mostra, de forma mais realista do que o gráfico da **Figura 13.5**, a variação de velocidade da reação enzimática em função da concentração de substrato.

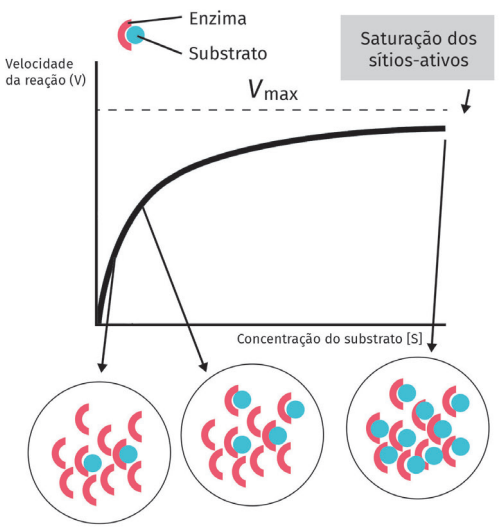


Figura 13.6: Curva relacionando a velocidade da reação enzimática (V) com a concentração de substrato [S].

Desnaturação e sítio ativo

Até o momento, percebemos que tanto a temperatura quanto o pH influenciam fortemente na ação catalítica das enzimas. Isso já nos fornece algumas pistas sobre uma característica fundamental das enzimas (que são proteínas) para que funcionem como catalisadores: *sua estrutura tridimensional*. Fatores, como o pH e a temperatura, podem ocasionar a mudança dessa estrutura tridimensional, fazendo com que a enzima deixe de funcionar. Essa modificação da estrutura tridimensional da enzima, causada por fatores que afetam a interação dos aminoácidos entre si, é chamada *desnaturação*.

Para que uma enzima atue, o substrato deve ligar-se a uma região específica da molécula de enzima, o seu *sítio ativo*. É nessa região que efetivamente ocorre a reação catalisada pela enzima. Esse encaixe é fundamental e, se não ocorre ou é prejudicado, a atividade enzimática cai drasticamente.

Diz-se que cada enzima só atua em uma reação química, ou seja, só tem um substrato. Na verdade, porém, se duas moléculas forem muito parecidas, por vezes, ambas podem servir de

substrato para uma mesma enzima. Para estudar o encaixe enzima-substrato, os bioquímicos modificam um pouco o substrato de uma enzima (substituem um H ligado a um carbono, por um O-H, por exemplo) e, em seguida, testam se essa modificação afetou a atividade enzimática. Se a atividade da enzima diminuir, então a parte modificada da molécula do substrato é importante para a ligação desse substrato ao sítio ativo.

Outra forma de se estudar o encaixe do substrato com a enzima é modificando quimicamente a estrutura dos radicais dos aminoácidos que compõem a enzima, testando sua atividade e comparando-a com a da enzima normal. Dessa forma, dependendo das alterações observadas nessa atividade, pode-se determinar a importância dos diversos aminoácidos na conformação da enzima. Estudos desse tipo demonstraram que as cargas dos radicais dos aminoácidos no sítio ativo e próximos dele são muito importantes, contribuindo para que o substrato se ligue à molécula de enzima. O encaixe do substrato no sítio ativo é muito dependente, portanto, das estruturas da enzima e de seu substrato.

Você entenderá melhor a relação da conformação da proteína e de seu sítio ativo com a sua atividade realizando o exercício a seguir.

Atividade

1. Suponha que um bioquímico tenha modificado os radicais de vários aminoácidos de uma certa enzima X para estudar sua atividade (não se preocupe com as técnicas usadas para isso; concentre-se, apenas, nos resultados apresentados). Na tabela abaixo, estão listadas as modificações feitas nos aminoácidos A, B, C, D e E dessa enzima e as atividades da enzima com cada uma das modificações. Cada enzima modificada foi testada três vezes, nas mesmas condições.

Modificação	**Atividade da enzima (velocidade da reação)**		
enzima X não alterada	5,2 g/min	5,1 g/min	5,0 g/min
aminoácido A modificado	5,1g/min	5,0 g/min	5,2 g/min
aminoácido B modificado	0,2 g/min	0,4 g/min	0,3 g/min
aminoácido C modificado	4,5 g/min	4,4 g/min	4,6 g/min
aminoácido D modificado	5,2 g/min	5,1 g/min	5,0 g/min
aminoácido E modificado	4,2 g/min	4,3 g/min	4,1 g/min

Com a ajuda dos seus colegas e do mediador, analise a tabela e responda à pergunta: qual(is) dessa(s) modificação(ões) deve(m) ter alterado o sítio ativo da enzima? Justifique. *(Anote a resposta em seu caderno.)*

Resposta comentada

Acesse a plataforma e encontre a resolução comentada desta atividade.

Resumo

- Enzimas são proteínas que atuam como catalisadores nas reações que ocorrem nos seres vivos.
- Catalisadores são substâncias que aceleram as reações químicas sem serem transformados nessas reações.
- O pH, a temperatura, a concentração de enzima e a concentração de substrato influenciam a atividade catalítica das enzimas.
- O pH e a temperatura alteram a conformação das enzimas, pois interferem nas interações entre os radicais dos aminoácidos que as compõem.
- À medida que a concentração de substrato aumenta, a velocidade da reação enzimática cresce até atingir um valor máximo constante.
- Sítio ativo é o local da enzima por meio do qual ela se liga ao substrato para produzir seus efeitos.
- Desnaturação é a inativação de uma enzima devido à alteração de sua conformação espacial.

Atividade

2. Considere que:

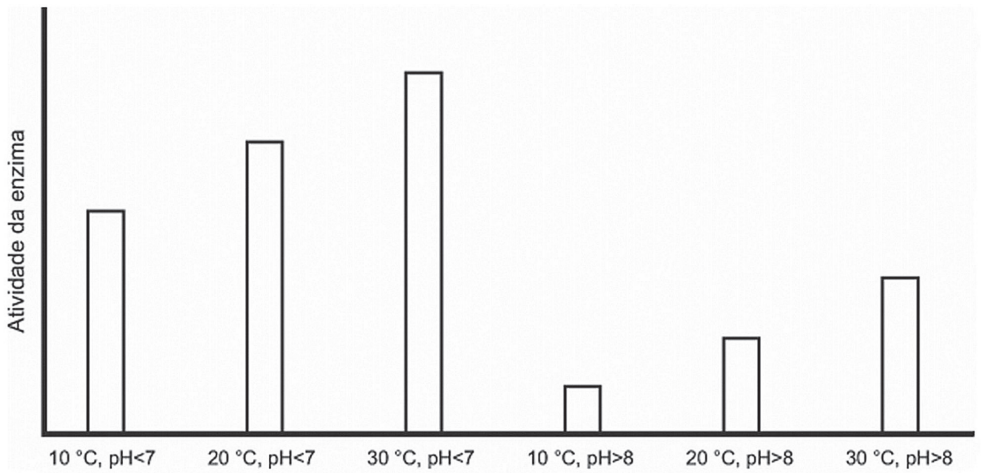
   I. a amilase é a enzima que degrada o amido em maltose;

   II. cada 1 grama de amilase é capaz de degradar 10g de amido por minuto;

   III. em um frasco foram colocados 100g de amido e 2g de amilase.

Faça o gráfico mostrando a quantidade de substrato e de produto ao longo de dez minutos de experiência. Explique resumidamente o que é mostrado em seu gráfico. *(Anote a resposta em seu caderno.)*

3. (Enem, 2017) Sabendo-se que as enzimas podem ter sua atividade regulada por diferentes condições de temperatura e pH, foi realizado um experimento para testar as condições ótimas para a atividade de uma determinada enzima. Os resultados estão apresentados no gráfico.



Em relação ao funcionamento da enzima, os resultados obtidos indicam que o(a)

a) aumento do pH leva a uma atividade maior da enzima.
b) temperatura baixa (10°C) é o principal inibidor da enzima.
c) ambiente básico reduz a quantidade de enzima necessária na reação.
d) ambiente básico reduz a quantidade de substrato metabolizado pela enzima.
e) temperatura ótima de funcionamento da enzima é 30°C, independentemente do pH.

Resposta comentada

Acesse a plataforma e encontre a resolução comentada destas atividades.

Referências

LEHNINGER, A. L., NELSON, D. L. E COX, M. M. *Princípios de bioquímica*. 6. ed. Porto Alegre: Artmed, 2014

Digestão e nutrição

14

meta

Apresentar e comparar a estrutura geral e os processos do sistema digestório em diferentes grupos animais.

objetivos

Esperamos que, ao final desta unidade, você seja capaz de:

- descrever a estrutura geral do sistema digestório;
- citar os processos mecânicos e químicos que ocorrem durante o processo de digestão;
- relacionar as enzimas digestivas com os órgãos que as produzem;
- reconhecer o funcionamento das enzimas digestivas e da bile;
- relacionar a ação das enzimas digestivas com as condições de temperatura e pH do tubo digestivo;
- relacionar a estrutura do sistema digestório com os hábitos alimentares de diferentes grupos animais.

Introdução

Nesta unidade, vamos dar início ao estudo da fisiologia, abordando o que acontece quando os alimentos são ingeridos. Dessa forma, compreenderemos como alimentos compostos por diversos nutrientes, alguns deles feitos de moléculas muito grandes e complexas, chegam até as células de todos os tecidos, onde são utilizados em suas diferentes funções. Começaremos com um exemplo da nossa realidade, tratando primeiro da nutrição humana, para depois fazermos comparações com a de outros animais.

Suponha que você tenha comido no almoço arroz, feijão, bife e salada de alface. De acordo com o que aprendemos, quando analisamos alguns rótulos, é possível identificar nesses alimentos os macronutrientes mostrados na **Figura 14.1**.

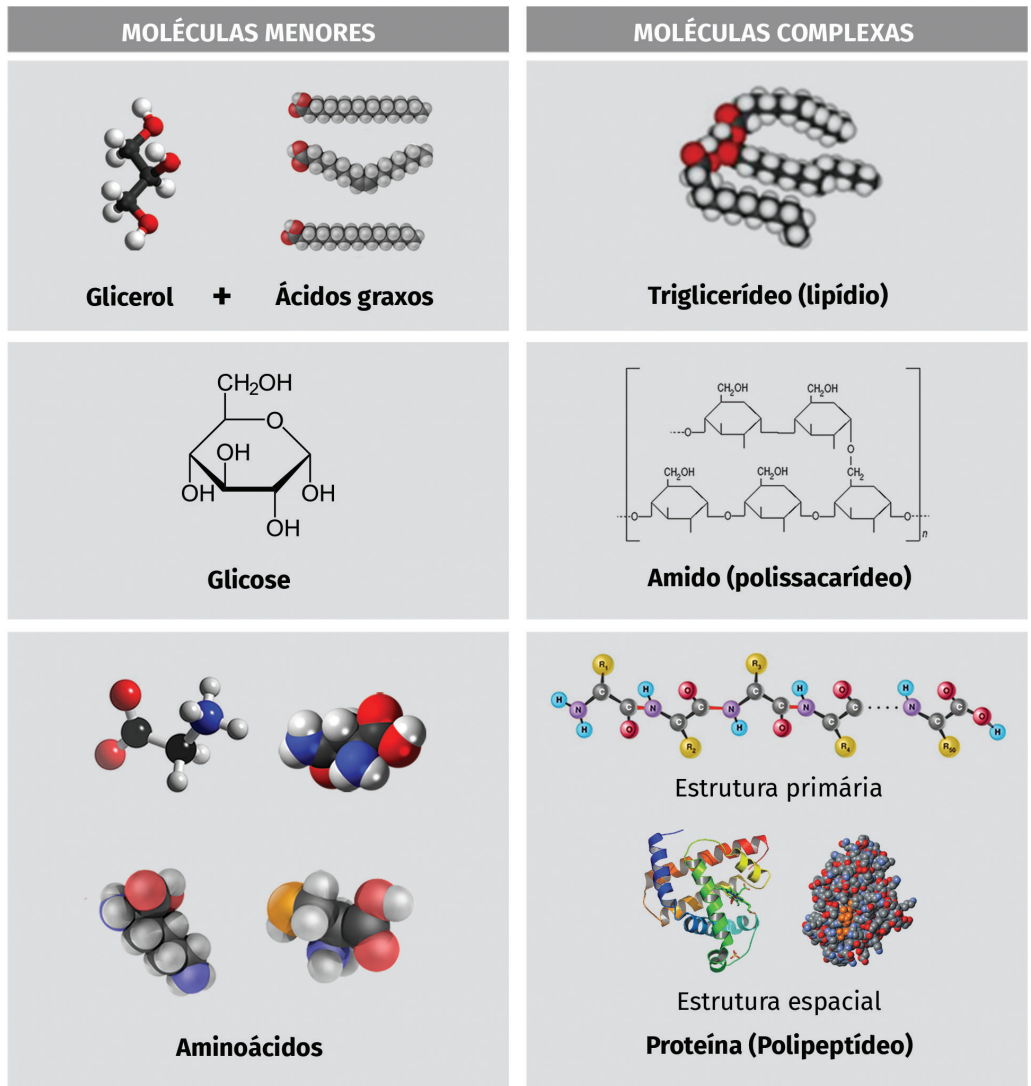


Figura 14.1: A composição dos macronutrientes..

Sabemos que nossos músculos, como o de todos os animais, são formados principalmente por proteínas. Seriam elas as mesmas que ingerimos no almoço?

As proteínas, como já vimos, são moléculas muito grandes, compostas por dezenas, centenas ou milhares de unidades menores (aminoácidos) ligadas entre si. Por serem moléculas tão grandes, não conseguem atravessar a parede do tubo digestivo e alcançar o sangue, e muito menos atravessar a membrana das células. O mesmo acontece com os carboidratos mais complexos (polissacarídeos). O amido, um polissacarídeo presente no arroz, no feijão e em muitos outros vegetais, também é uma molécula muito grande, formada por centenas de moléculas de glicose, esta sim capaz de ser transportada através da membrana da célula. Os lipídios, por sua vez, também são moléculas grandes formadas por moléculas menores: glicerol e ácidos graxos. Esta relação, entre as moléculas grandes que fazem parte do alimento que ingerimos e as moléculas pequenas de que são formadas, está representada na **Figura 14.1**.

Neste ponto, você já deve ser capaz de entender o que acontecerá com os macronutrientes durante a digestão, para que possam ser aproveitados pelas células.

As primeiras observações sobre o processo digestório

Durante muito tempo, os fenômenos que ocorrem durante a digestão se mantiveram praticamente desconhecidos. Entretanto, uma mistura de acaso, curiosidade e experiências simples, mas bem realizadas, lançou luz sobre esses fenômenos.

Algumas das principais observações iniciais que contribuíram para esclarecer o que acontecia com os alimentos após serem ingeridos foram realizadas por um médico do exército americano, de 1822 a 1832. Em 1822, o Dr. Beaumont tratou de um paciente que havia recebido um tiro na barriga, perdendo parte da parede abdominal e do estômago. Naquela época, ainda não havia cirurgia abdominal, e o Dr. Beaumont fez o melhor que pôde para salvar o paciente, Alexis Saint Martin. Apesar de seus esforços e cuidados, não conseguiu fechar completamente o ferimento de seu paciente. Por isso, embora tenha sobrevivido ao acidente, Alexis ficou com um buraco na barriga que dava acesso ao interior de seu estômago. Após se alimentar, ele precisava usar um tampão de gaze para evitar que o alimento ingerido escapasse pela abertura.

O Dr. Beaumont viu nessa situação uma oportunidade de estudar o que acontecia com os alimentos após serem ingeridos. Convenceu, então, seu paciente a permanecer sob seus cuidados por mais algum tempo. Nesse período, movido por sua curiosidade, o médico realizou uma série de observações sobre a digestão de diferentes alimentos, comparando o que acontecia dentro e fora do estômago de Alexis. Em um de seus experimentos, Dr. Beaumont amarrou pedaços de diferentes tipos de alimentos (carne ou vegetal) em um fio de seda e os introduziu

pelo buraco no abdômen de seu paciente, até que eles chegassem ao interior do estômago. Após intervalos de tempo variados, os fios eram puxados e os pedaços de alimento eram observados. Desse modo, Beaumont verificou que vegetais eram menos digeríveis no estômago do que outros alimentos, como a carne, por exemplo. Também observou que as condições emocionais do paciente interferiam com sua digestão.

Em outra experiência, o Dr. Beaumont, após deixar o paciente em jejum por 17 horas, retirou amostras do suco presente em seu estômago e colocou-as em dois frascos de vidro. Pegou então três pedaços de carne pesando 10 gramas cada, colocou dois deles nos dois frascos contendo suco gástrico e o terceiro pedaço foi amarrado em um fio de seda e introduzido no estômago do paciente. O primeiro frasco foi mantido à temperatura ambiente, e o segundo foi mantido em um banho à temperatura de 38ºC, igual à temperatura medida no interior do estômago de Alexis. Os três pedaços de carne foram observados a intervalos de tempo regulares. O Dr. Beaumont verificou, então, que o pedaço colocado no estômago foi completamente digerido em 2 horas, o pedaço colocado no frasco a 38ºC se desfez após 10 horas, dando ao líquido do frasco uma aparência pastosa acinzentada, enquanto o pedaço colocado no frasco à temperatura ambiente sofreu muito pouca alteração, mesmo após 12 horas. Como explicar os resultados diferentes nos três pedaços de carne?

Após vários experimentos desse tipo, o médico concluiu que a digestão é um processo químico e que o suco gástrico atua como “solvente” dos alimentos.

No século XIX, ainda não existiam métodos para se analisar a composição do suco gástrico. Entretanto, a partir dos nossos conhecimentos atuais e dos resultados descritos acima, é possível identificar qual é o componente presente no suco gástrico responsável pela digestão do pedaço de carne. Você saberia identificá-lo?

Os trabalhos posteriores do Dr. Beaumont ajudaram a esclarecer muitos dos eventos que ocorrem durante a digestão humana e que serão tratados a seguir.

#lá na plataforma

Conheça a história de Alex Saint Martin e do Dr. Beaumont lá na plataforma.

O sistema digestório e a digestão dos diferentes componentes dos alimentos

O sistema digestório dos animais é constituído basicamente por um tubo contínuo por onde o alimento retirado do ambiente passa, sofrendo transformações até ser reduzido a moléculas menores, que podem ser assimiladas pelas células. No homem, bem como em todos os vertebrados, esse tubo apresenta várias regiões diferenciadas e especializadas na digestão de cada tipo de alimento (**Figura 14.2**). Em certos trechos, o tubo pode se dilatar, formando bolsas; em outros, suas paredes se dobram para o interior do tubo, formando uma superfície rugosa. Em todos os casos, porém, o tubo é recoberto por musculatura. Esses músculos são diferentes daqueles que usamos para mover nossos membros, já que se contraem espontaneamente e independentemente de nosso controle consciente. São chamados *músculos lisos* devido à aparência de suas fibras ao microscópio.

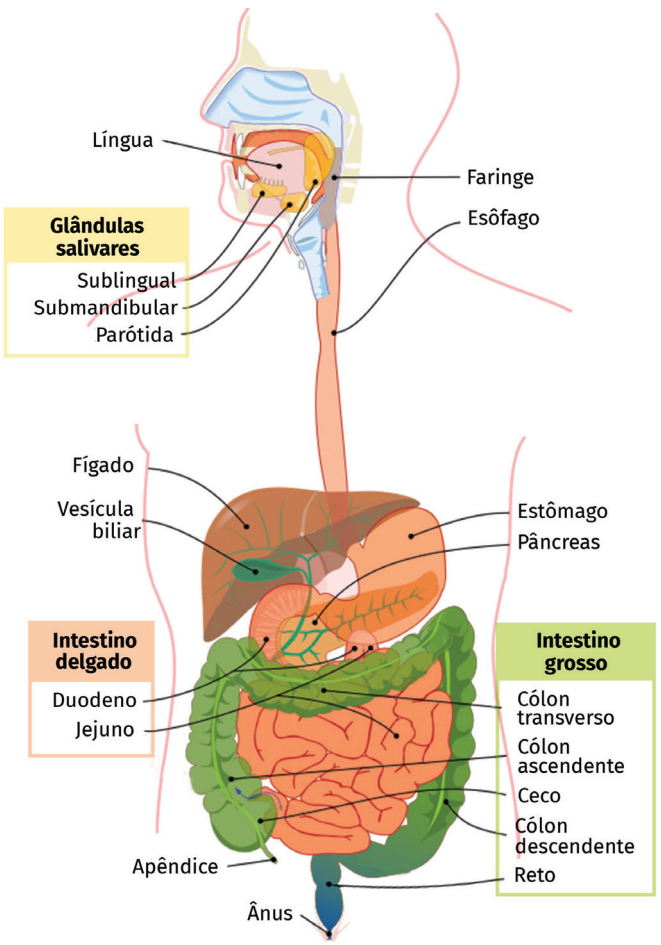


Figura 14.2: Sistema digestório humano.

A boca é a primeira região na qual o alimento começa a ser digerido. Os dentes cortam e trituram os alimentos, reduzindo-os a pedaços pequenos que são misturados à saliva. Esta é formada por água, sais minerais, muco e uma enzima chamada *amilase salivar* (ou *ptialina*), que inicia a quebra das moléculas de amido em moléculas menores. Por ser uma enzima, a amilase salivar depende da temperatura e do grau de acidez da boca para agir sobre o amido. Você saberia dizer por quê?

Na boca, a temperatura é de cerca de 37ºC, e o pH (medida do grau de acidez) é neutro, condições ideais para a atuação da enzima amilase salivar que transforma as moléculas de amido em maltose. Procure lembrar: qual valor de pH é considerado neutro?

Depois de mastigado e misturado à saliva, o alimento é empurrado pela língua para a faringe e passa em seguida para o esôfago até chegar ao estômago. Nesse caminho, o alimento é empurrado por uma série de contrações da musculatura do esôfago chamadas *movimentos peristálticos*.

Chegando ao estômago, o alimento, também por ação dos movimentos peristálticos, mistura-se ao suco gástrico, o qual contém água, enzimas e ácido clorídrico. Todas essas substâncias são produzidas em glândulas existentes na parede do estômago. A principal enzima produzida no estômago é a *pepsina*, que atua sobre moléculas de proteína. Ela é liberada no interior do estômago em forma inativa (chamada de *pepsinogênio*) e se torna ativa ao entrar em contato com o ácido clorídrico. Este mantém o pH do estômago baixo, permitindo a atuação da pepsina e inibindo a proliferação de bactérias. Ou seja, ao contrário do que se costuma afirmar popularmente, o ácido presente no estômago não digere os alimentos, mas contribui para que eles sejam digeridos.

O estômago apresenta duas válvulas: uma na entrada, logo após o esôfago, e outra na saída, entre o estômago e o intestino. Elas permanecem fechadas enquanto o alimento permanece no estômago, de modo que a pepsina do suco gástrico possa atuar sobre as moléculas de proteína, transformando-as em cadeias menores com poucos aminoácidos (peptonas). Além disso, as válvulas protegem o esôfago da acidez do suco gástrico. A massa alimentar pode permanecer no estômago por quatro horas ou mais.

Quando a válvula que liga o estômago ao intestino se relaxa, uma pequena quantidade de alimento altamente acidificada passa para o intestino delgado. A ação do ácido clorídrico na parede do intestino provoca o fechamento da válvula novamente, impedindo que mais alimento passe para o intestino. Quando o ácido é neutralizado no intestino, a válvula se abre outra vez, permitindo que mais um pouco do bolo alimentar passe para o intestino. O processo se repete ao longo do tempo até que o estômago seja esvaziado.

No intestino, o bolo alimentar se mistura a três sucos: o *suco entérico*, produzido nas glândulas do próprio intestino, o *suco pancreático*, produzido pelo pâncreas e a *bile*, produzida pelo fígado. O suco entérico é formado por água, sais e enzimas que atuam sobre a maltose, a sacarose e a lactose, quebrando-as em monossacarídeos, como a glicose.

O pâncreas e o fígado são órgãos independentes do tubo digestivo. Os dois apresentam canais ligando-os ao duodeno, primeira parte do intestino, por onde são lançados o suco pancreático e a bile.

O suco pancreático contém água, bicarbonato de sódio e enzimas que atuam sobre as proteínas (*tripsina*), o amido (*amilase pancreática*) e as gorduras (*lipase pancreática*). O *bicarbonato de sódio*, presente no suco pancreático, neutraliza a acidez do bolo alimentar que vem do estômago, permitindo que as enzimas presentes no intestino atuem. Essas enzimas somente funcionam bem em pH relativamente alto. Do mesmo modo que a pepsina, a tripsina é liberada pelo pâncreas na forma inativa, como tripsinogênio que, em contato com outra enzima do suco intestinal, converte-se em tripsina ativa.

A bile é produzida pelo fígado e não contém enzimas. Sua ação é semelhante à ação dos detergentes sobre as gorduras, dispersando-as em gotículas muito pequenas que ficam em suspensão na água, o que facilita a atuação das lipases no intestino.

O intestino delgado é a região mais estreita e comprida do tubo digestivo, medindo pouco mais de 6 metros de comprimento por 4 cm de calibre. A digestão dos alimentos, iniciada na boca e no estômago, é completada no intestino delgado. Ao final da digestão, o bolo alimentar (agora chamado de *quimo*) contém moléculas pequenas, como ácidos graxos, glicerol, glicose e aminoácidos, que, juntamente com as vitaminas e sais minerais, estão prontas para serem utilizadas pelas células. Para isso é preciso que essas moléculas cheguem à corrente sanguínea, que fará seu transporte para todo o corpo.

A parede interna do intestino delgado apresenta milhões de dobras muito pequenas chamadas *vilosidades* (**Figura 14.3**), que aumentam muito a superfície interna do órgão, proporcionando uma grande área de contato entre as células da parede intestinal e a massa alimentar, contribuindo para uma alta capacidade de absorção do intestino.

#lá na plataforma

Você encontra um vídeo interessante sobre o funcionamento das vilosidades.

Cada uma dessas vilosidades é percorrida por capilares sanguíneos e linfáticos que recebem as moléculas absorvidas pela parede intestinal. Os capilares sanguíneos recebem aminoácidos, glicose, água e sais minerais, e os capilares linfáticos recebem água e lipídeos. Os capilares sanguíneos reúnem-se em vasos maiores, levando o alimento digerido para o fígado, de onde são distribuídos para todo o corpo via circulação sanguínea. Os capilares linfáticos também se reúnem em vasos maiores que lançam seu conteúdo diretamente na circulação, próximo ao coração, sem passar pelo fígado.

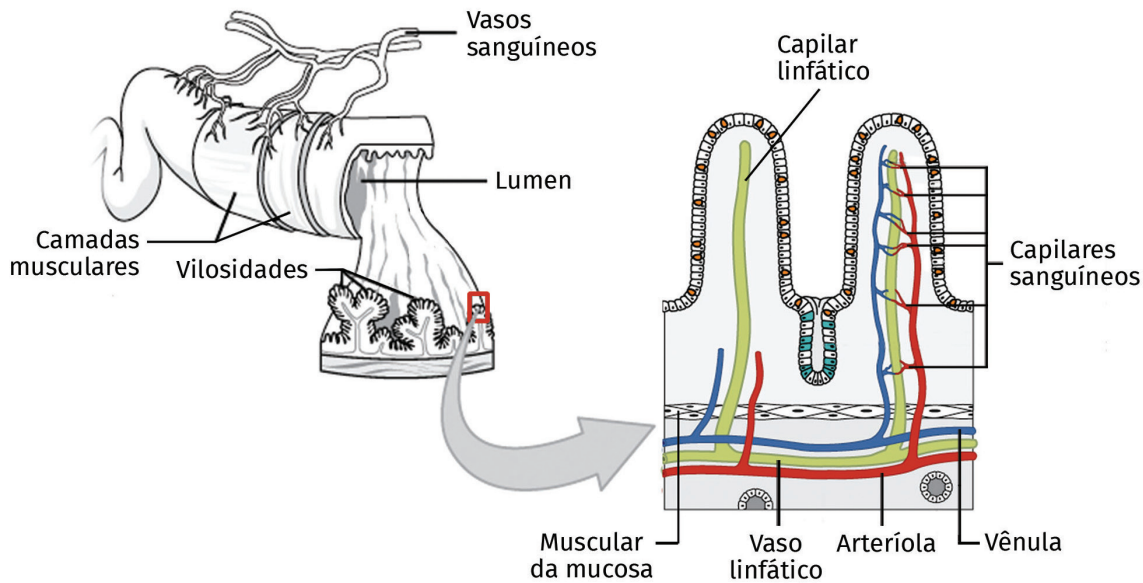


Figura 14.3: Vilosidades do intestino delgado. Fonte: https://pt.wikipedia.org/wiki/intestino_delgado.

Após uma refeição, a concentração de glicose, ácidos graxos e aminoácidos no sangue se eleva devido à absorção. Essas moléculas pequenas são distribuídas pela circulação a todas as células do corpo, que as utilizam para produzir energia e construir suas próprias macromoléculas. Uma parte substancial desses nutrientes é utilizada para produzir moléculas consideradas como reservas. As moléculas de glicose, ácidos graxos e aminoácidos não consumidas pelas células são armazenadas em órgãos especiais, como o fígado e o tecido adiposo. Glicose, ácidos graxos e aminoácidos consumidos em excesso são transformados em lipídeos e armazenados no tecido adiposo, enquanto o fígado e os músculos utilizam a glicose para produzir *glicogênio* (um polímero de moléculas de glicose).

Após a absorção no intestino delgado, restam, no intestino grosso, água, muco, fibras de celulose, substâncias não aproveitáveis e componentes não digeridos, além de bactérias vivas e mortas. Os resíduos da digestão levam cerca de nove horas para chegar ao intestino grosso e permanecem aí por até três dias, durante os quais ocorre uma intensa proliferação de bactérias, ao mesmo tempo em que parte da água e dos sais minerais é absorvida. Com a absorção de água, a massa de resíduos se solidifica e transforma-se em fezes.

Muitas das bactérias que proliferam no intestino grosso são extremamente importantes, pois produzem vitaminas que são absorvidas pelo organismo. Além disso, essas bactérias funcionam como proteção, formando a flora intestinal que evita a proliferação de outras bactérias que poderiam causar doenças.

lá na plataforma

Saiba mais sobre o papel das bactérias que vivem dentro do nosso organismo lá na plataforma.

A digestão em outros animais

Mamíferos

A organização básica do tubo digestivo nos mamíferos segue o padrão descrito para o homem. A estrutura de cada região, entretanto, pode variar de acordo com os hábitos alimentares de cada espécie, isto é, se ela é herbívora, carnívora ou onívora. De um modo geral, o tubo digestivo dos herbívoros tende a ser mais longo e mais complexo do que o dos carnívoros.

Os mamíferos herbívoros se alimentam exclusivamente de vegetais, ricos em fibras constituídas por moléculas de celulose. Esses animais, entretanto, não são capazes de digerir a celulose, pois seu tubo digestivo não produz a enzima celulase. A digestão desse alimento é realizada por microrganismos, como bactérias e protozoários, que vivem em regiões específicas de seu tubo digestivo. Mesmo entre os herbívoros, existem diferenças anatômicas substanciais. Nos ruminantes, esses microrganismos estão presentes no estômago, que possui quatro compartimentos. Já nos não ruminantes, esses microrganismos vivem em uma região do intestino grosso muito desenvolvida chamada *ceco intestinal*.

Aves

As aves, como os mamíferos, também podem ser herbívoras, carnívoras ou onívoras. As herbívoras têm uma região dilatada ao final do esôfago, o *papo*, onde é armazenado o alimento ingerido. O estômago é dividido em dois compartimentos: o primeiro, chamado *proventrículo*, produz, e o segundo, a *moela*, apresenta uma forte musculatura, cujos movimentos são capazes de triturar o alimento, facilitando a ação das enzimas. Muitas aves engolem pequenas pedras que auxiliam a trituração do alimento na moela, funcionando como dentes que as aves não possuem.

#lá na plataforma

Saiba mais sobre o sistema digestório de vários outros animais lá na plataforma.

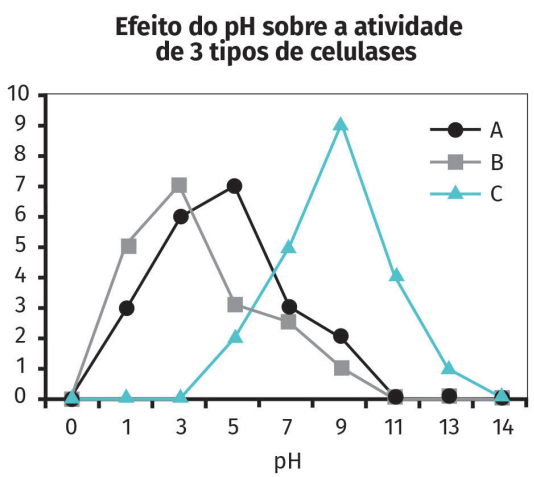
Resumo

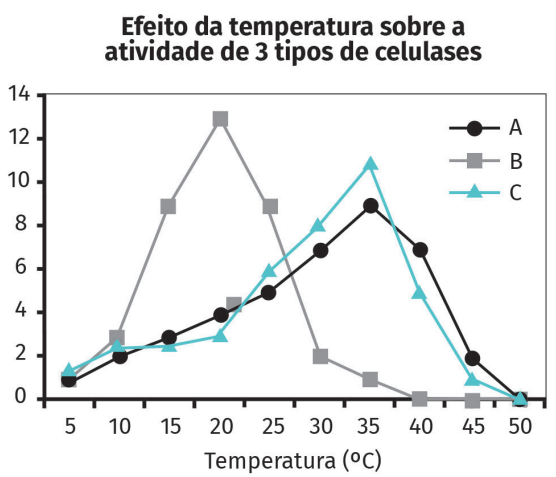
- Na digestão, ocorrem processos físicos (trituração e movimentação dos alimentos) e processos químicos (quebra de moléculas por ação de enzimas).
- Os processos químicos da digestão são sensíveis à temperatura e ao pH do meio.
- O tubo digestivo dos vertebrados apresenta várias regiões diferenciadas, especializadas na digestão de diferentes tipos de alimentos.
- O tubo digestivo humano e o pâncreas produzem diferentes enzimas que atuam na quebra dos diferentes alimentos.
- O fígado produz a bile, que auxilia na dispersão das gorduras e não tem ação enzimática.
- A absorção dos alimentos ocorre no intestino delgado.
- As vilosidades presentes no intestino delgado aumentam a superfície de absorção.
- Mamíferos herbívoros dependem da presença, em seus tubos digestivos, de microrganismos produtores de celulase, enzima responsável por quebrar a celulose, principal componente dos alimentos desses animais.
- A presença da moela (órgão com uma musculatura extremamente forte) nas aves permite que o alimento seja triturado.

Atividade

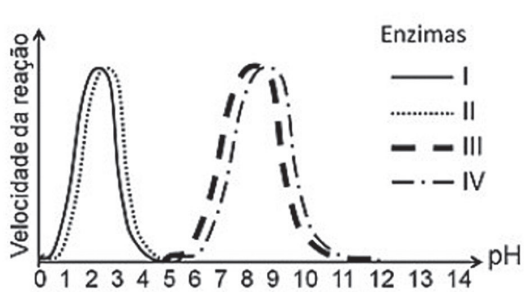
1. A maioria dos animais (mamíferos e insetos) que se alimenta de madeira ou de folhas precisa digerir celulose. Eles não produzem a celulase (enzima que digere a celulose), que é produzida por microrganismos que vivem no tubo digestivo desses animais, beneficiando os microrganismos (que obtêm alimento abundante e proteção) e seus hospedeiros animais (que passam a obter calorias da celulose).

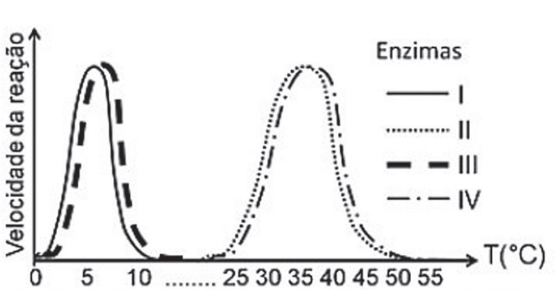
Em um experimento, foram isolados três tipos de celulases (A, B e C) colhidas das fezes de vacas no pasto. Após a identificação das propriedades de cada uma dessas enzimas, foram construídos os gráficos 1 e 2. Sabe-se que a concentração de íons H+ é alta no estômago e baixa no intestino de bovinos. Determine qual das três enzimas é produzida pelos microrganismos presentes no estômago e qual é produzida pelos microrganismos presentes no intestino daqueles animais. Explique suas escolhas.





2. (UFPR, 2015) As enzimas encontradas nos órgãos de diferentes espécies de animais apresentam atividade próxima do ótimo nos valores de temperatura e pH encontrados nesses órgãos. Baseado nesse preceito, um pesquisador realizou um estudo traçando o perfil cinético de quatro enzimas (I a IV) presentes em aves e peixes da Antártida, encontrando os resultados apresentados nos gráficos a seguir.





As enzimas provenientes do intestino de peixe e do estômago de ave da Antártida são, respectivamente.

a) III e II.
b) III e IV.
c) I e IV.
d) IV e I.
e) I e II.

Resposta comentada

Acesse a plataforma e encontre a resolução comentada desta atividade.

Referências

KRASILCHIK, M. *et. al*. *Biologia:* das moléculas ao homem, parte II. Biological Science Curriculum Study. 7. ed. São Paulo: EDART e FUNBEC, 1974.

TORTORA, G. J.; GRABOWISKI, S. R. *Corpo humano:* fundamentos de anatomia e fisiologia. 6. ed. Porto Alegre: Artmed, 2006.

SCHMIDT-NIELSEN, K. *Fisiologia animal:* adaptação e meio ambiente. 5. ed. São Paulo: Santos Livraria e Editora, 2002.

Circulação e respiração

15

meta

Apresentar o sistema circulatório e sua integração com a respiração nos vertebrados.

objetivos

Esperamos que, ao final desta unidade, você seja capaz de:

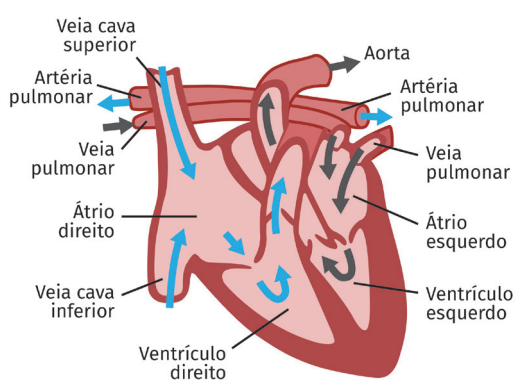
- relacionar circulação e respiração;
- descrever o caminho do sangue no sistema circulatório humano;
- descrever o caminho do sangue no sistema circulatório dos peixes;
- comparar os sistemas circulatórios de mamíferos e peixes;
- relacionar a anatomia do coração com o funcionamento da circulação.

Introdução

Nesta unidade, começaremos apresentando duas questões típicas de vestibular para você ler, resolver e, a partir delas, desenvolvermos o conteúdo desta unidade. Não são questões especialmente difíceis, mas também não são fáceis. Dê uma lida inicial e tente resolvê-las, depois prossiga com a leitura.

Use o texto a seguir para responder às questões 1 e 2.

A figura a seguir mostra a anatomia interna e alguns dos principais vasos sanguíneos associados a um coração. As setas indicam a direção do fluxo sanguíneo. A tabela mostra a pressão sanguínea e as pressões parciais (concentrações) de CO_2 e O_2 em quatro diferentes trechos da circulação.



Trecho	Pressão sanguínea*	Pressão parcial* CO_2	Pressão parcial* O_2
A	100	40	95
B	16	45	40
C	1	45	40
D	5	40	95

*Todos os valores em mm de Hg.

1. A opção que associa de modo correto os trechos da circulação mostrados na tabela e seus nomes é:

   a) A – aorta; B – artérias pulmonares; C – veias cavas; D – veias pulmonares.
   b) A – aorta; B – artérias pulmonares; C – veias pulmonares; D – veias cavas.
   c) A – aorta; B – veias cavas; C – veias pulmonares; D – artérias pulmonares.
   d) A – veias pulmonares; B – veias cavas; C – aorta; D – artérias pulmonares.
   e) A – veias pulmonares; B – aorta; C – veias cavas; D– artérias pulmonares.

2. O coração mostrado tem a estrutura anatômica geral característica de:

   a) lagartos e galinhas;
   b) peixes ósseos e seres humanos;
   c) rãs e peixes ósseos;
   d) seres humanos e galinhas;
   e) tubarões e galinhas.

Como você deve ter notado, a questão parece bastante complexa. É preciso observar e entender o desenho, analisar os dados no quadro e, finalmente, entender o que está sendo perguntado. Esse aspecto inicial das questões muitas vezes pode assustar. Não deixe que isso aconteça com você: os conhecimentos necessários para resolver a questão são bastante básicos. Vamos, então, a algumas dicas para chegar à resposta.

Dicas simples sobre a resolução de questões de biologia

Para começar, o próprio enunciado traz muitas informações que, ao contrário do que parece, facilitam a resolução. Primeiro, os nomes de todos os componentes do coração estão dados. Logo, você não precisará recorrer à sua memória para lembrá-los. Ou seja, os muitos nomes que estão na questão, na verdade, facilitam a sua resolução. Portanto:

DICA NÚMERO 1:

Não se assuste com os nomes. Muitas vezes eles ajudam, em outras eles não têm importância, e, claro, algumas vezes eles dificultam. Pelo menos não se deixe assustar à primeira vista.

Um segundo ponto a respeito da questão são as setas. Você não precisa lembrar o sentido em que o sangue flui em cada parte do coração, simplesmente porque a informação é dada pelas setas. Menos uma coisa para você se lembrar. E a direção do fluxo sanguíneo no coração é uma informação com a qual muitos alunos se confundem.

DICA NÚMERO 2:

Sempre examine os desenhos com cuidado. Mesmo que você tenha certeza de que já viu a mesma imagem em livros didáticos, às vezes ela tem informações de que você vai precisar ou que pode ter esquecido.

A questão tem também uma tabela, com dados com os quais estamos pouco acostumados a trabalhar: pressões parciais de O_2 e CO_2. Mas, se você olhar o enunciado, verá que ele esclarece esse termo estranho: ao lado da expressão *pressão parcial* está, entre parênteses, o termo *concentração*. Isso significa que os dois termos são equivalentes. Como a questão não pergunta a diferença entre os dois, significa que eles, no caso da questão, são usados como sinônimos. E concentração você sabe bem o que é: quantidade de soluto (no caso, um gás) por volume de solvente (no caso, o sangue).

DICA NÚMERO 3:

Leia atentamente os enunciados das questões. Muitas vezes eles contêm informações de que você precisará para responder. Ou seja, em certos vestibulares, o enunciado não é só uma pergunta, ele é, também, uma “fonte de informações” (já que ensina alguma coisa que você pode não saber ou não lembrar).

Além da tabela, a questão tem um desenho. Portanto, é razoavelmente claro que você vai precisar de informações dos dois para responder. Se você, por acaso, achar a resposta sem precisar de um deles, desconfie: pode estar esquecendo algum detalhe mostrado na figura ou na tabela. Neste caso específico, talvez você pudesse resolver a questão só com os dados da tabela, mas isso implicaria lembrar muitas informações que estão no desenho e, ao preferir lembrar em vez de consultar o desenho, há sempre a chance de você se confundir em um ou outro detalhe. Claro, uma boa ideia seria resolver a questão sem usar o desenho e depois conferir se a resposta que você achou "bate" com a do desenho. Se bater, ótimo; se não, reveja.

DICA NÚMERO 4:

Não force a memória à toa. Se as informações estão no enunciado, use-as.

Finalmente, lembre-se de que se trata de uma questão de múltipla escolha. Normalmente quem elabora questões de múltipla escolha usa "pegadinhas". Ou seja, em geral, são colocadas nas alternativas as respostas erradas que parecem certas. Imagine que você resolve uma questão cuja resposta é *8*, mas que se você errar em uma conta no meio do caminho encontrará *10*. Normalmente tanto o 10 quanto o 8 estarão nas alternativas. Como você acha que fez certo, e o 10 está lá, marca a alternativa e segue em frente. Se o tempo estiver apertado, tudo bem, mas se não, aqui vai a última dica.

DICA NÚMERO 5:

Sempre que possível reveja. Não é só porque uma resposta está nas opções que ela está correta. Ou seja, se você fez a questão sem usar o desenho, teste sua resposta no desenho para ver se ela está realmente correta.

Essas dicas são úteis, mas não servem sempre: algumas questões poderão não ter alternativas "pegadinhas", outras terão desenhos sem os quais você poderá responder etc. Usando todos os recursos disponíveis, você terá mais chances de acertar. No entanto, uma coisa é certa: raramente é possível acertar uma questão só com o que está escrito no enunciado. Quase sempre é preciso algum conhecimento para responder. E quais os conhecimentos de que precisamos para resolver a primeira questão deste capítulo? Em resumo, o que precisamos saber é para onde vai e de onde vem o sangue de cada uma das quatro cavidades do coração.

Embora as opções de resposta não tenham os nomes das cavidades do coração, elas têm nomes de vasos sanguíneos que estão chegando ou saindo de uma delas. Assim sendo, se você souber de onde o sangue está vindo e para onde está indo, resolverá a questão.

A anatomia do sistema circulatório

De modo simplificado, podemos dizer que os corações de todos os vertebrados apresentam dois tipos de cavidades: *átrios*, nos quais o sangue chega vindo de alguma parte da circulação; e *ventrículos*, nos quais o sangue chega vindo dos átrios e sai de novo para a circulação. A própria palavra circulação já é bastante informativa: o sangue circula, ou seja, se move de um lugar para outro, retornando sempre ao lugar de onde começou. E, sendo um percurso circular, não se pode dizer onde ele começa ou termina. É como acontece no caso de certos ônibus, que saem de um ponto inicial, rodam por ruas e estradas e voltam ao ponto inicial. Se o ônibus não permanecesse parado por um tempo maior no ponto inicial, seria impossível dizer onde começaria ou terminaria seu trajeto. Fica mais fácil entendermos a circulação sanguínea se escolhermos um ponto qualquer e definirmos como seu começo. No nosso caso, escolheremos o *coração* como referência.

A circulação é uma das funções vitais cujo funcionamento é mais fácil de compreender. A anatomia (forma e organização) do coração reflete precisamente uma certa lógica que está por trás do funcionamento da circulação sanguínea. Assim, em vez de darmos as informações para que você decore, vamos apresentar um resumo do que é essencial saber sobre a circulação, começando pela humana (que conhecemos melhor: afinal, é a nossa).

No começo do percurso, que escolhemos ser no coração, esse sangue foi impulsionado (bombeado) pelo ventrículo esquerdo. Graças a essa pressão, o sangue pode se espalhar por todo o corpo. Então, começaremos com o sangue no ventrículo esquerdo. O percurso do sangue a partir daqui será mais fácil de entender se considerarmos as ligações entre circulação e respiração.

O percurso do sangue nos animais

Como você viu na Unidade 1, a circulação integra (liga) todas as outras funções dos organismos. No caso da questão que estamos resolvendo, ela integra as diversas etapas da respiração, e isso vale para todos os animais e não apenas para seres humanos. Integrar respiração e circulação, portanto, vai facilitar o entendimento do percurso do sangue nos animais.

Ao sair do ventrículo esquerdo, com pressão suficiente para ser espalhado pelo corpo todo, o sangue está carregando gases e nutrientes que serão transportados para todas as células. Os nutrientes serão utilizados por elas para formarem novas células, reporem partes “velhas”, criarem partes novas e para produzirem energia. A produção da maior parte da energia em animais depende também do consumo de oxigênio. O uso de nutrientes para a produção de energia não só consome (usa) oxigênio, como também produz, como resíduo (resto), o gás carbônico (CO_2). Isso significa que as células só sobrevivem se recebem O_2 continuamente, e o sangue é a única via pela qual as células dos humanos podem receber esse O_2 e eliminar o CO_2 produzido.

Naturalmente, à medida que o sangue se afasta do coração, vai passando de vasos de diâmetros maiores para ramificações que o distribuem por vasos de diâmetros cada vez menores. Esse processo se repete inúmeras vezes, até que o sangue chega em vasos muito estreitos, os capilares, onde as trocas de gases, nutrientes e excretas com as células realmente acontecem.

Ao passar pelos capilares presentes em todos os tecidos do corpo, o sangue, vindo de ventrículo esquerdo, não só perde mais O_2 do que ganha, como ganha mais CO_2 do que perde, tornando-se mais rico em CO_2 e mais pobre em O_2.

Depois disso, os vasos estreitos vão se juntando em vasos cada vez mais grossos novamente. O esquema geral dessa parte da circulação seria mais ou menos assim (**Figura 15.1**):

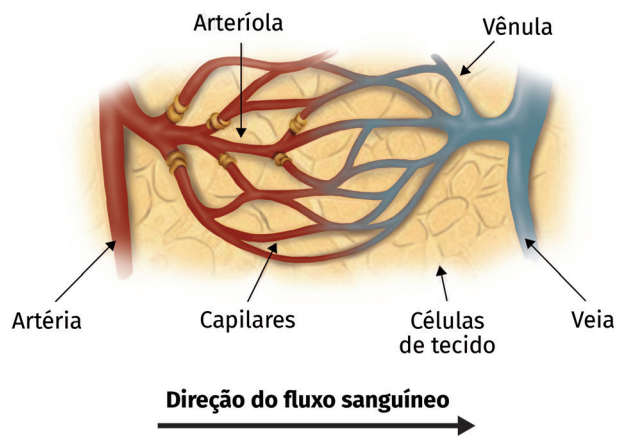


Figura 15.1: Esquema simplificado da circulação através de artérias, capilares e veias.

Ao se espalhar pelos vasos e capilares de todo o corpo, o sangue naturalmente perde pressão, pois, depois do bombeamento inicial, foi se afastando do coração e se distribuindo por todos os órgãos. Imaginemos agora que esse sangue voltasse para o coração para ser bombeado de novo. Isso tornaria possível que ele recuperasse a pressão, mas esse sangue teria perdido O_2 e ganhado muito CO_2. O repetido bombeamento do sangue nessas condições recuperaria a pressão perdida a cada vez que ele percorresse o corpo todo, fazendo com que o sangue circulante tivesse sempre uma pressão elevada, porém cada vez menos O_2 e mais CO_2.

Podemos imaginar que, em algum momento e em todos os animais, o sangue, depois de circular pelo organismo, tenha de passar pelos órgãos respiratórios. Somente assim a concentração de O_2 poderia se elevar novamente e o CO_2 ser expelido. Esse sistema de fato existe e é bastante eficiente, pois é exatamente o que encontramos nos peixes atuais. Nesses animais, o sangue é bombeado pelo ventrículo, segue em direção às brânquias, onde ocorrem as trocas gasosas, e de lá se espalha pelos vasos e capilares de todo o corpo, retornando ao átrio (**Figura 15.2**).

O bombeamento sincronizado dessas duas cavidades permite que o átrio se dilate e receba o sangue que chega do corpo, enquanto o ventrículo envia sangue para as brânquias. Em seguida, o átrio se contrai e bombeia sangue para o ventrículo. Cada uma dessas cavidades é

separada da outra ou dos vasos adjacentes por *válvulas*, que dificultam o retorno do sangue quando cada uma delas se contrai.

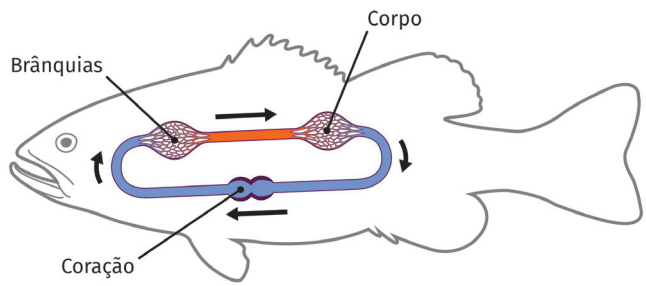


Figura 15.2: Respiração branquial.

No caso de seres humanos, aves e crocodilos (e jacarés também), o sistema circulatório é diferente. Os corações desses animais possuem quatro cavidades (dois átrios e dois ventrículos) e não duas, como no caso dos peixes. Para facilitar a identificação de cada uma delas, utilizam-se os nomes, associados ao lado do corpo em que cada uma se encontra. Assim, temos: *átrio direito, átrio esquerdo, ventrículo direito, ventrículo esquerdo*.

Nesses animais (mamíferos, aves e crocodilos), portanto, o sangue que parte do ventrículo esquerdo circula pelo corpo todo, tornando-se pobre em O_2 e rico em CO_2, e retorna ao coração, mas aqui está uma grande diferença: ele chega ao átrio direito, ou seja, o sangue é enviado para o corpo a partir do lado esquerdo do coração e retorna ao coração pelo lado direito.

O átrio direito, então, ao se contrair, envia o sangue para o ventrículo direito, e este, quando se contrai, envia o sangue para os pulmões. Isso permite que o sangue chegue aos pulmões com uma pressão mais alta do que a que tinha quando retornou ao coração. Essa pressão, por sua vez, permite que o sangue se distribua pela extensa rede de capilares pulmonares (**Figura 15.3**).

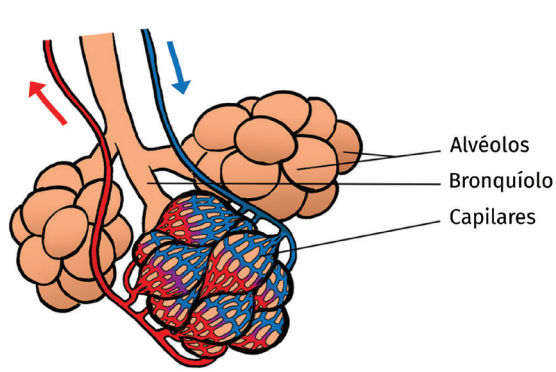


Figura 15.3: Rede de capilares dos alvéolos.

É nesses capilares que, mais uma vez, ocorrem as trocas gasosas. Só que, nos pulmões, o sangue ganha mais O_2 do que perde, e perde mais CO_2 do que ganha (**Figura 15.4**). Assim, o sangue se torna mais rico em O_2 e pobre em CO_2 após passar pelos pulmões.

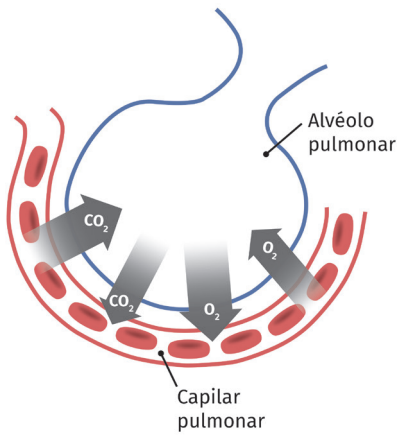


Figura 15.4: Esquema da difusão dos gases CO_2 e O_2 entre o capilar pulmonar e o alvéolo pulmonar (hematose).

Mais uma vez, porém, ao se distribuir pelos capilares extremamente finos dos pulmões, o sangue perde a pressão que havia ganhado do ventrículo direito. Ou seja, agora há um problema diferente do que havia quando o sangue retornou do corpo: embora as concentrações dos gases tenham se invertido (O_2 elevado e CO_2 baixo), a pressão está baixa. O sangue, então, retorna dos pulmões para o coração, chegando ao átrio esquerdo, de onde é bombeado para o ventrículo esquerdo. Este se contrai e envia o sangue para o corpo com a alta pressão restabelecida, e o percurso recomeça.

Duas circulações em uma

Costuma-se dizer que a circulação dos humanos (e dos outros animais com coração de quatro cavidades) pode ser dividida em duas. Na grande circulação, o sangue é enviado pelo ventrículo esquerdo para um longo e extenso percurso de vasos sanguíneos que irrigam, literalmente, todos os órgãos, tecidos e células do organismo. Após esse percurso, o sangue retorna ao coração, porém pelo outro lado.

A partir do ventrículo direito, inicia-se a *pequena circulação*, assim denominada porque seu percurso é bem menor do que o anterior, uma vez que o sangue vai apenas até os pulmões, retornando em seguida ao coração, pelo lado esquerdo. A pequena circulação também é chamada de circulação pulmonar: ambos os nomes ajudarão você a se lembrar do percurso do sangue. Já a grande circulação é conhecida como *circulação sistêmica*, um nome que ajuda menos, mas significa que ela irriga todos os sistemas do corpo ou, simplesmente, todo o corpo.

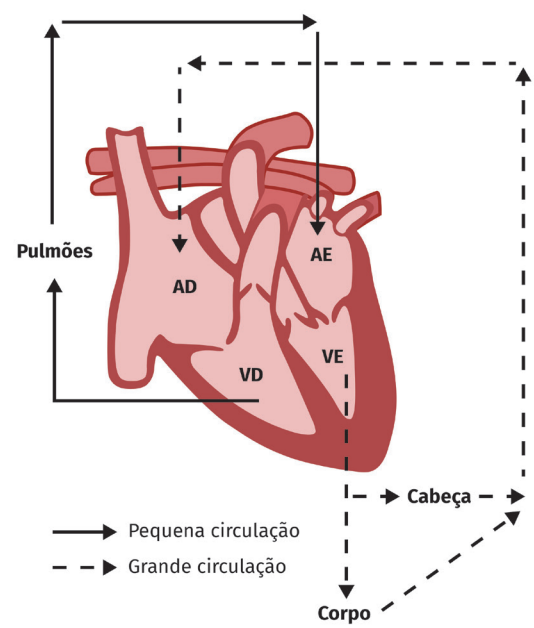


Figura 15.5: O coração de aves e mamíferos com quatro cavidades. Nesses animais, encontramos a separação completa entre a circulação pulmonar (pequena circulação) e a circulação sistêmica (grande circulação).

Na **Figura 15.5**, mostramos um esquema que resume, com o mínimo de nomes e detalhes, o percurso geral da circulação sanguínea humana. Note que, no desenho, colocamos a grande circulação do lado oposto ao da pequena, mas isso foi feito apenas para evitar que as setas se confundissem, pas-

sando uma por cima da outra. Os vasos sanguíneos da grande circulação obviamente irrigam todo o corpo (a cabeça, os membros esquerdos e direitos, os dois rins etc). Da mesma maneira, a pequena circulação não está de um lado do corpo apenas, pois as trocas gasosas ocorrem nos dois pulmões.

A **Figura 15.6** apresenta um esquema da integração entre as duas circulações, mostrando, também, as trocas gasosas entre sangue-pulmão e sangue-tecidos.

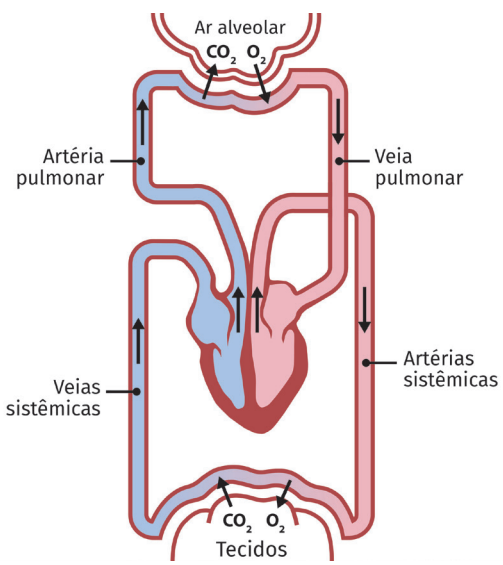


Figura 15.6: Integração entre as duas circulações (pulmonar e sistêmica) e as trocas gasosas entre sangue-pulmão e sangue-tecidos.

Resolvendo a questão

Agora você pode voltar à questão no início da unidade e resolvê-la. Preste atenção nas dicas. E aqui vai mais uma: nós não abordamos os nomes de veias e artérias que estão representados na figura da questão, mas você não precisa sequer sabê-los.

Basta pensar nas características do sangue que estão mostradas na tabela e de onde está vindo e para onde está indo o sangue em cada vaso mostrado. Se preferir, resolva antes os exercícios sobre circulação e respiração lá na plataforma. Eles são mais fáceis do que a questão apresentada aqui e ajudarão você a se familiarizar com o tema da circulação associada à respiração.

#lá na plataforma

Quer reforçar o que você viu nesta unidade antes de fazer a atividade lá no início? Vá lá na plataforma e faça as atividades interativas que criamos para você sobre circulação.

Resumo

- O coração é um órgão muscular que bombeia o sangue de modo a conduzi-lo aos diferentes percursos da circulação.
- O coração, em todos os vertebrados, tem dois tipos de cavidades: átrios, e ventrículos.
- Os átrios recebem o sangue e os ventrículos enviam o sangue para fora do coração.
- O sangue transporta gases e nutrientes para as células de todo o corpo.
- À medida que se afasta do coração, o sangue passa de vasos maiores, para ramificações cada vez menores, até chegar em vasos muito estreitos chamados capilares.

- Nos capilares, que envolvem todas as células, ocorrem as trocas de gases, nutrientes e excretas.
- Ao passar pelas células do organismo, o sangue se torna mais rico em CO_2 e pobre em O_2.
- O sangue, depois de circular pelo organismo, tem de passar novamente pelos órgãos respiratórios, onde a concentração de O_2 poderá se elevar novamente e o CO_2 ser expelido.
- Ao se espalhar pelos capilares de todo o corpo ou pelos capilares dos pulmões, o sangue perde pressão que só será recuperada quando passar novamente pelo coração.
- Nos peixes, cujo coração tem duas cavidades, o sangue que sai impulsionado do ventrículo segue em direção às brânquias, onde as trocas gasosas ocorrem, e de lá se espalha pelos vasos e capilares de todo o corpo, retornando em seguida ao átrio.
- Nos mamíferos, répteis e aves, o coração possui quatro cavidades (dois átrios e dois ventrículos).
- Na grande circulação, o sangue é impulsionado do ventrículo esquerdo para o corpo todo, perdendo O_2 e ganhando CO_2 ao passar pelas células, e retorna ao coração pelo lado direito (átrio direito).
- Na pequena circulação, o sangue sai do ventrículo direito para os pulmões, onde perde CO_2 e recebe O_2, retornando ao coração pelo átrio esquerdo.

Referências

TORTORA, G. J.; GRABOWISKI, S. R. *Corpo humano:* fundamentos de anatomia e fisiologia. 6. ed. Porto Alegre: Artmed, 2006.

SCHMIDT-NIELSEN, K. *Fisiologia animal*: adaptação e meio ambiente. 5. ed. São Paulo: Santos Livraria e Editora, 2002.

Excreção

16

meta

Apresentar os processos gerais pelos quais os vertebrados, e em particular a espécie humana, eliminam compostos tóxicos ou em excesso de seus órgãos e tecidos.

objetivos

Esperamos que, ao final desta unidade, você seja capaz de:

- identificar os tipos de excretas nitrogenados;
- descrever a origem metabólica dos excretas nitrogenados;
- relacionar os tipos de excretas nitrogenados com o ambiente e a forma de vida dos animais;
- identificar as partes do néfron;
- especificar os processos desenvolvidos no néfron para a formação da urina;
- apontar os mecanismos de regulação das funções renais.

Introdução

Como vimos anteriormente, o sangue é responsável pelo transporte dos gases envolvidos na respiração celular (CO_2 e O_2) e dos nutrientes provenientes da digestão. Nesta unidade, veremos que ele é também responsável pela coleta e transporte de resíduos do metabolismo. Entre esses resíduos, está o gás carbônico, mas existem outros igualmente importantes. Substâncias, como as proteínas e os ácidos nucleicos (DNA e RNA), contêm nitrogênio em seus componentes básicos, aminoácidos e bases nitrogenadas. A quebra dessas substâncias para produção de energia ou sua transformação em outras moléculas durante o metabolismo celular produz o que chamamos de *resíduos nitrogenados*, como a ureia e a amônia, que são bastante tóxicos. Ao longo do processo evolutivo, os diversos organismos desenvolveram sistemas capazes de eliminar esses resíduos, bem como outras moléculas (como sódio e vitaminas) necessárias ao metabolismo, mas que se encontram em quantidades elevadas no sangue. No caso de animais vertebrados (e de muitos invertebrados), esses compostos são transportados pelo sangue (ou outros fluidos circulantes) e eliminados pelos órgãos excretores.

Vamos nos concentrar em dois aspectos importantes do processo de excreção: o tipo de composto nitrogenado excretado pelos diferentes seres vivos e a maneira pela qual os compostos são filtrados do sangue e eliminados.

Os produtos nitrogenados excretados

O tipo de produto nitrogenado excretado pelos diferentes animais é determinado por diversos fatores, mas um dos mais importantes é a sua solubilidade em água. Animais aquáticos, incluindo muitas espécies de peixes e a maioria dos invertebrados, excretam principalmente amônia, o primeiro produto do metabolismo dos compostos nitrogenados. Tal substância é altamente solúvel em água e atravessa a membrana plasmática das células de modo relativamente fácil. Apesar de sua alta solubilidade, um animal precisa usar quase meio litro de água para diluir cada grama de amônia, de forma a manter as concentrações dela em níveis abaixo dos tóxicos. Fica claro, portanto, que somente animais que vivem na água podem ter a amônia como seu principal produto de excreção de nitrogênio. Esses animais possuem grandes superfícies de troca (permeáveis) com o meio ambiente (água) e por isso podem perder essa substância rapidamente. Como têm acesso quase ilimitado à água, podem eliminar diariamente grandes volumes de amônia de seus organismos sem que o ambiente externo atinja concentrações tóxicas. Entretanto, como veremos mais adiante, nem todos os animais aquáticos excretam amônia.

Durante a evolução de animais terrestres, a conservação de água tornou-se uma questão importante. Eles não dispõem de um volume de água capaz de dissolver amônia até concentrações abaixo do nível tóxico, que possa ser eliminado diariamente, e só conseguem sobreviver no ambiente terrestre porque são capazes de converter a amônia em outros compostos, como

a ureia ou o ácido úrico. Esses compostos podem ser acumulados em fluidos do corpo (como o sangue, por exemplo) em concentrações maiores do que a amônia sem qualquer efeito tóxico. A ureia exige aproximadamente 10 vezes menos água que amônia para excreção, ao passo que o ácido úrico, por ser altamente insolúvel, exige aproximadamente 5 vezes menos água do que a ureia (50 vezes menos água do que a amônia), sendo eliminado na forma de cristais. No caso dos seres humanos e dos demais mamíferos, o principal excreta nitrogenado é a ureia, menos tóxica do que amônia, solúvel em água e capaz de se difundir com facilidade através das superfícies de troca.

Entretanto, a excreção de ureia exige água. Nas aves e nos répteis, o desenvolvimento embrionário no interior de ovos com casca impermeável à água impede que ocorra excreção de ureia. Nesses animais, o produto nitrogenado de excreção é o ácido úrico, que pode ser armazenado no interior do ovo, na forma de cristais, em compartimento separado do embrião, durante o seu desenvolvimento. O ácido úrico também é o produto de excreção de grande parte dos invertebrados. Em todos os casos, porém, o produto nitrogenado inicial formado é a amônia, que é rapidamente metabolizada para gerar outros compostos menos tóxicos. Graças ao tipo de metabolismo de amônia que realizam, os animais terrestres podem simultaneamente conservar água e eliminar os resíduos nitrogenados.

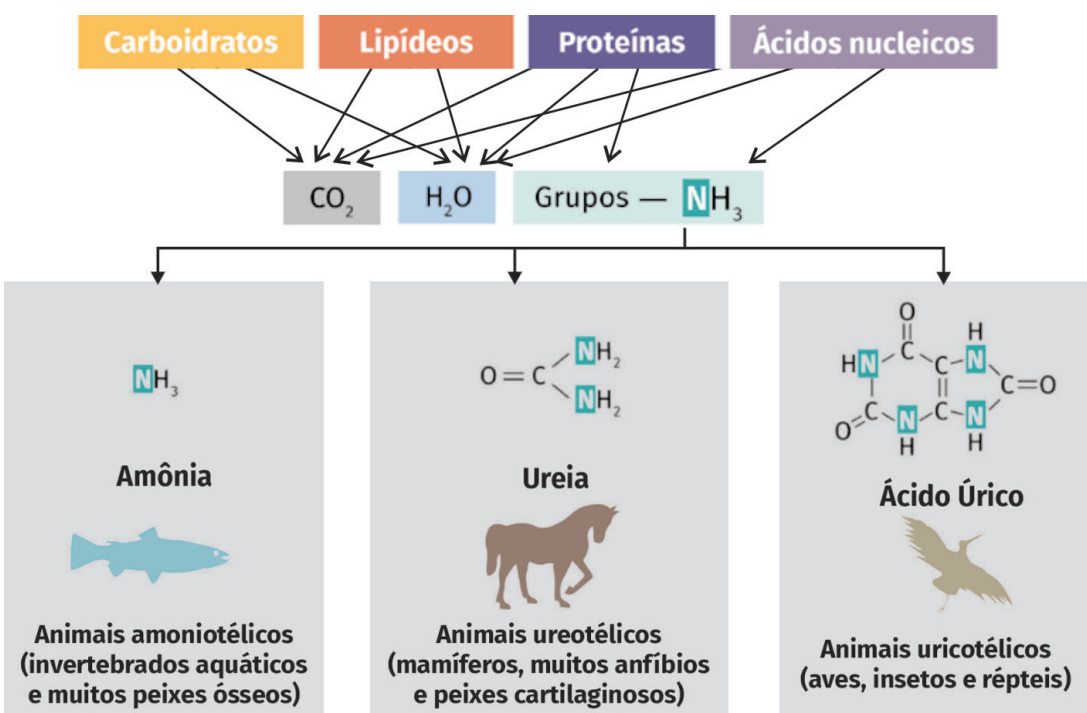


Figura 16.1: Tipos de excreção.

A **Figura 16.1** mostra as classes de animais de acordo a molécula nitrogenada excretada. Observe que somente animais aquáticos excretam amônia, mas nem todos os animais aquáticos o fazem. Peixes cartilaginosos (tubarões e arraias) excretam ureia.

#lá na plataforma

Você já pensou em por que náufragos não devem beber água do mar, mas os peixes marinhos conseguem sobreviver nesse ambiente? Visite a plataforma e descubra como animais aquáticos e terrestres resolvem os desafios de seu ambiente para manterem estável a concentração interna de sais.

Excreção nos vertebrados

O rim, principal órgão excretor dos vertebrados, é o local da formação da urina. A produção de urina começa com um processo de filtração do sangue que entra nos rins pela artéria renal.

Com certeza você conhece vários processos de filtração que ocorrem em nossa vida diária. Ao fazermos café, a água quente molha o pó de café, dissolve vários de seus componentes e depois passa pelos poros do filtro de papel ou de pano, carregando uma parte das substâncias dissolvidas. Outra parte fica retida no filtro junto com o que sobra do pó (a borra). Um filtro nada mais é do que uma estrutura porosa, que deixa passar a água e as partículas muito pequenas, retendo as maiores.

No interior dos rins, a filtração do sangue é a primeira etapa na formação de urina, que envolve outros processos mais complexos, e consiste na passagem de água e solutos do plasma sanguíneo para o interior de canais tubulares, os néfrons, que são as unidades que formam o rim (**Figura 16.2**). Durante a filtração, uma grande quantidade de líquido sai do sangue, que está no interior dos capilares renais, e passa para dentro dos túbulos renais. Para você ter uma ideia dessa quantidade, a cada três minutos, um volume de líquido equivalente a uma latinha de refrigerante (360ml) sai do sangue e entra nos túbulos renais. Entretanto, a quantidade total de líquido que é eliminada do rim, durante um dia inteiro, na forma de urina, é de apenas 1,5 litros. Isso significa que quase todo o líquido que foi filtrado tem que voltar para o sangue de alguma maneira, caso contrário, em pouco mais de 20 minutos, ficaríamos sem nenhum líquido plasmático! É esse processo que vamos abordar a seguir.

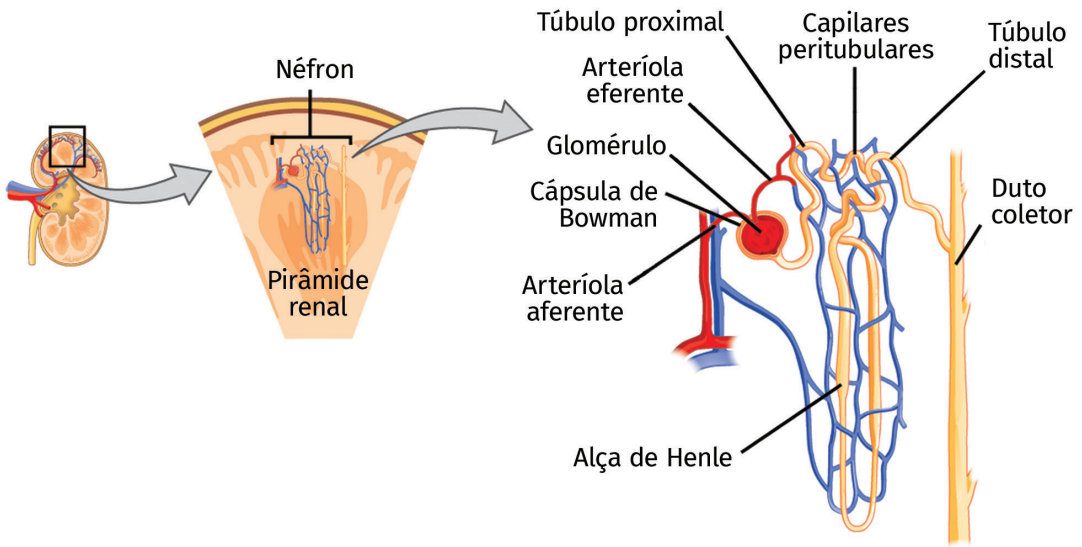


Figura 16.2: O rim humano contém cerca de 1 milhão de néfrons.

Para entendermos como o rim funciona, precisamos conhecer sua estrutura básica. O néfron, mostrado na **Figura 16.2**, é a unidade funcional do rim. Cada rim humano tem cerca de 1 milhão de néfrons que realizam o processo de filtração do sangue e formação de urina.

Acompanhe, com a ajuda da **Figura 16.3**, o processo que acontece no rim, resumido a seguir:

1. O sangue chega ao néfron por uma arteríola que se ramifica em uma rede de capilares muito finos.

2. Cada um desses capilares está dobrado muitas vezes e enrolado sobre si mesmo, formando um verdadeiro novelo (o glomérulo).

3. Em volta de cada um desses novelos, existe uma espécie de bolsa, chamada *cápsula de Bowman*, que fica aderida aos capilares.

4. Devido à pressão sanguínea no interior dos capilares que entram na cápsula de Bowman, uma parte do líquido do sangue dos capilares é forçada para o interior do túbulo do néfron (1. Filtração).

5. As paredes dos capilares e da cápsula de Bowman formam o filtro que permite que as moléculas pequenas e os íons passem, junto com a água dos capilares, para dentro da cápsula, e impede a passagem de células e moléculas grandes, como as proteínas.

6. O líquido que entra na cápsula de Bowman é chamado *filtrado renal* ou simplesmente *filtrado*, e tem uma composição muito semelhante à do plasma, com exceção das proteínas.

7. O filtrado renal contém água, glicose, sódio, cloro, fosfatos, ureia, ácido úrico, outros excretas, enfim, praticamente todos os componentes do sangue, exceto as proteínas e as células que não conseguem atravessar a barreira de filtração.

8. O sangue que passou pelos capilares do glomérulo e foi filtrado segue agora para uma nova rede de capilares que envolve a porção inicial do túbulo renal (capilares peritubulares).

9. O filtrado que está na cápsula de Bowman passa para o túbulo renal. Na porção inicial desse túbulo, ocorrem trocas de substância entre o líquido filtrado e o sangue do interior dos capilares peritubulares (que envolvem o túbulo).

10. Quando o filtrado chega ao início do túbulo renal, apresenta a mesma composição do plasma sanguíneo que está nos capilares em torno desse túbulo (com exceção das proteínas), de modo que a passagem de substâncias de um lado para outro tende a ser igual nos dois sentidos.

11. Entretanto, as células nas paredes dessa região dos túbulos renais, que são envolvidos pelos capilares peritubulares, são capazes de realizar intenso transporte ativo, bombeando de volta para o sangue dos capilares a maior parte das moléculas filtradas (2. Reabsorção) e removendo, do interior desses capilares, moléculas que devem ser eliminadas (3. Secreção).

12. O transporte ativo é realizado por moléculas de proteínas que são específicas para cada molécula transportada. Como não existem transportadores nas membranas das células para transportar excretas, como a ureia, à medida que o líquido filtrado vai se deslocando ao longo do tubo, os nutrientes vão retornando para o sangue, permanecendo no filtrado apenas os excretas e as substâncias secretadas. Em um indivíduo normal, por exemplo, toda a glicose filtrada é reabsorvida para o sangue, não havendo, portanto, a presença dessa substância na urina.

13. À medida que as substâncias do filtrado do túbulo renal vão sendo bombeadas para dentro dos capilares pelo transporte ativo, a concentração fica mais baixa no filtrado. Havendo proporcionalmente mais água no filtrado do que no sangue, haverá uma maior passagem dela para o interior do capilar. Desse modo, a maior parte da água que foi filtrada na cápsula de Bowman volta para o sangue.

14. O sangue deixa os rins e retorna à circulação com uma composição muito semelhante à que tinha quando entrou, exceto pelos excretas, que permaneceram no líquido filtrado que originará a urina.

15. O filtrado segue ao longo do túbulo renal, que se junta aos túbulos de outros néfrons, formando tubos de calibres cada vez maiores, até atingir o ureter e ser lançado na bexiga, de onde será excretado recebendo o nome de urina (4. Excreção).

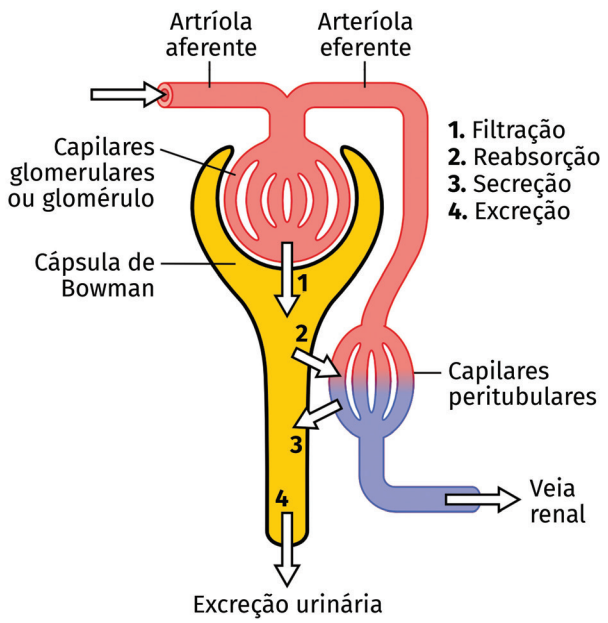


Figura 16.3: Processo de filtração do sangue e formação da urina.

#lá na plataforma

Visite a plataforma e aprenda mais sobre o funcionamento do néfron.

Regulação das funções renais

A reabsorção da água no néfron depende de muitos fatores e da situação fisiológica do indivíduo, mas segue dois princípios básicos: as paredes dos tubos que conduzem o filtrado renal podem se tornar mais ou menos permeáveis à água, e o organismo pode concentrar mais ou menos sais nas regiões próximas aos tubos. Em condições nas quais o acesso à água é irrestrito e não há maiores problemas com as condições ambientais (como a temperatura e umidade relativa do ar), a urina formada contém muita água e poucos solutos (é por isso chamada de diluída). O processo de formação desse tipo de urina é aproximadamente igual àquele descrito anteriormente.

Quando as condições ambientais impõem restrições à perda de água (em um deserto, por exemplo), a função renal se altera, levando a uma intensa reabsorção de água. Grandes quantidades de NaCl e outros sais e, por vezes de ureia, concentram-se nas regiões próximas dos tubos que transportam o filtrado renal, possibilitando que a água passe em maior quantidade

para fora do tubo, retornando para os capilares. Além disso, trechos desses tubos, que normalmente são impermeáveis à água, podem se tornar permeáveis a ela, aumentando a capacidade de reabsorção. A combinação desses dois mecanismos reduz a perda de água e leva à formação de uma urina mais concentrada.

A maior ou menor permeabilidade dos túbulos, bem como a concentração de sais e ureia próxima deles, é controlada direta ou indiretamente por hormônios. Esses hormônios, por sua vez, são produzidos em resposta a variações nas concentrações de sódio (Na^+) e potássio (K^+) no sangue. A concentração elevada ativa a liberação de hormônios, como o ADH (hormônio antidiurético), que levam à menor perda de água. O controle hormonal da formação de urina permite ajustar o processo de excreção às condições fisiológicas e ambientais.

#lá na plataforma

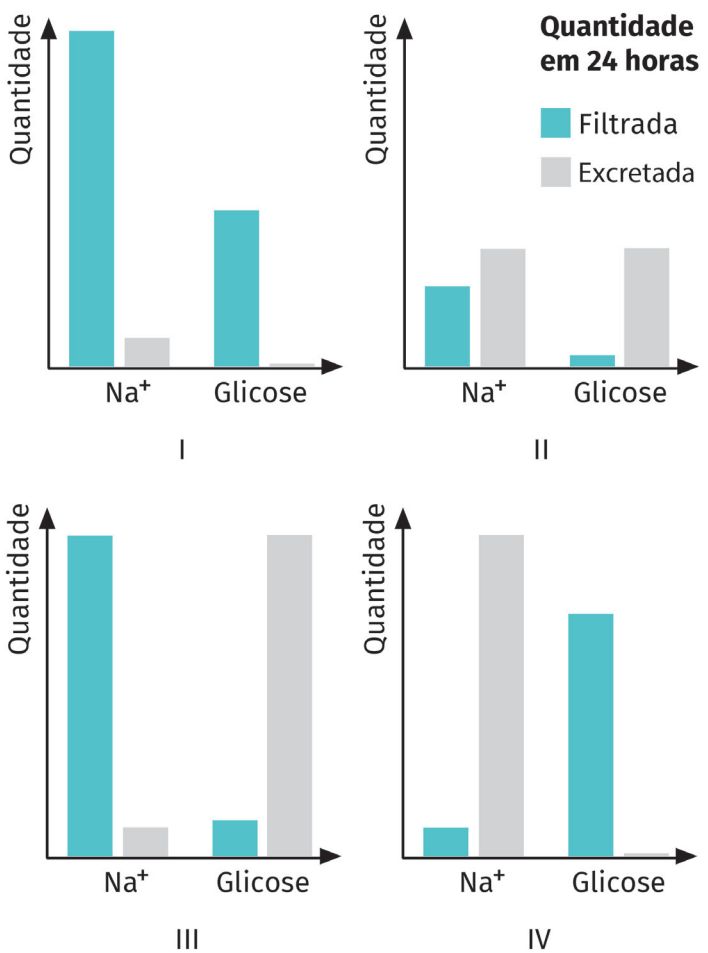
Quer saber mais sobre os mecanismos de regulação renal? Visite a plataforma e descubra informações interessantes.

Resumo

- A degradação de proteínas e ácidos nucleicos produz resíduos nitrogenados (amônia, ureia e ácido úrico).
- Os órgãos excretores eliminam os resíduos nitrogenados por meio dos processos de filtração, secreção e excreção.
- O tipo de produto excretado pelos animais depende do ambiente em que vivem e do tipo de desenvolvimento embrionário que apresentam.
- A amônia é excretada por animais aquáticos; o ácido úrico, por animais terrestres, cujo embrião se desenvolve no interior de ovos com casca, como aves e répteis, e a ureia, por animais como os mamíferos, muitos anfíbios e peixes cartilaginosos.
- A unidade funcional do rim de vertebrados é o néfron, formado pelo glomérulo, onde ocorre a filtração, por um túbulo renal que processa o filtrado transformando-o em urina, e por um sistema de capilares peritubulares que envolvem os túbulos.
- Nos mamíferos, a função renal é regulada por mecanismos hormonais que permitem que o animal se adapte a variações da disponibilidade de água no ambiente.

Atividade

(Uerj, 2007) Os glomérulos renais filtram o sangue de tal forma que células e solutos de alto peso molecular são retidos, enquanto os de baixo peso molecular vão compor a solução denominada filtrado glomerular. Ao passar pelos túbulos renais, vários componentes desse filtrado serão reabsorvidos, enquanto outras substâncias serão nele secretadas, formando a urina. Observe os gráficos abaixo.



Em um indivíduo normal, as quantidades de Na+ e de glicose filtradas pelos glomérulos e as quantidades dessas mesmas substâncias excretadas na urina, em um período de 24 horas, estão representadas no gráfico de número:

a) I
b) II
c) III
d) IV
e) V

Resposta comentada

Acesse a plataforma e encontre a resolução comentada desta atividade.

Referências

SADAVA, David *et al*. *Vida*: a ciência da biologia. Volume 3: plantas e animais. 8. ed. Porto Alegre: Artmed, 2009.

SILVERTHORN, D. E. *Fisiologia humana:* uma abordagem integrada. 2. ed. São Paulo: Editora Manole, 2003.

Reprodução humana

17

meta

Apresentar o sistema reprodutor, o controle hormonal da reprodução humana e os métodos contraceptivos.

objetivos

Esperamos que, ao final desta unidade, você seja capaz de:

- identificar os órgãos dos aparelhos reprodutores masculino e feminino;
- identificar os hormônios que controlam a reprodução humana e descrever suas funções;
- diferenciar a gametogênese masculina e feminina;
- descrever o ciclo menstrual e relacionar com a gravidez;
- identificar os principais métodos contraceptivos.

Introdução

Como todo processo fisiológico, a reprodução humana é um produto transitório do processo evolutivo. Mais complexo do que na maioria dos seres vivos, nosso comportamento reprodutivo é regulado hormonal e emocionalmente e tem sido moldado pelo contexto sociocultural. Nesta unidade, abordaremos a anatomia, a função biológica e o controle hormonal do sistema reprodutor humano.

A espécie humana realiza reprodução sexuada, com fecundação interna, como os outros animais terrestres. A fecundação interna permite que os espermatozoides, células com flagelos, possam se mover em um ambiente aquoso. O desenvolvimento do feto na espécie humana é interno, de modo que o embrião fique dentro de uma bolsa cheia de líquido que o protege da desidratação.

Os órgãos sexuais humanos são formados por gônadas, ductos, glândulas acessórias e estruturas reprodutivas externas chamadas *genitálias*. Nas gônadas masculinas e femininas (testículos e ovários, respectivamente), ocorre a produção dos gametas (gametogênese) a partir de células indiferenciadas chamadas *células germinativas* (*ovogônias* nas mulheres e *espermatogônias* nos homens). As gônadas também produzem hormônios.

Além dessas similaridades, existem algumas diferenças entre a reprodução em homens e mulheres, como por exemplo, os gametas que são bastante diferentes entre si. Os espermatozoides são células bem pequenas, dotadas de flagelo, capazes de nadar pelos ductos do sistema reprodutor feminino até alcançar o óvulo. Os óvulos são células grandes (uma das maiores do corpo), não possuem mobilidade e são transportadas ao longo do tubo reprodutor feminino por meio do movimento de líquidos causado por contrações dos músculos ou pelo batimento de cílios presentes nesses tubos.

Sistema reprodutor masculino

O sistema reprodutor masculino é formado pelas seguintes estruturas que podem ser identificadas nas **Figuras 17.1** e **17.2**:

- *testículos*: constituídos por uma massa de túbulos seminíferos, vasos sanguíneos e células produtoras de testosterona, o hormônio sexual masculino. Localizam-se dentro de uma estrutura externa em forma de bolsa, o escroto, para onde migram durante o desenvolvimento embrionário. A localização externa dos testículos é importante para o desenvolvimento normal dos espermatozoides, que deve ocorrer em temperatura 1 grau abaixo da temperatura do corpo.

- *túbulos seminíferos*: conjunto de túbulos enrolados, cada um medindo entre 0,3 e 1m. Todos os túbulos, se fossem unidos uns aos outros, formariam um tubo com um comprimento total de cerca de 300m. Nos túbulos seminíferos são produzidos os espermatozoides (**Figura 17.2**).
- *epidídimo*: formado pela fusão de todos os túbulos seminíferos que saem do testículo. É um tubo único que forma um cordão enrolado, preso na superfície externa do testículo. O epidídimo se transforma em vaso ou ducto eferente que passa pelo abdômen e termina na uretra.
- *próstata*: produz uma secreção alcalina que neutraliza a acidez do canal vaginal e facilita a mobilidade dos espermatozoides.
- *vesícula seminal*: produz uma secreção rica em frutose (monossacarídeo) que fornece energia aos espermatozoides.
- *Glândula de Cowper* (*ou bulbouretral*): libera uma secreção viscosa que reveste a parede da uretra, facilitando a ejaculação e impedindo o contato do esperma com resíduos de urina (ácida).
- *uretra:* tubo que permite a passagem tanto do esperma quanto da urina, embora não ao mesmo tempo. A uretra atravessa o órgão copulador, o pênis.
- *pênis*: é o órgão copulador masculino, formado por três espaços cilíndricos de tecido erétil (corpos cavernosos e corpo esponjoso) que, ao se encherem de sangue, fazem com que o pênis aumente de tamanho e se torne rígido.

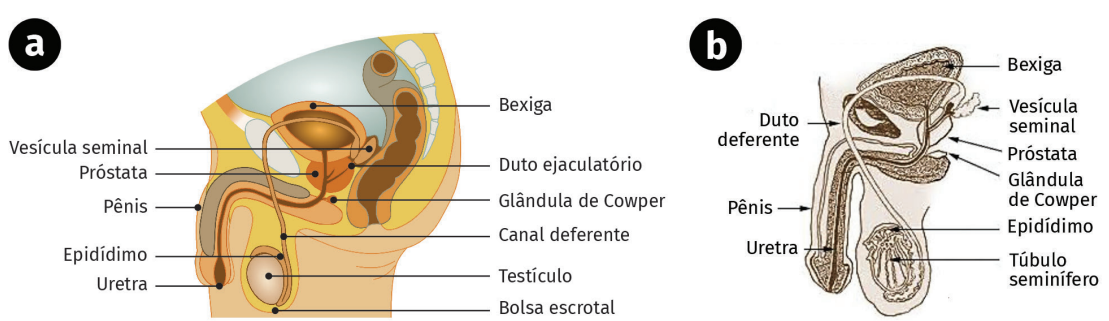


Figura 17.1: Sistema reprodutor masculino. (a) Estruturas do sistema reprodutor masculino; (b) esquema mostrando detalhes do testículo. Fonte: (a) adaptada de: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Male_reproductive_system.png, Ningyou, CC BY-SA 3.0; (b) adaptada de: https://en.wikipedia.org/wiki/Vas_deferens#/media/File:Illu_repdt_male.jpg. US Federal Government/National Cancer Institute, domínio público.

A produção de espermatozoides

Os espermatozoides (gametas masculinos) são produzidos nos testículos, mais especificamente nas paredes dos túbulos seminíferos. Células precursoras, chamadas *espermatogônias*, passam a se multiplicar mais intensamente devido aos estímulos hormonais durante a puberdade. Parte delas cresce e se desenvolve em *espermatócitos*, que sofrem meiose, dando

origem aos *espermatozoides*. Diferentemente do que ocorre nas mulheres, que, ao nascerem, não têm mais ovogônias, pois todas já entraram em meiose e se transformaram em ovócitos, a produção de espermatozoides começa sempre a partir de espermatogônias novas que se multiplicam constantemente por mitose. A cada dia são produzidos cerca de 300 milhões de espermatozoides.

Eles são, então, liberados no interior dos túbulos seminíferos (**Figura 17.2**) e passam para o epidídimo, onde ficam retidos, enquanto amadurecem, até a ejaculação. Na ejaculação, os espermatozoides saem do epidídimo e passam para o canal deferente, onde recebem líquidos produzidos pelas vesículas seminais e pela próstata, resultando em um fluido com espermatozoides chamado *sêmen*, o qual fornece um ambiente líquido como meio de transporte e nutrientes para a sobrevivência dos espermatozoides. Por fim, o sêmen contendo os espermatozoides é eliminado pela uretra.

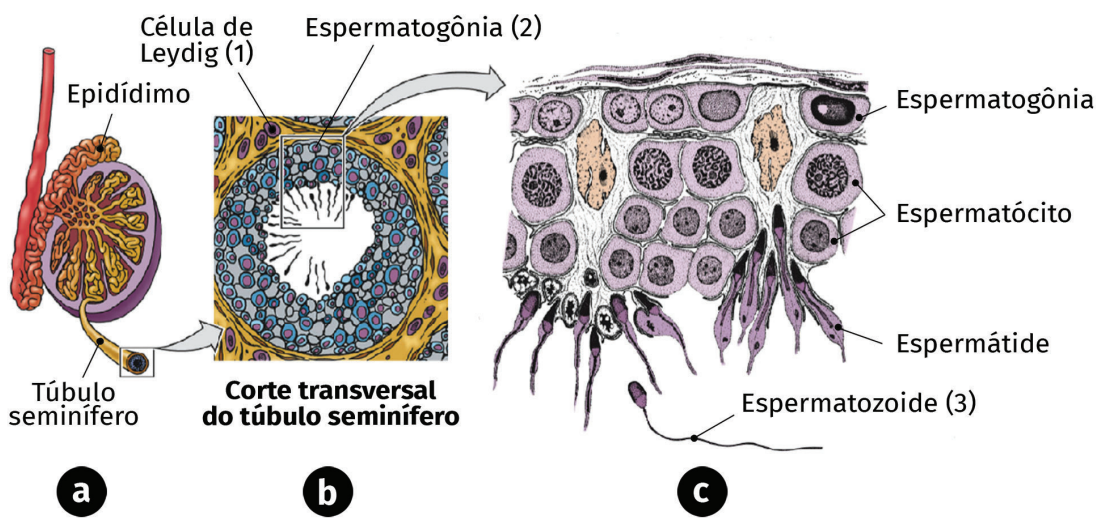


Figura 17.2: Produção de espermatozoides. (a) estrutura interna do testículo; (b) corte transversal do túbulo seminífero mostrando as células de Leydig (1) e as espermatogônias (2); (c) ampliação da parede do túbulo seminífero mostrando a transformação das espermatogônias em espermatozoides (3) e a liberação destes no interior do túbulo seminífero. Figura adaptada de: https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/8/83/Túbulo_seminifero.png. Autor: Gilbert Scott F. - Biología del Desarrollo, CC BY 3.0.

Controle hormonal masculino

Na espécie humana, a entrada na puberdade ocorre quando a hipófise, uma glândula presente no cérebro, começa a produzir os hormônios gonadotróficos LH (hormônio luteinizante) e FSH (hormônio folículo estimulante).

No indivíduo do sexo masculino, a produção desses dois hormônios é simultânea e, uma vez estabelecido o controle hormonal, permanecerá sem interrupção durante toda a vida reprodutiva do indivíduo. Esses dois hormônios atuam nas gônadas, controlando a produção dos hormônios sexuais e, consequentemente, dos espermatozoides (**Figura 17.3**).

O LH produzido na hipófise estimula um tipo especial de células presentes no tecido que envolve os túbulos seminíferos, chamadas *células de Leydig* (**Figura 17.2 b**), que passam a produzir testosterona. A testosterona e o FSH, o outro hormônio produzido pela hipófise, estimulam a transformação das espermatogônias em espermatozoides (**Figura 17.2 c**).

Além de estimular a produção de espermatozoides, a testosterona é o principal hormônio responsável pelo desenvolvimento das características sexuais secundárias masculinas, como barba e crescimento de pelos pelo corpo, engrossamento das pregas vocais, ocasionando o tom grave da voz e o desenvolvimento da musculatura.

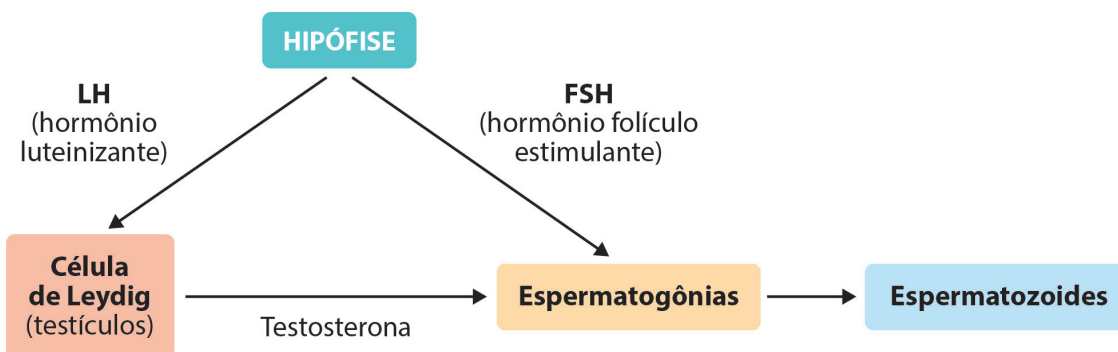


Figura 17.3: Controle hormonal da espermatogênese.

Sistema reprodutor feminino

A genitália externa feminina é composta pelo clitóris, *lábio menor* e *lábio maior*. A genitália interna é composta pelo *ovário*, *útero* e *vagina* que, juntos, são responsáveis pelos ciclos reprodutivos ou sexuais femininos.

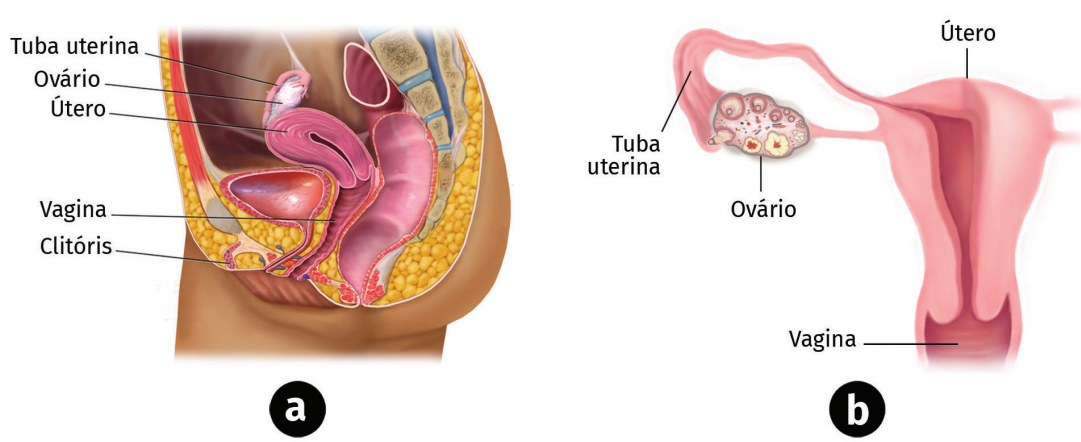


Figura 17.4: Sistema reprodutor feminino. (a) lateral; (b) frontal. Fonte: (a) https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Blausen_0400_FemaleReproSystem_02.png. Autor: Blausen.com staff (2014), CC BY 3.0.

A **Figura 17.4** mostra as estruturas que compõem o sistema reprodutor feminino:

- Os ovários são as gônadas femininas, responsáveis pela produção dos gametas femininos (óvulos) e dos hormônios sexuais femininos: o estrogênio e a progesterona. Na mulher sexualmente madura, todos os meses, os ovários amadurecem e expelem um gameta feminino (ovulação). Normalmente, esse gameta é capturado pelas tubas uterinas.
- A tuba uterina é responsável pelo transporte do gameta feminino do ovário até o local provável da fecundação, que é o terço superior desta tuba. Se houver fecundação, a tuba uterina será responsável pelo transporte do embrião até o útero.
- O útero é um órgão muscular, oco, com paredes espessas, onde se implantará e desenvolverá o embrião durante a gravidez. É composto por três camadas de tecido. O *endométrio*, camada mais interna da parede uterina, é capaz de se descamar durante a menstruação, se regenerar e acolher o embrião dando início à gravidez. O *miométrio* é a camada média do útero, constituída basicamente por fibras musculares, responsáveis pelas contrações uterinas que ocorrem durante a menstruação e o parto. O *perimétrio* é a camada de revestimento externo do útero.
- A vagina é uma cavidade que se adapta ao órgão copulador masculino – o pênis – por ocasião do coito.

Diferentemente dos homens, nas mulheres a uretra não participa do trato reprodutor, servindo apenas para a eliminação da urina. A abertura da uretra fica entre o clitóris e a abertura da vagina.

Produção de óvulos

Na mulher, a gametogênese é iniciada na vida embrionária devido a estímulos dados pelos hormônios maternos. Durante esse período, as ovogônias sofrem sucessivas mitoses e, em seguida crescem e passam a ser chamadas de *ovócitos primários* (ovócitos I). Os ovócitos I entram, então, na primeira divisão meiótica, que é interrompida no nascimento. Após o nascimento, a menina não tem mais contato com os hormônios maternos, e a primeira divisão meiótica permanece interrompida até a puberdade. As mulheres, portanto, nascem com todos os óvulos ou ovócitos que vão ter durante toda a sua vida, cerca de 1 milhão em cada ovário. Na puberdade, tem início o amadurecimento dos ovócitos, que serão liberados e expelidos dos ovários uma vez por mês durante cerca de 40 anos, quando o ciclo reprodutivo cessa.

O ciclo menstrual e o controle hormonal feminino

O amadurecimento dos ovócitos e a produção de gametas em ciclos mensais nas fêmeas humanas constitui o *ciclo menstrual*. Ele tem a duração média de 28 dias, podendo variar de 24 a 35 dias, começando no primeiro dia da menstruação. Durante o ciclo menstrual, ocorrem mudanças controladas por hormônios nos folículos dos ovários (ciclo ovariano) e na cobertu-

ra interna do útero (ciclo uterino). Os eventos dos dois ciclos e as mudanças hormonais que acontecem durante o ciclo menstrual são mostrados de forma resumida na **Figura 17.5**. Como podemos observar, os dois ciclos são regulados principalmente por quatro hormônios, que possuem as seguintes funções.

- Hormônio folículo estimulante (FSH): é liberado pela hipófise, e sua principal função é estimular o amadurecimento do folículo ovariano.
- Hormônio luteinizante (LH): também liberado pela hipófise, seu pico provoca a ovulação e o desenvolvimento do corpo lúteo.
- Estrogênio: é produzido pelo folículo ovariano e causa o desenvolvimento do endométrio, além de controlar o desenvolvimento das características sexuais secundárias femininas.
- Progesterona: produzido pelo folículo ovariano e pelo corpo lúteo, estimula o espessamento do endométrio e, principalmente, sua manutenção após a ovulação.

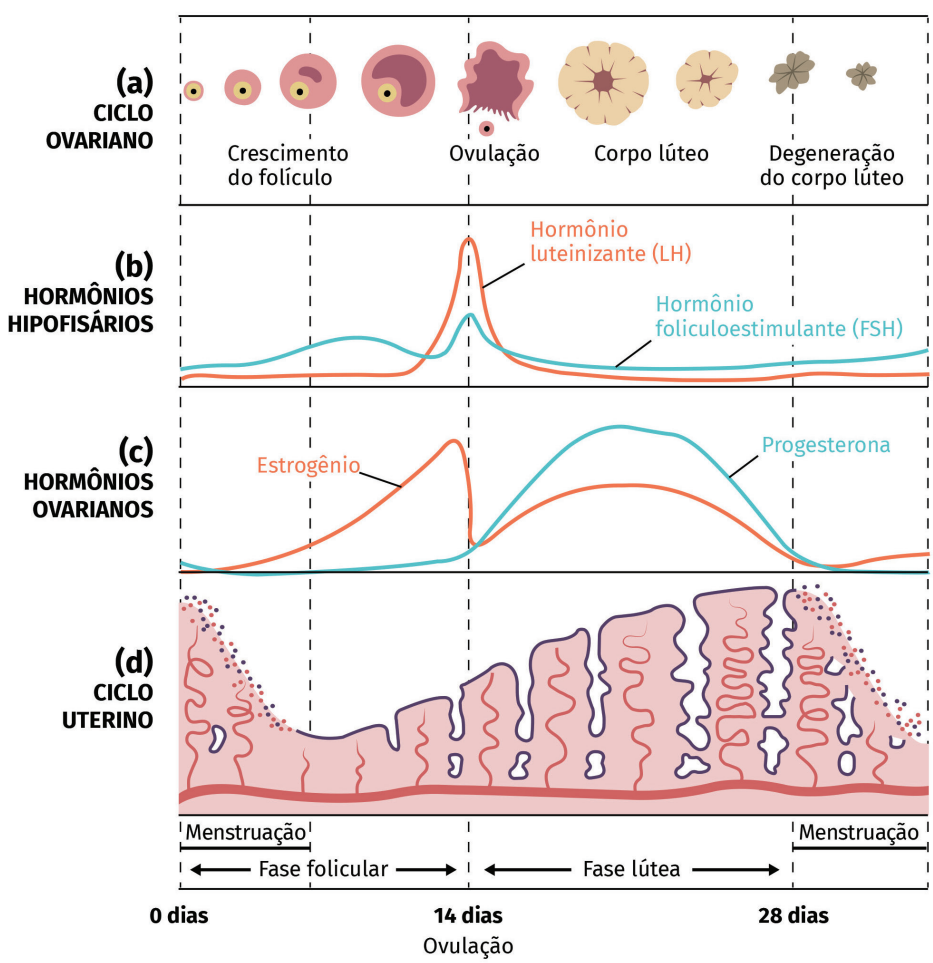


Figura 17.5: Ciclo menstrual. a) Ciclo ovariano; b) Taxa sanguínea dos hormônios hipofisários; c) Taxa sanguínea dos hormônios ovarianos; d) Ciclo uterino. Fonte: adaptado de https://viosfertility.com/blog/the-menstrual-cycle/. Autor desconhecido.

Ciclo ovariano

O ciclo ovariano é responsável pelo amadurecimento e liberação do óvulo (**Figura 17.5 a**). Nos ovários, cada ovócito está rodeado por uma camada de células denominadas *células foliculares*, e esse conjunto (ovócito mais células foliculares) recebe o nome de *folículo ovariano*. A cada mês, um folículo ovariano inicia seu desenvolvimento no primeiro dia da menstruação, estimulado pelo hormônio FSH, produzido pela hipófise. O folículo em crescimento produz estrogênio. Por volta do 12º dia do ciclo, a produção de LH pela hipófise torna-se intensa, e o pico desse hormônio no sangue, por volta do 14º dia, provoca a ruptura do folículo e a ovulação. Após a ovulação, o folículo se transforma em corpo lúteo, que funciona como uma glândula, retomando a produção de estrogênio (em menor quantidade) e produzindo grande quantidade de progesterona por mais duas semanas. Esses dois hormônios – estrogênio e progesterona – produzidos pelo folículo em crescimento e depois pelo corpo lúteo, atuarão no útero. O aumento do estrogênio produzido pelo folículo também inibe a produção de FSH.

Se o óvulo não for fertilizado, por volta do 26º dia o corpo lúteo degenera, caindo a produção de estrogênio e de progesterona. Por volta do 28º dia, sem a inibição do estrogênio, a produção de FSH pela hipófise começa a subir novamente, estimulando o crescimento de um novo folículo.

Ciclo uterino

O ciclo uterino envolve as transformações ocorridas no útero, especialmente no endométrio, reguladas pelos hormônios ovarianos, produzidos durante o ciclo ovariano, e que culminam com a menstruação ou com a implantação do embrião, caso ocorra fecundação (**Figura 17.5 d**).

O sangramento menstrual do útero tem início quando o endométrio começa a descamar devido à queda na produção de progesterona que ocorre se o óvulo não foi fecundado. Após a descamação do endométrio, começa a fase proliferativa do útero, durante a qual uma nova camada de células é produzida, estimulada inicialmente pelo aumento da concentração de estrogênio produzido pelo folículo em desenvolvimento no ovário.

Após a ovulação, a produção de estrogênio é mantida pelo corpo lúteo, que também passa a produzir progesterona, provocando aumento do espessamento do endométrio para preparar o útero para a gestação. Se o óvulo não for fecundado, a queda da produção de progesterona, devido à degeneração do corpo lúteo, causa a descamação do endométrio e, consequentemente, a menstruação por volta do 28º dia, marcando o início de um novo ciclo.

Quando ocorre fecundação, o endométrio é mantido devido à taxa de progesterona que permanece alta. Isso ocorre porque, alguns dias após a implantação do embrião, começa a se estabelecer uma placenta rudimentar que passa a produzir hormônios. Dentre eles, está a *gonadotrofina coriônica* (HCG), que atua diretamente no corpo lúteo, impedindo sua degeneração e mantendo-o funcional até o 3º mês de gestação. Nesse momento, a placenta já está totalmente formada, e o corpo lúteo, então, regride e morre. Desse momento até o final da

gravidez, a placenta assumirá a produção de progesterona, que deverá se manter constante e em alta concentração até o parto.

Menstruação e gravidez

Considerando-se um ciclo menstrual padrão de 28 dias, no 1° dia de uma menstruação inicia-se a descamação do endométrio. Uma mistura de sangue glandular e de endométrio desintegrado cai através do canal cervical e da vagina, constituindo o fluxo menstrual. Ao mesmo tempo, inicia-se o amadurecimento de um folículo nos ovários, que passa a produzir estrogênio, iniciando o restabelecimento da camada do endométrio perdida.

Em torno do 13º/14º dia, deverá ocorrer a ovulação. Se, no seu caminho pela tuba uterina, esse óvulo for fecundado, o embrião se implantará no endométrio, e um controle hormonal se estabelecerá, impedindo o desprendimento dele. Se não ocorrer fecundação, 13 a 14 dias depois da ovulação ocorrerá nova menstruação.

Na **Figura 17.6** encontram-se os principais eventos que podem ocorrer no corpo da mulher, em um ciclo de 28 dias: ovulação, menstruação e fecundação.

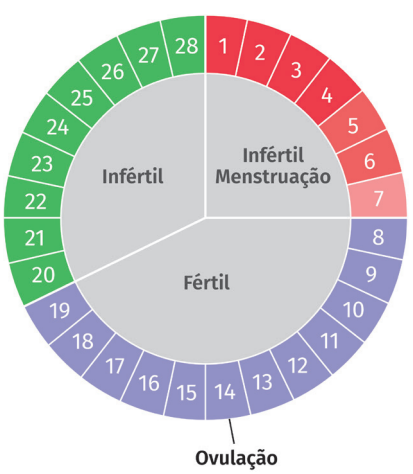


Figura 17.6: Principais eventos que podem ocorrer no corpo da mulher, em um ciclo de 28 dias: ovulação, menstruação e fecundação.

Métodos contraceptivos

Na espécie humana, sexualidade e reprodução não são necessariamente associadas. O fato de que as pessoas nem sempre desejam ter filhos quando mantêm relações heterossexuais levou, ao longo da história, ao desenvolvimento de métodos contraceptivos, ou seja, de métodos que evitam (contra) a concepção (formação de um novo indivíduo a partir da junção de um óvulo e um espermatozoide).

Alguns dos métodos contraceptivos, também conhecidos como *anticoncepcionais*, podem ser usados na prevenção de doenças sexualmente transmissíveis, ou seja, doenças que são transmitidas de uma pessoa para outra em consequência do ato sexual, como a AIDS e a gonorreia, por exemplo.

As estratégias de contracepção podem se basear no bloqueio da gametogênese (métodos hormonais), no impedimento do encontro dos gametas (métodos de barreira) e no impedimento do desenvolvimento do embrião. A seguir, apresentamos algumas estratégias de contracepção, mas lembre-se: nenhum método é absolutamente seguro, por isso é preciso conhecê-los bem, usá-los corretamente e com cautela.

Métodos comportamentais

- Coito interrompido: é um método muito antigo que consiste em retirar o pênis da vagina antes que a ejaculação ocorra. Esse método é pouco eficiente, porque as secreções masculinas liberadas antes da ejaculação podem conter espermatozoides suficientes para levar à fecundação.
- Tabelinha: método que consiste em abster-se de relações sexuais nos dias férteis da mulher (**Figura 17.6**). Em um ciclo menstrual normal, a ovulação ocorre próximo à metade do ciclo (14º dia em um ciclo de 28 dias). Como o espermatozoide pode permanecer viável no trato reprodutivo feminino por até quatro dias e o óvulo também, estabelece-se como período de risco o intervalo que vai dos cinco dias que precedem a ovulação até cinco dias após esse evento. A definição do período de risco pode ser auxiliada pelo exame do muco vaginal que, próximo aos dias férteis, torna-se claro e viscoso, enquanto nos dias menos férteis, apresenta-se mais espesso e turvo. Mesmo assim, esse método possui altíssimas margens de erro, principalmente porque o ciclo ovariano pode sofrer alterações.

Métodos de barreira

- Diafragma: dispositivo de borracha que a mulher coloca no fundo da vagina, de modo a fechar o colo do útero e impedir a entrada de espermatozoides. Geralmente, aplica-se no diafragma uma geleia espermicida (que mata os espermatozoides).
- Preservativo ou camisinha masculina: protetor de látex que se coloca no pênis para reter o esperma ejaculado, evitando que seja depositado na vagina. Além de anticoncepcional, a camisinha é eficiente na prevenção da disseminação da AIDS e de outras DSTs.
- Camisinha feminina: feita de poliuretano (mais resistente que o látex). Deve ser colocada antes do ato sexual e retirada logo depois. Também previne as DSTs.

Métodos hormonais

- Pílula anticoncepcional: consiste em uma mistura de estrogênio e progesterona sintéticos que inibem a secreção de FSH e LH pela hipófise. Em consequência, o folículo ovariano não amadurece e não ocorre ovulação. Entretanto, a progesterona estimula o espessamento do endométrio. A pílula é tomada durante 21 dias consecutivos, a partir do 1° dia da menstruação e, ao término desses dias, a queda da taxa de progesterona provoca a descamação do endométrio e a mulher menstrua, sem que tenha ovulado.

- Pílula contínua: tem o mesmo efeito da pílula anticoncepcional normal. A diferença é que a pílula contínua é tomada durante o mês inteiro, não havendo pausa e, portanto, não havendo menstruação, uma vez que não há redução nos níveis hormonais.

- Anel vaginal: contém etonogestrel e etinilestradiol, que são os mesmos hormônios da maioria das pílulas anticoncepcionais. É colocado na vagina no 5º dia da menstruação, permanecendo nessa posição durante três semanas. A maior vantagem é que a mulher não precisará tomar a pílula todo dia e nem esquecerá. Outra vantagem é que os hormônios serão absorvidos diretamente pela circulação, evitando alguns efeitos colaterais desagradáveis da pílula oral. É um método conveniente, pois só precisa ser aplicado uma vez ao mês. A mulher mesma coloca e retira o anel, conferindo controle sobre o método contraceptivo.

- Transdérmico: o adesivo anticoncepcional contém os mesmos hormônios que a maioria das pílulas anticoncepcionais e deve ser colado na pele permanecendo durante uma semana. A maior vantagem é que a mulher não precisará tomar a pílula todo dia, diminuindo a chance de esquecimento. Outra vantagem é que, da mesma forma que o anel vaginal, os hormônios serão absorvidos diretamente pela circulação, evitando alguns efeitos colaterais da pílula oral. Para iniciar o tratamento, o adesivo deve ser colocado no primeiro dia da menstruação. A cada três semanas, deve-se fazer uma pausa de uma semana.

- Implante subcutâneo: é uma pequena cápsula contendo um hormônio anticoncepcional que é introduzida embaixo da pele por meio de um aplicador descartável. A duração do implante é de aproximadamente três anos e, nesse período, muitas mulheres terão menstruações menores ou não as terão.

Impedimento da implantação do embrião

- DIU - dispositivo intrauterino: dispositivo de plástico ou metal que é colocado pelo ginecologista no interior do útero, impedindo a nidação e, consequentemente, a implantação do embrião. Os DIUs que possuem cobre têm efeito espermicida e alteram a mobilidade ou capacidade do espermatozoide fecundar o óvulo. Alguns DIUs possuem também uma dosagem hormonal, que atua no ciclo ovariano.

- Pílula do dia seguinte: é um contraceptivo de emergência e só deve ser usada nos casos em que outros métodos falharam ou não foram utilizados (quando a camisinha estoura, por exemplo) e não como método habitual. A função desse medicamento é impedir a fecundação e, caso ela ocorra, provocar a descamação do endométrio, antecipando a menstruação e impedindo a implantação do embrião. Para garantir a eficiência, a primeira pílula deve ser tomada até 72 horas após o ato sexual sem proteção, e a segunda, 12 horas após a primeira.

Métodos de esterilização

- Vasectomia: método que consiste em seccionar os canais deferentes, de modo a impedir que os espermatozoides cheguem à uretra. A vasectomia não afeta a produção de testosterona pelos testículos, de modo que não tem efeito negativo sobre a atividade sexual do homem. O homem vasectomizado atinge o orgasmo e ejacula normalmente, com a diferença de que seu esperma não contém espermatozoides, apresentando apenas secreções das glândulas acessórias.
- Laqueadura ou ligadura das tubas uterinas: método que consiste em seccionar ou remover as tubas uterinas. Nesse caso, os óvulos não conseguem chegar ao útero, e os espermatozoides ficam impedidos de chegar ao local da fecundação.

#lá na plataforma

Você reparou que todos os métodos anticoncepcionais que utilizam uma abordagem bioquímica ou fisiológica aplicam-se à mulher? Por que é mais difícil elaborar uma estratégia semelhante para o homem? Descubra lá na plataforma.

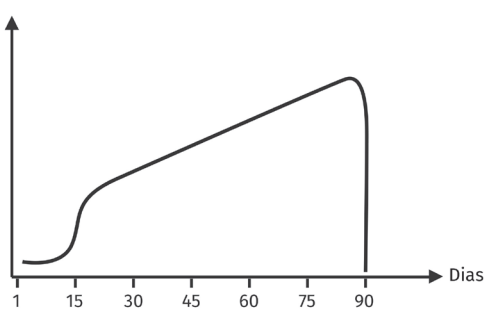
Resumo

- Os sistemas reprodutores masculinos e femininos são formados por estruturas responsáveis tanto pela produção dos gametas, quanto pela manutenção e diferenciação dessas células, além de, no caso do trato reprodutivo feminino, estruturas que possam garantir o desenvolvimento do embrião.
- A produção de espermatozoides ocorre sob o controle dos hormônios FSH e LH, liberados pela hipófise, e da testosterona.
- A gametogênese masculina, produção dos espermatozoides, começa na puberdade e segue durante toda a vida do homem.

- A gametogênese feminina – ovogênese – inicia-se ainda durante o desenvolvimento no útero materno. Por essa razão, as mulheres já nascem com todas as células germinativas em estágio avançado de desenvolvimento e, a partir da puberdade, apenas dão prosseguimento a esse desenvolvimento.
- A maturação e a liberação do óvulo (ciclo ovariano) estão sob o controle dos hormônios FSH e LH, liberados pela hipófise. Nos humanos, esse ciclo leva cerca de 28 dias.
- O ciclo uterino, onde ocorrem a proliferação e a descamação do endométrio, encontra-se sob a ação dos hormônios ovarianos estrogênio e progesterona.

Atividade

(UFRJ, 2000) O gráfico mostra os níveis dos hormônios progestacionais no sangue de uma mulher num período de 90 dias.



a) Como deve ser interpretado o aumento progressivo do nível de concentração da progesterona a partir do 15º dia?

b) Que fato deve estar associado à queda do nível de hormônio por volta do 90º dia?

Resposta comentada

Acesse a plataforma e encontre a resolução comentada desta atividade.

Referências

SILVERTHORN, D. E. *Fisiologia humana*: uma abordagem integrada. 2. ed. São Paulo: Editora Manole 2003.