

ser  
**Protagonista**



# Biologia

1

ENSINO  
MÉDIO

BIOLOGIA  
1º ANO

PROPOSTA  
PARA DIVULGAÇÃO

Organizadora:  
**Edições SM**

Obra coletiva concebida,  
desenvolvida e produzida  
por Edições SM.

**Editora responsável:**  
Lia Monguilhott Bezerra

André Catani  
Elisa Garcia Carvalho  
Fernando Santiago dos Santos  
João Batista Aguiar  
Sílvia Helena de Arruda Campos



ser  
**Protagonista**

# Biologia

1

ENSINO  
MÉDIO

BIOLOGIA  
1º ANO

AMOSTRA  
PARA DIVULGAÇÃO

Organizadora:  
**Edições SM**

Obra coletiva concebida, desenvolvida e produzida por Edições SM.

Editora responsável:

**Lia Monguilhott Bezerra**

- Bacharela e Licenciada em Ciências Biológicas pela Universidade de São Paulo (USP).
- Mestra em Ciências, área de concentração Botânica, pela USP.
- Editora de livros didáticos.

**André Catani**

- Bacharel e Licenciado em Ciências Biológicas pelo Instituto de Biologia da Universidade Estadual de Campinas (Unicamp-SP).
- Professor no Ensino Médio.

**Elisa Garcia Carvalho**

- Licenciada em Ciências Biológicas pela Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras da USP – Ribeirão Preto.
- Mestra em Ciências pela Faculdade de Medicina da USP – Ribeirão Preto.
- Doutora em Zootecnia pela Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” (Unesp) – Jaboticabal.
- Professora no Ensino Fundamental e Médio.

**Fernando Santiago dos Santos**

- Bacharel e Licenciado em Ciências Biológicas pela Unicamp-SP.
- Mestre em História da Ciência pela Pontifícia Universidade Católica de São Paulo (PUC-SP).
- Doutor em Educação pela Faculdade de Educação da USP.
- Professor no Ensino Médio e Superior.

**João Batista Aguilár**

- Bacharel e Licenciado em Ciências Biológicas pelo Instituto de Biociências da USP.
- Mestre em Ecologia e Doutor em Ciências pelo Instituto de Biociências da USP.
- Professor no Ensino Fundamental e Médio e na Educação de Jovens e Adultos.

**Sílvia Helena de Arruda Campos**

- Bacharela e Licenciada em Ciências Biológicas pelo Instituto de Biociências da USP.
- Professora no Ensino Fundamental e Médio.

3ª edição  
São Paulo  
2016



## Ser protagonista – Biologia – 1

© Edições SM Ltda.

Todos os direitos reservados

<b>Direção editorial</b>	Juliane Matsubara Barroso
<b>Gerência editorial</b>	Roberta Lombardi Martins
<b>Gerência de design e produção</b>	Marisa Iniesta Martin
<b>Edição executiva</b>	Lia Monguilhott Bezerra
	<b>Edição:</b> Marcelo Viktor Gilge, André Henrique Zamboni, Daniela Ludviger Ingui, Dino Santesso Gabrielli, Nina Nazario, Renata Amélia Bueno
	<b>Colaboração técnico-pedagógica:</b> Carolina Mancini Vall Bastos, Lilian Al-Chueyr Pereira Martins, Luciana Valéria Nogueira, Maria Elice Brzezinski Prestes, Roberto De Andrade Martins, Bárbara Onishi, Daniela Soltys
<b>Coordenação de controle editorial</b>	Flavia Casellato
	<b>Suporte editorial:</b> Alzira Bertholim, Camila Cunha, Giselle Marangon, Mônica Rocha, Talita Vieira, Silvana Siqueira, Fernanda D'Angelo
<b>Coordenação de revisão</b>	Cláudia Rodrigues do Espírito Santo
	<b>Preparação e revisão:</b> Ana Catarina Nogueira, Berenice Baeder, Eliana Vila Nova de Souza, Eliane Santoro, Fátima Carvalho, Fátima Cezare Pasculli, Ingrid Basilio, Mariana Masotti, Mauricio Tavares, Sandra Regina Fernandes, Taciana Vaz, Vera Lúcia Rocha, Marco Aurélio Feltran (apoio de equipe)
<b>Coordenação de design</b>	Rafael Vianna Leal
	<b>Apoio:</b> Didier Dias de Moraes
	<b>Design:</b> Leika Yatsunami, Tiago Stéfano
<b>Coordenação de arte</b>	Ulisses Pires
	<b>Edição executiva de arte:</b> Melissa Steiner
	<b>Edição de arte:</b> Fernando Fernandes, Vivian Dumelle
<b>Coordenação de iconografia</b>	Josiane Laurentino
	<b>Pesquisa iconográfica:</b> Bianca Fanelli, Susan Eiko
	<b>Tratamento de imagem:</b> Marcelo Casaro
<b>Capa</b>	Didier Dias de Moraes, Rafael Vianna Leal
<b>Imagem de capa</b>	larus/Shutterstock.com/ID/BR
<b>Projeto gráfico</b>	cldt
<b>Editoração eletrônica</b>	MRS Editorial
<b>Ilustrações</b>	Adilson Secco, Alex Argozino, Edilson Bilas, Fabio Eugenio, Jurandir Ribeiro, Luis Moura, Marcos Aurélio, Paula Radi, Paulo Cesar Pereira, Petra Elster, Reinaldo Vignati, Roberto Higa, Studio Caparroz, Studio Lettera, Vagner Coelho
<b>Fabricação Impressão</b>	Alexander Maeda

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

Catani, André

Ser protagonista : biologia, 1º ano : ensino médio / André Catani ... [et al.] ; organizadora Edições SM ; obra coletiva concebida, desenvolvida e produzida por Edições SM ; editora responsável Lia Monguilhott Bezerra. – 3. ed. – São Paulo : Edições SM, 2016. – (Coleção ser protagonista)

Outros autores: Elisa Garcia Carvalho, Fernando Santiago dos Santos, João Batista Aguilar, Sílvia Helena de Arruda Campos  
Suplementado pelo manual do professor.  
Bibliografia

ISBN 978-85-418-1351-8 (aluno)  
ISBN 978-85-418-1352-5 (professor)

1. Biologia (Ensino médio) I. Catani, André. II. Carvalho, Elisa Garcia. III. Santos, Fernando Santiago dos. IV. Aguilar, João Batista. V. Campos, Sílvia Helena de Arruda. VI. Bezerra, Lia Monguilhott. VII. Série.

16-02504

CDD-574.07

Índices para catálogo sistemático:

1. Biologia : Ensino médio 574.07

3ª edição, 2016



**Edições SM Ltda.**

Rua Tenente Lycurgo Lopes da Cruz, 55  
Água Branca 05036-120 São Paulo SP Brasil  
Tel. 11 2111-7400  
edicoessm@grupo-sm.com  
www.edicoessm.com.br

# Apresentação

Você já deve ter ouvido falar, nas mídias ou em rodas de conversa, em engenharia genética, conservação do ambiente, novas tecnologias e avanços da medicina, nos alimentos transgênicos e na descoberta de espécies novas. Esses são alguns aspectos do mundo contemporâneo que envolvem conhecimentos da Biologia. Assim, conhecê-la significa poder compreender assuntos que fazem parte da nossa vida e refletir de modo mais qualificado sobre o mundo em que vivemos.

Nesta coleção, você terá acesso a conteúdos variados da Biologia, apresentados de forma organizada, simples e direta. Além de lhe permitir acessar certos conhecimentos, esta obra busca relacioná-los a temas atuais e a conhecimentos de outras áreas ou disciplinas.

E, como quase tudo que envolve a vida em coletividade, muitos dos assuntos tratados são polêmicos, como os que envolvem as questões éticas, as interferências ambientais que afetam a sobrevivência do planeta, as novas possibilidades da tecnologia, entre outros. Aproveite esses momentos para questionar e questionar-se, aprofundando sua reflexão e motivando-se para a ação.

Esperamos assim contribuir não somente para a aquisição dos conteúdos formais por você, estudante, mas também para ajudá-lo a ser um cidadão mais participativo e atuante.

*Equipe editorial*

# A organização do livro

## Pilares da coleção

Esta coleção organiza-se a partir de quatro pilares, cada qual com objetivo(s) próprio(s):

### CONTEXUALIZAÇÃO E INTERDISCIPLINARIDADE

Relaciona o estudo dos conteúdos de Biologia a outras disciplinas, áreas do conhecimento e temas atuais, construindo, assim, uma visão ampla e integrada dos fenômenos estudados.

### COMPROMISSO

Temas e questionamentos que despertam a consciência da responsabilidade e incentivam a reflexão e o entendimento do mundo, para que você se torne um cidadão responsável.

### VISÃO CRÍTICA

Contribui para que você seja capaz de entender a realidade que o cerca e refletir sobre seu papel nessa realidade, desenvolvendo, dessa maneira, sua visão crítica.

### INICIATIVA

Incentivar a atitude proativa diante de situações-problema, para que você tome decisões e tenha participação ativa em diversos contextos sociais.

As seções e os boxes que se propõem a trabalhar esses eixos estão indicados pelos ícones que os representam.

## Páginas de abertura



### Abertura da unidade

A partir de um pequeno texto, perguntas e uma imagem impactante, você vai começar a refletir sobre o assunto da unidade e a se questionar a respeito do que já sabe sobre ele.

### Abertura do capítulo

Um texto e uma imagem introduzem o assunto específico do capítulo.



## Apresentação dos conteúdos

#### Fermentação láctica

A fermentação láctica é um processo anaeróbico de obtenção de energia realizado por certos organismos como bactérias, protozoários, fungos e tecidos animais em geral – por exemplo, o músculo esquelético humano.

A fermentação láctica, tal como a alcoholização, ocorre em duas fases (etapas A) e B). Na primeira fase, uma molécula de glicose é decomposta em duas moléculas de piruvato. É denominada esta reação de descarboxilação a molécula de ATP. Em seguida, o glicose é oxidado, e 2 moléculas de NAD<sup>+</sup> são reduzidas a NADH. Durante a primeira fase, também ocorrem a molécula de ATP e a geração de ATP e H<sup>+</sup>, moléculas que são utilizadas na 2ª molécula de ATP.

Na segunda fase, as fermentações láctica proporcionalmente a glicose e produzida em condições anaeróbicas em um tipo de hidratos de carbono, pelo NADH, originando **ácido láctico** (LACT). Durante esse tipo de fermentação, não há produção de gás carbônico.

A fermentação láctica, da mesma maneira que em outros tipos de fermentação, pode resultar na deterioração de alimentos armazenados em condições inadequadas, como simbiose ou temperatura elevada. Em ambientes fermentados, os organismos fermentadores, presentes nos alimentos, se reproduzem e utilizam os açúcares dos alimentos como fonte de energia. Os levedos originam que realizam fermentação láctica, como as **leveduras** (*Saccharomyces*). De origem animal, existem organismos que realizam fermentação láctica em tecidos e células, desde que não estejam em contato com o oxigênio, pois, além de alterar características coloridas e odor, podem causar irritações, inflamações e, em casos graves, necrose.

#### Bactérias do queijo curado

Bactérias do gênero *Lactobacillus* foram selecionadas para a produção de um novo tipo de queijo. Este queijo é produzido a partir de leite pasteurizado e contém um alto teor de gordura. A seleção foi feita com base na possibilidade de compatibilidade. O queijo curado contém um alto teor de gordura e é produzido em condições de alta umidade e temperatura. Este tipo de queijo é produzido em condições de alta umidade e temperatura.

#### Atividades

1. Uma garrafa contendo uma solução de glicose e NAD<sup>+</sup> é deixada em uma temperatura de 37°C por 24 horas. Em seguida, a solução é analisada para determinar a quantidade de NADH produzida. Este experimento demonstra a produção de NADH durante a fermentação láctica.

2. Uma garrafa contendo uma solução de glicose e NAD<sup>+</sup> é deixada em uma temperatura de 37°C por 24 horas. Em seguida, a solução é analisada para determinar a quantidade de NADH produzida. Este experimento demonstra a produção de NADH durante a fermentação láctica.

As de ácido láctico são amplamente utilizadas em iogurtes, coalhadas, queijos, manteigas, carnes curadas, como salame e outros tipos de picles, chucrute ou azeitonas. A produção de conserva inibe o crescimento de fungos para sua preservação.

Palavras que você talvez não conheça são apresentadas ao lado do texto.

O conteúdo é apresentado de maneira organizada. Ilustrações, esquemas e fotografias facilitam a compreensão.

### FERRAMENTAS DA CIÊNCIA

**A colchicina como bloqueadora da mitose**  
A colchicina é uma substância altamente tóxica extraída de plantas do gênero *Colchicum*, nativas da Europa e conhecidas popularmente co-

### BIOLOGIA E FÍSICA

**A velocidade de um impulso nervoso**  
A velocidade de um impulso nervoso pode ser calculada dividindo-se a distância percorrida por um potencial de ação pelo tempo gas-

### BIOLOGIA TEM HISTÓRIA

**De naturalistas a especialistas**  
Por muito tempo, a Biologia esteve relacionada a outras áreas de estudo ligadas à natureza, como a Geologia, a Mineralogia, a Paleontologia e até mesmo a Física. A expressão

### BIOLOGIA NO COTIDIANO

**O exame forense de DNA**  
A genética forense utiliza conhecimentos e técnicas de genética e de Biologia no auxílio à justiça. Esse ramo da ciência baseia-se no fato de que as pessoas podem ser iden-

### SAIBA MAIS

**O destino da placenta**  
É comum as pessoas acharem que o eómbrio transparente ao redor do feto é a placenta. Na verdade, essa é a bolsa amniótica. A placenta, órgão avermelhado que fica aderido à pare-

### AÇÃO E CIDADANIA

**Planejamento familiar**  
Todo cidadão tem o direito de decidir se quer ou não ter filhos, e o governo tem o dever de oferecer informação e métodos anticoncepcionais para ajudar as famílias a plane-

### BIOLOGIA SE DISCUTE

**Teoria da panspermia**  
As modernas teorias sobre a origem da vida consideram que todos os passos da evolução química da vida ocorreram exclusivamente na Terra. Contudo, é possível que outro pro-

O texto principal é complementado por boxes que ampliam ou contextualizam o conteúdo.

## Atividades

### ATIVIDADES

4. Suponha uma molécula de DNA com a seguinte sequência de bases nitrogenadas, que determina a síntese de uma cadeia polipeptídica contendo sete aminoácidos (aa), como ilustrado na tabela abaixo:

TAC	aa1	metionina
CAC	aa2	valina
TCG	aa3	serina
TCA	aa4	serina
CAG	aa5	valina

Ao longo dos capítulos há questões sobre tópicos estudados.

### Questões globais

Ao final das unidades, há um conjunto de atividades que integram os assuntos dos capítulos.

### Vestibular e Enem

Uma seleção de questões do Enem e de vestibulares do país para você se familiarizar com os exames de ingresso ao Ensino Superior.

Aqui, são apresentadas algumas indicações de sites, livros ou filmes para você continuar explorando o assunto.

## Seções especiais

### Práticas de Biologia

**O que há dentro da caixa?**  
**Objetivo**  
Estimular o senso crítico para reconhecer a ciência e a prática científica no cotidiano.  
**Material**  
Caixa fechada, fita adesiva, papel, lápis, régua, tesoura, alfilerete, caneta, cola, fita, fio, algodão, sementes, etc.  
**Procedimento**  
1. Escolha uma caixa de madeira ou plástico e feche-a com fita adesiva. Coloque dentro da caixa um objeto que seja comum no cotidiano, mas que não seja óbvio para quem não sabe o que está dentro. Exemplos: uma semente, um pedaço de madeira, um pedaço de metal, um pedaço de vidro, um pedaço de plástico, um pedaço de tecido, um pedaço de papel, um pedaço de algodão, etc.  
2. Distribua os alunos em grupos de 4 a 6 pessoas.  
3. Cada grupo deve fazer uma lista de hipóteses para o que pode estar dentro da caixa. Cada hipótese deve ser justificada com base em observações ou experiências anteriores.  
4. Cada grupo deve fazer uma lista de perguntas para fazer ao professor ou a um colega que saiba o que está dentro da caixa.  
5. O professor deve fazer perguntas para os grupos, estimulando-os a pensar e a discutir.  
**Resultado**  
Cada grupo deve apresentar suas hipóteses e perguntas para o professor ou para os colegas. O professor deve fazer perguntas para os grupos, estimulando-os a pensar e a discutir.

**Ciência, tecnologia e sociedade**  
**Pesquisadores anunciam sequenciamento completo do genoma do vírus**  
Um artigo publicado pelo pesquisador de Genética Donald Casadevall, da Universidade de Cornell, e seu colega da Universidade de Columbia, anunciou o sequenciamento completo do genoma do vírus SARS-CoV-2, o agente causador da doença COVID-19. O artigo foi publicado na revista Nature Genetics em 23 de janeiro de 2020. O artigo descreve o processo de sequenciamento do genoma do vírus SARS-CoV-2, que é um vírus de RNA de fita simples. O artigo também discute as implicações do sequenciamento do genoma do vírus SARS-CoV-2 para a compreensão da evolução do vírus e para o desenvolvimento de vacinas e tratamentos.

### Práticas de Biologia

Experimentos, observações, construção de modelos, entre outras, são algumas das atividades que contribuem para entender como a ciência é feita.

### Ciência, tecnologia e sociedade

Apresenta um texto de circulação social e questões que estimulam a reflexão e o posicionamento sobre assuntos relacionados ao tema do capítulo.

### Biologia tem história

Discute o contexto em que algumas das ideias científicas foram construídas e propõe questões que estimulam a discussão e a reflexão.

**Biologia tem história**  
**Joseph Priestley e a fotossíntese**  
Joseph Priestley (1733-1804) foi um químico inglês que, em 1774, descobriu o oxigênio. Ele descobriu o oxigênio ao aquecer uma mistura de mercurídeo vermelho com uma vela acesa. Ele descobriu que a vela queimava mais rapidamente na presença do gás produzido. Ele chamou esse gás de "ar deflogisticado". Ele descobriu que o "ar deflogisticado" era capaz de sustentar uma vela acesa por um longo período de tempo. Ele também descobriu que o "ar deflogisticado" era capaz de sustentar um animal vivo por um longo período de tempo. Ele descobriu que o "ar deflogisticado" era capaz de sustentar uma planta viva por um longo período de tempo. Ele descobriu que a planta vivia mais rapidamente na presença do "ar deflogisticado". Ele descobriu que a planta produzia o "ar deflogisticado" durante o dia e consumia o "ar deflogisticado" durante a noite. Ele descobriu que a planta produzia o "ar deflogisticado" em proporção à quantidade de luz que recebia. Ele descobriu que a planta produzia o "ar deflogisticado" em proporção à quantidade de água que recebia. Ele descobriu que a planta produzia o "ar deflogisticado" em proporção à quantidade de nutrientes que recebia. Ele descobriu que a planta produzia o "ar deflogisticado" em proporção à quantidade de tempo que passava sob a luz. Ele descobriu que a planta produzia o "ar deflogisticado" em proporção à quantidade de tempo que passava sob a água. Ele descobriu que a planta produzia o "ar deflogisticado" em proporção à quantidade de tempo que passava sob os nutrientes. Ele descobriu que a planta produzia o "ar deflogisticado" em proporção à quantidade de tempo que passava.

**Projeto**  
**Viver uma vida antes de iniciar: outa um debate sobre a gravidez na adolescência**  
**O que você vai fazer**  
1. Escolha um tema de debate relacionado à gravidez na adolescência.  
2. Divida a turma em grupos de 4 a 6 pessoas.  
3. Cada grupo deve fazer uma pesquisa sobre o tema escolhido.  
4. Cada grupo deve preparar um texto de 2 a 3 minutos para ler em voz alta.  
5. Cada grupo deve apresentar seu texto para o professor e para os colegas.  
6. O professor deve fazer perguntas para os grupos, estimulando-os a pensar e a discutir.  
**Objetivo**  
Estimular o senso crítico e a capacidade de argumentação dos alunos sobre a gravidez na adolescência.  
**Material**  
Folhas de papel, lápis, caneta, etc.  
**Procedimento**  
1. Escolha um tema de debate relacionado à gravidez na adolescência.  
2. Divida a turma em grupos de 4 a 6 pessoas.  
3. Cada grupo deve fazer uma pesquisa sobre o tema escolhido.  
4. Cada grupo deve preparar um texto de 2 a 3 minutos para ler em voz alta.  
5. Cada grupo deve apresentar seu texto para o professor e para os colegas.  
6. O professor deve fazer perguntas para os grupos, estimulando-os a pensar e a discutir.  
**Resultado**  
Cada grupo deve apresentar seu texto para o professor e para os colegas. O professor deve fazer perguntas para os grupos, estimulando-os a pensar e a discutir.

### Projeto

Dois projetos propõem a realização de atividades que envolvem a comunidade escolar em busca de um bem coletivo.

### Biologia e...

Apresenta com detalhes pontos de contato entre a Biologia e outras disciplinas.

# Sumário

## Unidade 1 Introdução à Biologia 10

### Capítulo 1 O que é Biologia? 12

Características dos seres vivos..... 13

Níveis de organização..... 16

Áreas da Biologia..... 17

A Biologia e a investigação científica..... 18

• **Práticas de Biologia:**  
O que há dentro da caixa?..... 20

• **Ciência, tecnologia e sociedade:**  
Para crescer, Brasil precisa de mais cientistas e no lugar certo..... 21

### Capítulo 2 As bases químicas da vida 22

Água..... 23

Carboidratos..... 26

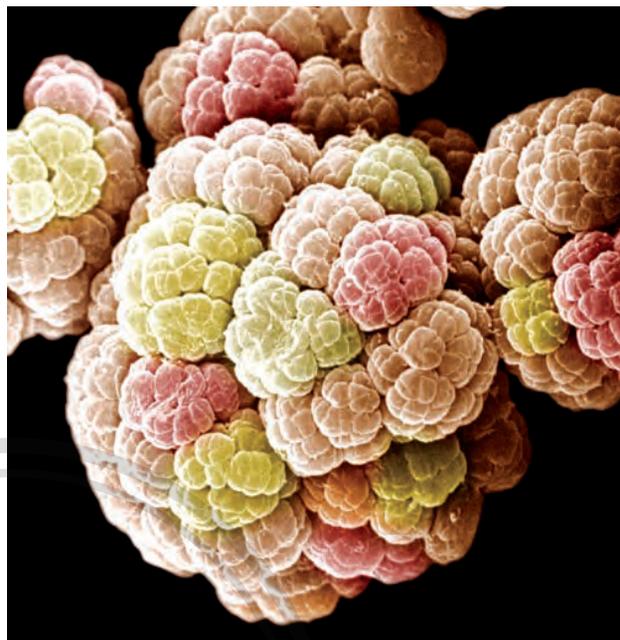
Lipídios..... 28

Proteínas..... 31

Vitaminas e sais minerais..... 35

Introdução ao estudo dos ácidos nucleicos..... 37

• **Ciência, tecnologia e sociedade:**  
Intolerância à lactose..... 39



Ralph Robinson/Getty Images

### Capítulo 3 A origem da vida 40

A origem da matéria e da vida..... 41

Primeiras ideias sobre a geração dos seres vivos..... 42

• **Biologia tem história:**  
Os trabalhos de Pouchet e Pasteur..... 44

Primeiras ideias sobre a origem da vida..... 46

A teoria da evolução molecular da vida..... 47

• **Biologia e Química:**  
Equações químicas..... 51

Evolução do metabolismo energético..... 53

A origem das células, da multicelularidade e da diversidade celular..... 55

• **Práticas de Biologia:**  
Astrobiologia..... 57

• **Questões globais**..... 58

• **Vestibular e Enem**..... 60



Ciabou Henry/Minden Pictures/Fotorenew

**Unidade 2 A biologia das células 62**

**Capítulo 4 Introdução à citologia 64**

Os primórdios da citologia ..... 65

• **Biologia tem história:**

As contribuições de Robert Hooke ..... 66

Observações ao microscópio ..... 68

• **Ciência, tecnologia e sociedade:**

Utilizando o microscópio para aprender a identificar o *Aedes aegypti* ..... 75

• **Biologia e Física:**

Como funcionam as lentes? ..... 76

**Capítulo 5 Os limites da célula 78**

Composição e estrutura da membrana plasmática ..... 79

Funções da membrana plasmática ..... 80

Envoltórios externos à membrana ..... 87

• **Práticas de Biologia:**

Osmose em ovos de aves ..... 89

**Capítulo 6 O citoplasma 90**

Organização geral do citoplasma ..... 91

Organelas derivadas da membrana plasmática ..... 94

Organelas endossimbíóticas ..... 98

Estruturas celulares sem membrana ..... 99

• **Práticas de Biologia:**

Construção de modelos de células ..... 103

**Capítulo 7 Metabolismo energético 104**

Metabolismo ..... 105

Respiração celular aeróbia ..... 109

Processos anaeróbios de obtenção de energia ..... 114



**Capítulo 8 Fotossíntese e quimiossíntese 118**

Introdução à fotossíntese ..... 119

• **Biologia tem história:**

Joseph Priestley e a fotossíntese ..... 122

As etapas da fotossíntese ..... 124

Quimiossíntese ..... 130

• **Ciência, tecnologia e sociedade:**

Microalgas transgênicas são mais eficientes na fotossíntese, indica estudo ..... 131

**Capítulo 9 O núcleo celular 132**

Desvendando o papel do núcleo ..... 133

A composição do núcleo ..... 134

Os cromossomos ..... 136

• **Ciência, tecnologia e sociedade:**

Cientistas criam droga que “altera” DNA e inibe evolução do câncer ..... 139

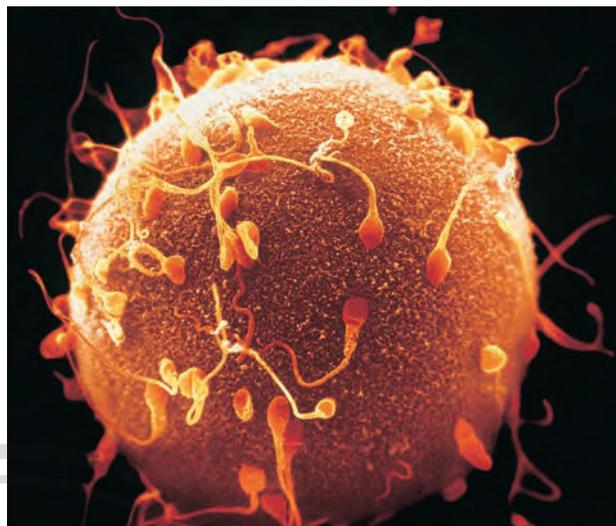
# Sumário

## Capítulo 10 Divisão celular ..... 140

O ciclo celular .....	141
Mitose .....	142
A diversidade da mitose .....	146
Meiose .....	148
Morte celular: necrose e apoptose .....	152
• <b>Práticas de Biologia:</b> Um modelo para o estudo da divisão celular .....	153

## Capítulo 11 Síntese de proteínas e ação gênica ..... 154

O DNA .....	155
Síntese de proteínas .....	157
O código genético .....	162
• <b>Práticas de Biologia:</b> Extração de DNA .....	166
• <b>Ciência, tecnologia e sociedade:</b> Pesquisadores anunciam sequenciamento completo do genoma do vírus zika .....	167
• <b>Questões globais</b> .....	168
• <b>Vestibular e Enem</b> .....	172
• <b>Projeto:</b> Câncer: conhecer para prevenir .....	174



David M. Phillips/PhotoSearchers/Lainistock

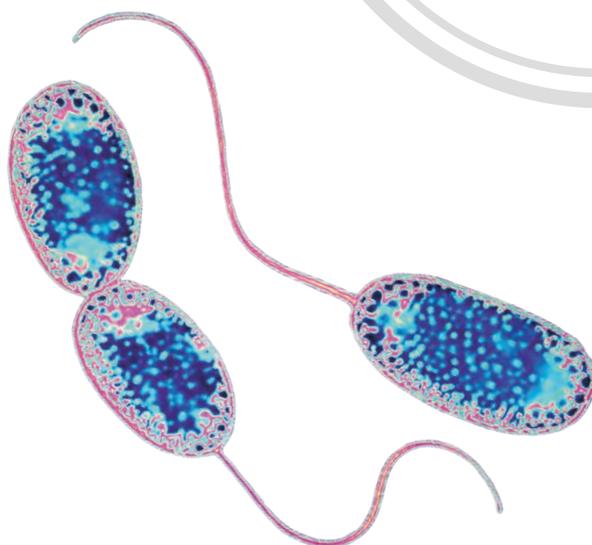
## Unidade 3 Biologia do desenvolvimento ..... 176

### Capítulo 12 Reprodução dos seres vivos ..... 178

Reprodução .....	179
Reprodução humana .....	181
• <b>Biologia tem história:</b> Charles Bonnet e a descoberta da reprodução sem acasalamento .....	186
Métodos contraceptivos .....	189
Doenças sexualmente transmissíveis (DST) .....	192

### Capítulo 13 Desenvolvimento embrionário ..... 194

Aspectos gerais do desenvolvimento embrionário .....	195
Os estágios iniciais do desenvolvimento embrionário .....	197
Anexos embrionários .....	200
Desenvolvimento pós-embrionário .....	202



SPL/Lainistock

<b>Capítulo 14</b>	<b>Desenvolvimento embrionário dos mamíferos</b> .....	<b>204</b>	<b>Capítulo 17</b>	<b>Tecido muscular</b> .....	<b>264</b>
	Ciclos reprodutivos dos mamíferos.....	205		Características gerais.....	265
	Desenvolvimento embrionário humano.....	208		Tipos de tecido muscular.....	266
	Períodos da gestação.....	210		Regeneração do tecido muscular.....	270
	O nascimento.....	213		<b>• Práticas de Biologia:</b>	
	<b>• Práticas de Biologia:</b>			Avaliando a força muscular.....	271
	Como foi o seu parto?.....	216	<b>Capítulo 18</b>	<b>Tecido nervoso</b> .....	<b>272</b>
	<b>• Ciência, tecnologia e sociedade:</b>			Características gerais do tecido nervoso.....	273
	Uruguai: após legalização, desistência de abortos sobe 30%.....	217		Impulso nervoso.....	276
	<b>• Questões globais</b> .....	218		Sinapses.....	277
	<b>• Vestibular e Enem</b> .....	220		<b>• Ciência, tecnologia e sociedade:</b>	
<b>• Projeto:</b>	Viver uma vida antes de iniciar outra: um debate sobre a gravidez na adolescência.....	222		Controlando uma cadeira de rodas com a mente.....	279
				<b>• Biologia e Química:</b>	
				Condutibilidade elétrica.....	280
				<b>• Questões globais</b> .....	282
				<b>• Vestibular e Enem</b> .....	286
<b>Unidade 4</b>	<b>Os tecidos celulares humanos</b> .....	<b>224</b>		<b>• Referências bibliográficas</b> .....	288
				<b>• Siglas dos exames e das universidades</b> .....	288
<b>Capítulo 15</b>	<b>Multicelularidade e tecido epitelial</b> .....	<b>226</b>			
	A multicelularidade.....	227			
	Tecidos epiteliais.....	227			
	Pele humana.....	232			
	<b>• Ciência, tecnologia e sociedade:</b>				
	Creme que promete clarear pele negra gera polêmica.....	235			
	<b>• Biologia e Matemática:</b>				
	Células e multicelularidade.....	236			
<b>Capítulo 16</b>	<b>Tecido conjuntivo</b> .....	<b>238</b>			
	Características gerais.....	239			
	Tecido conjuntivo propriamente dito.....	240			
	Tecidos conjuntivos especiais.....	244			
	Imunidade.....	257			
	<b>• Práticas de Biologia:</b>				
	Desmineralização óssea e retirada de colágeno.....	263			



Science Photo Library/Latinstock

# 1

# Introdução à Biologia

## NESTA UNIDADE

- 1 O que é Biologia?
- 2 As bases químicas da vida
- 3 A origem da vida

O que é vida? Essa é uma pergunta difícil de ser respondida. As Artes, a Ciência e a Filosofia se debatem com essa questão há milhares de anos e estão longe de chegar a um acordo sobre a melhor resposta. Afinal, a vida não é algo concreto, que se possa pegar, medir e avaliar.

Mesmo no âmbito da Ciência, a palavra “vida” pode ter muitos significados. Para alguns estudiosos, por exemplo, ela pode ser definida como o intervalo de tempo entre o nascimento e a morte de um organismo.

Nesta unidade iniciamos nossos estudos sobre esse fascinante fenômeno.

## QUESTÕES PARA REFLETIR

1. Há evidências de que a vida tenha surgido na Terra há bilhões de anos. Que condições existentes naquela época teriam contribuído para o aparecimento da vida? Será que ela poderia surgir hoje em dia do mesmo modo como ocorreu no passado?
2. Observe a imagem ao lado. É fácil distinguir o que é vivo e o que não é vivo nessa fotografia? Que propriedades do ser representado na imagem permitem considerá-lo vivo, em oposição aos elementos não vivos da mesma imagem?
3. Existem milhões de espécies de seres vivos na Terra, cada uma com suas particularidades. Que semelhanças existem entre elas para que todas possam ser consideradas seres vivos?

*Imagem da página ao lado:*

Plantas jovens, recém-germinadas, de pinheiros da espécie *Pinus thunbergii*.

altura: cerca de 1 cm



# O que é Biologia?

## O QUE VOCÊ VAI ESTUDAR

Características gerais dos seres vivos.

Os níveis de organização biológica.

As principais áreas de estudo da Biologia.

A investigação científica na Biologia.



Leo Francini/Acervo do fotógrafo

Pesquisadora coletando amostras de sangue de uma ave na ilha de Itaçucê, em São Sebastião (SP), 2012.

A Biologia (do grego *bios*, “vida”, e *logos*, “estudo”) é o ramo da ciência que estuda o fenômeno da vida e aqueles que manifestam a vida, ou seja, os seres vivos.

Entre os objetos de estudo da Biologia estão a origem, a classificação e o comportamento dos seres vivos, bem como as interações que eles estabelecem uns com os outros e com o ambiente.

Uma das áreas da Biologia, a Ecologia (do grego *oikos*, “casa”), investiga, por exemplo, como as ações humanas interferem no planeta. A destruição de ambientes naturais, a extinção de espécies, a poluição da água, do solo e do ar são algumas das formas de interferência humana em diversos ambientes.

Aqueles que estudam e exercem a Biologia são chamados de biólogos, profissionais que possuem geralmente curso superior em Ciências Biológicas.

## Características dos seres vivos

Todos os seres vivos têm características que os distinguem dos componentes não vivos do ambiente. Algumas delas serão vistas a seguir.

### Composição química

Toda matéria é constituída de átomos, que se ligam uns aos outros formando moléculas como a de água, que possui dois átomos de hidrogênio e um de oxigênio (imagem A).

As moléculas podem ser classificadas em **inorgânicas**, como a da água, ou **orgânicas**, como a da glicose, um tipo de açúcar. As moléculas orgânicas receberam esse nome porque costumavam ser obtidas de organismos vivos. Atualmente, contudo, grande parte delas pode ser sintetizada em laboratório. Uma característica comum a todas as moléculas orgânicas é a presença de **carbono**, elemento químico que permite formar moléculas grandes e complexas. Mas certas substâncias inorgânicas, como o gás carbônico, também contêm carbono.

Os seres vivos são formados por uma grande variedade de moléculas orgânicas (como proteínas, açúcares, gorduras e ácidos nucleicos) e por moléculas inorgânicas (como a água e o gás carbônico). Já os elementos não vivos possuem normalmente apenas moléculas inorgânicas.

### Organização celular e metabolismo

Os seres vivos são formados por **células**, as unidades estruturais e funcionais de qualquer organismo.

A maioria das células é microscópica, e seu tamanho é da ordem de milésimos ou centésimos de milímetro. Alguns seres consistem de apenas uma célula e são chamados de **unicelulares**, como as bactérias (imagem B) e os protozoários. Seres formados por mais de uma célula, como as plantas e os animais, são chamados **multicelulares** ou **pluricelulares**.

A célula é delimitada por uma membrana que separa seu meio interno, ou intracelular, do meio externo, ou extracelular, o que faz do meio intracelular um ambiente propício para a ocorrência de uma série de reações químicas que garantem a vida da célula.

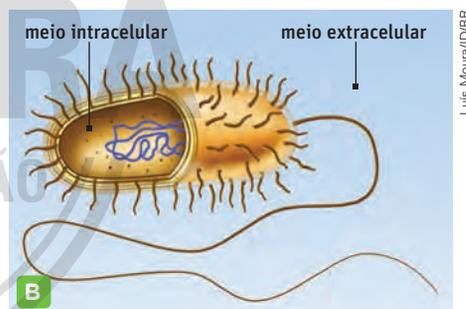
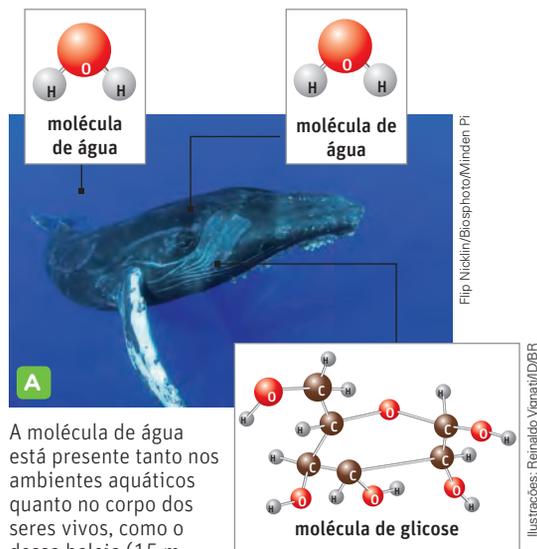
O conjunto dessas reações químicas recebe o nome de **metabolismo** (do grego *metabolé*, “conversão” ou “transformação”). Por meio do metabolismo, os átomos e as moléculas que constituem os componentes celulares são continuamente substituídos. O metabolismo envolve reações de degradação (quebra) e de síntese desses componentes.

### Capacidade de nutrição e crescimento

A degradação metabólica dos nutrientes obtidos pela alimentação fornece aos seres vivos a energia e a matéria-prima de que necessitam para a síntese de novas moléculas. A maneira pela qual os seres vivos obtêm alimento varia, contudo, de uma espécie para a outra.

Seres que produzem o próprio alimento são chamados de **autótrofos** (do grego *auto*, “próprio”, e *trofein*, “alimentar-se”). É o caso de plantas, algas e certas bactérias que realizam **fotossíntese**, processo que produz moléculas orgânicas, como a **glicose**, a partir de água, gás carbônico e energia luminosa. A fotossíntese é tema do capítulo 8.

Animais, fungos, protozoários, algumas plantas parasitas e grande parte das bactérias conhecidas não produzem seu alimento e são chamados de **heterótrofos** (do grego *hetero*, “diferente”, e *trofein*, “alimentar-se”). Os seres heterótrofos obtêm de outros seres vivos a energia e a matéria-prima de que necessitam para realizar todas as suas atividades.



Uma bactéria é um ser vivo unicelular. Sua célula, representada acima em corte longitudinal, mostra detalhes do meio intracelular, onde ocorre o metabolismo. A bactéria representada no esquema tem cerca de 0,002 mm de comprimento. Cores-fantasia.

### ATIVIDADES

1. Observando um pedaço de madeira ao microscópio, é possível notar que esse material possui estrutura celular. Porém, a madeira não apresenta metabolismo. Como se pode explicar isso?

## Reação a estímulos ambientais

Os seres vivos podem reagir a estímulos ambientais; essa característica ajuda a manter seu metabolismo em equilíbrio, ou seja, sua **homeostase** (do grego *homeo*, “igual”, e *stasis*, “permanente”, “constante”).

Os animais, por exemplo, podem manifestar uma série de comportamentos diferentes quando se sentem ameaçados, como fugir, atacar, emitir sons, mudar de cor para se camuflar no ambiente, etc. A complexidade das respostas depende do tipo e da intensidade do estímulo a que são submetidos, bem como das características de cada espécie.

As plantas também reagem a estímulos do ambiente, embora suas respostas sejam menos perceptíveis que as dos animais. A luz, por exemplo, estimula o crescimento das plantas em sua direção (imagem A). Mesmo os seres unicelulares, como bactérias e protozoários, são capazes de responder a estímulos ambientais.



Grant Heilman Photography/Alamy/Other Images

O movimento que as plantas realizam em direção à luz é uma resposta ao estímulo luminoso conhecida como fototropismo.

## Reprodução e hereditariedade

Os seres vivos nascem, desenvolvem-se, podem se reproduzir e morrem. As diferentes fases da vida de um ser constituem seu **ciclo de vida**, cuja duração varia de uma espécie para outra.

A reprodução garante a continuidade da vida ao permitir que os seres vivos produzam descendentes. Ao se reproduzir, um organismo transmite aos seus descendentes um conjunto de informações presentes em seu material genético, que é geralmente constituído de moléculas de DNA (ácido desoxirribonucleico). Essas informações permitem que o novo ser desenvolva características iguais ou semelhantes às de seus genitores, o que é conhecido por **hereditariedade**.

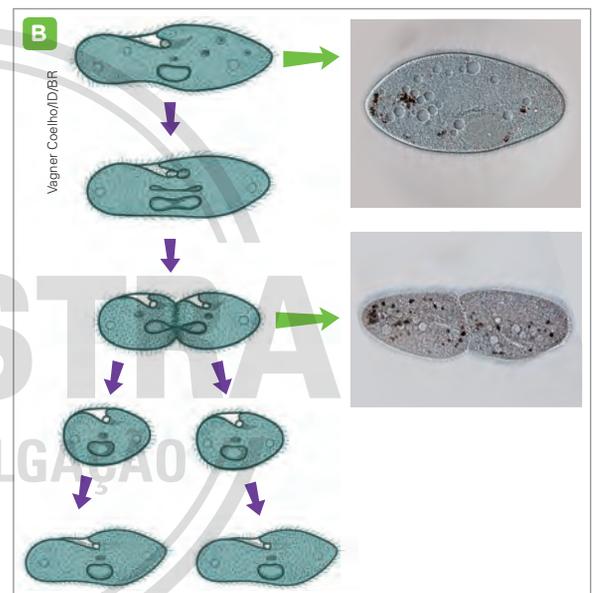
Os seres vivos podem se reproduzir de duas maneiras: assexuada ou sexuadamente. Na **reprodução assexuada**, um único indivíduo dá origem a outros, que são geneticamente iguais entre si, ou seja, são clones.

Existem diferentes tipos de reprodução assexuada, entre eles a **cissiparidade** – também chamada **divisão binária** –, que é bastante comum nos seres unicelulares. Nesse modo de reprodução, a célula duplica seu material genético e, em seguida, divide-se em duas partes (imagem B).

A reprodução assexuada também ocorre entre os seres multicelulares. Por exemplo, muitos fungos se reproduzem por **esporos** – células que, ao germinar, originam novos indivíduos. Outro exemplo é a reprodução por **brotamento**, presente em hidras, pequenos animais de água doce. Em uma hidra adulta podem surgir um ou mais **brotos**, que podem se destacar e originar novas hidras.

Na **reprodução sexuada**, um novo indivíduo é originado pela fecundação, isto é, pela união de duas células sexuais, chamadas **gametas**. Nos animais, os gametas masculinos são os **espermatozoides**, e os gametas femininos são os **óvulos**. A fecundação, bem como o processo de formação dos gametas, provoca mistura de material genético, o que faz os descendentes serem geneticamente diferentes entre si e dos seus genitores, contribuindo para a **variabilidade genética** da espécie.

Quando a união dos gametas ocorre fora dos organismos que os produzem, temos a **fecundação externa**, frequente em organismos aquáticos como peixes (imagem C). A **fecundação interna** é a que ocorre no interior do organismo, caso de muitas espécies de animais terrestres.

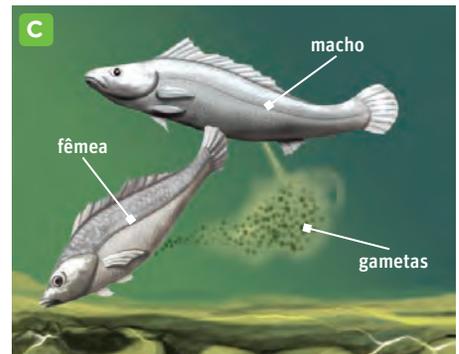


B

Vagner Coelho/D/BR

Fotografias: Phototake/Alamy/Other Images

À esquerda, esquema de cissiparidade no paramecônio, um organismo unicelular. Cores-fantasia. À direita, o mesmo processo visto ao microscópio de luz (aumento de cerca de 100 vezes.)



Vagner Coelho/D/BR

Representação de macho e fêmea de peixe liberando gametas na água. Nesse caso, dizemos que a fecundação é externa.

## Evolução

As características de uma espécie podem mudar ao longo de muitas gerações. Esse processo, que pode dar origem a novas espécies, recebe o nome de **evolução** (imagem abaixo).

Durante a evolução, podem surgir características que conferem maior capacidade de sobrevivência a uma espécie em determinado ambiente. Essas características são chamadas de **adaptações**. Entretanto, é preciso ter sempre em mente que uma característica vantajosa em certo ambiente pode ser desvantajosa em outro.

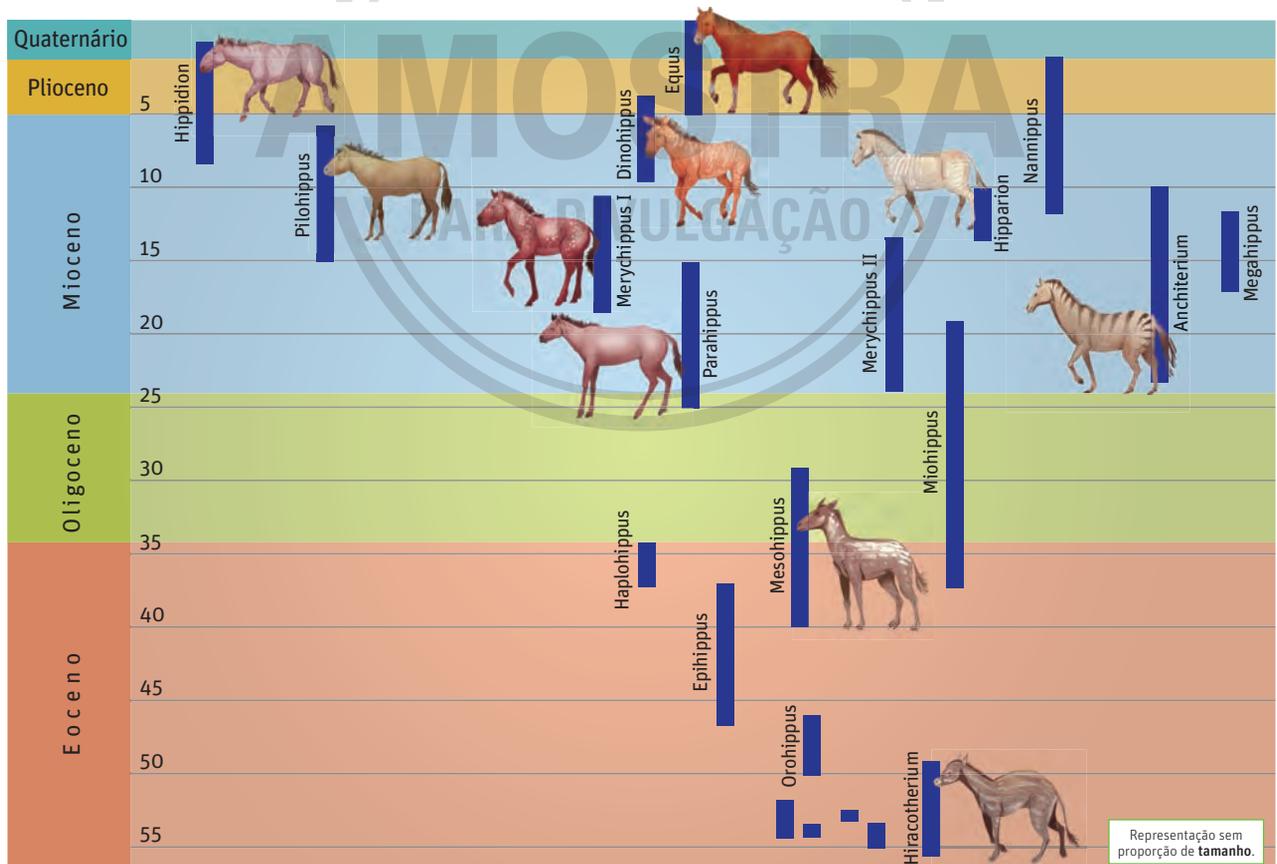
Em meados do século XIX, dois naturalistas ingleses, Charles Darwin (1809-1882) e Alfred Wallace (1823-1913), propuseram paralelamente uma teoria para explicar a evolução. Essa teoria introduziu o conceito de **seleção natural**, segundo o qual indivíduos com características favoráveis a um determinado ambiente teriam mais chance de sobreviver e de gerar descendentes. As

adaptações são hereditárias e, por isso, seriam transmitidas aos descendentes. Assim, com o passar do tempo, o número de indivíduos com determinada adaptação aumentaria a cada geração, caso as condições ambientais permanecessem favoráveis a ela.

A teoria da evolução por seleção natural proposta por Darwin e Wallace continua sendo aceita atualmente, embora tenha sido ampliada por muitos outros pesquisadores.

Hoje se sabe, por exemplo, que muitas das modificações que surgem nas espécies são consequência de **mutações**, pequenas alterações no DNA. As mutações acontecem ao acaso e podem ser vantajosas, neutras ou **deletérias**. Elas também podem ser transmitidas aos descendentes por meio da reprodução; no caso dos seres vivos pluricelulares, isso só é possível quando as mutações ocorrem em suas células sexuais. Assim, as mutações são um dos fatores que contribuem para a variabilidade genética da espécie, tal como a reprodução sexuada.

Deletério: prejudicial.



Fabio Eugenio/D/BR

Representação da história evolutiva dos cavalos. Com exceção do gênero *Equus*, todos os outros gêneros retratados estão extintos. Os traços marcam o período em que viveu cada gênero, de acordo com o registro fóssil disponível. As modificações, que incluem a redução do número de dedos, ocorreram ao longo de milhões de anos. Cores-fantasia.

Fonte de pesquisa: MACFADDEN et al. Fossil horses, orthogenesis, and communicating evolution in museums. *Evolution: Education and Outreach*, v. 5, n. 1, p. 29-37, 2012.

## Níveis de organização

Em Biologia, uma maneira de estudar e compreender a vida é analisá-la em seus diferentes **níveis de organização** (imagem abaixo). A classificação hierárquica desses níveis – do mais simples (átomo) ao mais complexo (biosfera) – indica apenas o aumento progressivo de complexidade, e não a importância de cada um deles.

O nível **atômico** é representado pelos átomos dos elementos químicos (carbono, hidrogênio, oxigênio, etc.). Os átomos ligam-se e formam estruturas mais complexas, as **moléculas** (como a molécula de água). Esses dois níveis estão presentes tanto na matéria viva como na não viva.

Os seres vivos são constituídos de diversos tipos de moléculas orgânicas e inorgânicas, que podem se organizar de modo a formar estruturas maiores e mais complexas: as **organelas** (ou organoides), componentes intracelulares que desempenham funções específicas.

O nível seguinte de organização, o nível **celular**, apresenta vasta diversidade de formas e funções. As células podem se unir em grupos e desempenhar uma função específica, formando assim um **tecido**. O nível tecidual ocorre apenas em seres multicelulares, como certos grupos de plantas e animais. Um exemplo é o tecido ósseo, que apresenta funções como sustentação e proteção.

Agrupamentos organizados de tecidos formam um **órgão**. Um exemplo é o coração, órgão constituído de tecidos muscular, sanguíneo e nervoso. Outro exemplo são os ossos, compostos de tecidos ósseo, sanguíneo e nervoso. As plantas também apresentam órgãos. As folhas, por exemplo, são órgãos constituídos de tecido de

revestimento (epiderme), tecido fotossintetizante (parênquima) e tecido condutor de seiva (xilema e floema).

O nível seguinte, o **sistêmico**, compõe-se de diferentes órgãos que funcionam de modo integrado para exercer uma determinada função. Diversos órgãos, como o estômago e o intestino, fazem parte do sistema digestório, que permite aos animais digerir os alimentos e absorver nutrientes.

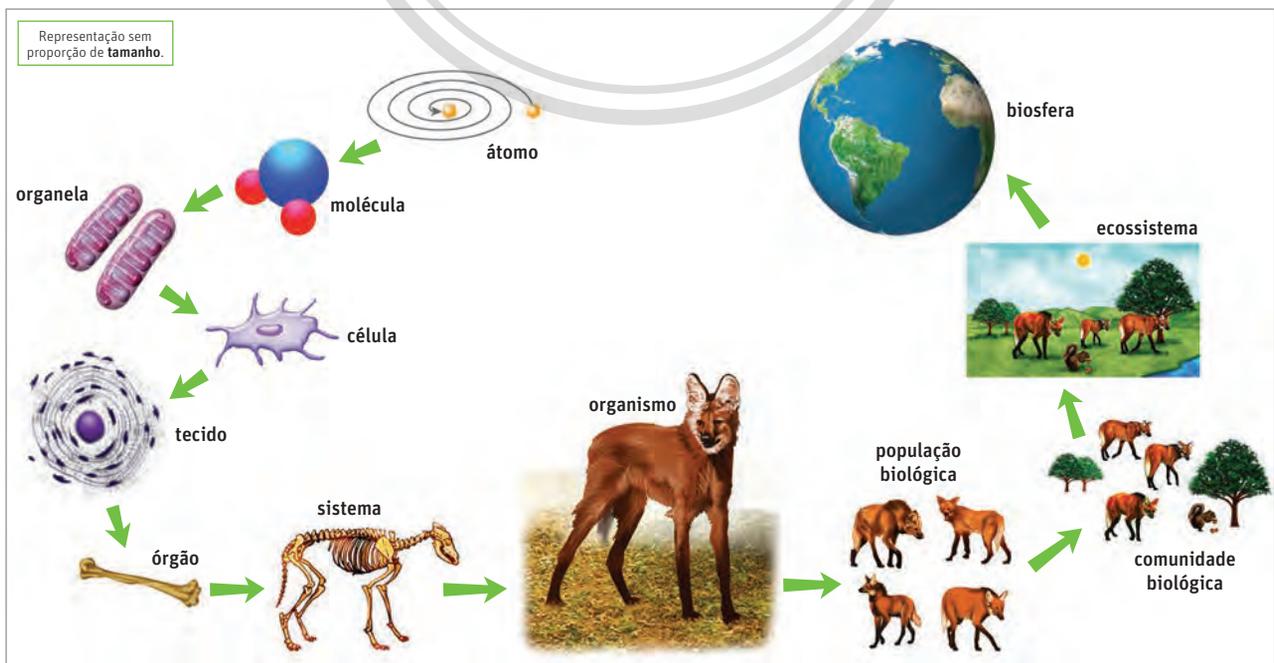
A integração de todos os sistemas forma um **organismo** multicelular. Um peixe, uma planta, um cachorro ou um ser humano são exemplos de organismos multicelulares. Vale lembrar que os organismos unicelulares não apresentam tecidos, órgãos nem sistemas.

Raramente um organismo vive isolado, pois depende de outros, mesmo que apenas para nutrição ou reprodução. A maioria dos organismos interage com outros da mesma espécie, com os quais pode se reproduzir. O conjunto de organismos de uma mesma espécie que interagem entre si e vivem em um mesmo ambiente constitui um nível chamado **população biológica**.

Por sua vez, o conjunto de diferentes populações, ou seja, de grupos de organismos de diferentes espécies interagindo entre si em um mesmo espaço geográfico, é chamado de **comunidade biológica**.

O nível seguinte é o de **ecossistema**, que se refere ao conjunto de seres vivos, de fatores não vivos (temperatura, luminosidade, umidade, etc.) e das relações que existem entre eles.

O último nível de organização estudado na Biologia é a **biosfera**, que corresponde ao conjunto de todos os ecossistemas do planeta Terra.



Representação dos níveis de organização utilizados em Biologia para estudar a vida. Cores-fantasia.

## Áreas da Biologia

Ao longo de seu desenvolvimento, a Biologia tornou-se um campo de investigação bastante amplo. Por isso, foi necessário subdividi-la em áreas de conhecimento ou disciplinas acadêmicas.

Mencionamos a seguir algumas dessas áreas, que, apesar de frequentemente abordadas de maneira isolada, formam um conjunto integrado, pois estudam a vida em diferentes aspectos e níveis de organização.

- **Citologia** (do grego *kytos*, “célula”, e *logos*, “estudo”) ou **Biologia celular**: estuda a unidade básica dos seres vivos, a célula.
- **Histologia** (do grego *hístos*, “tecido”): estuda a formação (origem), a morfologia (forma e estrutura) e o funcionamento dos tecidos.
- **Anatomia** (do grego *anatomé*, “secção”, “incisão”): estuda a morfologia das estruturas corporais macroscópicas, isto é, visíveis a olho nu.
- **Embriologia** (do grego *émbryon*, “embrião”): estuda o desenvolvimento embriológico dos seres vivos.
- **Botânica** (do grego *botáne*, “planta”, “erva”, e *tékhnē*, “ciência”): estuda as plantas, abrangendo o crescimento, o desenvolvimento, a fisiologia e a evolução desses organismos.
- **Zoologia** (do grego *zoon*, “animal”): estuda os animais em todos os seus aspectos.
- **Fisiologia** (do grego *physis*, “natureza”): estuda o funcionamento de células, tecidos, órgãos, sistemas e do indivíduo como um todo.
- **Genética** (do grego *gennáo*, “fazer nascer”, “gerar”): estuda o mecanismo de ação e interação entre os genes, bem como a hereditariedade, isto é, o modo como certas características são transmitidas de uma geração a outra.
- **Evolução** (do latim *evolutio*, “desenrolar”): estuda o processo de surgimento de novas espécies a partir de espécies preexistentes. Também investiga as modificações sofridas pelas espécies ao longo do tempo.
- **Ecologia** (do grego *oikos*, “casa”): estuda as relações entre os seres vivos e entre estes e o ambiente em que vivem, além da distribuição e abundância das espécies no planeta.
- **Sistemática** (do latim *systema*, “conjunto”, “sistema”): estuda a classificação dos seres vivos e as relações evolutivas que existem entre eles.

## BIOLOGIA SE DISCUTE

### Vírus: entre o vivo e o não vivo

Nem mesmo entre os virologistas – pesquisadores que estudam os vírus – há consenso sobre a classificação desses microrganismos como seres vivos. Os vírus são constituídos de material genético (DNA, ácido desoxirribonucleico, ou RNA, ácido ribonucleico) envolto por uma capa de proteína, ou seja, são constituídos de moléculas orgânicas. Entretanto, a estrutura viral não é considerada uma célula, a unidade funcional de um ser vivo.

Isso se deve ao fato de os vírus só apresentarem atividade metabólica ou se reproduzirem quando estão dentro da célula de algum ser vivo, motivo pelo qual são definidos como **parasitas intracelulares obrigatórios**. Fora das células, os vírus não captam nutrientes, não utilizam energia, não sintetizam novas moléculas nem geram cópias de si mesmos. Por outro lado, os vírus evoluem como qualquer outro ser vivo.

Sejam os vírus vivos ou não vivos, sua natureza coloca em discussão o próprio conceito de vida.

## BIOLOGIA TEM HISTÓRIA

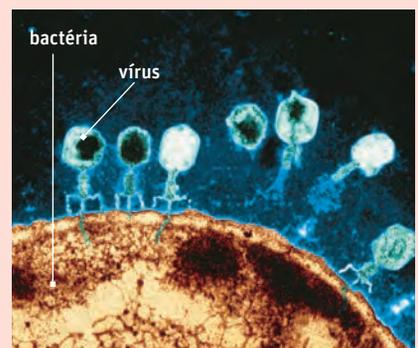
### De naturalistas a especialistas

Por muito tempo, a Biologia esteve relacionada a outras áreas de estudo ligadas à natureza, como a Geologia, a Mineralogia, a Paleontologia e até mesmo a Física. A expressão “História natural” era muito usada para se referir a essas áreas, e aqueles que se dedicavam ao seu estudo eram chamados de “naturalistas”.

Um dos primeiros naturalistas de que se tem conhecimento foi Aristóteles (384-322 a.C.), pensador grego que descreveu diversas espécies de animais e propôs um dos primeiros sistemas de classificação dos seres vivos. Além de seus estudos em Zoologia, Aristóteles se destacou no campo da Física ao tentar explicar a queda dos corpos e ao defender que a Terra ocupava o centro do Universo.

A atuação em diversas áreas do conhecimento, como faziam os naturalistas, perdeu força, contudo, nos últimos séculos. A enorme quantidade de conhecimentos contribuiu para o surgimento de “especialistas”, pesquisadores que atuam em uma área específica. Já no século XIX, era comum a especialização em áreas como Botânica, Zoologia ou Fisiologia.

Nas últimas décadas, porém, especialistas das mais diversas áreas têm se associado para realizar trabalhos multidisciplinares. O estudo das mudanças climáticas, por exemplo, costuma envolver profissionais de Biologia, Química, Meteorologia, Saúde e até de Economia, dada a complexidade do fenômeno estudado.



Vírus infectando uma bactéria. (Foto ao microscópio eletrônico de varredura; imagem colorizada; aumento de cerca de 52 mil vezes.)

Eye of Science/SPL/Latinstock

## A Biologia e a investigação científica

A **ciência** (do latim *scientia*, “conhecimento”) é um modo de pensar e, ao mesmo tempo, uma ferramenta para investigar o mundo em que vivemos.

Um dos propósitos da ciência é estudar os fenômenos naturais da maneira mais objetiva e imparcial possível. Existem diversos procedimentos ou métodos usados na pesquisa científica, mas esses métodos não são infalíveis, nem se resumem a um conjunto de etapas a serem seguidas.

Os processos que levam ao conhecimento científico são dinâmicos e sujeitos a mudanças, pois sofrem influência do meio social, cultural, político, econômico, religioso, histórico e até dos próprios cientistas. Assim, a pesquisa em ciência envolve uma série de atributos humanos, como criatividade, reflexão, questionamento, persistência, cooperação e também inveja, ganância, manipulação, competição, entre outros que fazem a ciência ser menos objetiva do que se pretende.

### Hipóteses, leis e teorias

No meio científico, as palavras “hipótese”, “lei” e “teoria” têm significados específicos.

**Hipótese** é uma tentativa de explicação para algum fenômeno natural. Já o termo **lei** é usado para a descrição de fenômenos que apresentam padrões regulares, como a lei da gravidade.

**Teoria**, por sua vez, é um conjunto de conhecimentos que orientam a investigação científica em determinada área e inclui hipóteses, leis, evidências, etc. Uma boa teoria é capaz de relacionar acontecimentos que antes pareciam não ter relação entre si e de prever as características de fenômenos que ainda não foram observados. Uma teoria pode também propor aplicações práticas. Em Biologia, um exemplo de teoria que contém todas essas características é a teoria da evolução por seleção natural.

### Teste de hipóteses

Muitas situações da vida cotidiana nos fazem recorrer a procedimentos lógicos. Por exemplo, você entra em um quarto, observa que uma lâmpada não acende e se pergunta por quê. Seu primeiro palpite (hipótese) pode ser: o fornecimento de energia elétrica foi interrompido. Pode-se prever que a



Diversas situações cotidianas, como uma lâmpada que não acende, podem nos levar a formular hipóteses e testá-las.

lâmpada acenderá quando a energia elétrica for restabelecida. Para testar essa hipótese, você pode tentar acender a lâmpada de outro cômodo, como a sala; caso ela funcione, você rejeitará a primeira hipótese e formulará outra, que pode ser: a lâmpada do quarto está com algum defeito. Para testar a nova hipótese, você poderá substituir a lâmpada supostamente com problema por uma lâmpada nova. Se o problema for resolvido, você chegará à conclusão de que a lâmpada devia estar mesmo com defeito.

Esse comportamento inclui alguns procedimentos empregados pela ciência. Muitas pesquisas científicas, por exemplo, testam hipóteses por meio de **experimentos** ou **observações**. Os cientistas elaboram **previsões** acerca dos resultados que esperam obter se a hipótese estiver correta. Em seguida, os resultados obtidos são comparados com a previsão: se ela se realizar, a hipótese é reforçada. Caso contrário, novos experimentos e observações podem ser feitos e a hipótese pode ser reformulada ou substituída por outra.

### O método do falseamento

Em Biologia, um dos métodos mais empregados é o **hipotético-dedutivo**. Nesse método procuram-se evidências que mostrem que a hipótese é falsa, em vez de tentar confirmá-la a todo custo.

Quando nenhuma evidência é capaz de falsear a hipótese (mostrar que ela é falsa), considera-se válida a hipótese. Contudo, tal validação não é definitiva: pesquisas futuras poderão revelar um fato novo que torne falsa a hipótese e, assim, levar à formulação de uma nova hipótese (esquema ao lado). Afirmações científicas, portanto, não são verdades absolutas nem definitivas.

Um pesquisador visita muitos lugares e encontra apenas cisnes de cor branca.

Então, ele formula a hipótese de que todos os cisnes são brancos.

Entretanto, ainda que milhares de cisnes brancos tenham sido observados, basta a observação de apenas um cisne negro para falsear a hipótese.

Esquema de exemplo clássico referente ao método hipotético-dedutivo.

## Experimentação controlada

Uma etapa importante da pesquisa em Biologia é a realização de experimentos, pois os resultados obtidos podem apoiar ou refutar hipóteses. Se um resultado não apoia uma hipótese, ainda assim ele pode ajudar na elaboração de novas hipóteses.

Em geral, os pesquisadores realizam **experimentos controlados** a fim de evitar influências que possam interferir nos resultados. Nesse tipo de experimento, apenas uma variável (luz, temperatura, umidade, etc.) é analisada por vez. As demais são mantidas constantes, caso contrário não seria possível saber se o resultado se deve realmente à variável de interesse.

Assim, costuma-se dividir o objeto de estudo em dois grupos: um **grupo experimental**, no qual a variável de interesse é alterada para se verificar qual será seu efeito sobre o grupo; e um **grupo controle**, que deve ser igual ou equivalente ao grupo experimental, mas no qual a variável de interesse é mantida constante.

Por exemplo, há muito tempo, os biólogos formularam a hipótese de que o núcleo seria fundamental para as funções celulares. Os experimentos realizados para testar essa hipótese consistiram em remover o núcleo de amebas, o que resultou na morte desses seres unicelulares. Questionou-se, então, se não teria sido a intervenção cirúrgica nas células, e não a remoção do núcleo, a causa da morte das amebas. Assim, foram realizados experimentos controlados nos quais dois grupos de amebas foram submetidos à intervenção cirúrgica (imagem acima), mas apenas em um deles foi feita a remoção do núcleo. Os resultados corroboraram a hipótese inicial de que o núcleo é fundamental às células.

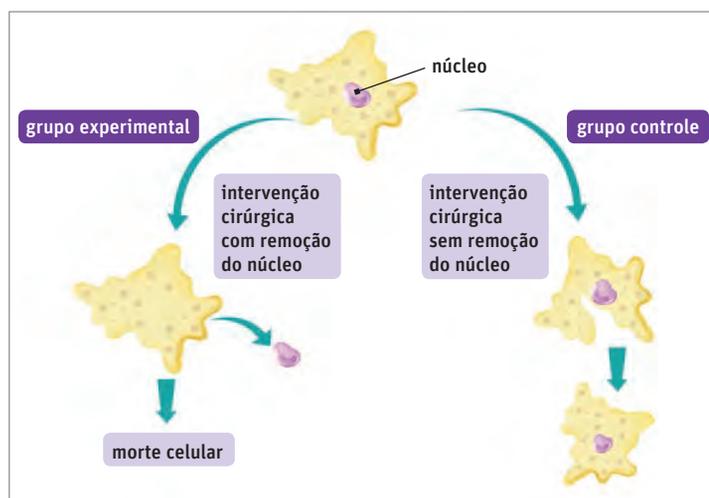
## A ciência na era digital

Os atuais meios de comunicação têm permitido uma rápida e intensa troca de informações entre diferentes regiões do planeta, contribuindo para o avanço científico. A internet, por exemplo, facilita a comunicação entre os pesquisadores. Atualmente, são comuns as videoconferências, reuniões em que participantes de locais diferentes, usando recursos audiovisuais, podem se ver e discutir, compartilhar ideias e resultados e solucionar rapidamente problemas técnicos. As redes de comunicação também criam um vínculo entre o meio científico e outros setores da sociedade, o que ajuda na divulgação de notícias e descobertas.

## Biologia e bioética

O estudo da Biologia envolve ainda questões éticas. O uso de organismos transgênicos na produção de alimentos, a manipulação de embriões para a obtenção de células-tronco (células que podem dar origem a outros tipos de células), a clonagem de seres vivos e o uso de animais em experimentos são apenas algumas dessas questões.

À medida que se desenvolvem novas técnicas e se fazem novas descobertas, surgem também novos questionamentos éticos sobre a aplicação desses conhecimentos, pois, em alguns casos, as consequências negativas das conquistas científicas podem superar seus benefícios. Tais discussões incluem não apenas os cientistas, mas toda a sociedade.



Representação de um experimento controlado com amebas para testar a importância do núcleo. Cores-fantasia.

Vagner Coelho/D/BR

### SAIBA MAIS

#### A importância da observação

A história da penicilina ilustra bem como uma observação pode gerar novas hipóteses e experimentos.

Em 1928, o bacteriologista Alexander Fleming (1881-1955) pesquisava uma espécie de bactéria responsável por vários tipos de infecção quando notou que uma das suas placas de cultivo estava embolorada. Como não havia bactérias ao redor do local onde cresceu o bolor, Fleming formulou a hipótese de que o fungo em questão produzia uma substância bactericida. Depois de muitos testes, ele constatou que essa substância – a qual chamou de **penicilina** em referência ao fungo que a produz, o *Penicillium* – matava vários tipos de bactérias.

Anos mais tarde, outros pesquisadores isolaram a penicilina para criar o primeiro antibiótico, que só foi comercializado a partir de 1945.

### ATIVIDADES

2. Dois alunos conversam após a aula e um deles questiona: “Não quero ser cientista, então por que devo estudar Biologia?”. O outro aluno, por sua vez, tenta convencer o colega da importância dessa disciplina. Que argumentos ele poderia usar para defender o estudo da Biologia?

# Práticas de Biologia

## O que há dentro da caixa?

### Objetivo

Formular e testar hipóteses para tentar descobrir como é o objeto contido em uma caixa fechada.

### Material

- caixa de sapatos com tampa
- fita adesiva
- pequenos objetos, como: chaves, pilhas, clipes, réguas, moedas, anéis, lápis, bolas de gude, borrachas, etc.



Representação da caixa e de alguns materiais que podem ser usados para construir o objeto.

### Procedimento

1. Formem grupos de quatro ou cinco alunos. Cada grupo deve escolher, sem que o restante da turma veja, três a cinco objetos diferentes e, usando a fita adesiva, montar um único objeto, juntando-os. Em seguida, coloquem o objeto montado dentro da caixa, fechando-a com a tampa e lacrando com a fita adesiva. A caixa deve, então, ser trocada com a de outro grupo.
2. Ao receber a caixa, os alunos do grupo devem manipulá-la sem abri-la. O objetivo é propor hipóteses sobre o objeto que está em seu interior (do que ele é feito, como os materiais estão presos uns aos outros, etc.) com base em evidências. Por exemplo: se o objeto no interior da caixa fizer um barulho metálico (evidência), é possível que haja clipes de metal ou anéis pendurados nele (hipóteses).
3. Durante o processo de investigação, é importante que cada grupo discuta as várias possibilidades e, ao final, elabore uma lista de hipóteses sobre o objeto que está no interior da caixa. Cada grupo deve registrar também as evidências que o levaram a formular cada hipótese. Organizem uma tabela, como a mostrada acima, para anotar essas informações.
4. Para testar suas hipóteses, o grupo deve elaborar perguntas para serem feitas ao grupo que montou a caixa recebida. Cada pergunta equivale a um teste de hipótese e deve ser respondida apenas com um “sim” ou um “não”. Assim, por exemplo, se uma das hipóteses é de que o objeto na caixa tem anéis pendurados, uma “boa” sequência de perguntas a fazer é: “Há pequenos objetos metálicos?”; “Esses objetos são usados nos dedos?”; “Eles estão pendurados aos demais?”. Atenção: a pergunta “Esses objetos são anéis?” não é válida. Anotem na tabela as perguntas antes de fazê-las ao outro grupo, bem como as respostas obtidas (resultados).
5. Analisem a tabela e, com base nos resultados obtidos, façam uma descrição e um desenho de como se supõe que seja o objeto contido na caixa.

Evidências	Hipóteses	Testes	Resultados
Ouço o som de objetos metálicos ao balançar a caixa.	Tem anéis pendurados.	Há pequenos objetos metálicos?	Sim.
		Esses objetos são usados nos dedos?	Não.
		Eles estão pendurados aos demais?	Sim.

Exemplo de tabela para o registro de informações durante a atividade.

### Discussão

1. De maneira simples, como vocês definiriam o que é uma hipótese?
2. Depois dos testes, vocês sentiram a necessidade de fazer outras perguntas nas quais não haviam pensado antes? Vocês imaginam que isso seja comum na ciência? Expliquem.
3. Quais respostas davam mais certeza sobre a hipótese: o “sim” ou o “não”? Discutam.
4. No método científico, é possível “abrir a caixa”? Por quê?

## Para crescer, Brasil precisa de mais cientistas e no lugar certo

Não adianta negar, a ciência é *pop*. Dos seriados humorísticos da tevê ao culto a personalidades da vanguarda tecnológica, essa área do conhecimento vive um momento de valorização inédito para tempos de paz. Mas, comparado a países desenvolvidos, a quantidade de cientistas no Brasil é microscópica. O país contabiliza um pesquisador em tempo integral para cada mil pessoas ocupadas, enquanto nos Estados Unidos são 9,5 e na Coreia do Sul, 11. No momento em que o país tenta alcançar um novo estágio industrial tendo a inovação como mantra, a carência de mentes dedicadas à investigação científica puxa o freio da capacidade de desenvolvimento. E a multiplicidade é a receita básica para o surgimento de expoentes. [...]

Antes mesmo de formar e sedimentar a aplicação do talento desses profissionais, o país precisa remodelar o mercado de trabalho para a ciência. Hoje, 68% dos mestres e doutores trabalham para instituições de ensino superior. Por isso, estão talhados para a pesquisa pura de viés acadêmico. Um vetor importante, mas desproporcional se comparado aos mercados de alta competição inovadora. Nos dois países desenvolvidos da comparação anterior, a iniciativa privada absorve 76% e 80% dos cientistas, respectivamente. “O governo tem várias linhas de financiamento para colocar os doutores nas empresas. Pagando parte do salário ou uma bolsa de pesquisa. Mas a maior

parte do setor ainda desconhece os programas”, lamenta Fábio Kurt Schneider, pró-reitor adjunto de pesquisa e pós-graduação da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).

Embora o número de pós-graduandos venha crescendo ano a ano no país, a titulação ainda é pouco procurada. Principalmente na área de ciências exatas, onde são mais necessárias. Com o aquecimento do mercado para as engenharias e afins, o estudante é atraído por bons salários antes mesmo da graduação, ficando menos disposto a adiar o conforto financeiro para poder se aprofundar em sua área de estudo. “Se o recém-formado for trabalhar para alguém, dificilmente haverá valorização do título. Outros critérios acabam se impondo”, ressalta Schneider.

É uma perspectiva que tende a mudar à medida que um novo cenário de negócios, que começou a despontar agora, passe a ser o pensamento predominante. “A indústria, nos anos 2000, tem se deparado com o desafio da inovação. A qualidade não é mais motivo suficiente para o cliente consumir o produto. As grandes empresas já se deram conta disso. Faltam as pequenas e médias”, defende Felipe Couto, gerente de capital inovador do Centro Internacional de Inovação da Federação das Indústrias do Estado do Paraná (PR).

[...]

TAVARES, Osny. Para crescer, Brasil precisa de mais cientistas e no lugar certo. *Gazeta do Povo*, 2 fev. 2013. Disponível em: <<http://www.gazetadopovo.com.br/vida-e-cidadania/para-crescer-brasil-precisa-de-mais-cientistas-e-no-lugar-certo-70lb5hqxohs3m0o4yn16p8b00>>. Acesso em: 18 set. 2015.

País	Pesquisadores em tempo integral, em países selecionados (dados referentes a 2010, exceto quando indicado)		Setores em que os pesquisadores estão empregados (em % do total)		
	Total de cientistas	Cientistas a cada mil pessoas ocupadas	Empresas	Governo	Ensino Superior
Estados Unidos <sup>1</sup>	1,4 milhão	9,5	80		20 <sup>4</sup>
Coreia do Sul	264 mil	11,1	76		7 15
Alemanha	327 mil	8,1	57	15	27
Rússia	442 mil	6,3	48	33	19
Itália	106 mil	4,3	39	16	41
Espanha	135 mil	7,2	34	18	48
África do Sul <sup>2</sup>	19 mil	1,4	32	16	51
Brasil <sup>3</sup>	129 mil	1,4	26	5	68
Portugal	46 mil	9,3	23	5	63
Argentina <sup>4</sup>	39 mil	2,9	11	44	43

<sup>1</sup>Dados de 2007. <sup>2</sup>Dados de 2007 (quantidade) e 2008 (setores). <sup>3</sup>Dados de 2009. <sup>4</sup>Somado ensino superior e governo.

### PARA DISCUTIR

1. De que maneira o texto e o gráfico ajudam a entender a relação entre desenvolvimento econômico de uma nação e a área de atuação dos seus cientistas?
2. O que você entende por “pesquisa pura de viés acadêmico”, que é aquela geralmente realizada pelas instituições brasileiras de ensino superior?
3. Em sua opinião, o que poderia ser feito para aumentar o número de cientistas no Brasil?

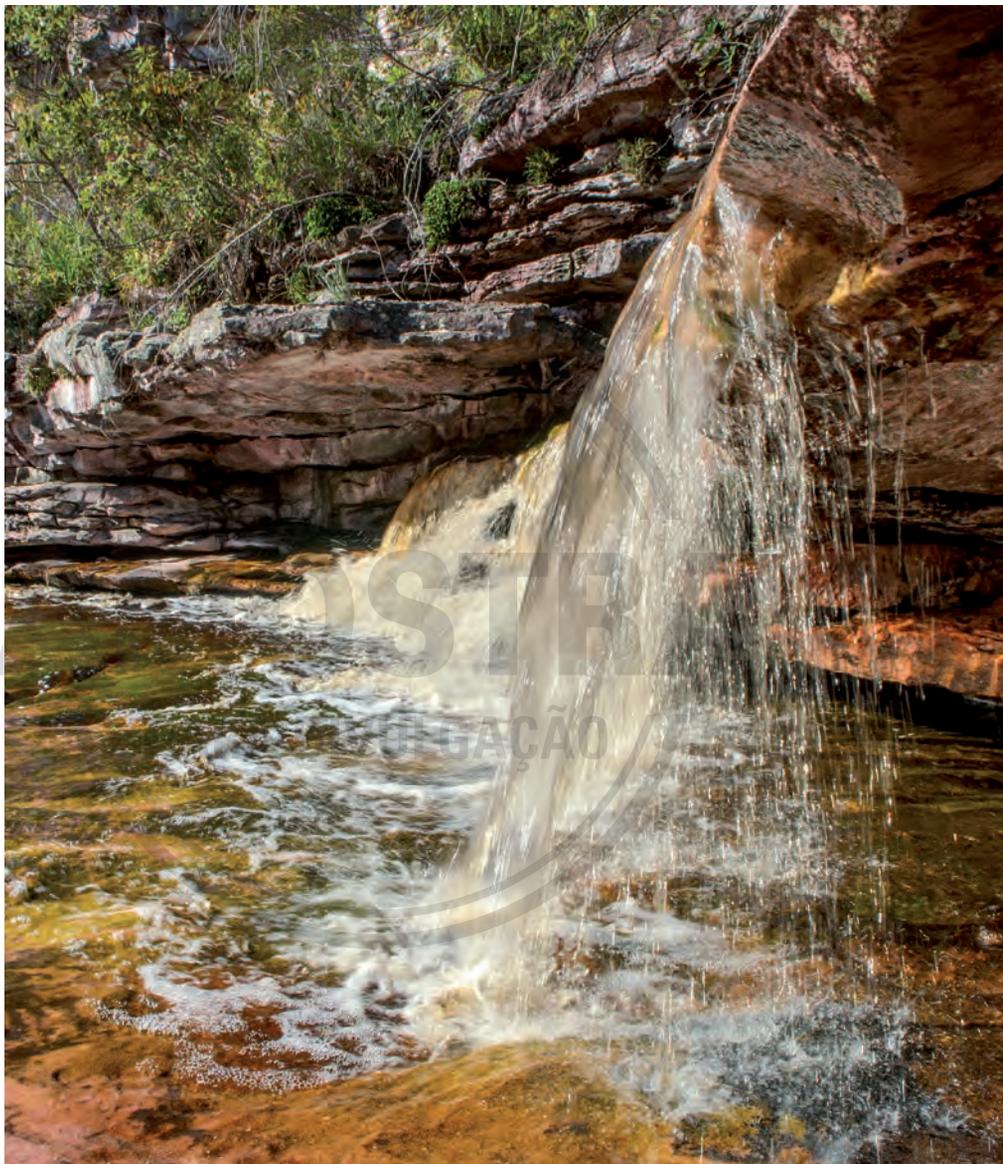
## 2

# As bases químicas da vida

**O QUE VOCÊ VAI ESTUDAR**

A importância da água e dos sais minerais para os seres vivos.

A estrutura e as funções dos diferentes tipos de moléculas orgânicas presentes nos seres vivos.



Gerson Sobreira/TerraStock

A água, formada pelos elementos químicos hidrogênio (H) e oxigênio (O), é um componente não vivo do ambiente e também faz parte da constituição dos organismos vivos, como as plantas. Cachoeira no Rio Cumbuca, Parque Nacional da Chapada Diamantina (BA), 2014.

Ao observar os seres vivos, verificamos que eles são bem diferentes uns dos outros.

Entretanto, todos os seres vivos são formados pelos mesmos componentes químicos básicos. Assim, os elementos químicos constituintes de um organismo microscópico — uma ameba, por exemplo —, de uma pequena ave ou de uma árvore são, majoritariamente, os mesmos: carbono (C), hidrogênio (H), oxigênio (O), nitrogênio (N), enxofre (S) e fósforo (P). Como se explica tamanha diversidade de seres vivos se poucos elementos químicos constituem a maior parte dos mais diferentes organismos?

# Água

Mais de 50% da massa corpórea dos seres vivos é constituída de água. Nos seres humanos, de 65% a 70% de sua massa, em média, corresponde a água. Essa porcentagem varia de acordo com a idade e o órgão considerado. Em geral, a quantidade de água é maior nas células embrionárias, e o cérebro humano contém cerca de 75% de água, enquanto o tecido ósseo apresenta menos de 20%.

Além de seu papel na composição dos seres vivos, a água também está presente no ambiente. A maior parte da superfície da Terra é coberta de água, distribuída por oceanos, geleiras, rios e lagos, onde vivem diversos organismos. Mesmo a atmosfera terrestre abriga grande quantidade de água, tanto na forma gasosa quanto condensada em nuvens.

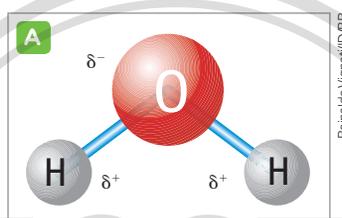
## A molécula de água

Uma molécula de água é composta de três átomos: dois de hidrogênio (representados por H) e um de oxigênio (representado por O). Por isso, sua fórmula é  $H_2O$ .

Embora ela seja, no conjunto, eletricamente neutra, suas regiões têm carga elétrica diferenciada. Por essa razão, a molécula de água é **polar**. Essa polaridade decorre de uma disposição desigual dos elétrons na molécula, o que cria diferença de cargas elétricas. Há regiões positivas, próximas aos átomos de hidrogênio, e outras negativas, próximas ao átomo de oxigênio (imagem A). Por causa dessa polaridade, as moléculas de água ficam dispostas de maneira relativamente ordenada umas em relação às outras: um hidrogênio de uma molécula tende a se aproximar do oxigênio de outra devido à atração elétrica das cargas opostas, formando uma **ligação de hidrogênio**.

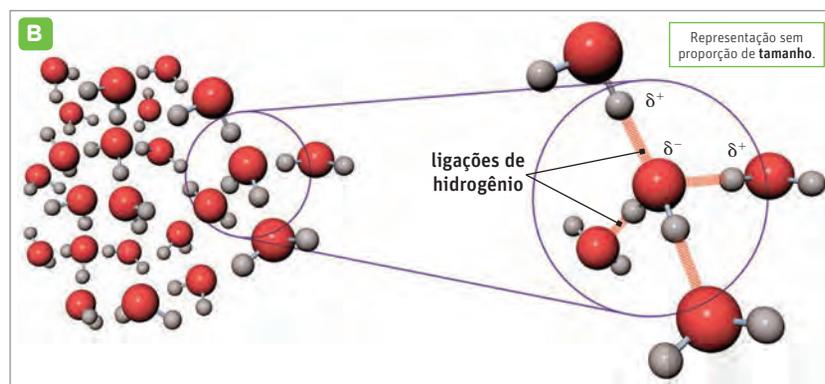
Cada molécula de água pode formar até quatro ligações de hidrogênio. As ligações de hidrogênio podem ser formadas com outra molécula de água (imagem B), com certas substâncias polares e com **íons** (átomo ou grupo de átomos eletricamente carregados, isto é, com quantidade de cargas positivas diferente da quantidade de cargas negativas).

A presença de numerosas ligações de hidrogênio mantém as moléculas de água unidas umas às outras, fenômeno chamado **coesão**. A coesão entre as moléculas de água está relacionada a várias propriedades dessa substância.



Esquema de uma molécula de água. Os símbolos  $\delta^+$  e  $\delta^-$  representam as regiões positiva e negativa, respectivamente. Cores-fantasia.

Reinaldo Vignatti/D/BR



Reinaldo Vignatti/D/BR

Esquema de ligações de hidrogênio entre moléculas de água. Cores-fantasia.

Fonte de pesquisa das ilustrações desta página: BRUCE, P. Y. *Química orgânica*. 4. ed. São Paulo: Pearson, 2006, p. 35.

## SAIBA MAIS

### Condições extremas

Alguns organismos, quando sujeitos à falta de água, passam por períodos de baixa atividade metabólica. Existem crustáceos cujos ovos podem permanecer dessecados por muitos anos, voltando à atividade quando colocados em contato com água. Há anfíbios que conseguem passar o inverno quase congelados, voltando à atividade na primavera.

Outros casos são os de organismos que vivem em desertos — ambientes com pouquíssima água e inóspitos para diversos seres vivos. Muitos animais vivem e se reproduzem nos desertos devido a características anatômicas, fisiológicas e comportamentais que lhes possibilitam explorar esse ambiente. Espécies de sapos se enterram por vários meses formando um “casulo” ao redor do corpo que deixa apenas suas narinas livres. Nesse estado de quase completa inatividade, não necessitam comer e utilizam apenas a água disponível no próprio corpo. Várias espécies de lagartos, serpentes e jabutis também vivem em desertos abrigando-se do calor nas horas mais quentes do dia e adquirindo, por meio da alimentação, a água de que necessitam. Com a pele quase impermeável, não perdem a pouca água que conseguem.

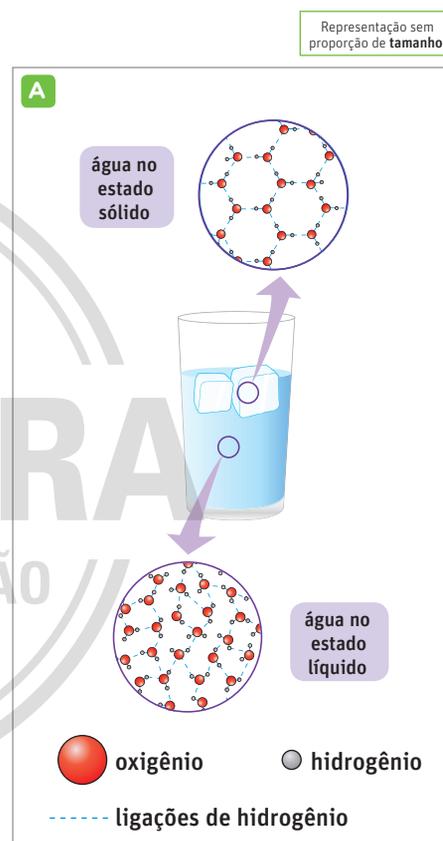
Entretanto, esses exemplos são extremos. Na maior parte do tempo, e para a maioria dos seres vivos, a falta da água significa a proximidade da morte. Uma perda de 15% de água já é suficiente para deixar uma pessoa em estado grave de saúde.

## Propriedades da água

A importância da água para os seres vivos está relacionada às suas propriedades físicas e químicas. Para facilitar o estudo, as propriedades da água foram divididas em três grupos: propriedades ligadas à temperatura, propriedades de superfície e propriedades como solvente.

### Propriedades ligadas à temperatura

- **Alto calor específico.** O calor específico é uma propriedade relacionada à quantidade de energia necessária para que uma determinada substância mude sua temperatura. As moléculas de água podem absorver grande quantidade de energia térmica sem que sua temperatura se eleve muito. Isso acontece porque parte da energia é empregada para romper as ligações de hidrogênio. O alto calor específico da água ajuda a fazer com que, mesmo em condições de variação de temperatura ambiental, não ocorram variações bruscas na temperatura corpórea dos organismos.
- **Alto calor de vaporização.** O calor de vaporização está relacionado à quantidade de energia que deve ser fornecida a uma substância para convertê-la do estado líquido ao gasoso. Para evaporar, a água precisa absorver energia térmica para que se rompam as ligações de hidrogênio. Quando evapora na superfície de um ser vivo, a água dissipa energia do organismo, atuando como um regulador térmico. Assim, utilizando um pequeno volume de água, essa propriedade impede que o corpo fique superaquecido – daí a importância da transpiração para os seres humanos e outros seres vivos.
- **Alteração de densidade.** A densidade é a razão entre a massa de uma substância e o volume ocupado por ela. A maioria das substâncias sofre um aumento de densidade quando a temperatura diminui. Entretanto, a água se comporta de modo diferente. Existe uma faixa de temperatura, entre 4 °C e 0 °C, na qual ela se expande em vez de se contrair. Ou seja, há aumento de volume e conseqüente diminuição da densidade. É por esse motivo que garrafas cheias de água podem estourar no congelador. É também por esse motivo que o gelo flutua: devido ao aumento de volume, a água no estado sólido é menos densa do que no estado líquido (imagem A).



Reinaldo Vignatti/DBR

### Propriedades de superfície

- **Tensão superficial.** As moléculas de água que ficam na superfície, ou seja, em contato com o ar, tendem a se afastar umas das outras em relação àquelas abaixo da superfície. Dessa maneira, a superfície líquida comporta-se como se fosse dotada de uma película, efeito criado pelas ligações de hidrogênio. Essa é a chamada tensão superficial (imagens B e C).



A tensão superficial da água permite, por exemplo, que pequenos insetos, como este percevejo, andem sobre ela sem afundar (B) e que uma gota que caía nela provoque uma depressão temporária em sua superfície (C).

Esquema do arranjo das moléculas de água no estado líquido e no estado sólido. No estado sólido, as moléculas se agrupam em um arranjo que ocupa mais espaço que no estado líquido. Por isso, o gelo ocupa mais espaço que a mesma quantidade de água no estado líquido. Cores-fantasia.

### ATIVIDADES

1. Você certamente já ouviu a expressão “isso é apenas a ponta do iceberg”. *Iceberg* é um grande bloco de gelo que flutua à deriva nas águas dos oceanos. Como pode ser explicada a capacidade de flutuação do *iceberg*?

• **Curvatura e capilaridade.** No interior de tubos estreitos, observa-se que a água sobe espontaneamente até certa altura. Em contato com vidro e plásticos em geral, a curvatura das bordas da água se dá para cima, formando uma superfície côncava (imagem A). Essa elevação ocorre por causa da tensão superficial, da coesão entre as moléculas de água e das interações entre a água, o ar e o vidro (ou plástico). Essa coesão é chamada de **capilaridade**. Quanto menor for o diâmetro do tubo, proporcionalmente maior será a altura que a água e essa curvatura atingirão.



Lester V. Bergman/Corbis/Latinstock

Nessa imagem de um tubo com água, é possível notar que a superfície da água forma uma curva.

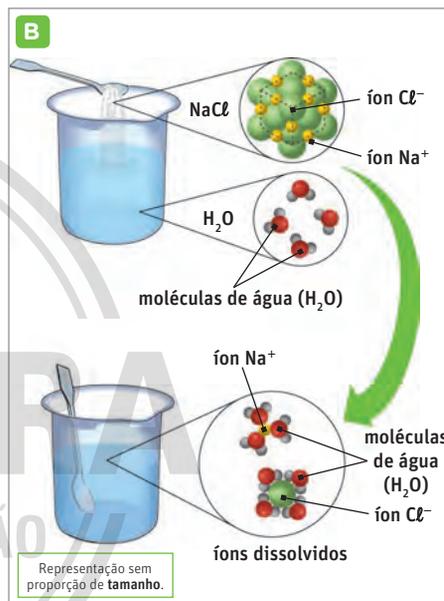
**Propriedades como solvente**

A água é capaz de dissolver inúmeras substâncias, razão pela qual é chamada de **solvente universal**. A dissolução acontece porque as moléculas de água estabelecem interações com as moléculas do soluto, envolvendo-as e separando-as das demais (imagem B).

As moléculas de água interagem com substâncias polares, como sais, ácidos e bases. Já substâncias de baixa polaridade ou apolares, como óleos, ceras e gorduras, são pouco solúveis em água (imagem C). Assim, os solutos podem ser divididos em dois grupos:

- **Hidrofílicos** (do grego *hydro*, “água”, e *philos*, “afinidade”): substâncias polares, que se dissolvem em água.
- **Hidrofóbicos** (do grego *hydro*, “água”, e *phobos*, “medo”): substâncias apolares, que não se dissolvem em água.

Gases respiratórios, açúcares e muitas outras substâncias presentes nos seres vivos são solúveis em água. Por isso, são transportadas no interior dos organismos na forma de soluções aquosas. Por ser um solvente muito eficaz, a água também é o meio no qual ocorre a maioria das reações químicas.



Reinaldo Vignati/ID/BR

Exemplo de uma substância polar: o sal de cozinha. Composto de sódio e cloro, o sal (cloreto de sódio ou NaCl) se dissolve na água e suas ligações são rompidas. O sódio (Na) fica com carga positiva, perdendo um elétron, e o cloro (Cl) fica com carga negativa. Ambos são, então, rodeados por moléculas de água orientadas de acordo com as cargas elétricas. Nessas condições, dizemos que o NaCl se torna **ionizado**, decomposto em **íons** positivos e **íons** negativos. Cores-fantasia.



Sérgio Dotta Jr./ID/BR

Por ser apolar, o óleo não forma ligações de hidrogênio com as moléculas de água e não é dissolvido por ela.

**BIOLOGIA NO COTIDIANO**

**Qualidade de água e saúde pública**

A água é usada na produção e preparo de alimentos, higiene pessoal e em processos de saneamento básico, mas também pode ser vetor de doenças, como cólera e verminoses. Estimativas da Organização Mundial da Saúde (OMS) indicam a ocorrência de cerca de 25 milhões de mortes por ano devido a doenças transmitidas pela água no mundo. O problema se deve à falta de acesso de parte da população à água potável e à coleta e ao tratamento de esgoto. No Brasil, cerca de 82,5% da população tem acesso à água tratada e 48,6% tem acesso à rede de esgoto, mas apenas 39% do esgoto coletado é tratado.

1. Consulte dados fornecidos por instituições públicas e responda: há tratamento de esgoto na sua cidade? Que porcentagem do esgoto coletado é tratada?

**ATIVIDADES**

2. Ao se misturar um pouco de sal de cozinha (NaCl) em um copo com água, o sal “desaparece”. O mesmo ocorre com o açúcar. Por outro lado, se tentarmos fazer isso com um pouco de azeite, continuamos a ver, claramente, gotículas de azeite na água. Ou seja, o azeite não “desaparece”. Como se explicam esses diferentes comportamentos das substâncias?

# Carboidratos

Os **carboidratos**, também chamados glicídios ou açúcares, são moléculas formadas por átomos de carbono (C), hidrogênio (H) e oxigênio (O). A fórmula molecular de um carboidrato geralmente é dada por  $(CH_2O)_n$ . Essa fórmula indica que cada átomo de carbono está associado a um átomo de oxigênio e dois de hidrogênio, havendo  $n$  dessas combinações em cada molécula.

Os carboidratos são encontrados em pães, farinhas, massas, arroz, batata, milho, açúcar, mel e em outros alimentos (imagem A). Eles são nutrientes necessários à sobrevivência dos seres vivos, uma vez que desempenham importantes funções.

## Tipos de carboidratos

De acordo com o tamanho e a estrutura molecular, os carboidratos podem ser classificados em três grupos principais: monossacarídios, dissacarídios e polissacarídios.

### Monossacarídios

Os carboidratos mais simples são compostos de uma única unidade, chamada **monossacarídeo** (do grego *mono*, “unidade”, e *sákcharon*, “açúcar”). Os monossacarídios são formados por moléculas que contêm entre três e sete átomos de carbono, recebendo as denominações gregas correspondentes a esses números (tri, tetra, penta, hexa e hepta) seguidas pela terminação *-ose*. Assim, um monossacarídeo com três átomos de carbono é uma **triose**, e outro com cinco átomos de carbono é uma **pentose**. Um dos monossacarídios mais comuns na natureza, a glicose, tem seis átomos de carbono – é uma **hexose**.

Os monossacarídios são fonte de energia e fazem parte de moléculas imprescindíveis para os seres vivos.

Glicose, galactose e frutose são exemplos de monossacarídios que fornecem **energia** para os seres vivos. A glicose (imagem B), principal fonte de energia, é produzida, principalmente, por organismos fotossintéticos (veja o capítulo 1). É pela degradação da glicose que os processos vitais são mantidos na maioria dos organismos. Essa degradação pode ocorrer de diferentes maneiras e envolver ou não a participação do gás oxigênio.

As pentoses ribose e desoxirribose são monossacarídios que fazem parte dos **ácidos nucleicos**, que compõem o material genético dos seres vivos. A ribose também está presente na molécula do composto energético trifosfato de adenosina, o **ATP** (tema abordado no capítulo 7).

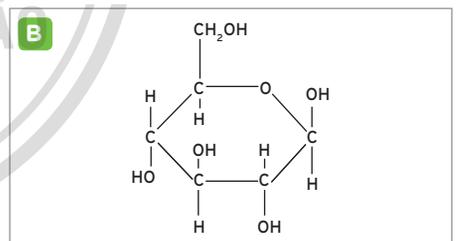
### Dissacarídios

A combinação de dois monossacarídios forma um **dissacarídeo** (imagem C). Essa combinação ocorre por meio de uma ligação chamada **glicosídica**. Por sua vez, as ligações glicosídicas podem ser rompidas, liberando, então, dois monossacarídios. A tabela abaixo apresenta alguns dos dissacarídios mais comuns e os monossacarídios que os compõem. Esses dissacarídios também exercem **papel energético** nos seres vivos.

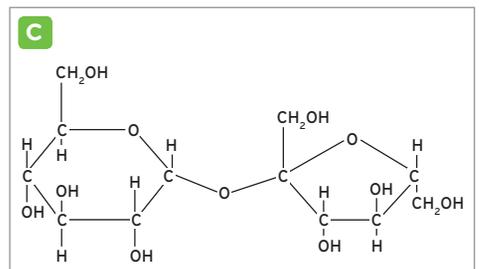
Dissacarídios	Monossacarídios	Exemplo de ocorrência
sacarose	glicose + frutose	cana-de-açúcar
lactose	glicose + galactose	leite
maltose	glicose + glicose	malte (cevada germinada)



Pães, milho, arroz e macarrão são exemplos de alimentos ricos em carboidratos.



Modelo da estrutura da molécula da glicose, um monossacarídeo. Note que nessa molécula existem seis átomos de carbono (C), doze átomos de hidrogênio (H) e seis átomos de oxigênio (O). Assim, a fórmula dessa molécula é  $C_6H_{12}O_6$ .



A sacarose, ou açúcar de cozinha, é um exemplo de dissacarídeo. Observe o modelo da estrutura da molécula, que é composta de duas unidades de monossacarídios (glicose, à esquerda, e frutose, à direita).

## Polissacarídios

Os carboidratos podem ser combinados, formando os chamados **polissacarídios** (do grego *polys*, “muitos”). São moléculas grandes, lineares (sem ramificações) ou ramificadas, compostas de um único tipo de monossacarídeo, como a glicose, ou da combinação de diferentes monossacarídios.

Os polissacarídios apresentam duas funções de extrema importância para os seres vivos:

- **Reserva energética.** Muitos seres vivos armazenam glicose na forma de polissacarídios, como o **amido** e o **glicogênio**, formados por numerosas moléculas de glicose unidas entre si. O amido é produzido somente por células de algas e plantas (imagem A), e o glicogênio, somente por células de animais e fungos. Quando necessário, os polissacarídios de reserva podem ser convertidos em moléculas de glicose. Assim, esses polissacarídios constituem uma reserva de energia que pode ser utilizada quando necessário.
- **Função estrutural.** O polissacarídeo mais abundante na natureza é a **celulose**. Ela tem função estrutural e forma os envoltórios relativamente rígidos das células vegetais, chamados de **paredes celulares**. A madeira (imagem B) e o algodão, por exemplo, são formados predominantemente por celulose. A molécula de celulose é uma cadeia formada por unidades de glicose. Esse aspecto, por si só, poderia tornar essa substância extremamente semelhante ao glicogênio e ao amido. A molécula de celulose, entretanto, é linear, enquanto a de glicogênio e a de amido são ramificadas. Além disso, na celulose as ligações entre as moléculas de glicose são mais rígidas, o que confere a função estrutural desse polissacarídeo. Essas ligações não são quebradas de maneira eficiente pelos animais durante a digestão. Assim, bois e outros animais herbívoros abrigam, em seu tubo digestório, microrganismos capazes de quebrar essa molécula, o que lhes permite sobreviver alimentando-se de gramíneas. Outros exemplos de polissacarídios estruturais são o **ácido hialurônico**, presente em células dos vertebrados, e a **quitina**, que forma a parte externa do corpo de insetos, aranhas e outros artrópodes.

## Glicolipídios e glicoproteínas

Muitos carboidratos associam-se a outros compostos formando moléculas híbridas. As paredes celulares das bactérias, por exemplo, não são compostas apenas de carboidratos. Essas moléculas unem-se a **proteínas** e resultam nas chamadas **glicoproteínas**. Outras glicoproteínas, como os **mucopolissacarídios**, servem como lubrificantes e protetores das vias aéreas e do tubo digestório, protegendo suas células contra agentes químicos e partículas. A associação de carboidratos com lipídios resulta nos chamados **glicolipídios**, que são encontrados, basicamente, nas membranas celulares.

### AÇÃO E CIDADANIA

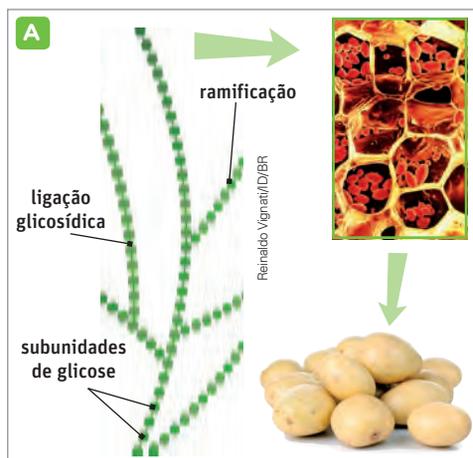
#### Merenda escolar saudável

Em muitos países do mundo, organizações não governamentais e instituições públicas vêm lutando para que as cantinas das escolas de ensino básico deixem de oferecer produtos industrializados ou considerados pouco saudáveis.

Em Brasília (DF), por exemplo, entrou em vigor, em 2015, o Decreto n. 36 900/2015, que proíbe a venda, nas escolas do município, de produtos como balas, refrigerantes, biscoitos recheados e frituras, entre outros. O decreto também se estende para a região próxima à escola: estabelecimentos comerciais situados a até 50 m da escola estão proibidos não apenas de vender esses produtos como também de expor publicidade relacionada a eles.

1. Qual sua opinião sobre esse tipo de proibição?
2. Sua escola tem cantina ou oferece merenda? Que tipos de alimentos são oferecidos?

Representação sem proporção de tamanho.



Parte da glicose produzida pela batateira é armazenada pela planta na forma de amido. À esquerda, observe o esquema da molécula. Cores-fantasia. No alto, à direita, grânulos de amido presentes nas células de uma batata. (Foto ao microscópio eletrônico de varredura; imagem colorizada; aumento de cerca de 37 vezes.)



A madeira é composta, dentre outras substâncias, de celulose, um polissacarídeo estrutural.

## Lipídios

Assim como os carboidratos e outras moléculas orgânicas, os **lipídios** são formados por carbono, oxigênio e hidrogênio. Entretanto, nos lipídios, a quantidade de carbono e hidrogênio é muito maior do que a de oxigênio, o que confere a essas substâncias propriedades diferentes das dos carboidratos. Além disso, os lipídios podem ser encontrados em associação com o fósforo, o enxofre e, em menor quantidade, o nitrogênio.

Gorduras e óleos são exemplos de lipídios. Assim, manteiga, margarina, azeite, óleos de cozinha, toucinho e banha são alguns alimentos ricos nesse tipo de nutriente. Os lipídios desempenham diversas funções, como a de reserva energética e a de composição de membranas celulares, hormônios e vitaminas.

Todos os lipídios são apolares e apresentam, portanto, baixíssima solubilidade em água. Entretanto, quando associados a certas substâncias, podem formar moléculas com porções polares, como os fosfolipídios.

## Ácidos graxos

Ácidos graxos são moléculas formadas por longas cadeias de átomos de carbono, em cuja extremidade existe um grupo carboxila (COOH). Dependendo da quantidade de ligações duplas entre os carbonos da cadeia, os ácidos graxos têm diferentes propriedades.

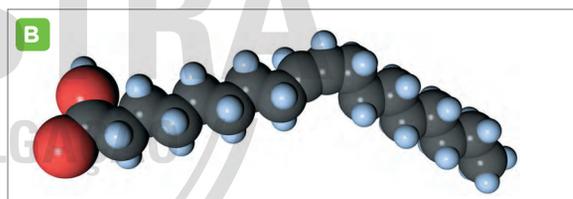
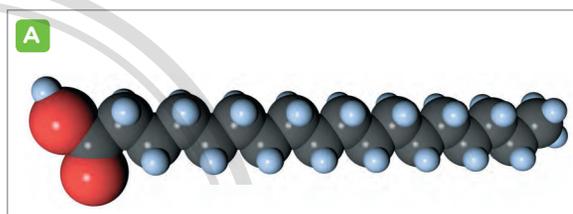
Os ácidos graxos **insaturados** têm um ou mais carbonos unidos por ligação dupla. Geralmente, os ácidos graxos insaturados são líquidos à temperatura ambiente. Se há somente um carbono com ligação dupla, diz-se que a molécula é **monoinsaturada**. O ácido oleico (imagem A) é um ácido graxo monoinsaturado encontrado no azeite de oliva e nas membranas das células animais. Se há mais de uma ligação dupla, diz-se que a molécula é **poli-insaturada**, como o ácido linoleico e o ácido araquidônico. Ácidos graxos poli-insaturados são importantes para o funcionamento do organismo humano e devem ser incluídos na dieta alimentar. Milho, soja e alguns peixes marinhos são fontes desses nutrientes.

Nas cadeias lipídicas **saturadas** (imagem B), nenhum dos átomos de carbono apresenta ligação dupla entre si. Elas recebem esse nome porque todos os carbonos têm suas ligações “saturadas” somente por átomos de hidrogênio. Os ácidos graxos saturados são, geralmente, sólidos à temperatura ambiente – como as gorduras animais e as margarinas vegetais.

## Gorduras

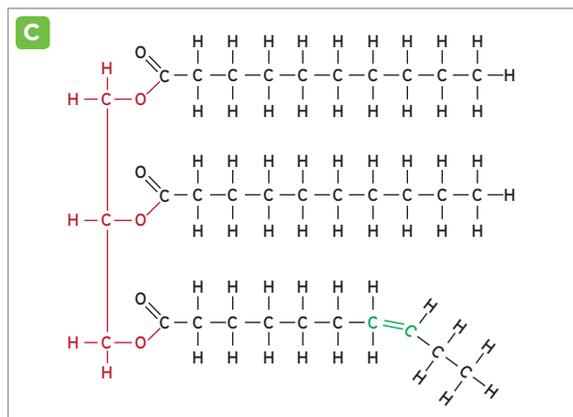
As **gorduras** são formadas pela junção de uma molécula de **glicerol** – um álcool de três átomos de carbono – com uma, duas ou três moléculas de ácido graxo. O tipo mais comum e abundante de gordura é o formado pela união do glicerol com três ácidos graxos, sendo, por isso, denominado **triacilglicerol** ou **triglicéride** (imagem C).

Representação da estrutura molecular de um triglicéride formado pela combinação de uma molécula de glicerol (em vermelho) com três de ácidos graxos (em preto). Note que uma das cadeias de ácido graxo é monoinsaturada (há uma ligação dupla entre dois carbonos, indicada em verde), enquanto as outras duas são saturadas.



(B) Representação da estrutura de uma molécula de ácido oleico, um ácido graxo insaturado ( $C_{18}H_{34}O_2$ ). Cada esfera colorida representa um átomo de carbono (preto), de hidrogênio (azul) e de oxigênio (vermelho). (C) Representação da estrutura de uma molécula de ácido esteárico, um ácido graxo saturado ( $C_{18}H_{36}O_2$ ). Cores-fantasia.

Fonte de pesquisa: BRUCE, P. Y. *Química orgânica*. 4. ed. São Paulo: Pearson, 2006, p. 1077.



## Reserva de energia

Os triglicérides são uma reserva energética para animais e plantas. As características das gorduras as tornam adequadas para compor os estoques de energia nos seres vivos. Em primeiro lugar, elas têm o mais alto conteúdo energético por massa entre os nutrientes – quase o dobro do conteúdo dos carboidratos e das proteínas. Em segundo lugar, por serem moléculas apolares, não necessitam de água para que sejam armazenadas.

Certas aves e mamíferos de regiões frias engordam antes de enfrentar um inverno rigoroso. O acúmulo de gordura ocorre mesmo se na dieta não houver grandes quantidades de lipídios. Isso acontece devido a um fenômeno denominado **interconversão metabólica**, no qual outros nutrientes, como os carboidratos, podem ser convertidos em gordura.

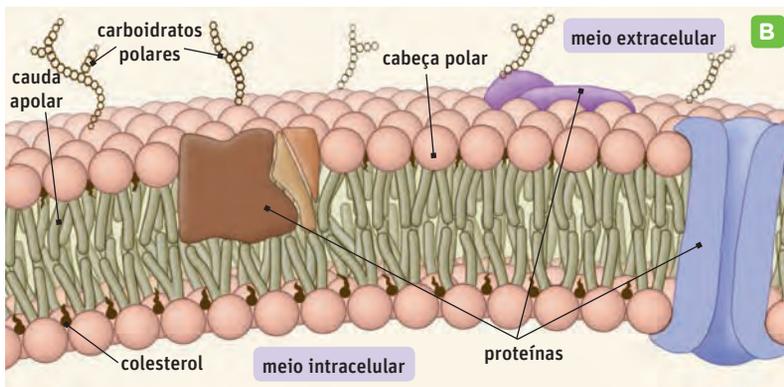
## Ceras

As **ceras** são formadas pela junção de uma cadeia de ácido graxo com um álcool de cadeia longa, com muito mais do que três átomos de carbono. As ceras têm um papel protetor e impermeabilizante. Nossas glândulas sebáceas produzem uma cera que ajuda a manter a pele úmida e elástica. Nas aves, as penas são recobertas por ceras, o que as torna impermeáveis. Com isso, as aves podem voar na chuva ou nadar sem se encharcar. As folhas também têm uma camada de cera que diminui a perda de água das plantas e lhes confere um aspecto brilhante. Além da função impermeabilizante, as ceras podem constituir reserva energética.

## Fosfolipídios

A combinação de lipídios com grupos derivados do ácido fosfórico dá origem aos **fosfolipídios**, os principais componentes das membranas plasmáticas.

A extremidade fosfórica é polar, e as cadeias lipídicas são apolares. Assim, as moléculas de fosfolipídios têm uma porção hidrofílica e outra hidrofóbica (imagem A). Por esse motivo, esses compostos são chamados de **anfipáticos** (do grego *amphi*, “de ambos os lados”, *pathos*, “experiência”, e *ikós*, “relacionado”). Devido a essa combinação entre parte polar e parte apolar, as moléculas de fosfolipídios se organizam de maneira orientada na membrana plasmática: as porções polares ficam expostas, enquanto as apolares ficam isoladas do contato com a água (imagem B).

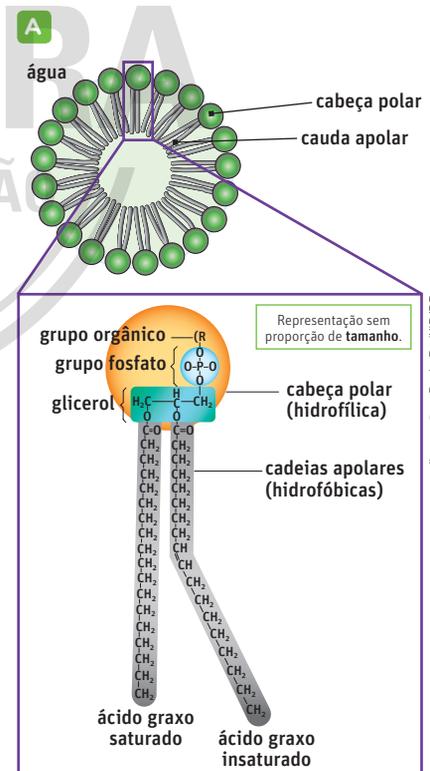


Esquema de membrana plasmática conforme o Modelo de Mosaico Fluido, proposto pelos pesquisadores S. J. Singer e G. Nicholson, em 1972. A membrana é composta principalmente de fosfolipídios organizados em duas camadas. As porções hidrofílicas das moléculas ficam voltadas para os meios intra e extracelular, enquanto as porções hidrofóbicas ficam no interior da membrana. Cores-fantasia.

Fonte de pesquisa: TORTORA, G. J.; FUNKE, B. R.; CASE, C. L. *Microbiologia*. 10. ed. Porto Alegre: Artmed, 2012, p. 46.

## ATIVIDADES

- Suponha que alguém passe uma lixa abrasiva na superfície de uma folha para remover os lipídios. O que deve ocorrer com a folha? Por quê?

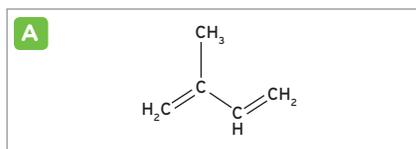


Esquema de fosfolipídios imersos em água. Os grupos fosfóricos (hidrofílicos) ficam em contato com a água, enquanto as cadeias lipídicas (hidrofóbicas) ficam isoladas dela. No detalhe, fosfolipídio com sua cabeça polar e cadeias apolares. Cores-fantasia.

Fonte de pesquisa: TORTORA, G. J.; FUNKE, B. R.; CASE, C. L. *Microbiologia*. 10. ed. Porto Alegre: Artmed, 2012, p. 35.

## Terpenos

Os **terpenos** ou isoprenoides são formados a partir de um precursor comum, o **isopreno** (imagem A). O isopreno é uma substância formada naturalmente por animais e plantas e, portanto, é encontrado em alimentos em geral. Uma série de subclasses de compostos deriva desse precursor. Entre eles, encontram-se as vitaminas lipossolúveis e os esteroides.



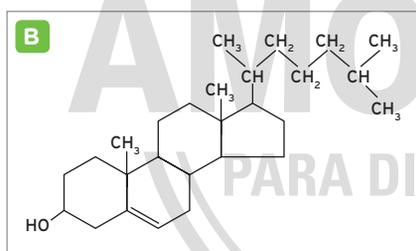
Ilustrações:  
Alex Argonino/D/BR

Representação da estrutura de uma molécula de isopreno.

O betacaroteno, por exemplo, é um terpeno abundante em cenouras, abóboras e espinafres. A quebra de uma molécula de betacaroteno resulta em duas moléculas de vitamina A. (As vitaminas são abordadas mais adiante neste capítulo.)

**Esteróide** é uma denominação que abrange várias substâncias. Entre elas estão o colesterol, os sais biliares e certos hormônios.

O **colesterol** (imagem B) participa da composição das membranas plasmáticas de células animais, além de associar-se às lipoproteínas do sangue. O colesterol também é necessário para a produção dos sais biliares e de alguns hormônios.



Representação da estrutura de uma molécula de colesterol.

Os **sais biliares** atuam no intestino delgado, emulsificando gorduras, ou seja, transformando-as em gotículas menores, o que facilita a digestão desses compostos.

Os **hormônios sexuais**, como testosterona, estradiol e progesterona, são responsáveis pelas características sexuais e também pelas condições necessárias para a gestação nos mamíferos.

Um esteroide presente nos insetos é a ecdisona. Essa substância participa das trocas (mudas) de exosqueleto, o envoltório que protege o corpo dos artrópodes. Alguns hormônios ligados aos controles hídrico e inflamatório também são esteroides.

## Prostaglandinas

As **prostaglandinas** são consideradas **hormônios locais**, ou seja, sua ação se dá nas proximidades de onde são liberadas. Elas são produzidas em diferentes órgãos, como pulmão e fígado, e são particularmente atuantes em processos inflamatórios. Além disso, exercem diversas funções no organismo, como aumento e diminuição da pressão arterial, dilatação dos brônquios pulmonares, inibição da secreção gástrica e estimulação da contração uterina.

## LOGO BIOLOGIA NO COTIDIANO

### Como a quantidade de colesterol no sangue é regulada?

O fígado realiza essa regulação, uma vez que sintetiza e degrada o colesterol quando necessário.

O colesterol é insolúvel no plasma sanguíneo. Assim, ele é transportado em associação a proteínas hidrofílicas. Esses complexos lipoproteicos realizam diferentes funções:

- **Lipoproteínas de baixa densidade (LDL).** Transportam para diversas partes do organismo o colesterol ingerido na dieta ou produzido pelo fígado. Esse colesterol é conhecido como “colesterol ruim”.
- **Lipoproteínas de alta densidade (HDL).** Transportam o excesso de colesterol que existe no sangue até o fígado, onde é degradado. Esse colesterol é chamado de “colesterol bom”.

Em geral, ambos os mecanismos de transporte se encontram em equilíbrio. Entretanto, quando a quantidade de colesterol presente no sangue é muito alta, o fígado não consegue degradar o excesso. Como consequência, as lipoproteínas de baixa densidade (LDL) acabam se depositando nas artérias; aí formam depósitos de gordura que reduzem o calibre das artérias e as endurecem, dificultando a circulação sanguínea.

Altos níveis de colesterol no sangue podem estar relacionados a fatores genéticos ou ao consumo excessivo de gordura saturada de origem animal.

### SAIBA MAIS

#### O primeiro medicamento sintético

O **ácido acetilsalicílico**, considerado o primeiro fármaco sintético produzido em laboratório, é uma substância presente em vários medicamentos em sua forma pura ou combinada com outros fármacos. Entre outras ações, ele inibe a síntese de prostaglandinas. Justamente por essa ação, o ácido acetilsalicílico é utilizado como **analgésico** (inibidor de dor), **anti-inflamatório** e **antipirético** (inibidor da febre).

# Proteínas

O termo **proteína** vem do grego *proteios*, que significa “aquilo que tem primazia”, “que vem primeiro”. A razão dessa terminologia é a importância das proteínas para os seres vivos. Elas são as moléculas orgânicas mais numerosas, correspondendo a grande parte da massa de uma célula, descontando-se a água. Além disso, sua diversidade é enorme e são encontradas em todas as partes do organismo.

As proteínas são fundamentais para a formação e a manutenção do corpo dos seres vivos. Na alimentação, são encontradas em carnes, ovos, laticínios, soja, feijões, entre outros alimentos (imagem A).

Seres das mais diferentes espécies apresentam carboidratos e lipídios relativamente semelhantes. As proteínas, ao contrário, são extremamente diferentes. Essa diferença se acentua conforme diminui o grau de parentesco evolutivo entre os organismos. Assim, as proteínas de uma onça e de uma jaguatirica são relativamente similares entre si, mas bastante diferentes das de uma samambaia.

De onde viria tamanha diversidade? Essa é, talvez, uma das questões mais importantes da Biologia. As proteínas são sintetizadas pelas células a partir de 20 tipos de moléculas menores, os **aminoácidos**. Sua combinação em diferentes sequências e números resulta em uma enorme variedade de moléculas de proteína com propriedades e características muito diversas.

## Aminoácidos e suas propriedades

Aminoácidos são compostos orgânicos formados por carbono, hidrogênio, oxigênio e nitrogênio (alguns contêm, ainda, enxofre). São caracterizados por apresentar um grupo **carboxila** (COOH), um grupo **amina** (NH<sub>2</sub>) e um **radical** (R), todos eles unidos a um mesmo átomo de carbono (imagem B).

Existem 20 tipos de aminoácidos nos seres vivos, diferenciados pelo grupo R, que confere propriedades específicas a cada um deles.

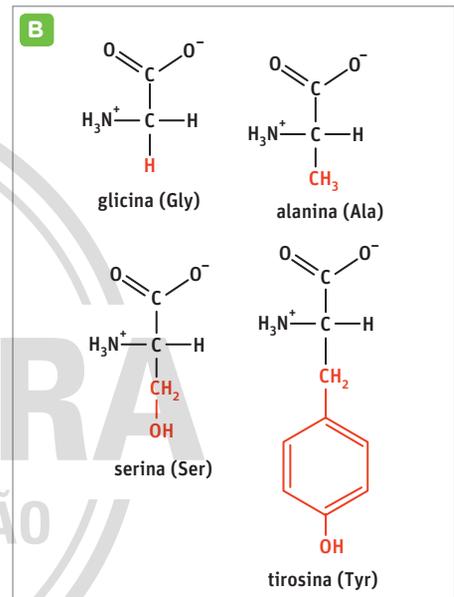
O corpo humano é capaz de sintetizar vários tipos de aminoácidos. Entretanto, precisamos ingerir aqueles que não são produzidos por nosso organismo. Os aminoácidos que o corpo humano não produz são chamados **aminoácidos essenciais**; os demais são chamados de **não essenciais** (tabela abaixo). Apesar do nome, eles também são necessários ao organismo.

A



Alguns alimentos ricos em proteínas: carnes, ovos, leite e derivados.

B



Representação da estrutura molecular dos aminoácidos glicina, alanina, serina e tirosina. Note que as diferenças entre as moléculas limitam-se aos radicais (destacados em vermelho).

Aminoácidos não essenciais	Abreviação
alanina	Ala
arginina	Arg
asparagina	Asn
ácido aspártico	Asp
cisteína	Cys ou Cis
prolina	Pro
glicina	Gly ou Gli
ácido glutâmico	Glu
glutamina	Gln
serina	Ser
tirosina	Tyr ou Tir

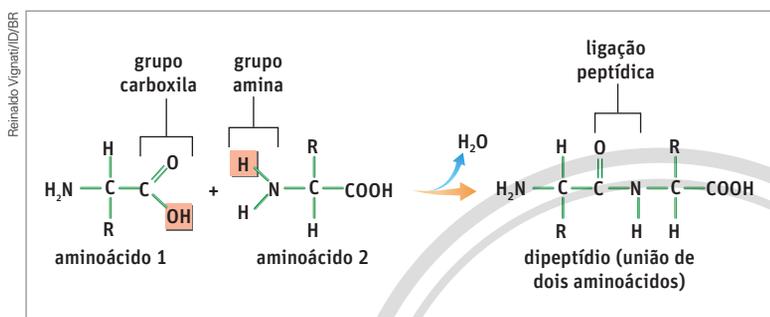
Aminoácidos essenciais	Abreviação
isoleucina	Ile
leucina	Leu
lisina	Lys ou Lis
metionina	Met
fenilalanina	Phe ou Fen
histidina	His
treonina	Thr ou Tre
triptofano	Trp ou Tri
valina	Val

## A ligação peptídica

Em uma proteína há muitas moléculas de aminoácidos unidas. A união entre dois aminoácidos ocorre por meio de uma ligação denominada **ligação peptídica** (do grego *péptein*, “cozinhar”, “digerir”). A descoberta dos aminoácidos foi feita durante experimentos em que se feriam proteínas, o que originou o nome da ligação entre eles.

A ligação peptídica acontece entre o grupo amina de um aminoácido e o grupo carboxila de outro. A terminação amina perde um hidrogênio (H), e a terminação carboxila perde uma hidroxila (OH). Dessa maneira, os dois aminoácidos ficam unidos e há a liberação de uma molécula de água.

Além disso, como se percebe na imagem abaixo, um dos aminoácidos continua com uma terminação carboxila livre, e o outro, com uma terminação amina livre. Portanto, novos aminoácidos podem ser acrescentados em cada uma das extremidades da molécula, aumentando, assim, seu tamanho.



Esquema da formação de uma ligação peptídica. A carboxila de um aminoácido perde uma hidroxila (OH), que se une a um hidrogênio (H) da amina do outro aminoácido, originando uma molécula de água (H<sub>2</sub>O).

Fonte de pesquisa: BRUCE, P. Y. *Química orgânica*. 4. ed. São Paulo: Pearson, 2006, p. 973.

Uma cadeia constituída de diversos aminoácidos ligados recebe o nome de **polipeptídeo**. Uma **proteína** é formada por um ou mais polipeptídios, organizados em uma estrutura tridimensional (veja na página seguinte). Essa estrutura é definida pela sequência dos aminoácidos presentes no polipeptídeo.

## Proteínas simples e proteínas conjugadas

As proteínas, quando compostas unicamente de aminoácidos, são chamadas de **proteínas simples**. Entretanto, as cadeias de aminoácidos podem ser combinadas a outros tipos de compostos, constituindo as **proteínas conjugadas**. Nelas, a cadeia que não é formada por aminoácidos é denominada **grupo prostético**. Exemplos de grupos prostéticos são os lipídios, que formam as lipoproteínas; os carboidratos, que formam as glicoproteínas; e metais (como ferro, zinco, cobre), que formam as metaloproteínas.

## As funções das proteínas

Os seres vivos apresentam milhares de proteínas diferentes, que desempenham diversas funções. Os principais tipos de proteínas, de acordo com suas funções, são mencionados a seguir.

- **Transportadoras:** são proteínas que se ligam a outras substâncias e facilitam seu transporte dentro do organismo ou da membrana celular. Exemplos: a hemoglobina, presente nas hemácias do sangue, realiza o transporte de gás oxigênio; as lipoproteínas, como mostrado anteriormente neste capítulo, transportam o colesterol.
- **De movimento:** são proteínas ligadas à geração de movimento nas células. A contração muscular, por exemplo, envolve a ação de duas proteínas: a actina e a miosina.
- **Estruturais:** são proteínas que auxiliam na sustentação. Exemplo: o colágeno, que confere resistência e elasticidade a ossos e cartilagens, além de sustentar a pele e outros tecidos.
- **De defesa:** são proteínas relacionadas ao sistema imunitário. Há vários tipos dessas moléculas proteicas; as mais conhecidas são os anticorpos (imunoglobulinas).
- **Reguladoras:** são as que atuam estabelecendo sinais químicos entre diferentes partes de um organismo, como o hormônio de crescimento.
- **Catalíticas:** aumentam a velocidade das reações químicas – são as enzimas.

Existem proteínas que não se encaixam nas categorias acima, como as proteínas anticongelantes, encontradas em alguns peixes da Antártida.

## A estrutura espacial das proteínas

A função das proteínas está intimamente relacionada a seu formato, ou seja, sua estrutura espacial. É possível distinguir quatro níveis de organização das proteínas (imagem A).

A **estrutura primária** de uma proteína é a sequência de seus aminoácidos, unidos por ligações peptídicas.

Os aminoácidos que compõem a estrutura primária têm radicais com cargas elétricas diferentes. Assim, uma vez colocados lado a lado, esses radicais passam a interagir uns com os outros. Surgem forças de repulsão e atração entre os aminoácidos vizinhos e também entre eles e outras moléculas no meio circundante, principalmente as de água. Essas forças, associadas a outros tipos de interação química, atribuem à proteína sua **estrutura secundária**. Ela pode apresentar uma conformação torcida, semelhante a folhas dobradas ou a hélices.

As proteínas em estrutura secundária podem sofrer dobras e torções sobre si mesmas, formando uma estrutura em três dimensões, chamada **estrutura terciária**. Várias forças de natureza química contribuem para estabilizar a estrutura terciária das proteínas.

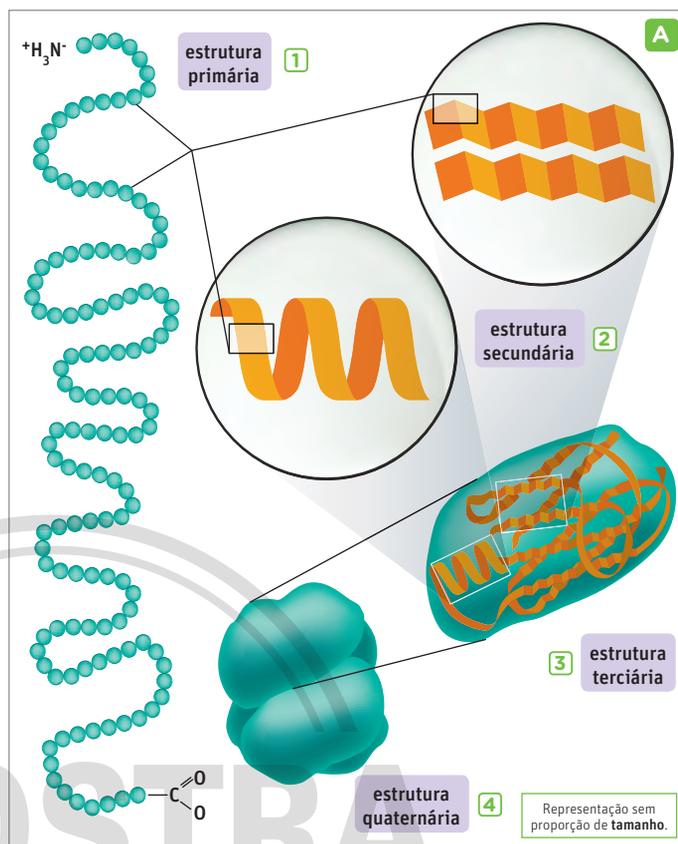
Quando uma proteína é formada pela união de duas ou mais cadeias polipeptídicas com estrutura terciária, diz-se que há uma **estrutura quaternária**. Ou seja, a estrutura quaternária representa a união de cadeias polipeptídicas formando uma molécula maior. A hemoglobina, um exemplo de molécula proteica com estrutura quaternária, é formada por quatro subunidades ligadas duas a duas.

## Funcionamento das proteínas

O funcionamento das proteínas depende muito da sua organização estrutural terciária e quaternária. A estrutura original de uma proteína é chamada **forma nativa**. Caso haja uma mudança na forma nativa, as estruturas terciária e quaternária da proteína serão alteradas, afetando também sua função. Esse processo é chamado de **desnaturação proteica** (imagem B). Se essas alterações não puderem ser desfeitas, a proteína estará modificada, perdendo sua função definitivamente.

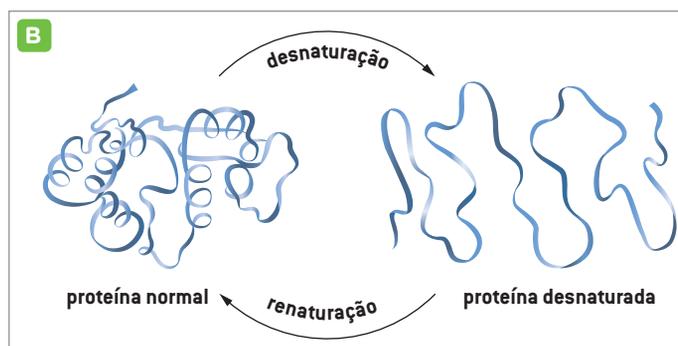
Um exemplo cotidiano de desnaturação é o aquecimento da clara dos ovos. A clara é constituída, basicamente, pela proteína ovalbumina, de consistência fluida em sua forma nativa. Ao aquecermos o ovo, parte das ligações entre radicais se desfaz, e novas ligações são estabelecidas, criando uma nova conformação espacial. Isso se manifesta na alteração da cor e da consistência da clara.

Além do aquecimento, a desnaturação de proteínas pode ser provocada por processos químicos, como acidificação ou alcalinização do meio, ação de solventes orgânicos, detergentes, etc.



Esquema dos níveis estruturais das proteínas. (1) Estrutura primária de uma proteína, que é a sequência de seus aminoácidos. (2) Estrutura secundária, mostrando sua conformação torcida. (3) Estrutura terciária resultante dos dobramentos da estrutura secundária. (4) Estrutura quaternária resultante da união de duas ou mais cadeias polipeptídicas. Cores-fantasia.

Fonte de pesquisa: REECE, J. B. et al. *Campbell Biology*. 10. ed. [S.l.]: Pearson, 2014. p. 80-81.

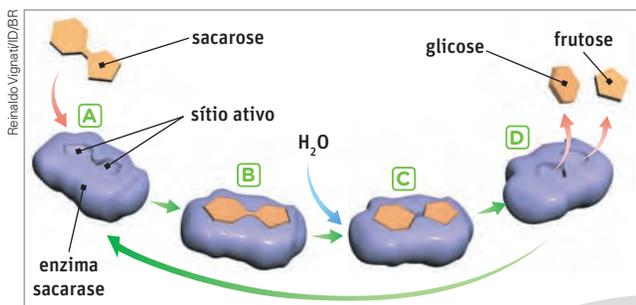


Esquema de desnaturação e renaturação proteica. Na desnaturação, a forma da proteína é alterada e, conseqüentemente, sua função é comprometida. Cores-fantasia.

Fonte de pesquisa: REECE, J. B. et al. *Campbell Biology*. 10. ed. [S.l.]: Pearson, 2014. p. 82.

## Enzimas

Uma reação química, isto é, o fenômeno pelo qual a matéria se transforma em novas substâncias, pode ser catalisada. A **catálise** é o aumento da velocidade de uma reação provocado por uma substância – no caso, uma enzima (imagem abaixo) – que participa da reação e é regenerada no final do processo.



Representação de enzima catalisando uma reação de quebra da molécula de sacarose. (A) Uma molécula de sacarose e a enzima sacarase. (B) A sacarose se encaixa em uma região da enzima (sítio ativo). (C) Combinação com uma molécula de água. (D) Os produtos (glicose e frutose) são liberados, e a enzima, já regenerada, pode agir novamente. Cores-fantasia.

A manutenção dos processos fisiológicos necessita que as reações ocorram em velocidades relativamente altas.

Por exemplo, um homem de 70 kg, em atividade física durante o dia, gasta cerca de 3 mil quilocalorias (kcal) em 24 horas. Essa energia corresponde a quase 200 kg de ATP, um composto que armazena energia. Contudo, essa pessoa tem pouco mais que 50 g desse composto em todas as suas células. Assim, o estoque de ATP deve ser repostado 4 mil vezes por dia, ou quase três vezes por minuto. É como se, em média, esse indivíduo tivesse de ingerir 150 g de ATP a cada minuto. Esse é um valor médio, pois há momentos em que essa reciclagem ocorre a taxas ainda mais elevadas. As enzimas entram em ação nesse caso e em outros, acelerando as reações químicas.

Enzimas catalisam quase todas as reações bioquímicas que ocorrem nos seres vivos. Cada enzima age apenas sobre certas reações. Parte dessa especificidade decorre da estrutura terciária e quaternária da molécula.

Assim, existe uma combinação entre o formato da enzima e o formato das substâncias sobre as quais ela age, como uma chave com sua fechadura. Como diferentes compostos têm diferentes formas, as enzimas atuam somente sobre reações específicas.

## Ação enzimática

A ação das enzimas requer um conjunto de fatores. Dois dos mais importantes são a temperatura e o pH (estado ácido-básico). Nos mamíferos, por exemplo, a temperatura corpórea relativamente constante desses animais corresponde à temperatura próxima à ideal de atividade das enzimas. Se a temperatura sobe ou desce, a atividade enzimática é alterada, e, com isso, todo o conjunto das reações bioquímicas do organismo também. O mesmo tipo de fenômeno ocorre em relação ao pH.

Há dois aspectos muito importantes relacionados à ação das enzimas.

- As enzimas não geram reações que não existiriam se elas estivessem ausentes. Elas agem acelerando a velocidade dessas reações, ao criar um ambiente favorável no sítio ativo.
- As enzimas não alteram as concentrações dos reagentes e produtos das reações. Ou seja, a soma das quantidades de reagentes e produtos na reação em que atuam é a mesma na presença ou na ausência de enzimas.

## Nomenclatura enzimática

As enzimas são identificadas e nomeadas pelo tipo de reação que catalisam, recebendo o sufixo **ase**. Por exemplo, a enzima que facilita a reação de hidrólise (reação química que envolve a participação da água na quebra de ligações) da ureia é chamada **urease**.

### ATIVIDADES

4. O corpo das aves e dos mamíferos libera calor suficiente para manter a temperatura corporal relativamente constante. Explique por que essa característica favorece a atividade enzimática desses animais.

## LOGO BIOLOGIA TEM HISTÓRIA

O ser humano faz uso das enzimas há séculos, mesmo sem compreender sua natureza química ou seu modo de ação. O uso do malte de cevada para a produção de cerveja e do coalho na produção de queijos são exemplos de processos tecnológicos tradicionais que contam com a participação de enzimas, desde muito tempo antes de o ser humano ser capaz de analisar quimicamente os fenômenos envolvidos nesses processos.

O fisiologista alemão Wilhelm Kühne (1837-1900), em 1878, foi o primeiro a utilizar o termo “enzima”, pa-

lavra derivada do grego e que significa “levedura”. Até essa época, acreditava-se que as enzimas só eram ativas no interior das células vivas. Porém, esse conceito foi revisto em 1897, quando o bioquímico alemão Eduard Buchner (1860-1917) demonstrou haver atividade enzimática no extrato obtido pela prensagem de leveduras. Em 1926, o químico estadunidense James Sumner (1877-1925) cristalizou a urease, o que permitiu demonstrar que se tratava de uma proteína. A cristalização de enzimas em estado puro permitiu compreender sua estrutura proteica e seu modo de ação.

## Vitaminas e sais minerais

Proteínas, carboidratos e lipídios são chamados de **macronutrientes**, isto é, nutrientes que ingerimos em grandes quantidades. Existem, no entanto, compostos que precisam ser ingeridos em quantidades muito menores. São os **micronutrientes**, entre os quais estão as **vitaminas** e alguns **sais minerais**.

### Vitaminas

Vitaminas são moléculas orgânicas necessárias para o funcionamento de vários processos metabólicos. Muitas vitaminas atuam como facilitadores da ação enzimática e, por isso, recebem o nome de **cofatores**.

Dependendo de sua solubilidade em água ou em lipídios, as vitaminas são classificadas em dois grupos:

- **Hidrossolúveis:** vitaminas solúveis em água, como o ácido ascórbico (vitamina C) e as vitaminas do complexo B.
- **Lipossolúveis:** solúveis em lipídios, como as vitaminas A, D, E e K.

Várias vitaminas estão ligadas a processos **antioxidantes** nas células. O que isso quer dizer? O gás oxigênio, usado na respiração, também gera efeitos nocivos nas células ao formar compostos que reagem com outras substâncias. Esses compostos, chamados de **espécies reativas de oxigênio**, atacam lipídios de membranas celulares e moléculas de DNA, entre outros. Os chamados sistemas antioxidantes, dos quais fazem parte várias enzimas e vitaminas (entre as quais a C e a E), combatem os efeitos deletérios provocados pelas espécies reativas de oxigênio.

A falta de vitaminas provoca doenças conhecidas como **avitaminoses** (veja a tabela abaixo). Por outro lado, sua ingestão excessiva também traz consequências graves, chamadas de **hipervitaminoses**.

#### Descoberta das vitaminas

Ao longo dos séculos das Grandes Navegações (entre o século XV e o início do século XVII), notou-se que os marinheiros que ficavam extensos períodos longe da terra sofriam de sangramento de mucosas – o **escorbuto**.

Mais tarde, descobriu-se que o problema podia ser revertido ou evitado se a pessoa ingerisse frutas cítricas. As caravelas passaram a levar estoques de limão ou outras frutas cítricas para consumo a bordo.

Hoje, sabemos que o escorbuto decorre da carência da vitamina C, presente nesse tipo de fruta.

#### ATIVIDADES

5. Por que é recomendável ingerir suplementos vitamínicos somente sob prescrição médica? Que tipo de dieta devemos ter a fim de ingerir vitaminas na quantidade correta?

Vitamina	Algumas funções	Fontes naturais	Avitaminoses
<b>A</b>	Antioxidante, combate espécies reativas de oxigênio.	vegetais amarelos (cenoura, abóbora, etc.)	cegueira noturna, xerofthalmia
<b>B<sub>1</sub> (tiamina)</b>	Facilita a ação enzimática.	carnes magras, feijões, cereais integrais, peixes	beribéri
<b>B<sub>2</sub> (riboflavina)</b>	Facilita a ação enzimática.	fígado, ovos, leite, carnes	rachaduras de lábios e boca
<b>B<sub>3</sub> (niacina)</b>	Inibe a produção de colesterol.	carnes magras, feijões, nozes, peixes	pelagra
<b>B<sub>6</sub> (piridoxina)</b>	Essencial para a produção de anticorpos.	levedo de cerveja, farelo de trigo, leite, carnes	alterações neurológicas
<b>B<sub>12</sub> (cobalamina)</b>	Facilita a ação enzimática.	carnes, ovos, leite	anemia e alterações neurológicas
<b>Ácido fólico</b>	Essencial para a produção de glóbulos brancos e hemácias.	vegetais de folhas verdes, fígado, carnes, levedura	anemia
<b>C</b>	Antioxidante, promove a cicatrização e a síntese de certas proteínas.	frutas cítricas	escorbuto
<b>D</b>	Essencial para a absorção de cálcio e fósforo.	exposição à luz solar, consumo de peixes	raquitismo
<b>E (tocoferóis)</b>	Antioxidante, combate espécies reativas de oxigênio.	sementes oleaginosas, folhas verdes, leite, abacate	esterilidade
<b>K</b>	Essencial para a síntese de substâncias relacionadas à coagulação.	folhas verde-escuras, abacate, kiwi, carnes, ovos	hemorragias

## Sais minerais

Ingeridos com a água e com os alimentos, os sais minerais têm funções relacionadas tanto à estrutura do organismo quanto à regulação geral dos processos orgânicos. Por exemplo, cálcio e fósforo fazem parte do esqueleto dos vertebrados, com papel estrutural. Ao mesmo tempo, o cálcio é fundamental para a contração muscular, e o fósforo faz parte do ATP, uma molécula envolvida na transferência de energia em todos os seres vivos. Assim, de maneira geral, esses sais atuam em diversos níveis no organismo.

Os sais minerais dissolvidos se encontram na forma de íons. Sódio, potássio, cloro, fosfato e cálcio estão presentes em grandes quantidades nos organismos. Em quantidades menores são encontrados o ferro, o magnésio e o iodo, entre outros.

O ferro é utilizado pelas moléculas de hemoglobina (presente nas hemácias) no transporte de gás oxigênio, enquanto o magnésio faz parte da clorofila (molécula responsável pela fotossíntese).

O iodo, por sua vez, armazenado na glândula tireoide (localizada na região do pescoço), é utilizado na produção de hormônios responsáveis pela regulação de muitas funções orgânicas.

Quando o iodo não é ingerido em quantidade suficiente, a tireoide diminui a produção de seus hormônios, prejudicando o desenvolvimento físico e mental em jovens e o funcionamento do corpo em adultos. Um sintoma dessa deficiência é o aumento do tamanho da glândula, perceptível pela dilatação do pescoço – uma condição popularmente conhecida como bócio.

Atualmente, o iodo é adicionado ao sal de cozinha destinado ao consumo humano, o que é uma forma de evitar os problemas decorrentes da falta desse mineral.

O quadro a seguir resume algumas das funções dos sais minerais.

### ATIVIDADES

6. O arroz com feijão – prato típico da dieta brasileira que nas últimas décadas tem perdido espaço para o *fast-food* e os alimentos industrializados – é rico em ferro e zinco. Sobre esses sais minerais, responda às questões abaixo.

- Exemplifique os problemas que a ausência de ferro na nossa dieta pode causar ao organismo.
- Explique por que a digestão de uma pessoa com deficiência em zinco pode ser prejudicada.

Sal mineral	Fontes naturais	Função
<b>cálcio (Ca)</b>	vegetais verde-escuros, leite e derivados	Componente de ossos e dentes; participa da contração muscular; promove a coagulação sanguínea e a transmissão dos impulsos nervosos.
<b>fósforo (P)</b>	peixes, carnes, aves, leite e derivados, cereais e legumes	Componente de ossos e dentes; faz parte de moléculas-chave como DNA e ATP.
<b>potássio (K)</b>	verduras, frutas, leguminosas, leite e carnes	Regula a pressão arterial; participa da transmissão do impulso nervoso, do equilíbrio hídrico, da contração muscular e da síntese de glicogênio e de proteínas do metabolismo energético.
<b>sódio (Na)</b>	sal de cozinha	Participa da regulação do equilíbrio hídrico, da transmissão do impulso nervoso e do relaxamento muscular.
<b>cloro (Cl)</b>	sal de cozinha	Manutenção do equilíbrio hídrico.
<b>magnésio (Mg)</b>	cereais, vegetais e frutas	Participa da contração muscular.
<b>ferro (Fe)</b>	vegetais verde-escuros, fígado, carnes, leguminosas	Compõe a hemoglobina e outros pigmentos respiratórios, transportadores de gás oxigênio.
<b>zinco (Zn)</b>	carnes, fígado, ovos, mariscos e cereais	Cofator de várias enzimas da digestão e de hormônios.
<b>cobre (Cu)</b>	fígado, mariscos, nozes e leguminosas	Cofator de enzimas que metabolizam a hemoglobina.
<b>iodo (I)</b>	peixes, frutos do mar e sal iodado	Componente dos hormônios da glândula tireoide.
<b>flúor (F)</b>	água fluorada	Mantém a estrutura óssea e o esmalte dos dentes.
<b>cromo (Cr)</b>	cereais integrais, levedo de cerveja e carnes	Atua no metabolismo energético e da glicose.
<b>selênio (Se)</b>	mariscos, carnes, fígado, cereais e leguminosas	Componente de ossos, dentes e outros tecidos. Atua na síntese de hormônios e na motilidade dos espermatozoides.
<b>manganês (Mn)</b>	cereais, frutas e verduras	Ativa enzimas que convertem glicose em energia.
<b>molibdênio (Mo)</b>	cereais integrais, leguminosas e leite	Facilita a ação enzimática.

# Introdução ao estudo dos ácidos nucleicos

O termo **ácido nucleico** deriva do caráter ácido dessas moléculas e por elas terem sido isoladas, primeiramente, a partir de material do núcleo celular. Os ácidos nucleicos relacionam-se, principalmente, à síntese de proteínas e ao armazenamento e transmissão de informações hereditárias. Esse tema é discutido em detalhes no capítulo 11 (este capítulo apresenta apenas sua estrutura).

## O DNA e o RNA

São encontrados dois tipos de ácidos nucleicos nas células.

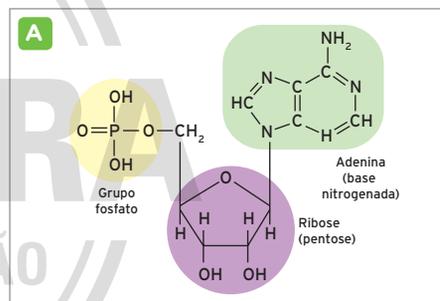
- **Ácido desoxirribonucleico**, ou **DNA** (do inglês *deoxyribonucleic acid*), uma molécula muito longa, geralmente formada por duas cadeias (ou fitas) unidas.
- **Ácido ribonucleico**, ou **RNA** (do inglês *ribonucleic acid*). Embora o RNA também seja uma molécula longa, ela é menor que a do DNA e, em geral, é formada por uma única cadeia. As moléculas de RNA são encontradas mais dispersas, tanto no núcleo quanto no citoplasma, e tendem a ser mais abundantes que as de DNA.

## Nucleotídios

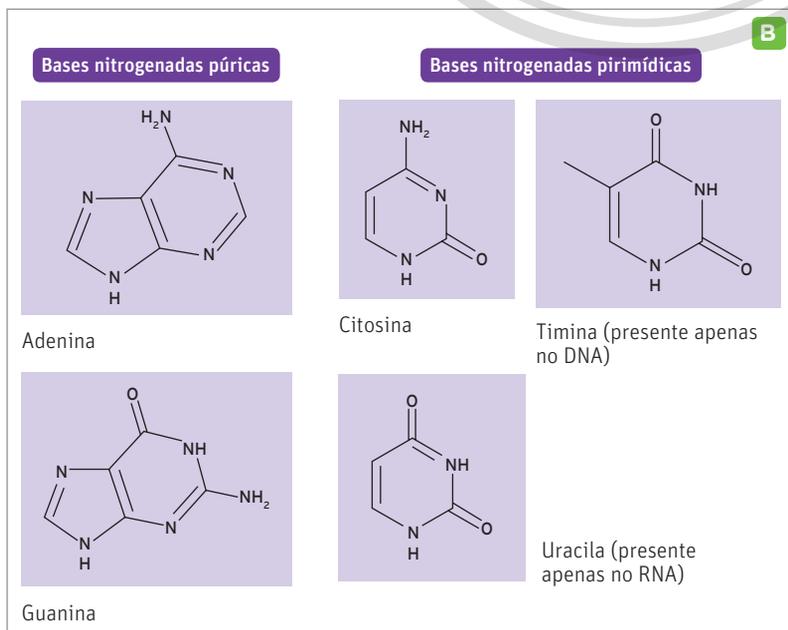
Tanto o DNA como o RNA são formados por moléculas menores, encadeadas, chamadas **nucleotídios** (imagem A). Cada nucleotídio é composto de três elementos: uma **base nitrogenada**, uma **pentose** (carboidrato com cinco átomos de carbono) e um **grupo fosfato**.

As bases nitrogenadas podem ser divididas em dois grupos: **púricas** ou **purinas** e **pirimídicas** ou **pirimidinas** (imagem B). No grupo das purinas estão a **adenina** (A) e a **guanina** (G). As pirimidinas são a **citocina** (C), a **timina** (T) e a **uracila** (U). Adenina, guanina e citocina estão presentes tanto no DNA como no RNA. A timina ocorre apenas no DNA, enquanto a uracila só ocorre no RNA.

A pentose presente em cada tipo de ácido nucleico também é diferente. No RNA a pentose é a ribose; já no DNA, a pentose é a desoxirribose.



Representação da estrutura molecular de um nucleotídio, com sua base nitrogenada (verde), pentose (lilás) e grupo fosfato (amarelo). Cores-fantasia.



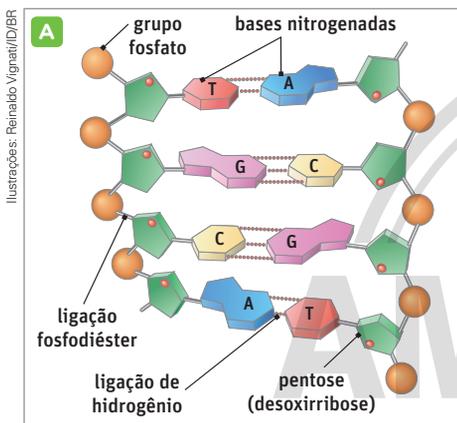
Representação da estrutura molecular das bases nitrogenadas púricas e pirimídicas que compõem os ácidos nucleicos.

## Estrutura espacial do DNA

Os nucleotídeos de cada fita são unidos por ligações chamadas **fosfodiéster**. Assim como acontece com as proteínas, a sequência de nucleotídeos corresponde à estrutura primária da molécula de DNA.

A estrutura secundária corresponde ao enrolamento das fitas em uma disposição helicoidal (chamada **dupla-hélice**).

As fitas duplas do DNA têm outro tipo importante de arranjo espacial. As bases nitrogenadas das fitas formam pares específicos (imagem **A**). Se numa fita existe uma adenina em certa posição, na outra fita, em posição correspondente, há uma timina. E, se em uma fita há uma citosina numa posição, há uma guanina na posição correspondente da outra fita. Dessa maneira, ocorre o **pareamento das bases**, que leva à formação dos pares **AT** e **GC** entre as fitas. As bases que formam pares são denominadas bases complementares. A complementaridade e o pareamento de bases estão relacionados à conformação espacial de dupla-hélice e a certas propriedades do DNA.



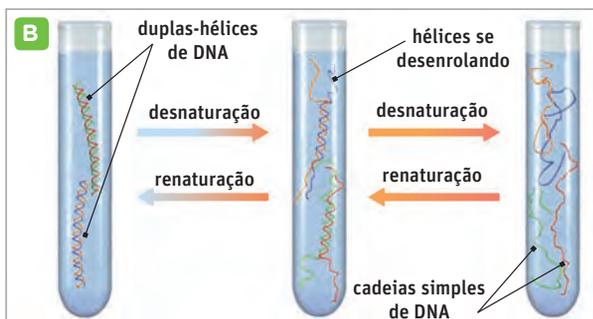
Esquema de molécula de DNA conforme o modelo de dupla-hélice. Note as pentoses, ligadas entre si pelo grupo fosfato, e, no centro, as bases nitrogenadas, unidas por ligações de hidrogênio. Cores-fantasia.

Fonte de pesquisa: REECE, J. B. et al. *Campbell Biology*. 10. ed. [S.l.]: Pearson, 2014. p. 85.

## Desnaturação e hibridização do DNA

Como as proteínas, o DNA também pode ser desnaturado quando submetido a temperaturas elevadas e a variações de pH. Assim, o DNA em ambiente neutro e à temperatura ambiente (aproximadamente 25 °C) forma soluções bastante viscosas. Essa viscosidade diminui muito quando a solução é aquecida a 90 °C, o que indica uma mudança estrutural no DNA. Essa desnaturação pode ser **reversível**.

De fato, a desnaturação provoca ruptura das ligações de hidrogênio que mantêm as fitas unidas, e as fitas tendem a desprender-se umas das outras. No entanto, as ligações entre nucleotídeos de uma mesma fita não são alteradas. Por isso, há a possibilidade de reverter a desnaturação, abaixando-se a temperatura, por exemplo. Nesse caso, haverá um restabelecimento da fita dupla com o emparelhamento das bases, como estavam anteriormente (imagem **B**).



Esquema da desnaturação e renaturação do DNA. Cores-fantasia.

## ATIVIDADES

7. A análise de uma molécula de DNA indicou a presença de 28% de base nitrogenada adenina (A). É possível saber as porcentagens das demais bases nessa molécula? E se fosse uma molécula de RNA? Justifique.
8. Uma técnica utilizada em laboratórios é denominada Reação em Cadeia da Polimerase, ou PCR (do inglês *Polymerase Chain Reaction*). Essa técnica permite copiar inúmeras vezes um trecho de DNA que se pretende estudar. Contudo, as cópias são inicialmente obtidas de cadeias simples de DNA, e não de duplas-hélices, como encontrado nos seres vivos.
  - a) Explique como pode ser feita a conversão de duplas-hélices de ácido desoxirribonucleico em cadeias simples (cadeias únicas de nucleotídeos) e dê o nome desse processo.
  - b) O processo mencionado no item **a** ocorre em outro tipo de moléculas. Qual?
  - c) Que tipo de ligação química é rompida durante a transição de dupla-hélice para cadeia simples?

## Intolerância à lactose

Intolerância à lactose é o nome que se dá à incapacidade parcial ou completa de digerir o açúcar existente no leite e seus derivados. Ela ocorre quando o organismo não produz, ou produz em quantidade insuficiente, uma enzima digestiva chamada lactase, que quebra e decompõe a lactose, ou seja, o açúcar do leite.

Como consequência, essa substância chega ao intestino grosso inalterada. Ali, ela se acumula e é fermentada por bactérias que fabricam ácido lático e gases, promovendo maior retenção de água e o aparecimento de diarreias e cólicas.

É importante estabelecer a diferença entre alergia ao leite e intolerância à lactose. A alergia é uma reação imunológica adversa às proteínas do leite, que se manifesta após a ingestão de uma porção, por menor que seja, de leite ou derivados. A mais comum é a alergia ao leite de vaca, que pode provocar alterações no intestino, na pele e no sistema respiratório (tosse e bronquite, por exemplo). [...]

Pesquisas mostram que 70% dos brasileiros apresentam algum grau de intolerância à lactose, que pode ser leve, moderado ou grave, segundo o tipo de deficiência apresentada.

### Tipos

- 1) Deficiência congênita – por um problema genético, a criança nasce sem condições de produzir lactase (forma rara, mas crônica);
- 2) Deficiência primária – diminuição natural e progressiva na produção de lactase a partir da adolescência e até o fim da vida (forma mais comum);
- 3) Deficiência secundária – a produção de lactase é afetada por doenças intestinais, como diarreias, síndrome do intestino irritável, doença de Crohn, doença celíaca, ou alergia à proteína do leite, por exemplo. Nesses casos, a intolerância pode ser temporária e desaparecer com o controle da doença de base.

[...] Os sintomas da intolerância à lactose se concentram no sistema digestório e melhoram com a interrupção do consumo de produtos lácteos. Eles costumam surgir

VARELLA, Drauzio. Disponível em: <<http://drauziovarella.com.br/letras/l/intolerancia-a-lactose/>>. Acesso em: 26 fev. 2016.

minutos ou horas depois da ingestão de leite *in natura*, de seus derivados (queijos, manteiga, creme de leite, leite condensado, requeijão, etc.) ou de alimentos que contêm leite em sua composição (sorvetes, cremes, mingaus, pudins, bolos, etc.). Os mais característicos são distensão abdominal, cólicas, diarreia, flatulência (excesso de gases), náuseas, ardor anal e assaduras, estes dois últimos provocados pela presença de fezes mais ácidas. Crianças pequenas e bebês portadores do distúrbio, em geral, perdem peso e crescem mais lentamente.[...]

A intolerância à lactose não é uma doença. É uma carência do organismo que pode ser controlada com dieta e medicamentos. No início, a proposta é suspender a ingestão de leite e derivados da dieta a fim de promover o alívio dos sintomas. Depois, esses alimentos devem ser reintroduzidos aos poucos até identificar a quantidade máxima que o organismo suporta sem manifestar sintomas adversos. Essa conduta terapêutica tem como objetivo manter a oferta de cálcio na alimentação, nutriente que, junto com a vitamina D, é indispensável para a formação de massa óssea saudável. [...]



Leite e alguns de seus derivados, alimentos ricos em lactose.

### PARA DISCUTIR

1. De acordo com o texto, ocorre uma diminuição natural e progressiva na produção de lactase a partir da adolescência (deficiência primária). Explique por que essa diminuição na produção de lactase é um processo pouco prejudicial ao ser humano.
2. Lactobacilos são bactérias produtoras de enzimas que transformam a lactose em ácido lático, obtendo energia nesse processo. Assim, eles se nutrem da lactose presente no leite. Algumas espécies de lactobacilos são usadas na produção de queijos e iogurtes. Portadores de intolerância à lactose podem consumir derivados de leite produzidos com esse tipo de lactobacilos? Há vantagens no consumo desses produtos? Quais?

# A origem da vida

## O QUE VOCÊ VAI ESTUDAR

Teorias sobre a origem do Sistema Solar e do planeta Terra.

Geração espontânea e biogênese.

Teorias sobre a origem da vida no planeta Terra.

Características fundamentais de um ser vivo.

Hipóteses sobre o tipo de nutrição dos primeiros seres vivos.

Evolução do núcleo, das mitocôndrias e dos cloroplastos nas células eucarióticas.



semmie/Stock/Getty Images

Fonte geotérmica no Parque Nacional de Yellowstone, estado de Wyoming, Estados Unidos (2015). O lago, com cerca de 90 m de diâmetro e 50 m de profundidade, é alimentado por águas cujas temperaturas podem ultrapassar 70 °C, devido à atividade vulcânica no subsolo. As cores no terreno ao redor correspondem a minerais depositados e a uma variedade de microrganismos presentes em cada área, seres que podem suportar temperaturas acima de 55 °C, consideradas letais para a maioria dos organismos. Em muitos aspectos, esse ambiente e os seres que o habitam são similares aos que devem ter existido há bilhões de anos.

Ao longo da história da humanidade, diversas hipóteses têm sido propostas para explicar a origem do Universo e dos seres vivos.

Cientistas ou não, as pessoas sempre quiseram saber como surgiram e se desenvolveram o Universo e os corpos celestes que dele fazem parte, como as estrelas, os planetas e os cometas. Além disso, consideraram importante conhecer como surgiram os objetos celestes e os fenômenos diretamente associados a nós, como a Via Láctea, o Sistema Solar, a Terra e, por fim, a vida.

O presente capítulo aborda algumas das explicações para a origem da vida, com destaque para trabalhos científicos recentes que propuseram explicações sobre o processo de formação de organismos a partir de moléculas simples, como o gás carbônico (CO<sub>2</sub>), a amônia (NH<sub>3</sub>) e a água (H<sub>2</sub>O).

## A origem da matéria e da vida

A teoria mais aceita atualmente pela comunidade científica sobre as condições iniciais e as fases de desenvolvimento do Universo é a teoria da Grande Explosão ou teoria do Bigue-Bangue. Segundo ela, o Universo estava originalmente concentrado em um volume extremamente pequeno, com densidade e temperatura altíssimas. Em algum momento, há cerca de 15 bilhões de anos, teve início um processo de expansão que deu origem ao tempo, ao espaço e à matéria. Esse processo de expansão deve ter envolvido liberação repentina de grande quantidade de energia, por isso a popularização do nome “Grande Explosão”. A sucessão de alguns acontecimentos ocorridos a partir desse evento, determinando o estado atual do Universo, está resumida no quadro ao lado.

Embora a origem do Sistema Solar ainda seja alvo de investigações, é provável que nosso sistema planetário tenha surgido de uma gigantesca nuvem interestelar. A maior parte da massa dessa nuvem formou o Sol, enquanto o movimento de rotação da nuvem provocou a formação de discos protoplanetários, onde agregados de poeira e gás originaram os planetas que hoje conhecemos.

## A formação da Terra

Algumas evidências indicam que a Terra se originou há aproximadamente 4,5 bilhões de anos, no mesmo período em que se formou o restante do Sistema Solar. No princípio, a Terra era uma esfera incandescente com a superfície fundida. Lentamente ela foi perdendo calor, o que levou à solidificação da crosta. Há aproximadamente 750 milhões de anos existia um supercontinente chamado Pangeia (imagem A). Movimentos de placas litosféricas há cerca de 65 milhões de anos provocaram a divisão da Pangeia nos continentes que existem hoje.

## Os primeiros seres vivos

Diversas pesquisas indicam que os primeiros vestígios de vida conhecidos foram produzidos por bactérias fotossintetizantes, cuja atividade pode ter provocado a precipitação de carbonato de cálcio e outros sedimentos marinhos, formando as estruturas conhecidas como **estromatólitos** (imagens B e C). Na Austrália foram encontrados estromatólitos estimados em cerca de 3,5 bilhões de anos. Apesar de algumas pesquisas levantarem dúvidas sobre o caráter biológico dessas estruturas, outros vestígios de bactérias também foram encontrados nas mesmas formações.

Outras hipóteses consideram que os mais antigos fósseis de bactérias foram formados em uma área pertencente ao atual Canadá, há 1,9 bilhão de anos.

Mesmo tão antigos, porém, os estromatólitos podem não representar exatamente os primeiros seres vivos que existiram na Terra. É possível que a vida tenha surgido antes ainda, por volta de 3,8 bilhões de anos, a partir de formas de vida desprovidas de estrutura celular, que já estaria presente nas bactérias.

Segundo a teoria científica mais aceita, processos ocorridos sob determinadas condições atmosféricas e geológicas da Terra primitiva teriam produzido as primeiras moléculas orgânicas. Parte delas teria formado unidades isoladas capazes de reproduzir-se e comportar-se como entidades vivas. No entanto, é importante ressaltar que, assim como toda teoria científica, essas teorias estão sujeitas a revisões.

### Alguns acontecimentos na história da evolução do Universo

Idade do Universo	Evento
$< 10^{-44}$ segundo	Bigue-Bangue.
$10^{-32}$ segundo	Universo se expande rapidamente.
3 minutos	Prótons e elétrons interagem e formam nêutrons. Todos os átomos encontram-se ionizados.
1 bilhão de anos	Formação das galáxias.
10 bilhões de anos	Formação do Sistema Solar.

Fonte de pesquisa: Instituto de Física - Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Disponível em: <<http://www.if.ufrgs.br/fis02001/aulas/cosmo3.html>>. Acesso em: 27 fev. 2016.



Representação do supercontinente Pangeia. As linhas marrons indicam aproximadamente os contornos dos continentes atuais. Cores-fantasia.



(B) Vista externa de estromatólitos na Austrália (cerca de 35 cm de largura). (C) Estromatólito cortado, mostrando sua estrutura interna.

## Primeiras ideias sobre a geração dos seres vivos

A **biogênese** (do grego *bios*, “vida”, e *genesis*, “origem”) é a ideia, aceita atualmente pela ciência, de que todo ser vivo provém, por meio da reprodução, de outro ser vivo semelhante. Já a **abiogênese** pressupõe que seres vivos poderiam ser originados a partir de substâncias ou materiais não vivos. Nesse caso, haveria seres vivos que não teriam progenitores, já que não teriam se originado por reprodução.

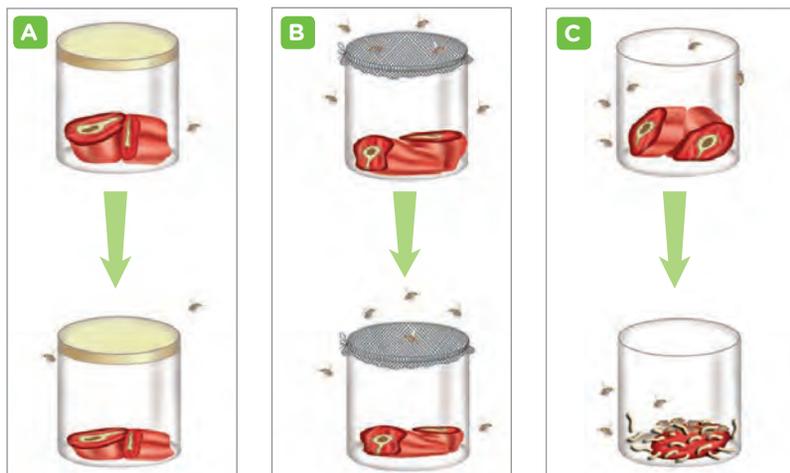
A **geração espontânea**, que em alguns casos poderia ser considerada uma forma de abiogênese, foi aceita durante muito tempo, desde a Antiguidade. A geração espontânea ocorreria tanto a partir de substâncias inorgânicas existentes no ambiente como a partir de restos de animais ou plantas – o segundo caso era conhecido, nos séculos XVIII e XIX, como heterogênese.

Aristóteles acreditava que a maior parte dos animais, como os ratos, fosse gerada de progenitores semelhantes a eles. No entanto, ele considerava que alguns animais podiam ser gerados espontaneamente, como as enguias, as ostras e certos insetos. Isso aconteceria a partir de restos de vegetais ou de animais em decomposição na água do mar ou mesmo no interior do corpo de outros animais.

A geração espontânea de animais como moscas permaneceu aceita por vários estudiosos que se seguiram a Aristóteles. No século XVII, essa ideia foi submetida a testes experimentais pelo italiano Francesco Redi (1626-1697). Nos experimentos, Redi colocou pedaços de carne em três frascos. Em seguida, fechou um deles com uma tampa, cobriu outro com um pedaço de gaze e deixou o terceiro aberto. As moscas eram assim impedidas de entrar nos frascos fechados, mas entravam livremente no frasco aberto. Após alguns dias, Redi observou a presença de larvas apenas nesse terceiro frasco (imagens abaixo). Com esses experimentos, Redi mostrou que as larvas existentes na carne em decomposição não eram geradas espontaneamente, mas nasciam de ovos colocados por organismos já existentes (as moscas adultas).

Embora os experimentos de Redi tenham enfraquecido a crença na geração espontânea, essa ideia continuou sendo aceita. O próprio Redi, por exemplo, acreditava na geração espontânea dos vermes intestinais.

No século XVIII, observações feitas com microscópios revelaram a existência de diversos seres microscópicos. A discussão sobre sua origem – se teriam progenitores, ou se seriam gerados espontaneamente em matéria em decomposição – alimentou diversas controvérsias científicas.



Ilustrações: Studio Lettera/IDBR

### Epigênese e pré-formação

O famoso médico britânico William Harvey (1578-1657) acreditava que a maioria dos animais era gerada por reprodução. No entanto, ele aceitava a ocorrência da geração espontânea em animais que considerava inferiores, como vermes intestinais.

Harvey acreditava que os embriões tinham origem em uma matéria indiferenciada e homogênea, que se diversificava. Dela se formariam os órgãos sucessivamente, parte por parte. Essa explicação sobre o desenvolvimento foi chamada de **epigênese**.

Por outro lado, a ideia da **pré-formação** propunha que o embrião já estaria pré-formado no interior dos ovos ou dos espermatozoides. Ao alojar-se no útero da fêmea, o ovo ou o espermatozoide (dependendo da versão da teoria) seria nutrido e cresceria sem modificação de sua forma preestabelecida.

Devido a essas diferenças, aceitar a geração espontânea seria mais simples para um seguidor da epigênese do que para um seguidor do pré-formacionismo.

### ATIVIDADES

1. Imagine que, ao repetir o experimento de Redi, você observasse larvas de moscas também nos frascos fechados. Você concluiria que as larvas surgiram espontaneamente? Que outra hipótese, de acordo com a teoria da biogênese, você poderia formular para explicar esse resultado?

Representação do experimento de Redi, cujos resultados contestavam a teoria da geração espontânea. As larvas não aparecem nos frascos (A) e (B), onde as moscas não entram. Esses insetos estão presentes no frasco (C), único aberto. As setas verdes indicam a passagem do tempo. Cores- fantasia.

## As contribuições de Needham e Spallanzani

Um momento de importantes discussões sobre a geração dos seres vivos ocorreu na metade do século XVIII, envolvendo o **clérigo** inglês John Needham (1713-1781) e o estudioso italiano Lazzaro Spallanzani (1729-1799).

**Clérigo:** membro do clero.

Needham realizou um experimento no qual colocou caldo de carneiro bem quente em um frasco e o fechou com uma tampa de cortiça. O frasco então foi depositado sobre brasas quentes por alguns minutos, visando eliminar possíveis germes. Passados alguns dias, Needham percebeu que o caldo estava repleto de “glóbulos móveis” ou “animálculos”. Ele repetiu o mesmo procedimento utilizando urina, sangue e várias substâncias vegetais, obtendo o mesmo resultado.

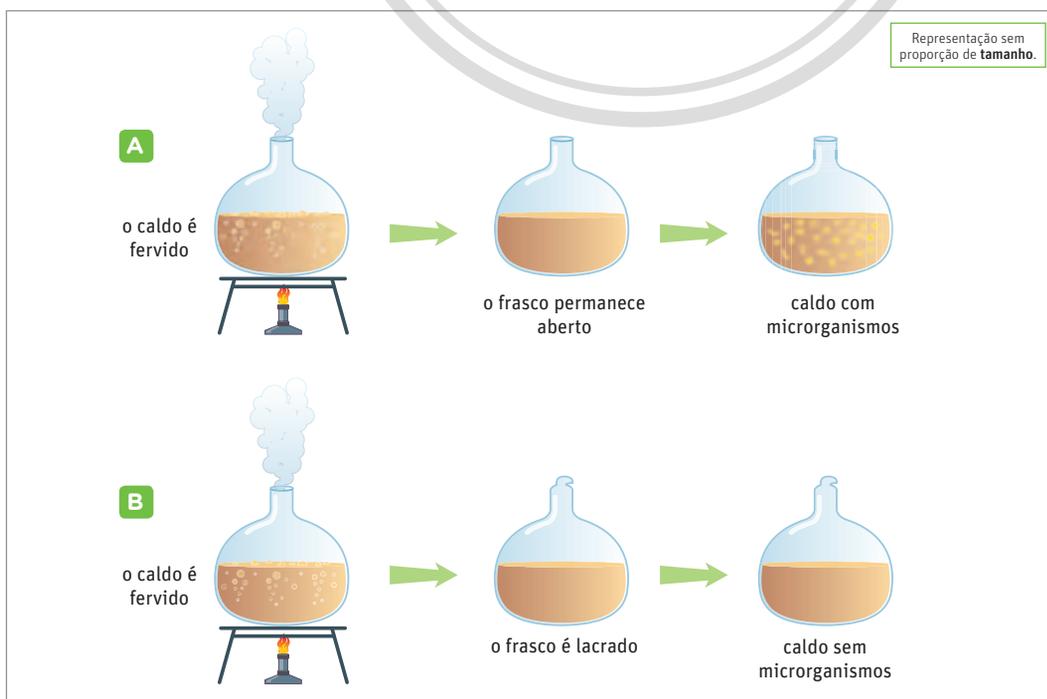
Diante dessas observações, Needham concluiu que os animálculos eram gerados espontaneamente e que a matéria orgânica das infusões possuía uma “força plástica” ou “vegetativa”, capaz de gerar seres vivos mais simples. Ele acreditava que um aquecimento maior das infusões destruiria essa força plástica.

Anos mais tarde, Spallanzani repetiu os experimentos de Needham adotando os mesmos procedimentos e inicialmente obteve os mesmos resultados. Porém, ele questionou alguns aspectos dos experimentos. Por exemplo, se o tempo de aquecimento teria sido suficiente para matar os germes presentes nas infusões, ou se a vedação dos frascos com a cortiça impediria a entrada de germes que estivessem no ar exterior.

Spallanzani fez os experimentos utilizando 19 frascos com infusões de animais e vegetais, que foram lacrados e fervidos durante 45 minutos (imagens abaixo), e constatou que não houve a produção de infusórios – nome dado aos seres que surgiam nas infusões.

Ele também realizou diversos experimentos comparativos vedando os frascos com tampas de diferentes materiais e expondo-os a tempos diferentes de fervura. Aparentemente, a presença de infusórios estava relacionada à entrada de ar que não havia sido aquecido. Spallanzani concluiu, então, que não havia geração espontânea dos infusórios.

Enquanto Spallanzani alegava que Needham havia aquecido pouco as infusões, Needham alegava que Spallanzani as havia aquecido em excesso, destruindo a força plástica, viciando o ar contido nos recipientes, o que impedia a geração. Como os experimentos das duas partes haviam sido cuidadosos, e na época não se conhecia a composição do ar nem se a fervura prolongada poderia alterá-la, era difícil decidir, do ponto de vista científico, quem estava com a razão.



Representação do experimento realizado por Spallanzani. Em (A), o frasco com caldo fervido permanece aberto, e microrganismos proliferam no caldo; em (B), o frasco foi fechado após a fervura, e microrganismos não proliferam no caldo. Cores-fantasia.

## Os trabalhos de Pouchet e Pasteur

Durante o século XIX, a forma como os primeiros seres vivos teriam surgido era considerada uma questão importante. Autores como Jean-Baptiste Lamarck (1744-1829) procuraram explicar a origem desses seres a partir de substâncias inorgânicas existentes no ambiente, sem a intervenção divina.

Em 1856, na França, o médico e naturalista Felix Archimède Pouchet (1800-1876) começou a publicar uma série de trabalhos em que apresentou os resultados de experimentos com organismos microscópicos, obtendo resultados favoráveis à geração espontânea deles. Em um desses experimentos, Pouchet colocou água fervida em um recipiente e fechou-o hermeticamente. Após a água esfriar, ele introduziu, no recipiente, oxigênio puro (produzido em laboratório) e feno, que havia sido aquecido em um forno à temperatura de 100 °C durante meia hora. Após uma semana, observou ao microscópio uma grande quantidade de seres vivos na mistura. Ele concluiu que esses seres haviam sido gerados espontaneamente.

Pouchet apresentou os resultados de seus experimentos na Academia de Ciências de Paris em uma época em que a ideia da geração espontânea estava enfraquecida, e a repercussão foi grande. Os procedimentos pareciam ter sido feitos com muito cuidado, e Pouchet era um cientista respeitado. Algumas das críticas aos experimentos afirmavam que os microrganismos observados poderiam ter vindo do ar, ou do próprio feno, apesar do aquecimento. Pouchet então repetiu os experimentos, obtendo os mesmos resultados.

Após três anos de pesquisas, Pouchet publicou um livro sobre o assunto. Sua principal conclusão era que, quando houvesse água, ar e alguma substância orgânica em decomposição submetidos a aquecimento prolongado e sem entrada de ar exterior, “pequenos animais” surgiriam.

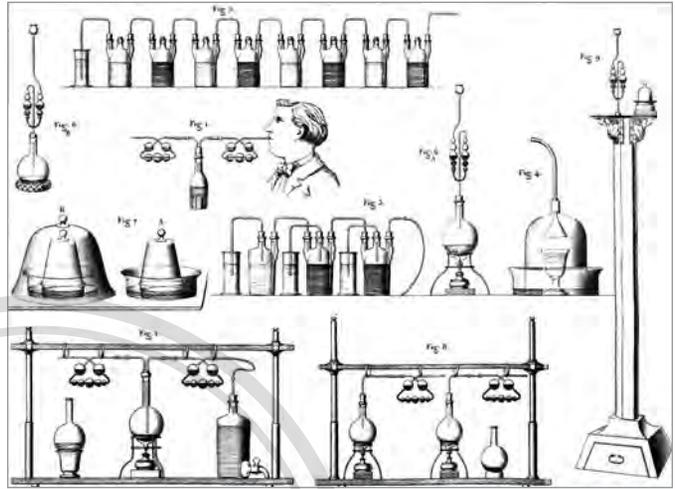
À época em que os trabalhos de Pouchet foram publicados, a origem da vida e das diferentes espécies de animais e vegetais não era um assunto científico, mas teológico. O tema também trazia implicações políticas, pois Igreja e Estado estavam associados. E, para a Igreja, a ideia de geração espontânea era considerada materialista e antibíblica.

Em 1859, o lançamento da obra *A origem das espécies*, de Charles Darwin (1809-1882), teve uma recepção bastante negativa na França. Apesar de não abordar a origem da vida, o livro foi considerado materialista e antirreligioso. Mas a repercussão da obra e os resultados obtidos nos experimentos de Pouchet levaram a Academia de Ciências de Paris a propor um prêmio de valor bastante alto à época (2 500 francos) para o melhor trabalho sobre o tema da origem da vida.

Foi nesse momento que Louis Pasteur (1822-1895), um jovem químico que estudava a cristalografia e a fermentação alcoólica, resolveu dedicar-se à questão. Na época, ele aceitava a intervenção de Deus na natureza, atacava o materialismo e era favorável ao governo monárquico vigente na França.

Pasteur fez vários experimentos utilizando água fervida com levedo de cerveja. Os resultados indicavam que, se os caldos não tivessem contato com o ar ambiente, não surgiriam microrganismos neles. Os microrganismos seriam introduzidos nos recipientes por germes, esporos ou ovos presentes no ar – porém ele não fez uma análise microscópica da poeira que pudesse indicar a presença daqueles organismos, nem repetiu os experimentos de Pouchet.

A partir de seus experimentos, Pasteur elaborou um trabalho com resultados contrários à geração espontânea para concorrer ao prêmio proposto pela Academia de Ciências de Paris. Pouchet, associado a dois colegas, também se inscreveu. Mas, ao perceber que a comissão designada pela Academia era totalmente contrária à ideia da geração espontânea, ele retirou seus trabalhos. Pasteur, candidato único, recebeu o prêmio em 1862.



Gravura de experimentos realizados por Felix Pouchet.

Acervo Universidade de Ghent., Bélgica. Fotografia: ID/BR

## Novos experimentos

Após ter submetido seu trabalho à Academia para concorrer ao prêmio, Pasteur fez outros experimentos. Preparou vários balões de vidro, enchendo-os com água de levedo de cerveja fervida e filtrada. Retirou o ar do interior dos balões e lacrou a abertura com a chama de um maçarico.

Em comunicação recentemente submetida à apreciação da Academia, demonstrei, por numerosas experiências [...], que é sempre possível obter, em determinado lugar, um volume significativo, mas limitado, de ar ordinário *que não tenha sofrido qualquer modificação física ou química* e que seja incapaz, porém, de provocar qualquer alteração em um líquido eminentemente putrescível. [...] Tenho a honra de entregar à Academia 73 balões, cada um com  $\frac{1}{4}$  de litro de capacidade, preparados conforme relatei em minha comunicação de 3 de setembro; quer dizer, eles se encontravam inicialmente sem ar e preenchidos até sua terça parte com água de levedo de cerveja filtrada límpida. Como se sabe, a água de levedo de cerveja é um líquido que se altera fortemente, pois basta expô-la ao ar ordinário dois ou três dias para ver crescer nela pequenos infusórios ou mucédineos [bolors] diversos.

PASTEUR, LOUIS. Suite a une précédente communication relative aux générations dites spontanées [Sequência de uma comunicação anterior referente às gerações ditas espontâneas]. *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences de Paris*, v. 51, p. 675-678, 1860.

Pasteur percebeu que, enquanto os balões estavam fechados, não surgiam microrganismos. Então, ele abriu esses balões em diferentes altitudes – a mais alta sendo de 2 000 m – deixando o ar entrar; a seguir, lacrou-os novamente com a chama do maçarico.

Após alguns dias, Pasteur observou os caldos ao microscópio e percebeu que, quanto maior a altitude, menor era a quantidade de microrganismos. Esses resultados ainda contrariavam a ideia da geração espontânea.

Para Pouchet e seus colegas, todos os balões utilizados por Pasteur deveriam ter se contaminado. Eles repetiram o experimento utilizando água de feno fervida e filtrada em altitudes 1 000 m mais elevadas que aquelas em que Pasteur realizou seus trabalhos. Utilizaram 12 balões, mas quatro se quebraram. Constataram que todos os oito restantes se contaminaram. Seus resultados, portanto, confirmavam a hipótese da geração espontânea.



BSIP/JIG/Getty Images

Balões de vidro utilizados por Louis Pasteur em seus experimentos sobre geração espontânea.

Diante disso, propuseram que os experimentos fossem repetidos diante de uma comissão nomeada pela Academia de Ciências. Pasteur concordou. No entanto, a comissão, contrária à ideia da geração espontânea, queria começar pelos experimentos de Pasteur, que corroboravam a posição da Academia. Apesar de não ficarem satisfeitos com esse procedimento, já que os primeiros resultados poderiam influenciar a opinião pública, Pouchet e seus colegas concordaram em participar. Mas, quando a comissão resolveu permitir que Pasteur utilizasse seu material antigo, em vez de repetir os experimentos nas montanhas, eles se retiraram, protestando em nome da Ciência.

A Academia repetiu apenas alguns experimentos de Pasteur, obtendo os mesmos resultados, mas não tornou a fazer os experimentos de Pouchet. No entanto, o diretor do Museu de História Natural de Paris colocou um laboratório da instituição à disposição de Pouchet e seus colegas, que reproduziram com sucesso seus experimentos, diante de testemunhas. A Academia de Ciências de Paris, contudo, ignorou esses resultados.

Sob o ponto de vista científico, os experimentos realizados por ambas as partes foram bem concebidos e levavam a conclusões opostas. A ciência da época não tinha uma explicação para o que havia ocorrido. Assim, da perspectiva puramente científica, a questão estava em aberto. Percebe-se, portanto, que o que levou a Academia de Ciências de Paris a dar ganho de causa a Pasteur não foram evidências científicas geradas pelos experimentos, mas sim interesses pessoais da Academia.

### PARA DISCUTIR

1. Imagine que você vivesse no século XIX, na França, à época em que Pouchet e Pasteur fizeram seus experimentos. Você tomaria partido de um deles? Justifique.
2. Você considera que os procedimentos adotados pela Academia de Ciências de Paris em relação ao assunto esclareceram a questão? Caso contrário, sugira outros procedimentos e experimentos que poderiam ajudar a esclarecer a questão na época da controvérsia.

## Primeiras ideias sobre a origem da vida

Diante da grande aceitação da biogênese, a compreensão de como a vida teria se originado na Terra passou a ser um importante tema da Biologia.

As pesquisas sobre a origem da vida começaram no final do século XIX. O naturalista alemão Ernst Haeckel (1834-1919, imagem A) acreditava na existência de um organismo ainda mais simples do que os unicelulares, constituído por matéria sem organização celular (protoplasma). Em 1866, ele chamou esses seres de “moneras”, termo cujo significado foi alterado ao longo do tempo.

Nessa época, em que a biogênese já era amplamente aceita, Haeckel propôs que as substâncias constitutivas desse protoplasma poderiam reunir-se e compor, espontaneamente, formas primordiais de vida. Ele acreditava que esse processo não era tão raro a ponto de ter acontecido apenas no passado, podendo acontecer também tanto no presente quanto no futuro.

A ideia da origem de seres vivos com base em substâncias químicas simples estava lançada, mas necessitava de alguma evidência. Haeckel afirmou que essas evidências não eram encontradas devido ao fato de, uma vez formados, os acelulares serem ingeridos por microrganismos celulares do mesmo ambiente. Em sua visão, o processo de “nascimento” dos moneras deveria ocorrer então em regiões isoladas, protegidas por longo período de tempo e distantes dos predadores.

### A “descoberta” dos moneras

O biólogo Thomas Huxley (1825-1895) aceitou a teoria de Haeckel e procurou evidências que a apoiassem. Com auxílio de microscópios, examinou amostras de lodo coletado nas regiões abissais do oceano e que estavam conservadas em álcool havia alguns anos. Em suas observações, Huxley afirmou ter encontrado massas de protoplasma que considerou serem os organismos descritos por Haeckel, designando-as pelo nome científico *Bathybius haeckelii* (imagem B).

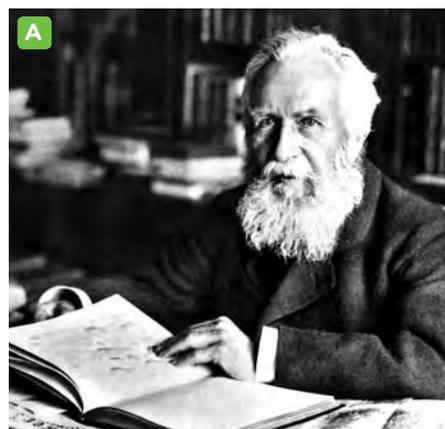
Apesar da “confirmação” dessa descoberta pelo exame de outras amostras conservadas, restava ainda observar tais organismos frescos, recém-coletados. Assim, amostras de lodo submarino foram examinadas por vários naturalistas a bordo de navios oceanográficos, mas nenhum exemplar do *Bathybius* foi encontrado.

Então, após analisar as amostras que supostamente continham o *Bathybius*, o biólogo escocês John Murray (1841-1914) revelou que as massas protoplasmáticas eram, na verdade, um precipitado de natureza inorgânica produzido pela reação entre o lodo e o álcool.

Huxley acatou esses resultados e reconheceu seu erro de avaliação, mas Haeckel manteve sua teoria, e continuou acreditando na existência dos moneras.

A história da descrição do *Bathybius* e sua posterior refutação é um bom exemplo de como o conhecimento científico é uma construção coletiva, formada pelo conjunto dos trabalhos de vários cientistas. Essa construção não é necessariamente harmoniosa e cumulativa; ao contrário, muitas vezes é permeada de conflitos e rupturas.

Como será visto mais adiante, neste capítulo, a suposição de que a matéria orgânica viva poderia provir de matéria inorgânica inerte seria retomada e desenvolvida no século XX por outros cientistas.



Ernst Haeckel, em foto de 1910.

Coleção Particular. Fotografia: ID/BR



Desenho de um precipitado inorgânico, confundido por Huxley com seres vivos primordiais. Posteriormente, John Murray comprovou o equívoco, mostrando que tais estruturas eram aglomerados de lodo.

Em: Jenaische Zeitschrift für Medizin und Naturwissenschaft. Jenaische Journal of Medicine and Science. Band 5, 1870. Plate. Fac-simile: ID/BR

### ATIVIDADES

2. A história da Ciência está repleta de casos em que descobertas e teorias, muitas vezes recebidas com entusiasmo pela comunidade científica, são posteriormente refutadas – como foi o caso da “descoberta” do *Bathybius haeckelii*. Em sua opinião, isso revela uma fragilidade do processo de construção do conhecimento científico? Justifique.

## A teoria da evolução molecular da vida

As teorias atualmente aceitas sobre o surgimento da vida na Terra consideram que moléculas orgânicas simples teriam sido sintetizadas na atmosfera primitiva da Terra e, então, acumuladas em pequenos corpos de água. Ali sofreriam novas reações e, gradativamente, estabeleceriam combinações entre si, formando moléculas mais complexas. Posteriormente, adquiririam propriedades rudimentares existentes nos seres vivos, formando os chamados **sistemas protobiológicos** de moléculas.

Dois cientistas, o russo Aleksandr Oparin (1894-1980) e o inglês John Haldane (1892-1964), foram os primeiros a propor, de forma independente, as bases científicas dessas teorias.

Ambos consideraram que, nos primórdios de sua formação, a Terra era um oceano de rocha líquida a altíssima temperatura, sem gás oxigênio e agitado por erupções vulcânicas e terremotos.

Ocasionais solidificações de rochas eram cobertas por novos derramamentos de lava ou destruídas pelo impacto de meteoritos e asteroides. Estes bombardeavam constantemente a Terra, contribuindo para a constituição da massa do planeta e também fornecendo carbono e água, componentes essenciais para a vida.

Dada a elevada temperatura, a água estava sempre sob a forma de vapor, que, atingindo as camadas superiores da atmosfera, se condensava e precipitava como chuva. Mas essa água líquida rapidamente evaporava e retornava para as nuvens. Esse ciclo de evaporação e condensação provocou chuvas torrenciais por milhões de anos durante o período conhecido como **Éon Hadeano**, que perdurou até aproximadamente 3,8 bilhões de anos atrás (imagem A).

No período geológico posterior, chamado **Éon Arqueano** (de 3,8 bilhões a 2,6 bilhões de anos atrás), a Terra foi resfriando, e uma crosta rochosa formou-se sobre a superfície incandescente de rochas fundidas (imagem B).

Também foi possível, a partir de certo grau de resfriamento, que a água líquida se acumulasse nas depressões da crosta, dando origem a oceanos, lagos e outros corpos de água.

Nessa época, a superfície do planeta era atingida por fortes descargas elétricas na forma de relâmpagos e por radiação ultravioleta de grande intensidade que atravessava a atmosfera – não havia ainda a camada de ozônio.

Essas condições seriam potencialmente favoráveis para o surgimento de moléculas orgânicas. Essas moléculas teriam se formado com base em compostos atmosféricos que continham carbono.

Sob tais condições, as moléculas reagiriam entre si, originando os primeiros compostos orgânicos graças à energia fornecida pelas descargas elétricas e pela radiação ultravioleta do Sol.

Uma vez formados na atmosfera, esses primeiros “blocos de construção” dos seres vivos seriam conduzidos pelas chuvas até a superfície, acumulando-se nos corpos de água primitivos e formando uma espécie de solução que ficou conhecida como **sopa** ou **caldo primordial**.

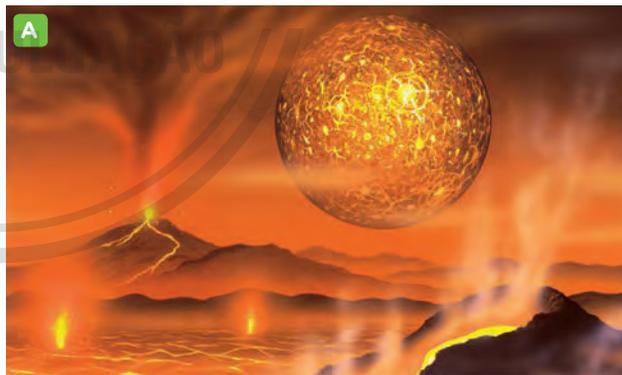
### LOGO BIOLOGIA SE DISCUTE

#### Uma nova abiogênese?

As teorias atuais que se propõem a elucidar a origem da vida na Terra podem ser consideradas tentativas de se recuperar as ideias sobre geração espontânea tal como era defendida pelos naturalistas do passado?

De fato, essas novas teorias procuram evidências de que os primeiros seres vivos se originaram de matéria desprovida de vida. Nesse sentido, há uma semelhança com a geração espontânea. Porém, para explicar essa origem, não é necessário recorrer a supostas forças vitais. Além disso, nas teorias recentes, considera-se que as condições da Terra antigamente eram bem diferentes das atuais, e eram propícias para o surgimento da vida.

Hoje se acredita que a estrutura e o metabolismo dos primeiros seres vivos seriam mais simples do que os dos seres atuais e, portanto, com maiores possibilidades de surgir de forma espontânea.



Richard Bizley/SPL/Latinstock



Christian Jegou PubliPhoto/SPL/Latinstock

Representações artísticas de paisagens terrestres durante os Éons Hadeano (A) e Arqueano (B). O astro presente no céu da imagem superior representa a Lua em sua formação. Cores-fantasia.

## As moléculas primordiais

Parte da teoria da evolução química da vida foi submetida a teste experimental por meio dos trabalhos dos estadunidenses Stanley Miller (1930-2007) e Harold Urey (1893-1981). Em 1953, eles construíram um aparelho com o objetivo de simular em laboratório as condições da Terra primitiva. Assim, poderiam verificar se seriam produzidas as moléculas orgânicas primordiais, que, segundo a teoria de Oparin e Haldane, se formaram nos primeiros estágios da evolução molecular da vida.

Na época em que Miller e Urey desenvolveram seus experimentos, já se sabia, com base em análises de rochas, que a atmosfera primitiva da Terra não possuía gás oxigênio. Assim, o ar no interior do aparelho construído por Miller e Urey foi retirado e substituído por uma mistura de água ( $H_2O$ ), gás metano ( $CH_4$ ), gás hidrogênio ( $H_2$ ) e amônia ( $NH_3$ ), os gases predominantes na atmosfera primitiva de acordo com a hipótese defendida por esses cientistas. Esses gases eram então submetidos a descargas elétricas de alta energia, simulando os raios que ocorriam em profusão durante as tempestades. Um frasco acoplado a uma fonte de calor fornecia vapor de água (veja a imagem abaixo).

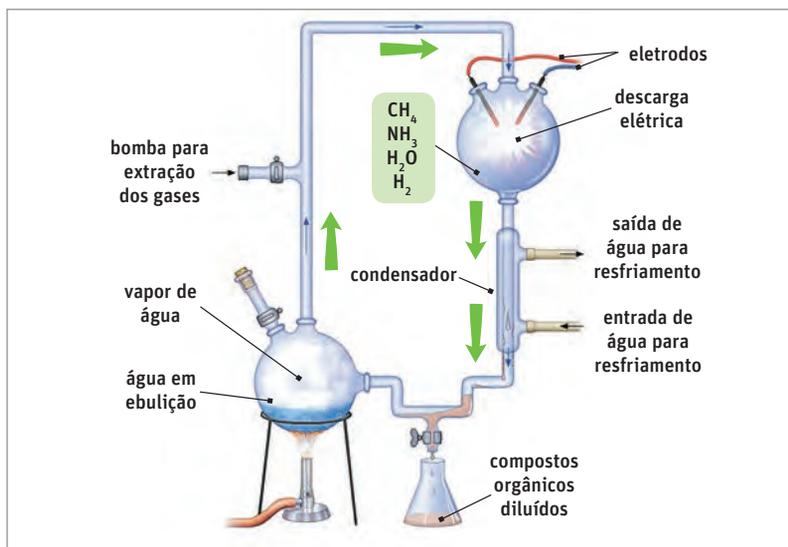
Circulando pelo aparelho, os gases sofriam resfriamento e condensavam-se, gerando uma espécie de chuva artificial e retornando, no estado líquido, ao fundo do recipiente. Após uma semana de repetição desse ciclo, o líquido formado, de início transparente, tornava-se avermelhado. As análises mostraram que ele continha uma série de substâncias orgânicas, sendo as mais importantes os aminoácidos, moléculas indispensáveis para a existência dos seres vivos e constituintes básicos das proteínas.

De fato, foram produzidos mais de vinte tipos de substâncias orgânicas. Além dos aminoácidos alanina e glicina, surgiram também o ácido fórmico, o ácido glicólico, o ácido lático, traços de ureia, dez ácidos orgânicos diversos e outras substâncias.

Os resultados dos experimentos de Miller foram recebidos com grande entusiasmo pela comunidade científica como um forte indício da validade da teoria da evolução molecular, já que era possível fabricar abiogeneticamente os “tijolos” básicos de construção da vida. Posteriormente, outros cientistas obtiveram resultados semelhantes ao realizar experimentos com dados mais recentes sobre as condições da Terra primitiva e sobre a composição de sua atmosfera.

### ATIVIDADES

3. Se a antiga ideia de pré-formação dos germes fosse atualmente sustentada por novos dados experimentais, ela poderia ser utilizada para negar que tenha ocorrido uma evolução molecular ou química da vida? Justique sua resposta e argumente contra ou a favor da sustentação científica da pré-formação.



Reinaldo Vignatti/DBR

Esquema ilustrando o experimento de Miller e Urey. As setas verdes indicam a circulação dos gases no interior do aparelho, que reproduz o processo de síntese de moléculas orgânicas utilizando os gases supostamente presentes na atmosfera primitiva. Cores-fantasia.

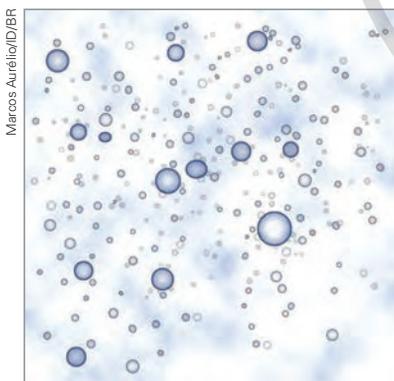
Fonte de pesquisa: RAVEN, P. et al. *Biology*. 10. ed. New York: McGraw-Hill, 2014. p. 64.

## A origem dos sistemas individualizados

Até aqui, verificamos como podem ter surgido as substâncias químicas primordiais dos seres vivos, nas condições ambientais supostamente predominantes na Terra primitiva. Agora, estudaremos as possíveis maneiras pelas quais os aglomerados de moléculas orgânicas poderiam ter adquirido duas propriedades biológicas fundamentais para serem considerados vivos: a **individualidade** e a **capacidade de replicação**, ou seja, de formar cópias de si mesmos.

A individualidade de um aglomerado de moléculas químicas é a capacidade de manter uma identidade distinta em relação ao meio que o circunda. Tal separação poderia ser realizada por uma **membrana**, assim como acontece nas células atuais. Isso permitiria que a composição do meio interno fosse diferente da composição do meio externo. Além disso, a membrana deveria permitir também o fluxo de substâncias entre os meios, possibilitando assim a ocorrência de diversas reações químicas necessárias à manutenção da vida. Essas reações, chamadas em conjunto de **metabolismo**, individualizam o sistema biológico de seu meio circundante. Quanto menos sujeito às modificações das condições externas estiver esse sistema, mais ele estará individualizado. Em resumo, se a individualidade biológica for considerada uma propriedade fundamental dos seres vivos, a origem dos primeiros organismos estará relacionada com a aquisição de uma membrana e com a ocorrência de metabolismo.

Em uma série de experimentos, o estadunidense Sidney Fox (1912-1998) produziu em laboratório, nas décadas de 1950 e 1960, sistemas de moléculas que exibiam tal individualidade. Ele obteve peptídios aquecendo misturas de aminoácidos e água a temperaturas relativamente altas. Esses peptídios se organizaram em estruturas esféricas dotadas de relativa estabilidade que Fox as designou **microsfersas proteinóides**. (imagem abaixo).



Representação sem proporção de tamanho.

Ilustração esquemática de microsfersas proteinóides produzidas por Sidney Fox. Cores-fantasia.

Examinadas sob microscópio eletrônico, com grande poder de aumento, foram encontradas semelhanças entre as microsfersas proteinóides e as células bacterianas simples. As microsfersas também apresentavam barreiras seletivas que controlavam a entrada, a saída e o deslocamento de substâncias no meio interno. Fox observou ainda que elas podiam se dividir e formar brotos, de modo semelhante ao que acontece com as leveduras (fungos presentes no fermento biológico). Muitas microsfersas também se movimentavam, um tipo de comportamento celular.

Dessa maneira, as microsfersas se mostraram uma importante peça do quebra-cabeça que é a teoria do surgimento e da evolução molecular da vida.

## LOGO BIOLOGIA SE DISCUTE

### Teoria da panspermia

As modernas teorias sobre a origem da vida consideram que todos os passos da evolução química da vida ocorreram exclusivamente na Terra. Contudo, é possível que todo o processo tenha ocorrido em um ambiente extraterrestre, ou que parte dele tenha se iniciado fora da Terra e depois se completado nas fases primordiais da formação do planeta. Essa teoria, chamada de panspermia (do grego *pan*, “todo”, e *sperma*, “semente”), considera que a vida estaria dispersa por todo o cosmo na forma de “sementes” capazes de gerar a vida. A chegada de algumas delas à Terra explicaria a origem da vida no planeta.

Essa teoria, existente desde a Antiguidade, foi apresentada nos tempos modernos sob muitas versões. Em 1865, o alemão Hermann Richter (1808-1876) apresentou a ideia de que os germes de vida poderiam ter chegado à Terra no interior de meteoritos, protegidos das bruscas mudanças de temperatura e das radiações letais existentes no espaço.

Em 1908, o químico sueco Svante Arrhenius (1859-1927) propôs que esporos bacterianos resistentes teriam atingido a Terra, sobrevivendo às condições extremas de radiação e de variação de temperatura no espaço. Uma das objeções à sua hipótese afirmava que as radiações existentes no espaço destruiriam qualquer forma de vida conhecida. Apesar dessa objeção, recentemente a hipótese foi renovada, tornando-se objeto de intensa pesquisa científica. Fred Hoyle (1915-2001) e Chandra Wickramasinghe (1939-) defenderam uma “nova panspermia”, segundo a qual os requisitos básicos para a existência da vida se encontrariam em nuvens moleculares de gás existentes no espaço.

1. Elabore uma crítica às teorias propostas por Richter e Arrhenius que não tenha sido apresentada no texto acima.

## A origem das moléculas informacionais e replicantes

Assim como a presença de uma estrutura celular, a **capacidade reprodutiva** é uma característica quase universal dos seres vivos. Podemos observar a reprodução tanto no plano da multiplicação dos organismos como no plano molecular, na replicação dos ácidos nucleicos. Diferentemente do que ocorre com as microsferas de Fox, nos dois casos a multiplicação está intimamente associada a duas outras propriedades: o **armazenamento de informação biológica** e a **transferência hereditária** dessas informações, ou seja, a transmissão delas de uma geração para outra. Uma molécula armazena, na forma de um “código”, informações que permitem a síntese de proteínas. Tais moléculas, capazes de se autorreplicar, são transmitidas à geração seguinte.

Os primeiros seres, portanto, seriam agregados ou **sistemas de moléculas replicantes**, como os atuais ácidos nucleicos (imagem **A**). Com essas moléculas, a vida não apenas teria início, mas também continuaria a existir no tempo e a evoluir. Com base nessa hipótese, os especialistas passaram a investigar quais seriam os mais simples tipos de moléculas capazes de armazenar informação biológica e de se replicar.

As células atuais realizam esses processos utilizando ácidos nucleicos e enzimas. O processo pode ser descrito como um ciclo: os ácidos nucleicos codificam a síntese de proteínas e, entre elas, estão enzimas que atuam na duplicação dos próprios ácidos nucleicos. Mas, se a vida só teve início com o aparecimento das moléculas informacionais e replicantes, cabe a pergunta: Quem teria aparecido primeiro, os ácidos nucleicos ou as enzimas?

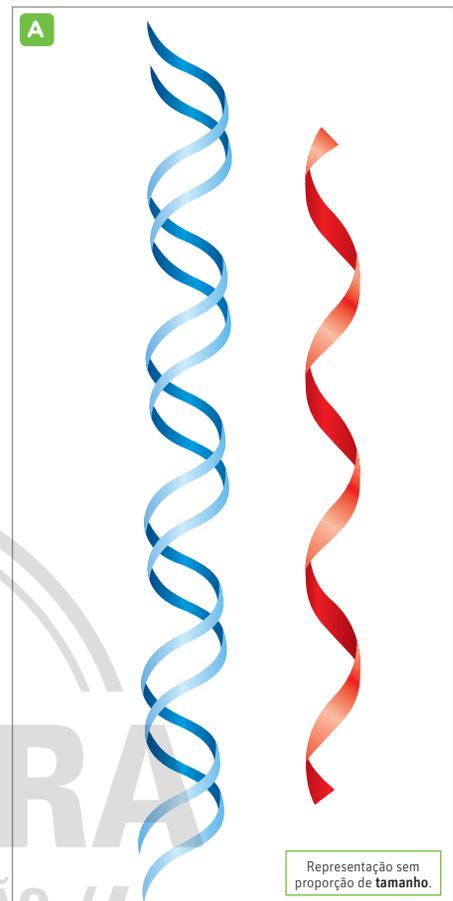
A tarefa principal passou a ser identificar uma molécula que poderia acumular as funções enzimáticas, de armazenamento de informações e de hereditariedade. Ela poderia ter constituído os primeiros seres vivos, muito mais simples do que os conhecidos hoje, e depois, através de modificações, desenvolvido estruturas cada vez mais complexas.

No final dos anos 1980, mostrou-se experimentalmente que moléculas de RNA poderiam se replicar sem a participação de enzimas. Surgiu, então, a hipótese de um “**mundo de RNA**”, no qual essas moléculas seriam intermediárias entre as substâncias inorgânicas e os primeiros seres vivos (imagem **B**), pois seriam capazes de se multiplicar e de transferir informação.

De acordo com essa hipótese, o próprio RNA deveria se formar abiotogenicamente nas condições primitivas. Entretanto, em experimentos que identificam moléculas formadas em condições similares às da Terra primitiva, a produção de ribose, um componente do RNA, é rara e insuficiente para sustentar essa ideia. Pesquisadores continuam procurando por outras moléculas com essa capacidade.

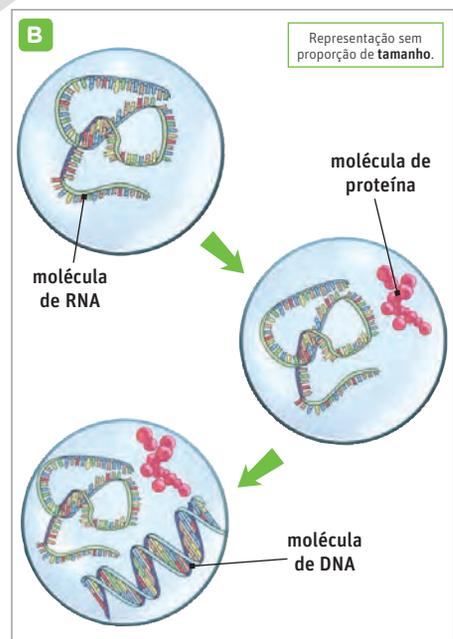
Pode-se dizer que atualmente vivemos em um “**mundo de DNA**”, pois a maioria dos seres vivos – e também os vírus – usam essa molécula para armazenar e transmitir informação genética de uma geração para outra (outros vírus, como o HIV, causador da aids, não têm moléculas de DNA; nesse caso, a informação é transmitida pelo RNA). Com base numa visão genética da vida, o sistema biológico mais fundamental é formado pela interação entre DNA, RNA e enzimas.

Representação da hipótese do “mundo de RNA”. Ela pressupõe que as moléculas de RNA surgiram antes das moléculas de DNA. Com base no RNA, outras moléculas teriam surgido, tais como o próprio DNA e as proteínas. Cores-fantasia.



Representação sem proporção de tamanho.

Ilustração esquemática de moléculas de DNA (em azul) e RNA (em vermelho). Cores-fantasia. Fonte de pesquisa: TORTORA et al. *Microbiologia*. 10. ed. Porto Alegre: Artmed, 2012. p. 289.



Representação sem proporção de tamanho.

## Equações químicas

Você está conseguindo ler este texto porque as letras e suas combinações fazem parte de um código conhecido, que faz parte da língua portuguesa.

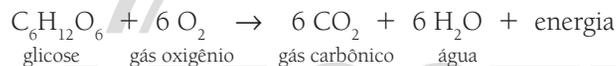
Outras linguagens também fazem parte da ciência, e podemos dizer que constituem uma forma de comunicação universal. Vamos tomar como exemplo a linguagem usada para descrever as reações químicas, isto é, as transformações da matéria que levam à formação de novas substâncias.

O quadro a seguir resume uma sequência de reações químicas muito conhecida e que ocorre na maioria dos seres vivos: a respiração aeróbia, assim chamada porque envolve a participação de gás oxigênio.



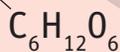
Da maneira como essa equação está escrita, conseguimos obter apenas as informações das substâncias existentes no início e no fim da reação e o estado físico de algumas delas. Mas você pode se perguntar: Por que a energia está representada à direita da seta? Quais átomos formam essas substâncias? Ou, ainda: Qual a proporção em que se apresentam?

Algumas dessas informações podem ser obtidas quando as reações são escritas usando a simbologia própria da Química. Observe:



A seta representa o sentido da reação: do lado esquerdo da seta são colocados os **reagentes**, as substâncias presentes no começo da reação; do lado direito da seta, ficam os **produtos**, as substâncias presentes no fim da reação. A energia liberada durante essa reação é representada do lado direito da equação. Cada substância é representada por uma fórmula química, um conjunto de letras e números. Observe a fórmula química da glicose e da água:

As letras correspondem aos símbolos dos elementos químicos que compõem a substância



Os números subscritos à direita da letra indicam quantos átomos daquele elemento químico existem em cada molécula dessa substância

A ausência de números subscritos à direita da letra indica que há apenas um átomo daquele elemento químico

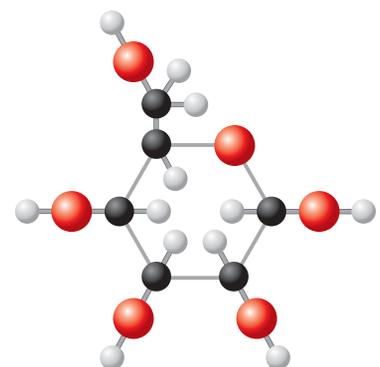
Uma molécula da substância glicose é formada por seis átomos de carbono, doze átomos de hidrogênio e seis átomos de oxigênio. Cada molécula de água tem dois átomos do elemento hidrogênio e um átomo do elemento oxigênio.

Existem outras maneiras de representar moléculas; veja uma delas ao lado.



molécula de água

- átomo de carbono
- átomo de oxigênio
- átomo de hidrogênio



molécula de glicose

Representações da molécula de glicose e de água pelo modelo de esfera e bastão. Cores-fantasia.

Em uma equação química, os números representados imediatamente antes de cada fórmula das substâncias indica a proporção entre as moléculas que participam da reação. Quando não há número indicado, considera-se que o número é 1.

Por exemplo, na equação mostrada na página anterior, é possível afirmar que, tendo como reagentes uma molécula de glicose e seis moléculas de oxigênio, há a formação de seis moléculas de gás carbônico e seis moléculas de água, com liberação de energia. Algumas reações, como essa, são reações gerais, ou seja, elas mostram o resultado de diversas reações. No exemplo dado, a glicose não reage diretamente com o gás oxigênio, mas ocorre um processo composto de várias reações em que glicose e gás oxigênio são consumidos, gerando gás carbônico, água e energia.

Muitas reações químicas ocorrem em ações do nosso dia a dia, como acender um palito de fósforo e assar um bolo. Inúmeras outras acontecem dentro do corpo dos seres vivos. Conhecer a simbologia utilizada pela Química permite compreender melhor essas transformações.

### ATIVIDADES

1. Selecione uma equação representada no texto das páginas seguintes e escreva-a por extenso.
2. Construa uma tabela que indique o número de átomos e o elemento químico que compõem cada uma das substâncias representadas na equação química a seguir.



3. Na equação abaixo, que representa a respiração aeróbia, a energia está colocada do lado dos produtos, o que significa que a energia é liberada durante a transformação.



Outras reações precisam absorver energia para ocorrer, como a formação do caramelo a partir do açúcar comum. Observe as reações a seguir. Elas absorvem ou liberam energia?

- queima de um palito de fósforo
  - cozimento de um ovo
  - fotossíntese
4. Quando o número de átomos de cada elemento químico é o mesmo no começo e no fim da reação, dizemos que a equação química está balanceada. Você vai construir um modelo de reação química balanceada representando as moléculas pela combinação de diversos grãos (feijões, arroz e milho). Considere que: os feijões são átomos de carbono; os grãos de arroz são átomos de hidrogênio; e os grãos de milho são átomos de oxigênio. A reação representada será a da decomposição da glicose, ou seja, a transformação de glicose em gás carbônico e água.
- Separe a quantidade necessária de cada tipo de grão para representar os átomos de uma molécula de glicose ( $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$ ).
  - Agora, misture os grãos, como se todas as ligações entre os átomos da glicose tivessem sido rompidas.
  - Separe os grãos novamente, organizando-os para representar os produtos dessa reação.
  - Escreva a equação representativa da reação de decomposição da glicose, considerando o que observou nas etapas anteriores.

## Evolução do metabolismo energético

A energia de que todos os organismos precisam para viver provém da degradação metabólica (quebra) do alimento em moléculas mais simples e de tamanho reduzido, que possam ser incorporadas e utilizadas pelas células.

Nos primeiros seres vivos, esse processo de obtenção de energia pode ter ocorrido de diferentes modos.

Para compreender como evoluíram os primeiros seres vivos, é necessário saber quais eram suas fontes primárias de energia. Em outras palavras, se eles eram autótrofos ou heterótrofos (veja o capítulo 1).

### A hipótese heterotrófica

Segundo essa hipótese, os primeiros seres vivos teriam surgido em corpos de água repletos de moléculas orgânicas. Tais moléculas também serviriam como alimento a esses organismos primordiais. A obtenção de energia era feita por um sistema simples, sem utilizar o gás oxigênio, já que ele não existia ou havia em pouquíssima quantidade na atmosfera primitiva. Assim, esses primeiros organismos eram heterótrofos **anaeróbios** (do grego *a*, “negação”, *aeros*, “ar”, e *bios*, “vida”). Muitos organismos atuais obtêm energia da glicose por um processo chamado **fermentação**, que é realizado sem a necessidade de gás oxigênio (imagem abaixo).

A equação abaixo representa a fermentação alcoólica, um dos tipos desse processo.



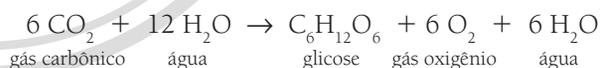
Leveduras, fungos unicelulares heterótrofos que realizam fermentação e respiração aeróbica. (Foto ao microscópio eletrônico de varredura; imagem colorizada; aumento de cerca de 3 500 vezes.)

Há evidências de que os primeiros organismos vivos realizavam um processo semelhante, porém mais simplificado.

Nessas condições, os primeiros organismos se reproduziram, e suas populações começaram a crescer, aumentando o consumo das moléculas nutritivas presentes nos corpos de água primitivos. Com o tempo, essas moléculas, utilizadas como alimento, devem ter se tornado cada vez mais escassas. Isso pode ter ocorrido também devido a uma progressiva queda na produção das moléculas nutritivas em razão das mudanças nas condições do clima e da atmosfera do planeta. Como acontece com as populações atuais, a escassez de alimento pode ter provocado uma competição. Supondo que apenas os organismos mais eficientes tenham sobrevivido, isso levou a uma seleção do metabolismo energético, que acabou semelhante ao de uma célula heterótrofa atual.

Entretanto, considerando esse cenário, mesmo essas células heterótrofas mais complexas e eficientes devem ter enfrentado escassez de alimento. Ao longo do tempo, diversos processos metabólicos teriam surgido. Alguns deles provavelmente possibilitavam que as células utilizassem a luz do Sol como fonte de energia extra. Essa teria sido a origem dos primeiros organismos **autótrofos**, que sintetizavam moléculas nutritivas a partir de outros compostos por meio da **fotossíntese**.

A equação abaixo resume as diversas reações que compõem a fotossíntese atualmente. Nem todas essas reações surgiram ao mesmo tempo. É provável que os primeiros seres fotossintetizantes usassem sulfeto de hidrogênio ( $\text{H}_2\text{S}$ ) em vez de água.



Os autótrofos primitivos passaram a ser então a nova fonte de nutrientes, mas agora de origem biótica. O metabolismo que inclui a fotossíntese é bem mais complexo do que o heterotrófico e tem como subproduto o gás oxigênio – assim, aumentou a quantidade desse gás na atmosfera primitiva. O acúmulo de gás oxigênio ( $\text{O}_2$ ) deu origem à camada de ozônio ( $\text{O}_3$ ), que reduziu a quantidade de radiação ultravioleta que atingia a superfície do planeta.

### ATIVIDADES

4. Sob orientação do professor, realize uma pesquisa em livros ou *sites* sobre a radiação ultravioleta e responda: Por que a origem do ozônio foi fundamental para a diversificação dos seres vivos na Terra?

## Respiração aeróbia

O gás oxigênio, tóxico para organismos exclusivamente anaeróbios, teria causado a extinção de grande parte dos seres vivos da época. A presença desse gás também está relacionada ao estabelecimento de um novo processo de metabolismo energético: a **respiração aeróbia**, muito mais eficaz, em termos de obtenção de energia, do que a fermentação. A equação da respiração aeróbia, ou simplesmente respiração, é:



O surgimento desses dois processos metabólicos – respiração aeróbica e fotossíntese – teria configurado um equilíbrio na produção e no consumo dos gases atmosféricos que perdura até hoje pela ação dos seres vivos. Basta comparar as duas reações químicas para observar como os produtos de um dos processos entram como reagentes do outro – o que não significa que os processos sejam inversos, já que os mecanismos de cada um são diferentes.

## A hipótese autotrófica

De acordo com essa hipótese, os primeiros seres vivos foram capazes de produzir as moléculas utilizadas em sua alimentação. A energia teria sido obtida por meio de um tipo de metabolismo autotrófico chamado **quimiossíntese**. Nesse processo, a energia para a produção de alimento vem de reações químicas, e não da luz, como ocorre na fotossíntese.

Atualmente, há organismos procariontes que realizam tal processo utilizando substâncias inorgânicas como a amônia ( $\text{NH}_3$ ), o gás sulfídrico ( $\text{H}_2\text{S}$ ), os íons de ferro(II) ( $\text{Fe}^{2+}$ ) e o monóxido de carbono ( $\text{CO}$ ), entre outras. Certas arqueas (imagem A) obtêm energia utilizando a seguinte reação:



Repare que esses organismos não utilizam gás oxigênio nem luz para conseguir energia.

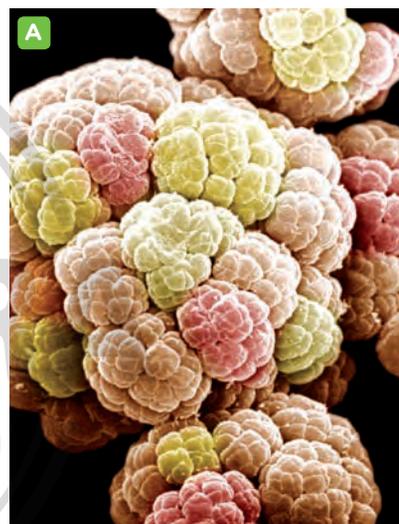
Já a obtenção de energia por certos tipos de bactéria pode ser resumida da seguinte forma:



De acordo com a hipótese autotrófica, os primeiros seres vivos eram semelhantes às bactérias que utilizam esse segundo tipo de reação como fonte de energia para a vida. As duas substâncias reagentes teriam sido, então, compostos de ferro e de enxofre, provavelmente abundantes durante o período em que a vida deve ter surgido.

As arqueas são organismos unicelulares que podem realizar esses dois tipos de quimiossíntese. Elas vivem atualmente em diversos ambientes, incluindo alguns com características semelhantes às dos primeiros períodos geológicos. São regiões de temperaturas elevadas próximas a fissuras na crosta terrestre no fundo dos oceanos. Tais fissuras, denominadas **fontes** ou **chaminés termais**, liberam gases quentes e sulfurosos e abrigam uma rica comunidade de organismos, formando um complexo ecossistema em total ausência de luz e de gás oxigênio (imagem B).

Assim, segundo a hipótese autotrófica, os primeiros organismos obtiveram energia utilizando exclusivamente compostos inorgânicos. Posteriormente, isso teria permitido o aparecimento de outros organismos, tais como os fermentadores, os fotossintetizantes e, finalmente, os que realizam a respiração aeróbia.



Ralph Robinson/Getty Images

Colônia de arqueas produtoras de metano. (Foto ao microscópio eletrônico de varredura; imagem colorizada, aumento de cerca de 52 mil vezes.)



SPL/Latinstock

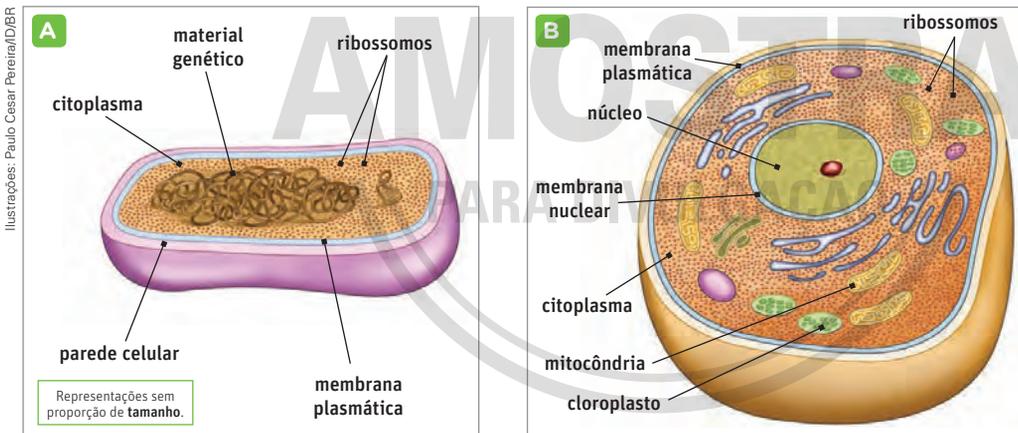
Fontes termais nas águas do Caribe, 2010.

# A origem das células, da multicelularidade e da diversidade celular

O surgimento das primeiras células está relacionado a processos que foram estudados, isoladamente, nas seções anteriores deste capítulo: individualidade, armazenamento de informação biológica, replicação e obtenção de energia.

Atualmente existem dois tipos básicos de célula: as **procarióticas** e as **eucarióticas**. Nas procarióticas, o material genético **não** está contido no interior de um **núcleo**. Apenas as células eucarióticas apresentam núcleo, com material genético delimitado por uma membrana, além de uma série de organelas membranosas. Apesar das diferenças, esses tipos de célula apresentam algumas estruturas em comum. (As células procarióticas e eucarióticas são estudadas mais detalhadamente no capítulo 6.)

A estrutura interna das células procarióticas é mais simples no que diz respeito à organização do citoplasma (imagem **A**). As células eucarióticas, por sua vez, têm membranas e unidades internas na forma de compartimentos (organelas e núcleo) com funções específicas (imagem **B**). Por exemplo, no citoplasma dessas células existem **mitocôndrias** – organelas responsáveis pela respiração celular – e podem existir também **cloroplastos** – organelas responsáveis pela fotossíntese –, além de outras organelas responsáveis pela digestão celular e um sistema de bolsas responsáveis por produzir e armazenar substâncias que podem ser eliminadas para o meio extracelular. As células procarióticas não apresentam tais estruturas e, assim, de maneira geral, suas funções biológicas são realizadas pelo citoplasma e por membranas, e não por unidades internas especializadas. Também há grandes diferenças na estrutura do material genético dos dois tipos celulares.



Esquema simplificado de célula procariótica (A) e célula eucariótica (B). Cores-fantasia.

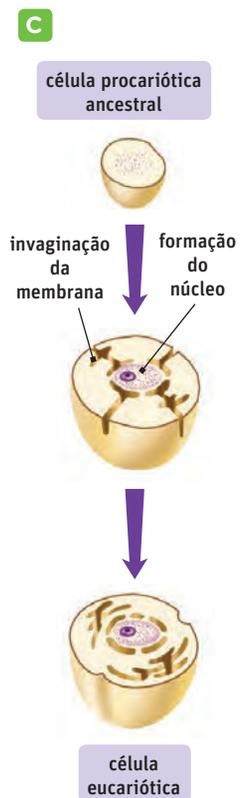
Fonte de pesquisa: TORTORA et al. *Microbiologia*. 10. ed. Porto Alegre: Artmed, 2012. p. 80 e 99.

De acordo com as teorias atualmente aceitas, as primeiras células existentes possuíam uma estrutura e um metabolismo semelhantes aos de uma célula procariótica. Bactérias e arqueas são exemplos de organismos procariontes atuais.

## A origem das células eucarióticas

Segundo muitos biólogos, a origem das células eucarióticas ocorreu devido a mudanças nas procarióticas, e foi o mais profundo e importante evento da evolução dos seres vivos – as células eucarióticas são geralmente maiores e mais complexas, uma vez que os processos metabólicos ocorrem em organelas específicas.

O processo fundamental que teria permitido o surgimento das células eucarióticas foi a produção de dobras na membrana por meio de invaginações (dobras para dentro). Essas dobras teriam originado o núcleo e outras estruturas internas. O núcleo da célula também se individualizou do citoplasma mediante a formação da **membrana nuclear**, envolvendo o material genético (imagem **C**).



Representação sem proporção de tamanho.

Representação da evolução de células eucarióticas com base em células procarióticas ancestrais ao longo do tempo. Observe as invaginações da membrana plasmática.

Fonte de pesquisa: REECE, J. B. et al. *Campbell Biology*. 10. ed. [S.l.]: Pearson, 2014. p. 110.

## A teoria endossimiôntica

A teoria endossimiôntica (de *endo*, “dentro”, e *simbiose*, “associação entre dois ou mais organismos”) é uma maneira de explicar a origem de mitocôndrias e cloroplastos nas células eucarióticas.

Segundo essa teoria, células que inicialmente utilizavam bactérias como alimento, englobando-as por um processo de ingestão celular, passaram a não digerir algumas delas, mantendo-as como parte da própria célula. As bactérias tornaram-se, assim, **endossimbiontes**, nome dado aos organismos que vivem no interior de outro.

Primeiro, deve ter ocorrido endossimbiose com bactérias capazes de utilizar gás oxigênio e, com isso, a célula hospedeira, inicialmente anaeróbica, passou a realizar respiração aeróbia. A vantagem para a bactéria englobada seria a proteção e a obtenção de nutrientes. Com isso, as bactérias teriam se transformado, ao longo da evolução, nas atuais **mitocôndrias** (imagem A).

Posteriormente, um processo semelhante teria ocorrido com a ingestão de **cianobactérias**, capazes de realizar

a fotossíntese. A célula hospedeira teria então incorporado um processo de síntese de moléculas orgânicas energéticas em troca da proteção e de substâncias necessárias ao metabolismo fotossintético da bactéria. Assim, teriam surgido os atuais **cloroplastos**.

Uma das evidências a favor da teoria é o fato de as mitocôndrias e os cloroplastos atuais serem revestidos por membranas lipoproteicas duplas e terem seu próprio material genético, sendo capazes de replicação e síntese de proteínas. Outra evidência seria a sobrevivência de cloroplastos de certas algas marinhas dentro de animais, notadamente alguns moluscos, mantendo sua estrutura e função fotossintetizantes.

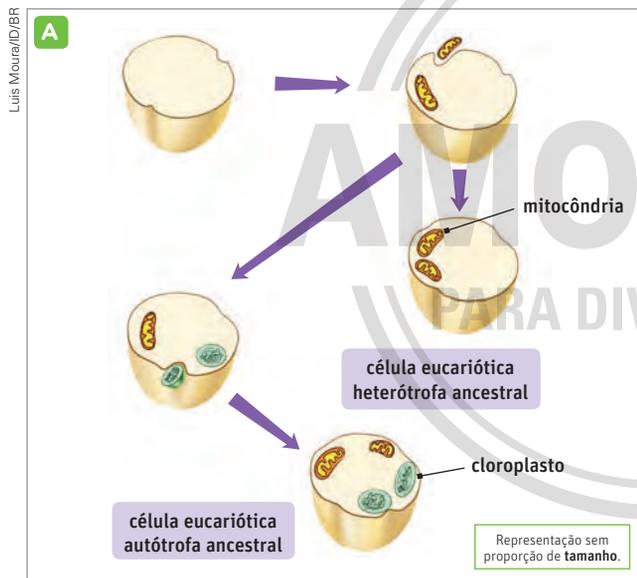
A microbiologista Lynn Margulis (1938-2011), que propôs a teoria endossimiôntica em 1981, considerava que o núcleo celular seria o produto da endossimbiose com uma arquea. Entretanto, a hipótese mais aceita atualmente pelos cientistas propõe que o núcleo teria sido formado por invaginações da membrana plasmática (veja página anterior), e que sua formação teria sido posterior ao surgimento da mitocôndria.

## A origem dos organismos multicelulares

A multicelularidade está ligada ao aumento do tamanho corporal, à especialização celular e à divisão de trabalho entre as células – características que podem favorecer a sobrevivência.

É provável que a multicelularidade tenha surgido quando organismos unicelulares resultantes de divisões sucessivas de uma célula permaneceram unidos, dividindo o trabalho e tornando-se cada vez mais incapazes de viver isoladamente. Ao longo do tempo, alguns dos componentes desse grupo assumiram tarefas diferentes uns dos outros, formando um grande “organismo coletivo” cada vez mais organizado.

Existem evidências de que esse processo tenha ocorrido mais de uma vez na história da vida: a multicelularidade surgiu, de maneira independente, nos animais, em diversos grupos de plantas, fungos e em outros seres. Certos microrganismos unicelulares atuais podem associar-se sob certas circunstâncias, formando agregados multicelulares.



Esquema da endossimbiose de bactérias aeróbias, que originaram as mitocôndrias, e de bactérias fotossintetizantes, que originaram os cloroplastos. Cores-fantasia.

Fonte de pesquisa: REECE, J. B. et al. *Campbell Biology*. 10. ed. [S.l.]: Pearson, 2014. p. 529.

### BIOLOGIA SE DISCUTE

#### Competição versus cooperação

A teoria da evolução por seleção natural dá grande importância à competição entre os indivíduos: apenas os mais bem adaptados sobrevivem. Porém, recentemente, teorias da origem da célula eucariótica e da multicelularidade ressaltam a importância de processos que envolvem cooperação: a divisão de

trabalho entre unidades que atuam em conjunto também pode aumentar as chances de sobrevivência de cada membro da associação. Talvez tenha ocorrido com as primeiras células o mesmo que se observa em organismos que vivem em agrupamentos ou sociedades.

# Práticas de Biologia

## Astrobiologia

### Introdução

A astrobiologia, um ramo relativamente novo da Biologia, estuda cientificamente a possibilidade da existência e a manutenção de vida fora da Terra. Ao contrário da ufologia, a astrobiologia é considerada uma ciência e utiliza diversos métodos de investigação, como análise das radiações emitidas por astros distantes e estudo de cometas, de fragmentos de meteoritos e de amostras de rochas coletadas por sondas espaciais.

### Procedimento

Organizem-se em grupos de quatro alunos. Cada grupo vai representar uma equipe de astrobiologistas que analisará dados obtidos ao longo de um período de pesquisas.

Quando buscam vida em outros astros, os cientistas verificam características como temperatura, presença de atmosfera ou indícios de água. A tabela abaixo apresenta alguns dados referentes a três astros do Sistema Solar.

Nome do astro	Mercúrio	Marte	Titã
Localização	Planeta mais próximo do Sol.	Quarto planeta mais próximo do Sol.	Satélite do planeta Saturno, o sexto planeta mais próximo do Sol.
Temperatura	-180 °C à noite e 430 °C durante o dia.	-125 °C nos polos e 25 °C no equador.	-180 °C.
Atmosfera	Praticamente ausente.	Presente. Contém pouco gás oxigênio e muito gás carbônico. Existem indícios de cristais de gelo e de outros gases, como nitrogênio.	Presente. Contém gás nitrogênio, metano e é semelhante à atmosfera da Terra primitiva. O satélite recebe radiação ultravioleta.
Superfície	O planeta recebe o impacto de muitos meteoros e sua superfície é coberta por crateras.	Existem vales, montanhas e vulcões extintos. Apresenta calotas polares formadas de gelo. Recentemente foi detectada a existência de água em estado líquido.	A superfície está sujeita a erosão, ventos e atividade vulcânica. É provável que existam rios e lagos de metano líquido, que evapora e volta a se precipitar. Apresenta rochas e água no estado sólido.

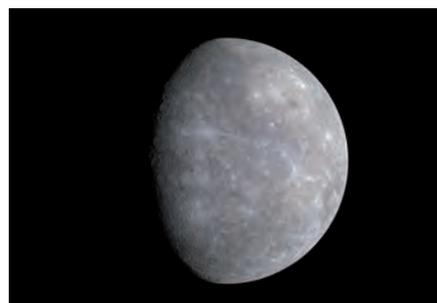
Fonte de pesquisa: REES, Martin (Ed.). *Universe: the definitive visual guide*. London: Dorling Kindersley, 2005.

Discuta as questões a seguir. Se necessário, pesquise mais informações em livros ou na internet.

1. Quais características de cada astro possibilitariam a presença de vida?
2. Se o seu grupo de pesquisa fosse convidado a escolher um astro para estudá-lo melhor, qual deles escolheria? Por quê?

### Resultado

1. Cada grupo deve apresentar suas conclusões para o restante da classe. Vocês podem fazer uma apresentação oral acompanhada de um cartaz, por exemplo. É importante mencionar as fontes de consulta utilizadas. Caso usem a internet, indicar os sites, a data de acesso e explicar por que vocês os consideram confiáveis.



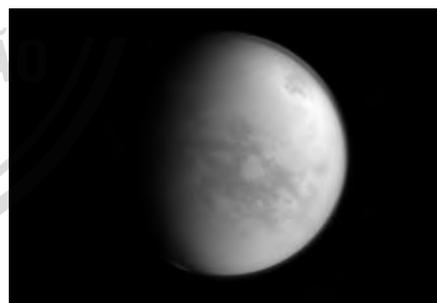
Fotografia do planeta Mercúrio obtida pela sonda Messenger em 2008.

Johns Hopkins University Applied Physics Laboratory/Carnegie Institution of Washington/NASA



Fotografia do planeta Marte tirada em 2015.

JPL-Caltech/Jhuapl-svri/NASA



Fotografia de Titã, satélite de Saturno, tirada em 2015.

JPL-Caltech/Space Science Institute/NASA

### Discussão

1. Todos os grupos apresentaram a mesma conclusão?
2. Por que características como temperatura, presença de atmosfera ou de água são apontadas como importantes para a presença de vida? A presença de gás oxigênio também deveria ser incluída nesse grupo de características? Justifiquem a resposta.

1. Observe a imagem abaixo, que mostra uma paisagem na qual são observados musgos e rochas.



Mixrimo/Shutterstock.com/IDBR

Apresente argumentos que permitam caracterizar os musgos como seres vivos e as rochas como elementos não vivos. Como um microscópio poderia ajudar a fornecer argumentos para resolver essa questão?

2. No passado, certos animais, como o lírio-do-mar da foto abaixo, foram confundidos com plantas.



F. Jack Jackson/Alamy/Latinstock

- a) Na sua opinião, por que ocorreu essa confusão?  
b) Que argumentos podem ser utilizados para evidenciar que esses organismos são de fato animais?

3. Leia o texto a seguir e responda às questões no caderno.

**A descoberta de Semmelweis**

[...] “Febre puerperal” é o nome de uma doença que ocorria nas maternidades, matando milhares de mães e crianças.

[...] Em certos casos, nas fases mais intensas das epidemias, morriam todas as mulheres que entravam nos hospitais. A enfermidade praticamente só ocorria nos hospitais – os partos realizados em casa, por parteiras, raramente eram seguidos pela febre puerperal.

[...] Foi apenas pelo trabalho do médico húngaro Ignaz Philipp Semmelweis (1818-1865) que foram obtidas evidências claras sobre o processo de transmissão da enfermidade. Em 1846, Semmelweis iniciou seu trabalho em Viena. Havia duas divisões na maternidade. Ele trabalhava na Primeira Clínica Obstétrica, na qual eram instruídos os estudantes de Medicina. [...] Através de um estudo cuidadoso, ele foi excluindo as várias causas que haviam sido sugeridas.

Uma das explicações preferidas era a de causas atmosféricas, como [...] variações climáticas. Semmelweis construiu tabelas de mortalidade, com os dados de vários anos, e observou que havia uma mortalidade grande, constante, em todas as épocas do ano, com qualquer tipo de clima. Além disso, sabia-se que as pessoas que preferiam realizar o parto em suas casas raramente ficavam doentes [...].

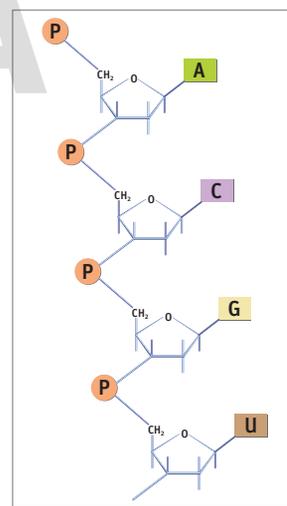
A causa devia estar dentro do próprio hospital. No entanto, mesmo dentro do prédio, ocorria um fato inexplicável. Em geral, a mortalidade na divisão de Semmelweis era quatro vezes maior do que na Segunda Clínica. Como ambas ficavam no mesmo prédio, Semmelweis começou a procurar a causa dessa diferença, convencido de que havia fatores nocivos dentro dos limites da Primeira Clínica Obstétrica. [...]

Disponível em: <<http://www.ghc.usp.br/Contagio/cap09.html>>. Acesso em: 6 mar. 2016.

- a) Procure a palavra “puerperal” no dicionário. Por que a enfermidade recebeu esse nome?  
b) Que hipótese os médicos da época utilizavam para explicar a causa dessa doença?  
c) Como Semmelweis agiu para testar essa hipótese? A que conclusão ele chegou?

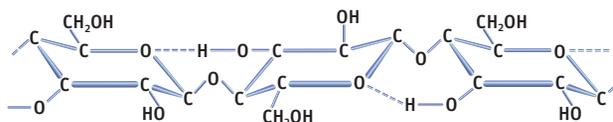
4. Observe a imagem ao lado e responda às perguntas.

- a) Que tipo de molécula é representado por esse modelo?  
b) Qual é o nome de cada unidade constituinte dessa molécula?  
c) De que elementos são compostas essas unidades?



Ilustrações: Renaldo Vignatti/IDBR

5. A figura abaixo representa a molécula de celulose.



As fibras de celulose apresentam grande resistência e, em decorrência disso, têm grande importância estrutural nas células vegetais. Pode-se dizer que a celulose é um nutriente muito importante na alimentação humana? Justifique sua resposta.

6. Um laboratório realiza análises das proporções de bases nitrogenadas de diferentes ácidos nucleicos.

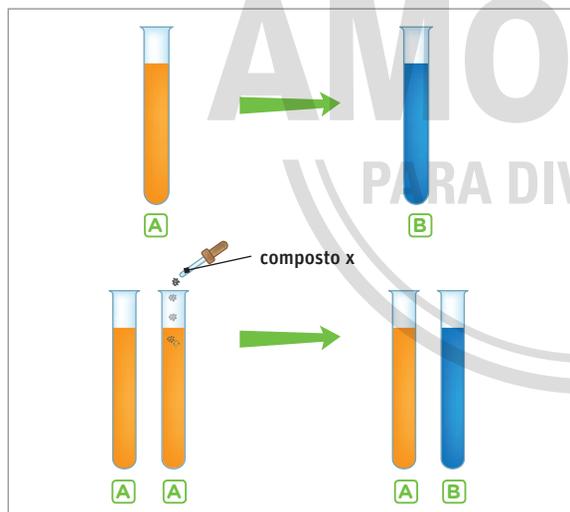
Entretanto, as etiquetas de quatro frascos foram perdidas. A análise do material de cada tubo mostrou a seguinte composição:

Bases nitrogenadas	A	G	C	T	U
Amostra 1 (%)	31,5	18,5	18,5	31,5	-
Amostra 2 (%)	22	28	28	22	-
Amostra 3 (%)	17	40	13	-	30
Amostra 4 (%)	35	22	18	-	25

- a) Quais frascos contêm amostras de DNA? Explique.  
b) Quais frascos contêm amostras de RNA? Explique.

7. A substância A, de cor alaranjada em solução, se transforma na substância B, de cor azulada em solução, de maneira espontânea. Essa mudança leva algumas horas.

Sabendo disso, um pesquisador realiza o seguinte teste: em dois tubos de ensaio são colocadas soluções de A e em apenas um deles é adicionado um composto X. Os tubos são deixados à mesma temperatura e, após 15 minutos, apenas a solução de A + X tem coloração azulada, enquanto a outra permanece alaranjada.



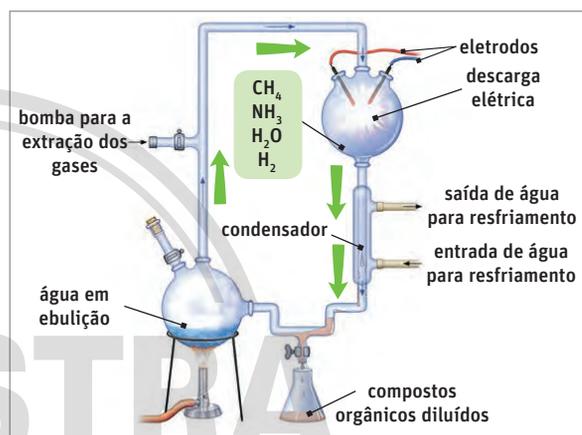
- a) Como se pode explicar tal diferença?  
b) Qual tipo de composto orgânico provavelmente é X?  
c) Como ele age?  
d) A diferença de cores ainda seria visível se, em vez de 15 minutos, a observação fosse realizada depois de dois dias? Por quê?
8. Faça uma revisão das condições ambientais predominantes no Éon Hadeano e responda:
- a) Por que essas condições não eram favoráveis para o surgimento dos seres vivos?  
b) A atmosfera atual propicia importantes condições para que a vida se sustente: um efeito estufa moderado e filtragem da radiação ultravioleta. Qual

a participação dos seres vivos na constituição da atmosfera atual do planeta Terra?

9. Sabe-se que nas fontes termais submarinas vive uma rica fauna. Sobre os organismos que habitam essas fontes, responda:

- a) Qual a fonte de energia que sustenta as comunidades encontradas nesses locais?  
b) A existência dessas comunidades pode ser considerada evidência de apoio a qual hipótese sobre a evolução do metabolismo energético?

10. O esquema abaixo representa o aparelho utilizado por Stanley Miller e Harold Urey em 1953.



A respeito dele, responda:

- a) Quais condições esse aparelho simulava?  
b) Por que a comunidade científica da época ficou entusiasmada com os resultados desse experimento?  
c) Os resultados obtidos nesse experimento provam que a hipótese de Oparin sobre a origem da vida é correta?  
d) Os resultados obtidos por Sidney Fox em seus experimentos são consistentes com os obtidos por Miller e Urey?

11. Leia o texto abaixo.

Acredita-se que as primeiras moléculas orgânicas tenham sido sintetizadas a partir de átomos e moléculas inorgânicas sob a influência da radiação solar. Depois, essas moléculas teriam se organizado de uma maneira que formassem um sistema compartimentalizado, com uma barreira separando o meio interno do meio externo. Esse sistema só adquiriu “vida” depois que surgiram as moléculas capazes de armazenar informações e se replicar. Estava criada, então, a primeira célula; o primeiro ser vivo.

Identifique as estruturas que se referem às seguintes passagens do texto:

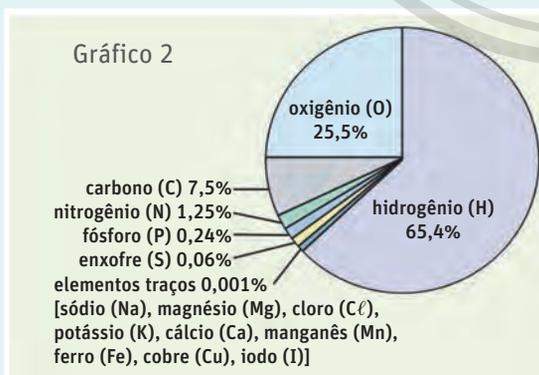
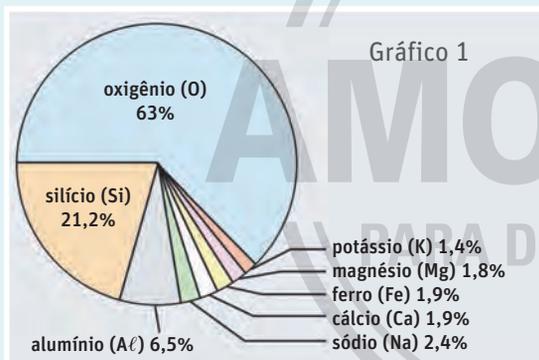
- a) Moléculas orgânicas.  
b) Barreira separando o meio interno do meio externo.  
c) Moléculas capazes de armazenar informações e se replicar.

1. (Enem) Embora seja um conceito fundamental para a biologia, o termo “evolução” pode adquirir significados diferentes no senso comum. A ideia de que a espécie humana é o ápice do processo evolutivo é amplamente difundida, mas não é compartilhada por muitos cientistas.

Para esses cientistas, a compreensão do processo citado baseia-se na ideia de que os seres vivos, ao longo do tempo, passam por

- modificação de características.
- incremento no tamanho corporal.
- complexificação de seus sistemas.
- melhoria de processos e estruturas.
- especialização para uma determinada finalidade

2. (UFF-RJ) Os seres vivos possuem composição química diferente da composição do meio onde vivem (gráficos a seguir). Os elementos presentes nos seres vivos se organizam, desde níveis mais simples e específicos até níveis mais complexos e gerais.



Assinale a opção que identifica o gráfico que representa a composição química média e a ordem crescente dos níveis de organização dos seres vivos.

- Gráfico 1, molécula, célula, tecido, órgão, organismo, população e comunidade.
- Gráfico 1, molécula, célula, órgão, tecido, organismo, população e comunidade.

c) Gráfico 2, molécula, célula, órgão, tecido, organismo, população e comunidade.

d) Gráfico 2, molécula, célula, tecido, órgão, organismo, comunidade e população.

e) Gráfico 2, molécula, célula, tecido, órgão, organismo, população e comunidade.

3. (UFRJ) Logo após a colheita, os grãos de milho apresentam sabor adocicado, devido à presença de grandes quantidades de açúcar em seu interior. O milho estocado e vendido nos mercados não tem mais esse sabor, pois cerca de metade do açúcar já foi convertida em amido por meio de reações enzimáticas. No entanto, se o milho for, logo após a colheita, mergulhado em água fervente, resfriado e mantido num congelador, o sabor adocicado é preservado.

Por que esse procedimento preserva o sabor adocicado dos grãos de milho?

4. (Enem) A remoção de petróleo derramado em ecossistemas marinhos é complexa e muitas vezes envolve a adição de mais substâncias ao ambiente. Para facilitar o processo de recuperação dessas áreas, pesquisadores têm estudado a bioquímica de bactérias encontradas em locais sujeitos a esse tipo de impacto. Eles verificaram que algumas dessas espécies utilizam as moléculas de hidrocarbonetos como fonte energética, atuando como biorremediadores, removendo o óleo do ambiente.

KREPSKY, N.; SILVA SOBRINHO, E.; CRAPEZ, M. A. C. *Ciência Hoje*, n. 223, jan.-fev. 2006 (adaptado).

Para serem eficientes no processo de biorremediação citado, as espécies escolhidas devem possuir

- células flageladas, que capturem as partículas de óleo presentes na água.
- altas taxas de mutação, para se adaptarem ao ambiente impactado pelo óleo.
- enzimas, que catalisem reações de quebra das moléculas constituintes do óleo.
- parede celular espessa, que impossibilite que as bactérias se contaminem com o óleo.
- capacidade de fotossíntese, que possibilite a liberação de oxigênio para a renovação do ambiente poluído.

5. (Enem) Na década de 1940, na Região Centro-Oeste, produtores rurais, cujos bois, porcos, aves e cabras estavam morrendo por uma peste desconhecida, fizeram uma promessa, que consistiu em não comer carne e derivados até que a peste fosse debelada. Assim, durante três meses, arroz, feijão, verduras e legumes formaram o prato principal desses produtores.

*O Hoje*, 15 out. 2011 (adaptado).

Para suprir o déficit nutricional a que os produtores rurais se submeteram durante o período da promessa, foi importante eles terem consumido alimentos ricos em

- a) vitaminas A e E.
- b) frutose e sacarose.
- c) aminoácidos naturais.
- d) aminoácidos essenciais.
- e) ácidos graxos saturados.

6. (UFRGS-RS) A coluna da esquerda, a seguir, apresenta o nome de teorias sobre a evolução da vida na Terra; a da direita, afirmações relacionadas a três dessas teorias.

Associe adequadamente a coluna da direita à da esquerda.

1 – Abiogênese	(////) Os primeiros seres vivos utilizaram compostos inorgânicos da crosta terrestre para produzir suas substâncias alimentares.
2 – Biogênese	
3 – Panspermia	(////) A vida na Terra surgiu a partir de matéria proveniente do espaço cósmico.
4 – Evolução química	
5 – Hipótese autotrófica	(////) Um ser vivo só se origina de outro ser vivo.

A sequência correta de preenchimento dos parênteses, de cima para baixo, é:

- a) 4 – 2 – 1.
- b) 4 – 3 – 2.
- c) 1 – 2 – 4.
- d) 5 – 1 – 3.
- e) 5 – 3 – 2.

7. (PUC-RS) Há menos de dois bilhões de anos, as primeiras células, que replicavam seu DNA e que deram origem às linhagens hoje existentes, teriam sido exterminadas se:

- a) fossem de tamanho minúsculo.
- b) vivessem isoladas e independentes.
- c) fossem envoltas por uma membrana.
- d) sintetizassem moléculas contendo carbono.
- e) ficassem expostas à radiação da luz ultravioleta.

8. (FGV) Na difícil busca pela explicação científica sobre a origem da vida no planeta Terra, uma das etapas consideradas essenciais é o surgimento de aglomerados de proteínas, os coacervados, capazes de isolar um meio interno do ambiente externo, permitindo que reações bioquímicas ocorressem dentro dessas estruturas de forma diferenciada do meio externo. Tal hipótese, envolvendo essa etapa,

- a) contesta o princípio da abiogênese sobre a evolução bioquímica de moléculas orgânicas.
- b) reforça a ideia comprovada de que todo ser vivo se origina de outro.

c) considera como espontâneo o processo de surgimento da vida no planeta.

d) sugere que os primeiros seres vivos se multiplicavam como os vírus atuais.

e) questiona a teoria criacionista, assim como a evolucionista lamarckista.

9. (UEL) De acordo com a hipótese heterotrófica, o primeiro ser vivo do planeta Terra obtinha energia para seu metabolismo por meio de um processo adequado às condições existentes na atmosfera primitiva.

Assinale a alternativa que apresenta, corretamente, a sequência ordenada dos processos energéticos, desde o surgimento do primeiro ser vivo do planeta.

- a) Fotossíntese, respiração aeróbia e fermentação.
- b) Respiração aeróbia, fermentação e fotossíntese.
- c) Respiração aeróbia, fotossíntese e fermentação.
- d) Fermentação, fotossíntese e respiração aeróbia.
- e) Fermentação, respiração aeróbia e fotossíntese.

### Para explorar

#### Leia

**A ciência através dos tempos, de Attico Chassot. São Paulo: Moderna, 2011 (Coleção Polêmica).**

Aborda a construção do conhecimento, mostrando como a ciência possibilitou à humanidade desvendar e explorar a natureza. Traça uma perspectiva histórica desde os primórdios da espécie humana até a exploração espacial, destacando as relações da ciência com a filosofia, a religião e a arte.

#### Navegue

**Quimica.ufsc.br**

Página do Departamento de Química da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), em formato de revista, que caracteriza os grupos de vitaminas e apresenta suas funções, seus precursores, as doses diárias recomendadas e os efeitos das hipovitaminoses, além das fórmulas moleculares.

Disponível em: <<http://linkte.me/m9zq3>>. Acesso em: 8 mar. 2016.

**Instituto de Biociências da Universidade de São Paulo**

Página que trata diversos aspectos da ciência, como sua natureza e seus princípios. O *link* abaixo leva a um texto que ajuda a entender o que é ciência.

Disponível em: <<http://linkte.me/c629x>>. Acesso em: 8 mar. 2016.

#### Assista

**Cosmos, episódio 2: Uma voz na sinfonia cósmica. Carl Sagan. Produção: KCET e Carl Sagan Productions-BBC-Polytel International.**

O astrônomo Carl Sagan apresenta algumas ideias sobre a origem da vida e a evolução das espécies por meio de exemplos e simulações, como a clássica experiência de Miller e Urey.

## 2

# A biologia das células

## NESTA UNIDADE

- 4 Introdução à citologia
- 5 Os limites da célula
- 6 O citoplasma
- 7 Metabolismo energético
- 8 Fotossíntese e quimiossíntese
- 9 O núcleo celular
- 10 Divisão celular
- 11 Síntese de proteínas e ação gênica

A química britânica Rosalind Franklin (1920-1958) produziu, no início da década de 1950, um registro em raio X de uma molécula presente nas células de todos os seres vivos: o DNA (imagem ao lado).

Esse registro fotográfico ajudou os pesquisadores Francis Crick (1916-2004) e James Watson (1928-) a elaborar sua descrição para a molécula de DNA, a qual chamaram de “dupla-hélice”. Desde então, diversos trabalhos, como os realizados pelo físico Maurice Wilkins (1916-2004), confirmaram que a molécula de DNA realmente possui a estrutura em dupla-hélice.

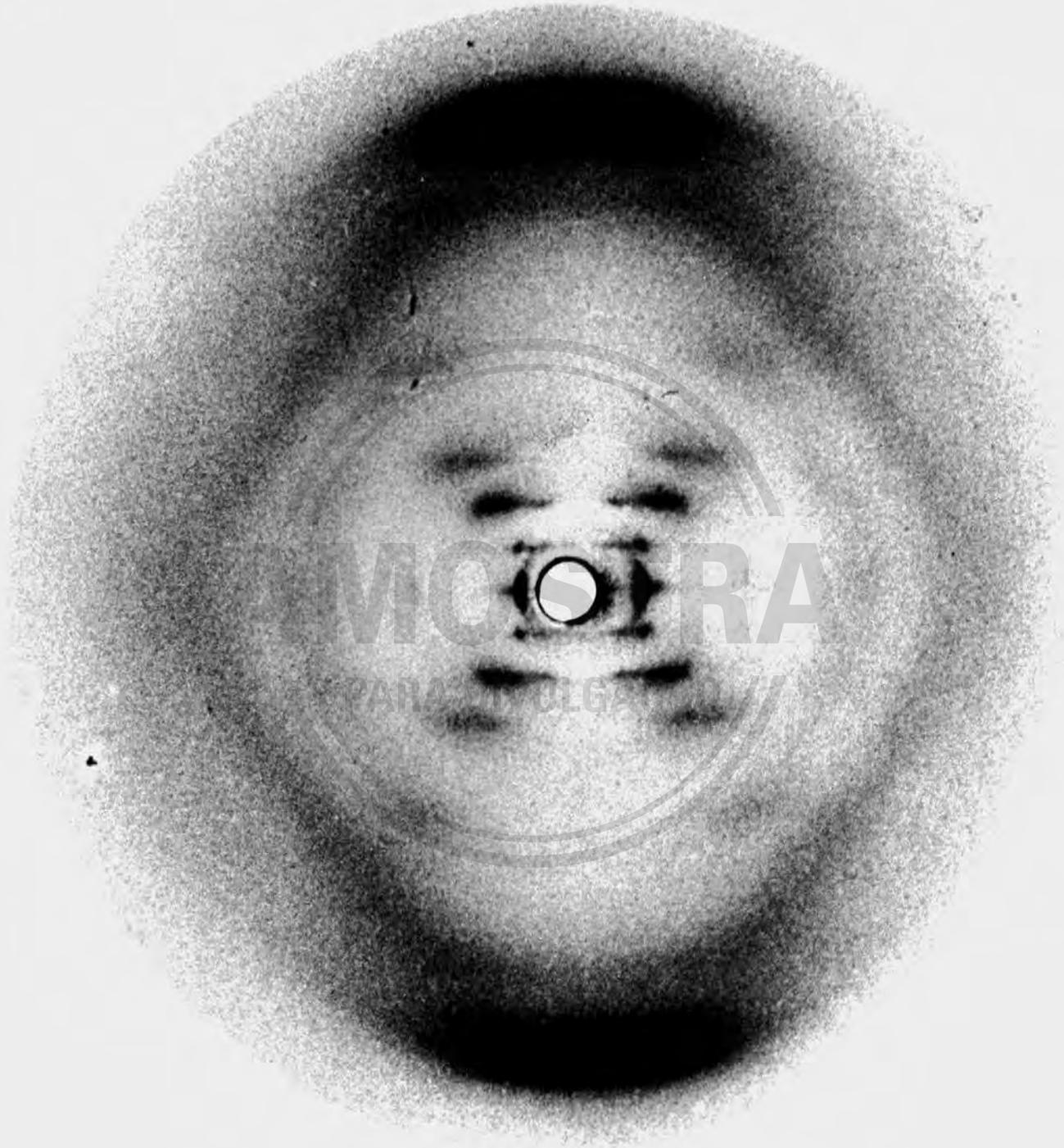
Em 1962, Watson, Crick e Wilkins foram anunciados como os vencedores do Prêmio Nobel de Fisiologia e Medicina.

## QUESTÕES PARA REFLETIR

1. Observe novamente a imagem ao lado. Como você descreveria o que está vendo?
2. Você conhece algum tipo de célula ou de ser vivo que não possui DNA em seu interior? Se sim, qual (ou quais)?
3. Faça uma pesquisa em livros ou na internet sobre Rosalind Franklin e dê sua opinião sobre o fato de essa pesquisadora não ter sido indicada ao Prêmio Nobel.

*Imagem da página ao lado:*

Molécula de DNA observada em imagem produzida em 1953 por Rosalind Franklin, utilizando a técnica de difração de raio X.



# Introdução à citologia

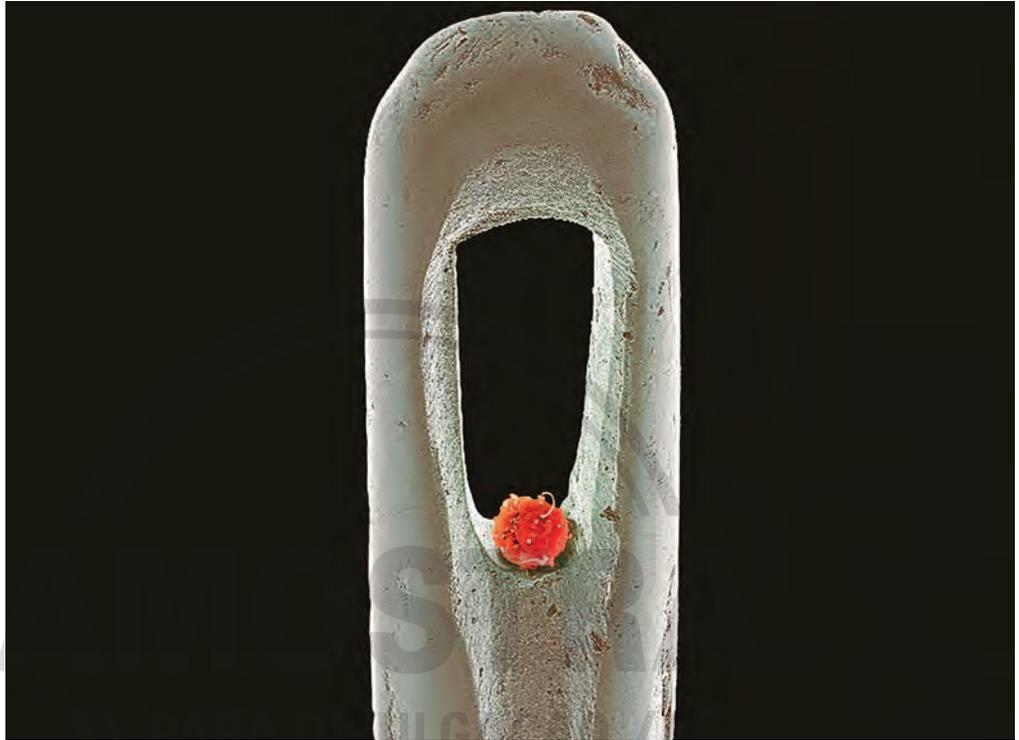
## O QUE VOCÊ VAI ESTUDAR

Como foram feitas as primeiras observações microscópicas.

O desenvolvimento da Teoria Celular.

O funcionamento dos microscópios de luz e eletrônicos.

Diferenças entre células vegetais e células animais.



Steve Gschmeissner/SP/Latinstock

Célula-tronco embrionária depositada no buraco de uma agulha para mostrar sua dimensão reduzida. (Foto ao microscópio eletrônico de varredura; imagem colorizada; aumento de cerca de 490 vezes.)

O avanço da ciência muitas vezes está associado ao desenvolvimento de novas técnicas e instrumentos. Cada novo recurso científico permite conhecer mais detalhes sobre o objeto de estudo e, em certos casos, pode abrir as portas para o aparecimento de um novo campo do conhecimento.

O desenvolvimento da citologia – o estudo das células – foi possível graças à construção, no final do século XVI, de um dos primeiros instrumentos ópticos para ampliação de objetos. Esse instrumento, fabricado pela família Janssen na Holanda, levou à criação e ao aperfeiçoamento do microscópio (do grego *micro*, “pequeno”, e *scopo*, “visão”), ferramenta que permitiu um dos mais importantes avanços na Biologia: a observação da célula.

Ao longo do século XVII e início do século XVIII, outros microscopistas – como Robert Hooke (1635-1703) e Nehemiah Grew (1641-1712), na Inglaterra; Marcello Malpighi (1628-1694), na Itália; e Antonie van Leeuwenhoek (1632-1723), na Holanda – construíram seus próprios equipamentos e realizaram observações que não só confirmaram como também ampliaram os conhecimentos sobre a célula.

O desenvolvimento do microscópio eletrônico no século XX possibilitou, graças a seu enorme poder de aumento das imagens, descobrir, no interior das células, a existência de uma grande variedade de estruturas, especializadas nas mais diversas funções.

Tão importante quanto a descoberta dessas estruturas foi a observação de que essa organização celular era um padrão comum à maioria das espécies, o que deu maior suporte à ideia de que todos os seres vivos atuais tiveram origem em um ancestral comum.

## Os primórdios da citologia

Os equipamentos construídos e utilizados por Antonie van Leeuwenhoek eram microscópios simples, assim chamados por possuírem uma única lente, que era encaixada em uma placa de metal com dispositivo para focalização (imagem A). Com eles, Van Leeuwenhoek conseguiu ver com relativa nitidez objetos aumentados em até cerca de 300 vezes e pôde observar espermatozoides, hemácias, alguns protozoários e algas, além de bactérias.

Robert Hooke, por outro lado, construiu seus microscópios baseando-se nos modelos dos holandeses Janssen, com duas lentes nas extremidades de um tubo – microscópios desse tipo são conhecidos como microscópios compostos (imagem B). Também desenvolveu e aperfeiçoou um sistema de iluminação com um condensador que intensificava a luz e permitia melhor visualização dos objetos.

A partir de suas observações, Hooke elaborou minuciosas ilustrações, que foram reunidas no livro *Micrographia*, publicado em 1665 (veja a seção *Biologia tem história* na próxima página). Uma das ilustrações do livro é a de um pedaço de um tecido vegetal chamado cortiça, em que se veem pequenos compartimentos (imagem C). Hooke chamou esses compartimentos de *cells*, termo em inglês que significa “pequenas celas”. Esse é o primeiro registro do uso desse termo para se referir às estruturas que, mais tarde, seriam conhecidas como células.

Embora os trabalhos de Hooke e Van Leeuwenhoek tenham despertado grande curiosidade e estimulado outras observações por meio da microscopia, a compreensão atual do papel das células e do modo como elas surgem foi desenvolvida apenas no século XIX.

### A Teoria Celular

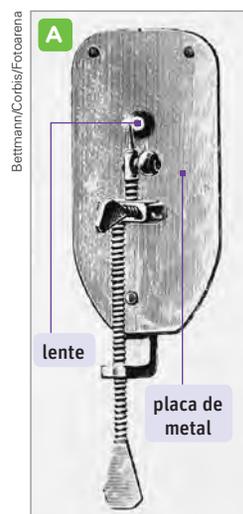
Matthias Schleiden (1804-1881), nascido na Alemanha, abandonou a advocacia para dedicar-se ao estudo da botânica. Com base em observações de cortes de plantas ao microscópio, ele formulou um conceito novo, segundo o qual as plantas eram constituídas por unidades muito pequenas – as células – e seu crescimento seria o resultado da formação de novas células.

O alemão Theodor Schwann (1810-1882) era médico, mas se interessou pelo estudo da fisiologia dos animais, especialmente das células nervosas e musculares. Sua contribuição mais importante para a Biologia se deu após conhecer o trabalho de Schleiden em 1837, o que o motivou a realizar estudos que evidenciaram a semelhança nos processos de formação de células vegetais e animais.

As investigações conduzidas por Schleiden e Schwann tiveram grande impacto na Biologia. Suas ideias foram importantes para que a botânica e a zoologia, até então áreas distintas, fossem unificadas sobre uma mesma base, o que levou a uma melhor compreensão do fenômeno da vida.

Anos mais tarde, o alemão Rudolf Virchow (1821-1902) propôs que as doenças, assim como a própria vida, ocorriam no nível da célula. Virchow defendeu também que todas as células se originavam de outras células preexistentes e resumiu sua posição numa frase em latim que se tornou famosa no meio científico: *Omnis cellula e cellula*, que significa “Toda célula vem de outra célula”. Seus estudos, associados àqueles elaborados por Schleiden e Schwann, contribuíram para consolidar o que ficou conhecido como **Teoria Celular**, que pode ser resumida assim:

“Todos os seres vivos são constituídos por células, e todas as células têm origem em uma célula preexistente.”



Microscópio (cerca de 10 cm de comprimento) de Leeuwenhoek (1665), com uma única lente, capaz de ampliar cerca de 300 vezes e de produzir imagens nítidas.



Microscópio de Hooke (cerca de 18 cm de altura), cujo poder de aumento era limitado: não ultrapassava 30 vezes.



Ilustração do livro *Micrographia*, de Robert Hooke, de fatias de cortiça observadas ao microscópio, mostrando as “células”. Por ser um tecido morto, a cortiça não apresenta conteúdo celular, sendo visíveis apenas as paredes celulares.

### ATIVIDADES

1. Embora sejam considerados parasitas intracelulares obrigatórios, os vírus são tidos como exceções à Teoria Celular. Por quê?

## As contribuições de Robert Hooke

O filósofo natural Robert Hooke, nascido na Inglaterra, dedicou-se a estudos em diversas áreas do conhecimento do mundo natural, deixando contribuições importantes no campo da Física. Contudo, sua obra mais conhecida é aquela em que relatou observações realizadas ao microscópio – o livro chamado *Micrographia*.

O livro apresenta relatos de observações microscópicas e ilustrações de uma grande variedade de objetos, como a ponta de uma agulha, grãos de areia e tecidos. Também descreve as observações de diferentes organismos e partes de organismos, como mosca (imagem **A**), formiga, mofos e cogumelos, algas marinhas, fio de cabelo, ferrão de abelha, penas de aves, ovos de bichos-da-seda e superfície de algumas folhas, além da famosa descrição e discussão sobre a cortiça.

A obra inclui ainda três capítulos relacionados a visualizações com telescópio, descrevendo a Lua e pequenas estrelas até então desconhecidas, além de uma discussão teórica e experimental sobre a natureza do ar, trazendo implicações ao modo como os corpos celestes deveriam ser observados.

A leitura desse livro permite reconhecer que suas descrições e desenhos possuem grande precisão. Mas, além disso, Hooke também se dedicou a compreender e explicar as funções de cada parte observada. Foi assim com a cortiça: além de descrever sua estrutura, ele procurou compreender propriedades físicas desse material, como a leveza, a elasticidade e a facilidade de flutuar. Leia o trecho a seguir.



Ilustração de uma mosca, presente no livro *Micrographia* (1665), de Robert Hooke.

World History Archive/Alamy/Alamy

Eu peguei um bom pedaço limpo de cortiça e, com um canivete tão afiado quanto uma navalha, cortei um pedaço dele, deixando a sua superfície bem lisa. Examinando-o então diligentemente com um microscópio, pensei que conseguia perceber que parecia um pouco poroso. [...] Com o mesmo canivete afiado, cortei a partir daquela mesma superfície lisa uma fatia extraordinariamente fina [...] pude perceber muito claramente que ela era toda perfurada e porosa, muito semelhante a um favo de mel [...].

Primeiro, se eu perguntasse: por que esse corpo é tão leve? Meu microscópio poderia agora me informar que havia aqui a mesma razão evidente que é encontrada na leveza da espuma, de um favo de mel vazio, de lã, de uma esponja, de uma pedra-pome, ou coisas desse tipo: a saber, uma quantidade muito pequena de corpo sólido, estendida em enormes dimensões.

Segundo, nada me parecia mais difícil do que dar uma razão inteligível do porquê de a cortiça ser um corpo tão inapto a absorver água e embeber-se dela e, conseqüentemente, preservar-se flutuando na superfície da água [...]. Pois [...] o microscópio nos informa que a substância da cortiça é toda preenchida por ar e que esse ar está perfeitamente confinado em pequenas caixas ou células distintas entre si; [...] e, conseqüentemente, por que pedaços de cortiça se tornaram tão bons flutuadores para redes [de pesca], e tampas para vidros ou outros recipientes fechados.

E em terceiro lugar [...] como ela pode sofrer tão grandes compressões, [...] e contudo, quando se permite que ela volte, encontra-se que ela volta a se estender pelo mesmo espaço? Nosso microscópio facilmente nos informará que toda a sua massa consiste de uma infinidade de pequenas caixas ou bexigas de ar, que é uma substância de natureza elástica e que sofrerá uma compressão considerável [...]; e que, além disso, parece muito provável que aquelas películas ou lados dos poros também possuem uma qualidade elástica, como possuem quase todos os outros tipos de substâncias vegetais que lhes ajudam a voltar à sua posição inicial.

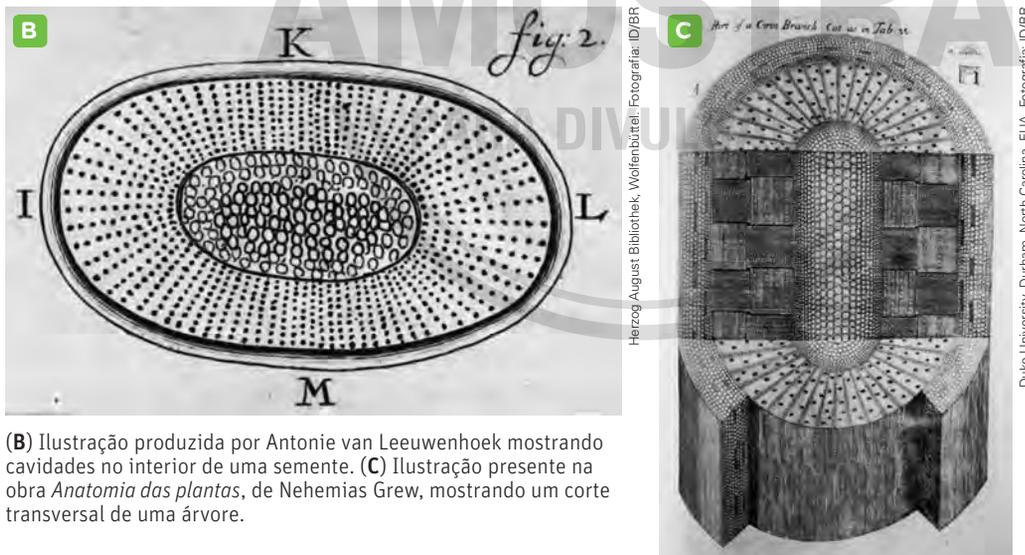
HOOKE, Robert. *Micrographia*. 1766. Apud ARAÚJO, J. P. F. T. et al. Observação 18, da *Micrographia*, de Robert Hooke. *Boletim de História e Filosofia da Biologia*, v. 8, n. 4, p. 10-11, dez. 2014.

O trecho citado mostra que Hooke observou estruturas preenchidas de ar, que hoje sabemos representar as paredes celulares de um tecido vegetal morto, como ocorre na casca de árvores. Mostra ainda que Hooke chamou a estrutura observada na cortiça de “célula”, mas empregou também outros termos, como “caixas”, “balões” e “poros”. O mesmo ocorreu nas obras de Nehemiah Grew e Marcello Malpighi, que se referiram àquelas estruturas com nomes variados, como “bolhas” e “bexigas”, além de “poros” e “célula”. Apenas mais tarde o termo técnico foi consolidado com a palavra “célula”.

Embora Hooke tenha observado essa mesma estrutura em outras plantas, ele não generalizou sua presença para todos os vegetais, muito menos estendeu essa manifestação para os animais. Por essas razões, não se pode atribuir a Robert Hooke a “descoberta” da célula ou a “fundação” do estudo das células, a citologia. Isso seria um equívoco que os historiadores da ciência denominam “anacronismo”, isto é, um juízo sobre o passado com base nos conhecimentos atuais.

De todo modo, seu livro teve um grande impacto na época, atraindo a atenção de outros estudiosos. Antonie van Leeuwenhoek confirmou a presença de cavidades microscópicas em seções transversais de sementes (imagem B) e de caules de mudas de carvalho. Marcello Malpighi desenvolveu a metodologia da microanatomia em animais e vegetais e descreveu numerosas estruturas celulares e intracelulares em plantas e animais – algumas delas foram nomeadas em sua homenagem, como os túbulos de Malpighi, que são os órgãos excretores dos insetos. Nehemiah Grew cunhou o termo “parênquima” para se referir a tecidos vegetais (imagem C).

Por um século e meio, as descrições microanatômicas de Grew e Malpighi permaneceram incontestadas, sem que muita coisa nova fosse acrescentada. Assim, no final do século XVIII, quase todo botânico considerava que os tecidos vegetais eram compostos de células.



(B) Ilustração produzida por Antonie van Leeuwenhoek mostrando cavidades no interior de uma semente. (C) Ilustração presente na obra *Anatomia das plantas*, de Nehemias Grew, mostrando um corte transversal de uma árvore.

## PARA DISCUTIR

1. Observe a ilustração retirada do livro *Anatomia das plantas*, de Grew, e procure discernir, com base no conhecimento científico atual, as estruturas ali representadas.
2. Embora muitas vezes se costume atribuir conceitos, leis, teorias e instrumentos das ciências a um único estudioso e a datas precisas, a história mostra que as realizações científicas são graduais e fruto do trabalho de diversos pesquisadores, envolvendo colaboradores e auxiliares. Leia o conteúdo das duas primeiras páginas deste capítulo e o texto desta seção. Anote os nomes dos estudiosos citados – que são apenas uma pequena amostra dos numerosos investigadores dedicados aos estudos microscópicos de organismos – e faça uma breve pesquisa na internet sobre suas principais contribuições à ciência.

## Observações ao microscópio

Para serem observadas ao microscópio, as células podem ou não estar vivas. Quando estão vivas, a observação é chamada de exame a fresco (imagem A), que permite observar fenômenos como a locomoção de organismos unicelulares, mas não revela muitos detalhes da célula.

As melhores e mais detalhadas observações são feitas com material corado (imagem B). Entretanto, as técnicas de coloração geralmente são tóxicas para a célula.

A fim de preservar o máximo possível suas características, as células precisam passar por processos de preparação, que ocorrem basicamente em duas etapas:

- **Fixação:** consiste em matar a célula usando um líquido fixador, como o álcool etílico, o formol, o ácido acético e outros, de maneira a preservar ao máximo suas propriedades.
- **Coloração:** trata-se de aplicar um ou mais corantes a fim de tornar mais evidentes determinadas partes da célula. Para ser observada em microscópios de luz, entretanto, a célula deve ser atravessada por um feixe luminoso. Portanto, a coloração deve preservar ao máximo a transparência do material. Existem diversos tipos de corantes, cada um apropriado para evidenciar determinadas estruturas celulares.

Para garantir a transparência do material a ser observado, ele deve ser cortado em fatias muito finas em um aparelho chamado micrótomo (imagem C). Essas fatias são colocadas sobre uma lâmina de vidro e cobertas por outra lâmina, muito fina, chamada lamínula. Amostras líquidas ou compostas de células isoladas são espalhadas na lâmina, enquanto outros materiais são esmagados.

## Novas descobertas

O fato de os diferentes corantes terem afinidade por diferentes partes da célula levou a pelo menos duas importantes descobertas.

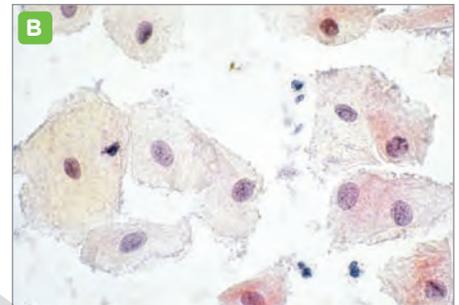
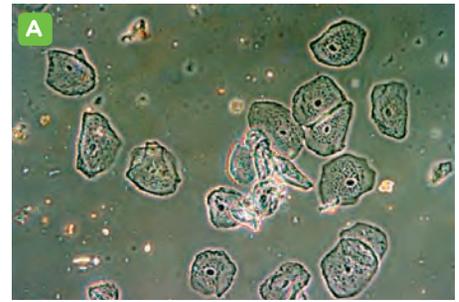
A primeira delas é que toda célula tem um limite bem definido, responsável pela contenção de tudo que está em seu interior. Isso foi percebido porque alguns corantes, após a lavagem da amostra, permaneciam “presos” dentro da célula, enquanto o restante do campo visual ficava limpo e transparente.

Embora não conseguissem ver a estrutura que delimitava a célula, os cientistas se basearam nessa observação para prever a existência da **membrana celular**, também chamada **membrana plasmática**.

A outra descoberta é que as células apresentam **inúmeras estruturas** espalhadas por todo seu interior. Os citologistas rapidamente perceberam que o interior das células era constituído por uma substância de aspecto viscoso, que foi chamada de **citoplasma** (do grego *kytos*, “célula”, e *plasma*, “modelar”), que preenchia todo o interior da célula.

O aspecto do citoplasma podia variar de um tipo celular para outro, mas parecia haver uma estrutura em seu interior, quase sempre esférica ou ovalada, que ficava bastante evidente em alguns processos de coloração. Em 1833, o pesquisador escocês Robert Brown (1773-1858) propôs a ideia de que essa estrutura seria parte fundamental de todas as células, dando-lhe o nome de **núcleo**.

A partir dessa época, passou-se a aceitar que as células eram constituídas por três partes fundamentais: a membrana, o citoplasma e o núcleo.



(A) Células da mucosa bucal vistas ao microscópio de luz, sem coloração (aumento de cerca de 170 vezes). (B) Células da mucosa bucal vistas com o uso de corantes (aumento de cerca de 1700 vezes). Note os “grânulos” espalhados pelo citoplasma, evidência de que existem nele inúmeras estruturas. Observe também o núcleo, ligeiramente ovalado, ocupando o interior da célula.



O micrótomo é o aparelho utilizado para cortar em fatias finíssimas o material a ser observado ao microscópio.

### ATIVIDADES

2. O movimento browniano é um fenômeno observado no interior de células. Esse termo faz menção a Robert Brown, a quem se atribui a primeira observação desse fenômeno. Faça uma pesquisa em livros e na internet e explique o que é o movimento browniano.

### Microscópio de luz

O microscópio óptico composto, ou microscópio de luz, é constituído basicamente por duas lentes ou dois conjuntos de lentes: a ocular, que fica próxima do olho do observador, e a objetiva, próxima do objeto a ser observado.

Nesse tipo de microscópio, a luz (vinda do ambiente ou de uma lâmpada) precisa atravessar o material a ser observado, razão pela qual o objeto não pode ser muito espesso e deve apresentar alguma transparência. Para intensificar a luz que atravessa o objeto, existe o condensador, que é uma lente que concentra os feixes de luz antes de chegarem ao objeto. É possível regular a passagem da luz por meio do diafragma.

A objetiva produz uma imagem bastante aumentada do objeto. As objetivas comumente encontradas em microscópios de luz têm aumentos de 10, 40 e 100 vezes. A imagem produzida pela objetiva é então captada e ampliada pela ocular antes de chegar ao observador. As oculares mais comuns aumentam a imagem entre 5 e 20 vezes.

Algumas objetivas são preparadas para imersão em óleo ou água. A imersão consiste em colocar uma gota de água ou óleo sobre a lamínula de vidro que recobre a amostra e encostar a objetiva no líquido, obtendo assim aumentos ainda maiores. As objetivas para imersão são construídas especialmente para esse fim.

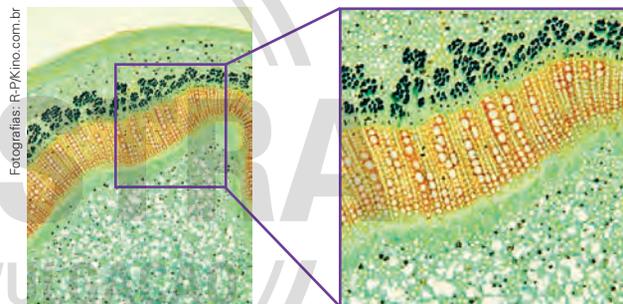
### Resolução

Uma das características mais importantes de um microscópio é seu poder de resolução. Dele depende a capacidade de um microscópio de mostrar detalhes com nitidez. A resolução pode ser entendida como a capacidade de distinguir dois pontos muito próximos no campo visual, permitindo vê-los como

imagens distintas. O limite de resolução para o olho humano é de 0,1 mm, ou seja, dois pontos que estejam a uma distância menor que essa são vistos como um único ponto (veja o boxe *Biologia e Física* na página 74). Os microscópios de luz têm um limite de resolução próximo de 0,0002 mm, o que permite ver somente as estruturas celulares de maior tamanho, como o núcleo.

### Aumento

O aumento final (também chamado de aumento nominal) alcançado por um microscópio composto é resultado da multiplicação dos aumentos proporcionados pela objetiva e pela ocular. Por exemplo, se um objeto é observado com uma objetiva que aumenta 40 vezes, e a ocular amplia 20 vezes essa imagem, o aumento nominal será de 800 vezes ( $20 \times 40 = 800$ ). Em geral, os maiores aumentos obtidos com microscópios de luz raramente ultrapassam 1500 vezes.



À esquerda, células vegetais coradas observadas ao microscópio de luz (aumento de cerca de 85 vezes). À direita, as mesmas células vistas com aumento de 580 vezes.

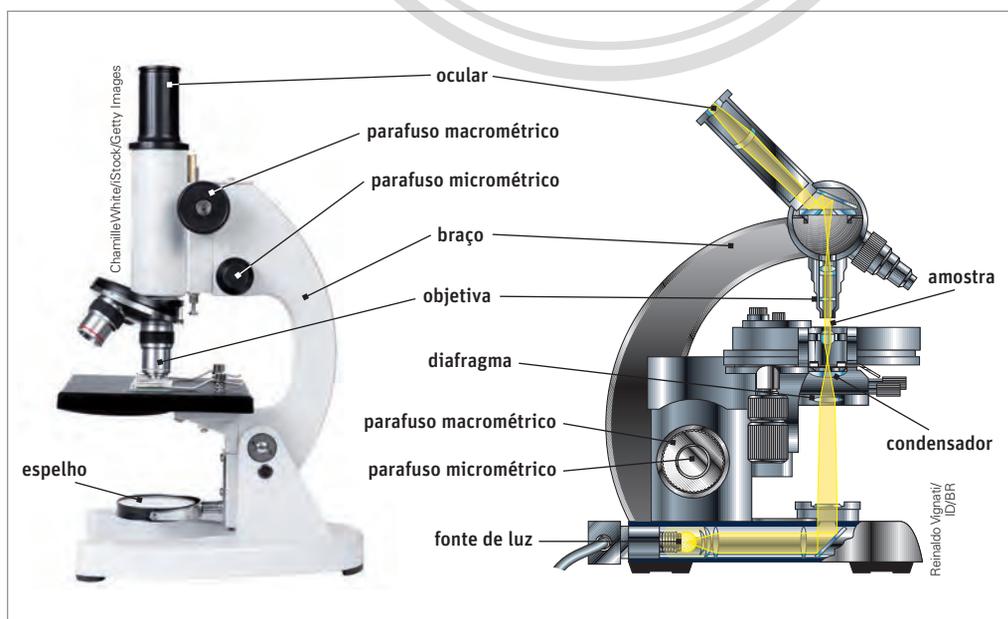


Foto (à esquerda) e esquema (à direita) de microscópios de luz. Captada por um espelho ou gerada por uma lâmpada própria, a luz passa pelo diafragma e pelo condensador, atingindo a amostra localizada sobre a lâmina de vidro. A luz atravessa a amostra e passa pelas lentes objetivas e oculares antes de chegar ao olho do observador. Os parafusos macro e micrométrico permitem ajustar o foco.

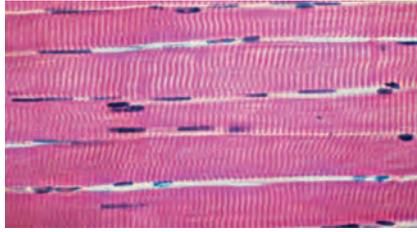
## FERRAMENTAS DA CIÊNCIA

### Tipos de microscópios de luz

#### Microscópio de campo claro

Seu funcionamento está descrito na página anterior. É o mais apropriado para observar amostras que apresentam alto contraste, como cortes corados de tecidos.

Eric Grave/SPL/Latinstock

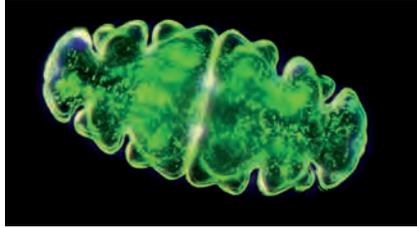


Tecido muscular estriado observado ao microscópio de campo claro. (Aumento de cerca de 1 000 vezes.)

#### Microscópio de campo escuro

Nesse tipo de microscópio, raios de luz oblíquos, que passam por um condensador especial, atingem a amostra. Os que são desviados passam pelo sistema de lentes. Assim, as células aparecem iluminadas sobre um fundo escuro. É mais adequado para observar materiais não corados, seres unicelulares ou suspensões.

SPL/Latinstock

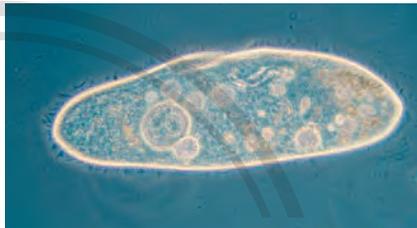


Alga unicelular da espécie *Euastrum oblongum* vista ao microscópio de campo escuro. (Aumento de cerca de 85 vezes.)

#### Microscópio de contraste de fase

O microscópio de contraste de fase permite observar aspectos de células vivas, mesmo sem coloração, como movimentos no citoplasma, alteração de tamanho de vacúolos, locomoção, entre outros. A técnica consiste em utilizar um tipo de microscópio dotado de recursos para detectar diferenças de brilho e contraste na luz que atravessa a amostra.

Michael Abbey/PP/Latinstock

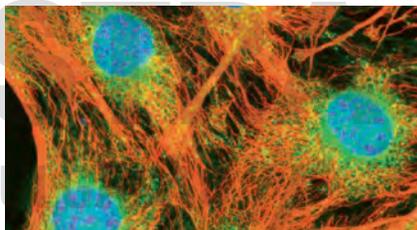


Protozoário ciliado visto ao microscópio de contraste de fase. (Aumento de 160 vezes.)

#### Microscópio de fluorescência

Esse tipo de microscópio utiliza uma lâmpada que produz luz ultravioleta (UV). A amostra é tratada com corantes especiais que emitem luz fluorescente ao receber luz UV. O equipamento também permite detectar substâncias naturalmente fluorescentes, como a vitamina A.

Dr. Gopal Murti/SPL/Latinstock



Células tumorais vistas ao microscópio de fluorescência. (Aumento de 520 vezes.)

#### Microscópio estereoscópico

Também chamado lupa binocular, esse tipo de microscópio é bastante utilizado para observar objetos opacos, isto é, que não são atravessados pela luz. Entretanto, a lupa produz aumentos limitados e é adequada apenas para observar estruturas de maior tamanho.

SPL/Latinstock



Inseto visto sob microscópio estereoscópico. (Aumento de cerca de 5 vezes.)

### ATIVIDADES

- Uma escola recebeu verba para adquirir um microscópio para seu laboratório de Biologia. O modelo escolhido veio com duas oculares, uma de 5 vezes e outra de 15 vezes, e três objetivas: uma de 10 vezes, outra de 40 vezes e outra de 100 vezes. Responda às seguintes questões:
  - Qual é o menor aumento que pode ser obtido com esse microscópio e quais lentes devem ser utilizadas para obtê-lo?
  - Usando-se a ocular de 15 vezes e a objetiva de 40 vezes, uma amostra que seja observada nesse microscópio aparecerá aumentada quantas vezes?

### Microscópio eletrônico

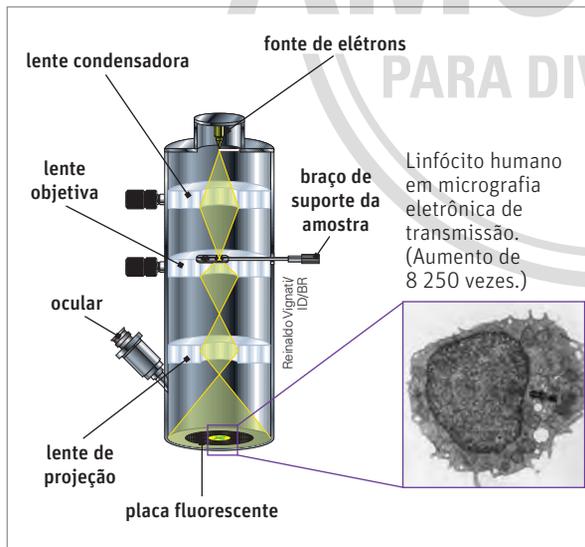
O surgimento do microscópio eletrônico representou, para a Biologia, uma revolução na compreensão da estrutura e do funcionamento da célula. Enquanto os microscópios de luz permitem aumentos máximos de 1 500 vezes, o microscópio eletrônico supera facilmente a barreira de 100 mil vezes. Aumentos dessa ordem permitem ver detalhadamente a chamada ultraestrutura interna da célula.

O microscópio eletrônico, desenvolvido no início dos anos 1930 pelos cientistas alemães Max Knoll (1897-1969) e Ernst Ruska (1906-1988), utiliza um feixe de elétrons em vez de luz. Ímãs direcionam os elétrons até uma tela fluorescente ou um filme fotográfico para criar uma imagem, sempre em preto e branco. Para destacar algumas estruturas, as imagens podem ser coloridas artificialmente.

Os microscópios desse tipo mais utilizados são o microscópio eletrônico de transmissão e o microscópio eletrônico de varredura.

### Microscópio eletrônico de transmissão (MET)

Nesse tipo de microscópio, o feixe de elétrons atravessa a amostra. O material a ser observado deve estar preparado na forma de fatias muito finas, entre 50 nm e 70 nm de espessura (um nanômetro, ou nm, corresponde a um milionésimo de milímetro; para mais informações, veja o boxe *Biologia e Física*, na página 74).



Esquema de funcionamento do microscópio eletrônico de transmissão. Na parte superior do tubo há um filamento de tungstênio (semelhante ao de uma lâmpada) que se torna incandescente ao receber uma corrente elétrica. O filamento emite um feixe de elétrons, que passa por uma série de eletroímãs que direcionam e condensam o feixe em direção à amostra (é preciso produzir vácuo no tubo, para o filamento não queimar e para os elétrons não se desviarem, como ocorreria caso se chocassem com as moléculas de ar). Cores-fantasia.

Fonte de pesquisa: TORTORA, G. J. et al. *Microbiologia*. 10. ed. Porto Alegre: Artmed, 2012, p. 56.

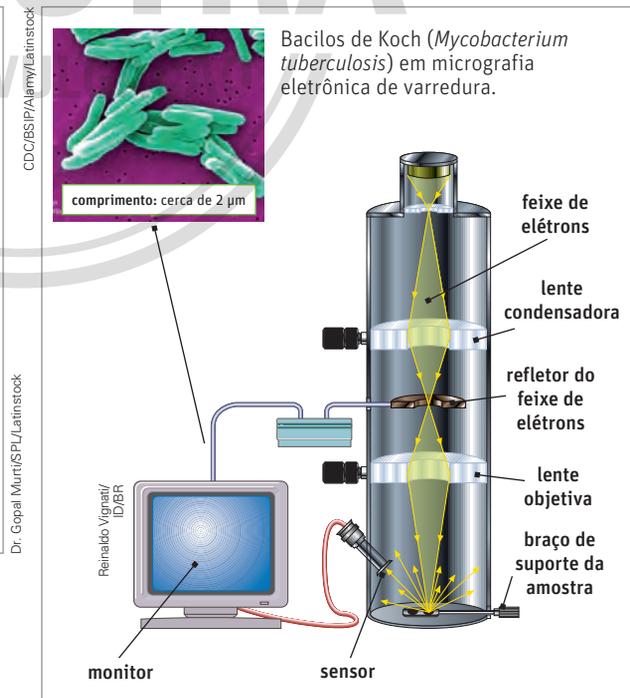
Como a composição química das diferentes estruturas da célula varia muito, algumas regiões deixam passar os elétrons com facilidade, enquanto outras áreas bloqueiam a maior parte do feixe. Os elétrons que atravessam a estrutura observada atingem uma placa, na base do tubo, revestida com um material fluorescente, isto é, um material capaz de emitir luz quando atingido pelos elétrons. Produz-se, assim, uma imagem da amostra. Uma superfície fotossensível (filme, papel fotográfico ou sensor digital) pode ser colocada na base para a produção de uma imagem fotográfica (**micrografia**).

### Microscópio eletrônico de varredura (MEV)

Na década de 1950, foi desenvolvido o primeiro microscópio eletrônico de varredura, que permite observar a superfície dos objetos com grande nitidez. As imagens, tridimensionais, são ricas em detalhes do relevo superficial.

Seu funcionamento se dá por meio de sensores que captam os elétrons refletidos pela superfície da amostra, que, para isso, deve ser capaz de conduzir eletricidade. Por essa razão, as amostras devem ser preparadas em uma câmara de vácuo, onde são pulverizadas com uma fina camada de metal (ouro ou tungstênio, por exemplo).

O objeto não é visto diretamente; a corrente elétrica que atinge os sensores é conduzida a um dispositivo de imagem, como um monitor de TV, ou a um sistema digital de processamento computadorizado.



Esquema de microscópio eletrônico de varredura. O nome "varredura" advém do fato de o feixe de elétrons "varrer", em frequência muito alta, o objeto a ser observado. Cores-fantasia.

Fonte de pesquisa: TORTORA, G. J. et al. *Microbiologia*. 10. ed. Porto Alegre: Artmed, 2012, p. 59-60.

## Células animais e vegetais

Os inúmeros estudos e observações de células realizados ao longo do século XIX, bem como a melhoria na qualidade óptica dos microscópios, tornaram evidente que as células vegetais apresentam um padrão de organização diferente do das células animais, embora ambas tenham as mesmas estruturas fundamentais: membrana, citoplasma e núcleo.

### Célula vegetal

As células vegetais em geral, diferentemente das células animais, possuem a maior parte do citoplasma ocupado por uma – ou mais de uma – grande estrutura chamada de **vacúolo central**. O vacúolo, uma espécie de “bolsa” membranosa, é preenchido por uma solução aquosa cuja função principal é regular o equilíbrio de água no interior do citoplasma. Esse vacúolo “comprime” as demais estruturas do citoplasma contra a membrana da célula. Além do vacúolo central, as células vegetais possuem um grande número de cloroplastos, estruturas delimitadas por duas membranas em cujo interior há um pigmento verde, a clorofila. A clorofila é capaz de absorver energia luminosa, permitindo que o vegetal realize a fotossíntese. Cloroplastos também são encontrados em algas.

Outra diferença marcante dessas células em relação às células animais é a presença de uma espessa **parede**, exterior à membrana, constituída de materiais resistentes, como a celulose, que perduram mesmo após a morte da célula. Por ser rígida, a parede confere à célula vegetal sustentação e uma forma definida (imagem A).

Foi graças à permanência da **parede celular** mesmo após a morte das células que Robert Hooke pôde observá-las nas finas fatias de cortiça que examinou ao microscópio (ver página 65).

### Célula animal

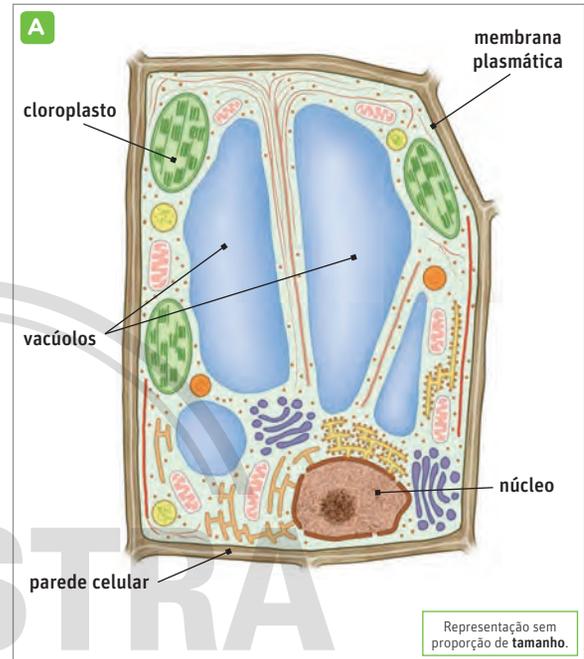
Ao contrário das células vegetais, as células animais (imagem B) não apresentam parede exterior à membrana. Por essa razão, elas normalmente não têm uma forma definida quando se encontram isoladas dos tecidos de que fazem parte. As células animais não têm clorofila, nem cloroplastos, e não realizam fotossíntese. Também não são encontrados grandes vacúolos em suas células, como ocorre nas plantas.

Algumas células animais podem apresentar estruturas locomotoras, como o flagelo, que se prolonga para fora dos limites do citoplasma. Outras podem apresentar cílios, como as células que revestem o interior de nossa traqueia. Células animais também contêm um par de centríolos, estruturas relacionadas à divisão celular e ao movimento de estruturas como os flagelos. Os centríolos não ocorrem na maioria das células vegetais.

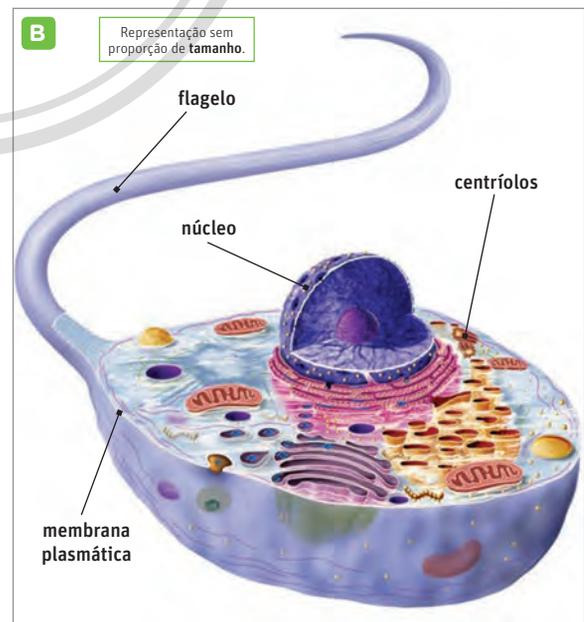
Além dessas diferenças mais marcantes, há outras estruturas exclusivas de células animais e vegetais cujas funções estão relacionadas ao metabolismo característico desses organismos.

## ATIVIDADES

4. Em sua opinião, as representações de células desta página foram baseadas em imagens feitas ao microscópio de luz ou eletrônico? Justifique.



Representação, em corte, de célula vegetal, mostrando vacúolos, cloroplastos e a parede celular, além de outras estruturas. Cores-fantasia.



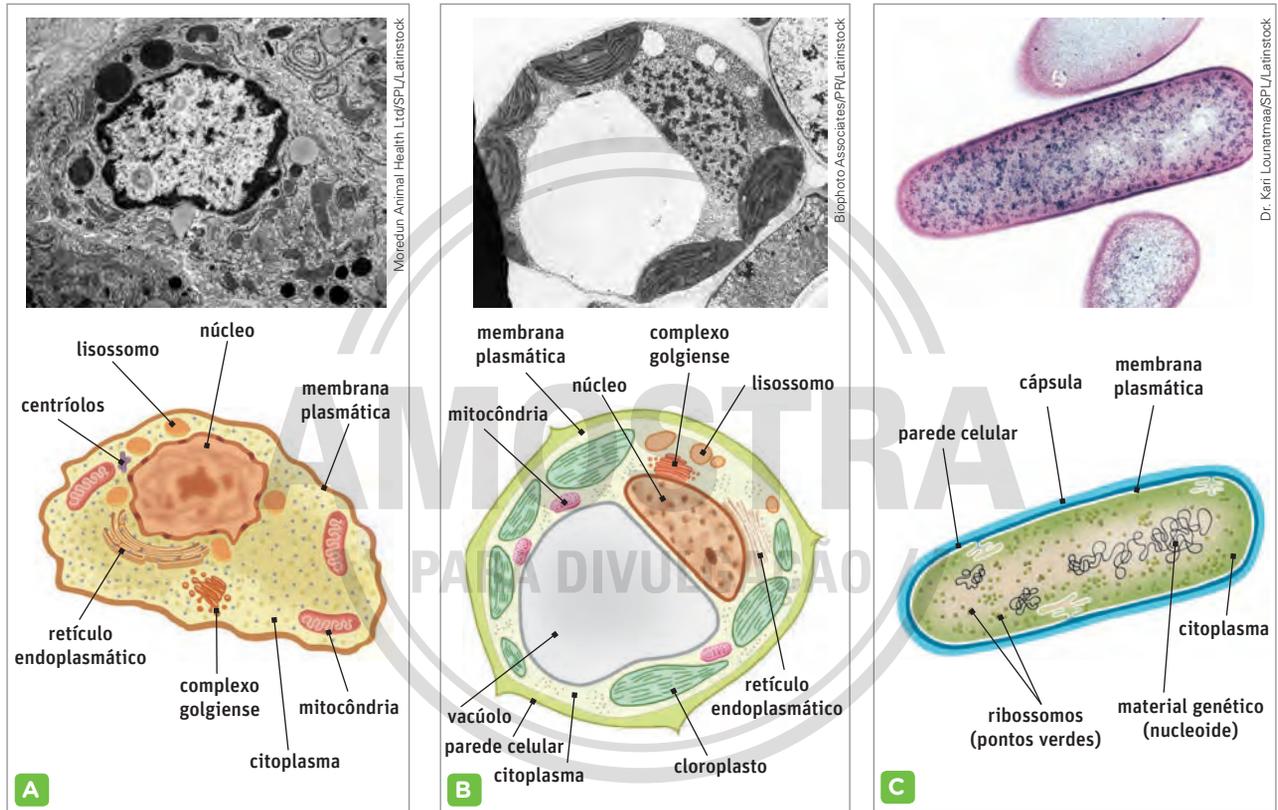
Representação, em corte, de uma célula animal flagelada. Cores-fantasia.

Fonte de pesquisa das ilustrações desta página: REECE, J. B. et al. *Campbell Biology*. 10. ed. [S.l.] Pearson, 2014. p. 100-101.

## Organelas citoplasmáticas: um mundo ainda menor

O microscópio eletrônico possibilitou a obtenção de imagens que revelaram detalhes importantes das diferenças entre seres **eucarióticos** (algas, protozoários, fungos, plantas e animais; imagens **A** e **B**) e **procariontes** (arqueas e bactérias; imagem **C**). Nas células eucarióticas, ou seja, as que apresentam núcleo, podem ser encontradas diversas **organelas citoplasmáticas** delimitadas por membranas, como as mitocôndrias, os cloroplastos e os lisossomos. Lembre-se de que nas células procariontes não há um núcleo: o material genético fica mergulhado no próprio citoplasma, agregado na região central, formando o **nucleoide** (o sufixo *-oide* significa “semelhante a”).

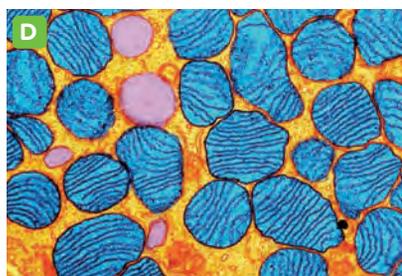
(**A**) Célula eucariótica animal (aumento de cerca de 4 500 vezes). (**B**) Célula eucariótica vegetal (aumento de cerca de 6 mil vezes). (**C**) Célula procarionte de bactéria (aumento de cerca de 17 800 vezes; imagem colorizada). Note a ausência de núcleo e da maioria das organelas nesta última. (Fotos obtidas por microscópio eletrônico de transmissão; ilustrações, em cores-fantasia, produzidas com base nas fotos.)



Os detalhes visualizados em microscópios eletrônicos de transmissão (e que não podem ser visualizados em microscópios de luz) constituem a ultraestrutura da célula. Só depois da invenção desses microscópios foi possível estudar em detalhes as organelas citoplasmáticas.

Cada uma das organelas é especializada na realização de certas funções na célula, tais como destruição de toxinas e síntese, armazenamento e secreção de substâncias (as funções de cada organela estão detalhadas no capítulo 6 deste livro). A imagem **D** mostra mitocôndrias (organelas presentes em células eucarióticas) vistas ao microscópio eletrônico de transmissão.

Mitocôndrias (em azul). (Foto ao microscópio eletrônico de transmissão; imagem colorizada; aumento de cerca de 13 mil vezes.)



### ATIVIDADES

- Embora a composição química do material genético de todos os organismos vivos seja muito semelhante, diz-se que os eucariontes possuem núcleo, enquanto os procariontes possuem um nucleoide. Qual diferença estrutural justifica essa diferença na nomenclatura utilizada para se referir ao material genético em eucariontes e procariontes?

**Além do poder do olho humano**

Durante muito tempo, as células não podiam ser vistas simplesmente porque seu tamanho está abaixo do limite de resolução do olho humano. Por outro lado, a construção de microscópios gerou a necessidade de se usar unidades de medida adequadas ao pequeno tamanho das células e de suas estruturas internas.

Embora o metro (m), unidade básica de medida adotada pelo Sistema Internacional (SI), seja conveniente para a maioria dos objetos com os quais temos contato no dia a dia, usá-lo para expressar os diminutos tamanhos envolvidos na microscopia torna os cálculos bastante trabalhosos. Imagine, por exemplo, usar a medida de 0,000001 metro para expressar o tamanho de uma hemácia (célula vermelha do sangue), ou ainda o valor de 0,000000001 metro para referir-se à espessura da membrana celular! Por essa razão, a microscopia emprega subdivisões do metro expressas em notação científica como potências negativas de 10. As subdivisões mais usadas são o milímetro ( $10^{-3}$  m), o micrômetro ( $10^{-6}$  m) e o nanômetro ( $10^{-9}$  m). Também é frequentemente utilizado o ângström ( $10^{-10}$  m), que corresponde a um décimo do nanômetro, mas que está abaixo do limite de resolução até mesmo dos microscópios eletrônicos (imagem ao lado).

Trabalhar com esses números é bem mais fácil do que fazer cálculos com muitos zeros. O expoente negativo indica, na verdade, a **divisão** por 10. Por exemplo,  $10^{-1}$  significa 1 dividido por 10, ou seja, 0,1. O valor do expoente indica quantas vezes o valor será dividido por dez ( $10^{-2}$  é 1 dividido por 100, ou seja, 0,01). Operações com expoentes negativos seguem as mesmas regras das operações com expoentes positivos: nas **multiplicações** com potências de 10, **somam-se** os expoentes; nas **divisões**, os expoentes são **subtraídos**. Por exemplo,  $1,5 \times 10^{-2}$  multiplicado por  $3 \times 10^{-3}$  resulta em  $4,5 \times 10^{-5}$ . Por outro lado, se dividirmos  $8,2 \times 10^{-6}$  por  $2 \times 10^{-4}$ , o resultado será  $4,1 \times 10^{-2}$ .

O quadro a seguir mostra os símbolos usados para representar as unidades de medida obtidas pela subdivisão do metro, seus valores em potências de 10 e exemplos de objetos cujo tamanho pode ser expresso nessas unidades.

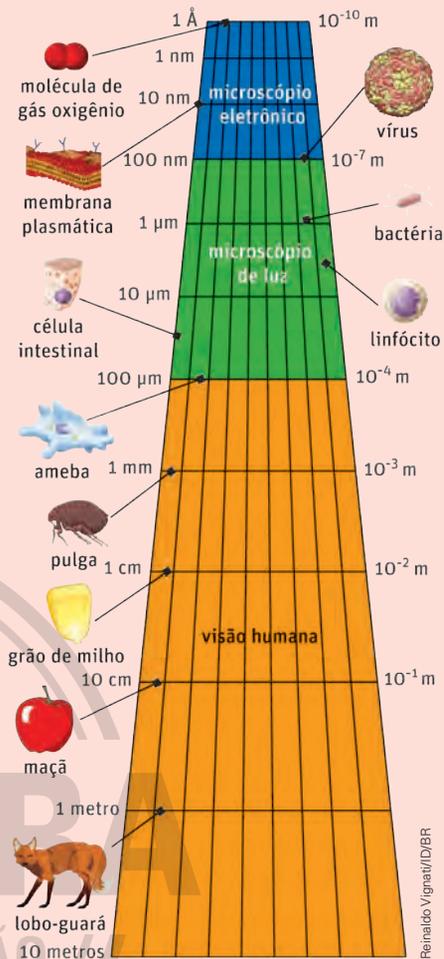


Diagrama representando diversos elementos em uma escala de 1 Å a 10 m.

Unidade	Relação com o metro	Símbolo	Exemplo	Medida
<b>Metro</b>	1	m	altura de uma casa	> 4 m
<b>Milímetro</b>	mili = $10^{-3}$	mm	espessura do grafite de lápis comum	> 2 mm
<b>Micrômetro</b>	micro = $10^{-6}$ (milésimo de milímetro)	μm	diâmetro de hemácia humana	> 7 μm
<b>Nanômetro</b>	nano = $10^{-9}$ (milionésimo de milímetro)	nm	molécula de água	> 0,3 nm
<b>Ângström</b>	nanodécimo = $10^{-10}$	Å	átomo de hidrogênio	> 0,5 Å a 13 Å

Com algumas exceções, o tamanho médio das células eucarióticas está entre 10 μm e 100 μm. As células procarióticas, como as bactérias, estão entre as menores células, com tamanho médio em torno de 2 μm.

Algumas células são consideradas macroscópicas (podem ser vistas a olho nu), como é o caso de certas células glandulares, que medem 1,5 mm, presentes em alguns insetos.

**ATIVIDADES**

6. Considere um microscópio com limite de resolução entre 2 μm e 10 μm. Consulte a tabela e o diagrama acima e responda: Qual a menor estrutura, entre as citadas, que poderia ser vista utilizando esse microscópio?

## Utilizando o microscópio para aprender a identificar o *Aedes aegypti*

Do lado de fora do micro-ônibus da Fundação Oswaldo Cruz (Fiocruz), os estudantes do Colégio Estadual Tereza Helena Mata Pires, no Alto do Cabrito, disputavam a vez de quem ia entrar. Aquele não era um ônibus como outro qualquer. É um laboratório volante do Ciência-móvel e, lá, a grande novidade era ver o mosquito e as larvas do *Aedes aegypti* de uma maneira bem próxima: em um microscópio.

“Estou achando interessante porque a gente pode ver a evolução do mosquito”, disse a estudante Camila Santos, 13 anos, do 8º ano. Na fila, Roberta Ingrid Pinto, 14, lembrou de uma experiência mais próxima com as larvas do *Aedes*. “Eu estava brincando na rua quando eu vi um copo com um monte de larvas dentro, aí eu joguei tudo fora”, contou a aluna.

Antes de viverem a experiência no ônibus, os estudantes usaram apitos, cartazes e máscaras pretas com pintinhas brancas para chamar a atenção da comunidade em um apitão [...]. A iniciativa faz parte da mobilização contra o *Aedes aegypti*, que vai se estender por toda a rede estadual.

O pesquisador da Fiocruz Marcos Vannier explicou a importância de mostrar uma outra perspectiva do assunto. “Quando eles veem as larvas, veem os movimentos, porque estão filtrando água o tempo todo, percebem que não é só na água limpa e parada que elas estão. Assim a criança pode apreender essa informação e transmitir para sua família”, afirmou.

Além dos microscópios, os estudantes também tiveram acesso a maquetes que mostram locais onde há possibilidade de proliferação do mosquito. “A gente trouxe as maquetes que mostram os principais criadouros, prepara o jovem estudante pra fazer a inspeção da sua casa, dos vizinhos, amigos e colegas, assim como tem uma capilaridade maior da informação, eles andam por toda comunidade”, completou Vannier.

### Cuidados

Durante uma palestra na sala de aula, o estudante Sérgio Sander observava atento aos tubos de ensaio com as larvas.

PALMA, A. Estudantes do subúrbio usam microscópio para aprender a identificar *Aedes aegypti*. *Correio*. 24 fev. 2016. Disponível em: <<http://www.correio24horas.com.br/detalhe/noticia/estudantes-participam-de-mobilizacao-para-combater-aedes-aegypti-no-alto-do-cabrito/?cHash=5ae58e42b5213c3238283991203a5492>>. Acesso em: 6 abr. 2016.



Visuais Uniliteel/Corbis/Fotorena

*Aedes aegypti*. (Foto ao microscópio de luz; uso de corantes; aumento de cerca de 5 vezes.)

Ele garante que tem todos os cuidados dentro de casa. “Eu venho cuidando da minha casa, eu fico protegendo, eu faço várias coisas: tiro vasos de plantas, lavo as vasilhas dos cachorros, lavo bem e depois encho de novo”, contou.

O cuidado de Sérgio vai além dos muros de casa. “Na rua eu faço também, tem muitos copos descartáveis de boca pra cima, eu jogo no lixo e rasgo o fundo pra que não possa acumular água”, completou.

O estudante Jeanderson Carlos Santana, 13, também garante que está sempre atento aos possíveis focos do mosquito. “A gente sempre olha em tanques, e se tem alguma poça que pode ter larva”, disse. [...]

### Visitas

Depois dos gritos para chamar atenção, os estudantes foram de casa em casa distribuir panfletos informativos sobre a proliferação dos mosquitos e de criadouros no bairro. Eles também ajudaram alguns moradores a recolher materiais que serviriam como criadouro das larvas. [...]

A diretora da escola, Maria Fontes, explicou que toda a mobilização fará parte do projeto pedagógico da unidade. “Todos os professores da escola estão envolvidos nesse projeto, tendo como tema central o combate ao mosquito. Queremos conscientizar os alunos e transformá-los em agentes multiplicadores de todas as ações”, afirmou.

[...]

### PARA DISCUTIR

1. A reportagem mostra como o microscópio, aparelho que você conheceu neste capítulo, pode ser usado para aumentar o conhecimento de estudantes sobre o ciclo de vida do *Aedes aegypti*. Indique duas outras possibilidades de uso do microscópio que colaborariam para levar conhecimento às pessoas de sua comunidade.
2. O texto mostra que há uma grande preocupação em evitar a proliferação do mosquito *Aedes aegypti*. Essa preocupação é justificada? Explique.

## Como funcionam as lentes?

Apesar de podermos enxergar coisas bem pequenas (o limite de resolução do olho humano é de 100 micrômetros, ou seja, 0,1 milímetro), existem muitos seres vivos ainda menores, que só são vistos com o auxílio de instrumentos. É o caso da maioria dos microrganismos e, também, da maioria das células. O estudo desses seres e a citologia estão ligados à invenção do microscópio.

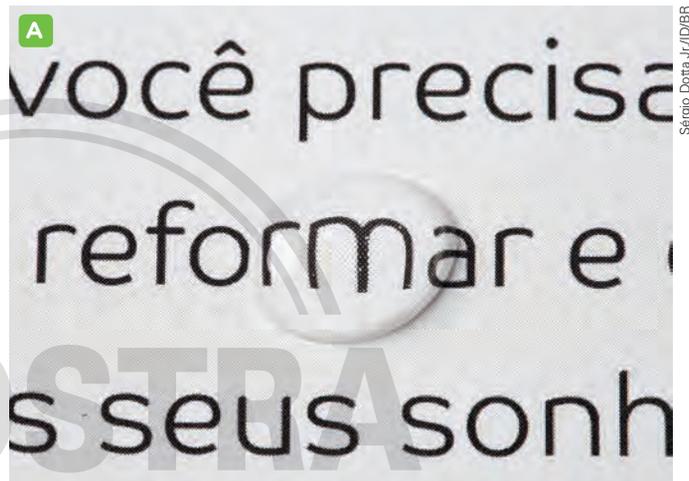
Como você já sabe, um microscópio é um instrumento que permite observar seres ou objetos invisíveis a olho nu. Isso é possível pelo uso de lentes. O funcionamento das lentes é estudado pela óptica, um ramo da Física.

## As lentes e a luz

Quando olhamos através de um vidro plano, como uma janela, vemos os objetos praticamente como eles são. Mas, ao olharmos pelo vidro de uma garrafa, vemos os objetos distorcidos. A diferença é que o vidro da garrafa é curvo, e o da janela, não.

O vidro da garrafa funciona como uma lente: sua curvatura modifica o modo como vemos os objetos. Dependendo da sua forma, as lentes têm a capacidade de diminuir ou aumentar a imagem dos objetos observados.

Além do formato das lentes, o material de que são feitas também influencia a formação da imagem. Em geral, as lentes são de vidro ou plástico transparente, mas diversos materiais – como a água – também ampliam, reduzem ou deformam imagens. Podemos verificar isso colocando uma gota de água sobre um texto de jornal (imagem A).



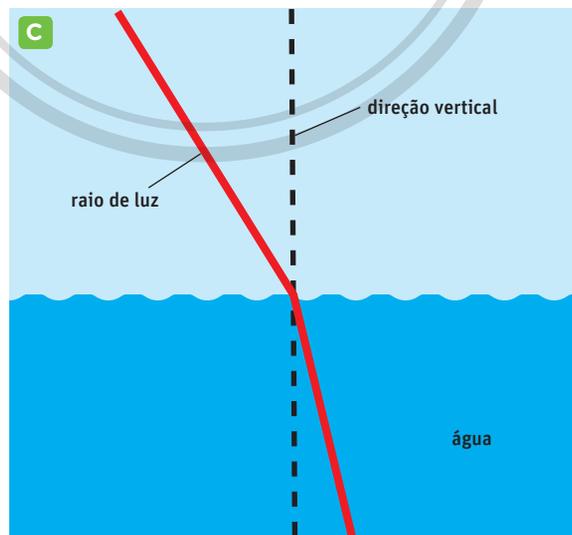
Sergio Dotta Jr./ID/BR

Gota de água sobre um texto impresso. Observe como as letras parecem deformadas quando vistas através da gota.



Sergio Dotta Jr./ID/BR

Pincel mergulhado em um copo com água.



Reinaldo Vignatti/ID/BR

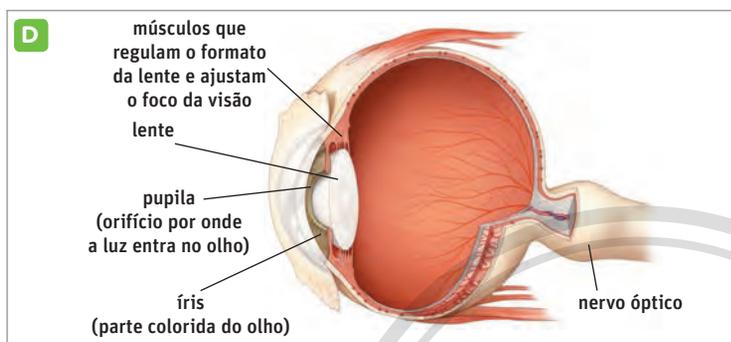
Representação da refração de um raio de luz ao passar do ar para a água (ou vice-versa). Cores-fantasia.

Observe a imagem B. Por que o pincel parece deformado? Esse fenômeno é chamado de **refração** e está representado na imagem C. A refração acontece porque a luz muda de direção dependendo do material que ela atravessa (na foto do pincel, a luz atravessa o vidro e a água). Essa mudança de direção nos dá a impressão de que os objetos mudam de lugar ou de tamanho.

## Imagens nítidas

As lentes são construídas de modo muito cuidadoso: é preciso garantir que a luz seja desviada da maneira desejada a fim de produzir uma imagem nítida e não deformada. Instrumentos que usam lentes, como microscópios, lunetas e binóculos, possuem mecanismos que permitem variar um pouco a distância entre as lentes a fim de produzir uma imagem nítida.

O olho humano também tem um sistema de ajuste que permite enxergar objetos de longe e de perto. Esse ajuste é feito por pequenos músculos presos à lente que existe dentro do olho (imagem D).



Representação do interior do olho humano. Cores-fantasia.

Fonte de pesquisa: TORTORA, G. J. *Corpo humano: fundamentos de fisiologia e anatomia*. 8. ed. Porto Alegre: Artmed, 2012. p. 308-312.

Observe a ilustração de um microscópio de luz na página 69. Em cada microscópio há pelo menos duas lentes que ampliam a imagem: uma objetiva, que fica mais perto do objeto, e outra, denominada ocular, próxima ao olho do observador.

Sabendo quantas vezes a objetiva e a ocular aumentam uma imagem, é possível calcular a ampliação total do microscópio. Por exemplo, se a objetiva aumenta 40 vezes e a ocular aumenta 10 vezes, a imagem será vista com uma ampliação de  $40 \times 10 = 400$  vezes. Veja um exemplo nas imagens E e F.



Cebola vista a olho nu.



Células de cebola vistas ao microscópio de luz; aumento de cerca de 200 vezes.

### ATIVIDADES

1. Para testar como a ampliação das imagens funciona, realize a atividade a seguir. Você vai precisar de duas lupas e um pequeno objeto, que pode ser, por exemplo, um grão de feijão.
  - Coloque uma das lupas sobre o feijão, de modo que ele apareça ampliado.
  - Coloque a segunda lupa entre seus olhos e a primeira lupa.
  - Mova a segunda lupa para cima e para baixo, até que a imagem do grão fique nítida. O feijão deve parecer maior do que quando visto através apenas da primeira lupa.
  - Se você souber o quanto cada lupa aumenta, poderá calcular a ampliação total do seu sistema de lentes.

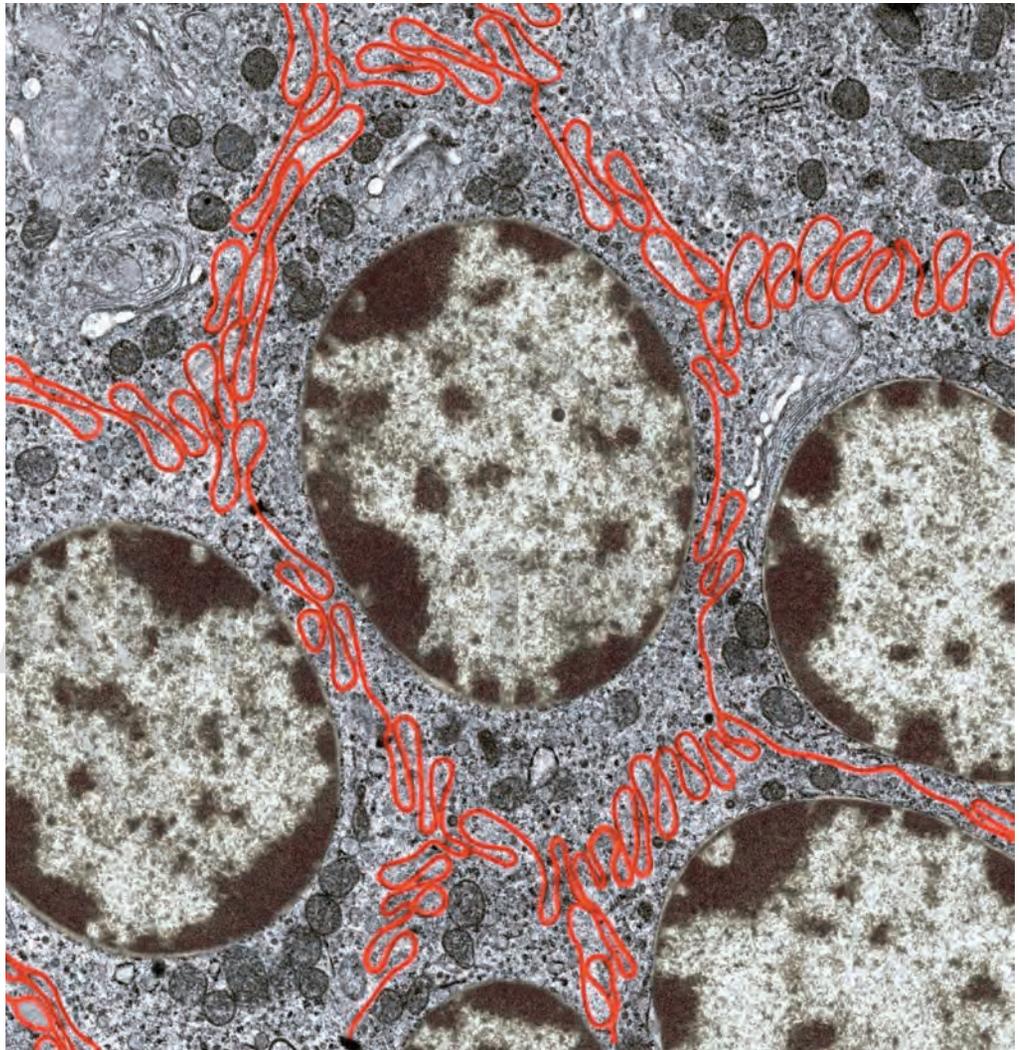
# Os limites da célula

## O QUE VOCÊ VAI ESTUDAR

A composição e a estrutura da membrana plasmática.

Processos envolvidos na troca de substâncias entre a célula e o meio externo.

Envoltórios externos à membrana plasmática.



Steve Gschmeissner/Science Photo Library/Lainstock

Células do fígado, com destaque para os limites entre elas (em vermelho). (Foto ao microscópio eletrônico de transmissão; imagem parcialmente colorizada; aumento de cerca de 15 mil vezes.)

As células compõem todos os seres vivos. Nos seres multicelulares, a maior parte delas é cercada por outras células do mesmo organismo. Nos seres unicelulares, como bactérias, protozoários e algumas algas, a célula está em contato direto com o ambiente externo. Mas, em todos os casos, há uma estrutura que as delimita.

Essa estrutura é a membrana plasmática, também chamada de membrana celular. Trata-se de um envoltório flexível e extremamente fino que reveste a célula, separando-a do meio externo, mas que, ao mesmo tempo, permite que ela troque substâncias com o meio e se comunique com outras células.

Como veremos neste capítulo, as células de qualquer ser vivo apresentam membranas com composição e estrutura semelhantes. Existem, porém, variações que diferenciam cada tipo de célula das demais.

## Composição e estrutura da membrana plasmática

A membrana plasmática é composta de **lipídios** e **proteínas**. Os lipídios são principalmente **fosfolipídios**, mas, além deles, estão presentes, em menor proporção, **colesterol** e **glicolipídios**, moléculas de carboidrato ligadas aos lipídios da membrana. Também é comum a presença de **glicoproteínas**, moléculas de carboidrato associadas às proteínas da membrana.

Em 1972, os pesquisadores estadunidenses S. Jonathan Singer e Garth Nicholson sugeriram um modelo de membrana, aceito até hoje, capaz de explicar a maior parte das propriedades dessa estrutura. Devido à grande mobilidade dos componentes da membrana, o modelo proposto por Singer e Nicholson também é chamado Modelo de Mosaico Fluido (imagem A).

### Lipídios da membrana

Segundo o modelo de mosaico fluido, a membrana plasmática é formada por duas camadas de moléculas de fosfolipídios. A conformação dessas moléculas, com uma porção polar (hidrofílica) e uma cauda apolar (hidrofóbica), favorece sua organização orientada na constituição da membrana, isto é, as caudas apolares, que não têm afinidade pela água, ficam voltadas para o interior da membrana, em contato umas com as outras, e as porções polares, que têm afinidade pela água, ficam voltadas para o exterior (imagem B), em contato com o citoplasma e o meio extracelular (ambos contêm água).

As moléculas de fosfolipídios movem-se livremente, porém sem perder o contato umas com as outras. Isso confere à membrana propriedades como elasticidade, flexibilidade e capacidade de regeneração.

### Proteínas da membrana

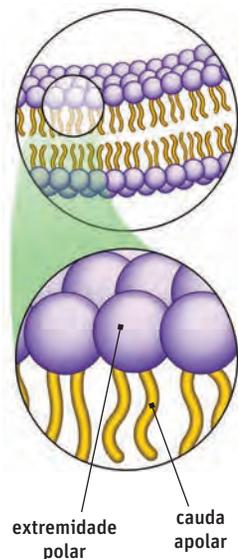
O modelo de Singer e Nicholson sugere que as moléculas de proteína estão inseridas na bicamada lipídica e podem deslocar-se horizontalmente ao longo dessa superfície ou, ainda, da face interna para a externa, e vice-versa.

De acordo com a posição em relação à camada lipídica, as proteínas podem ser:

- **Proteínas transmembranas:** atravessam a bicamada lipídica de lado a lado.
- **Proteínas periféricas:** não atravessam a bicamada lipídica; despontam apenas de um dos lados, interno ou externo, da membrana plasmática.

A grande variedade de proteínas presentes na membrana confere características próprias a cada tipo de célula.

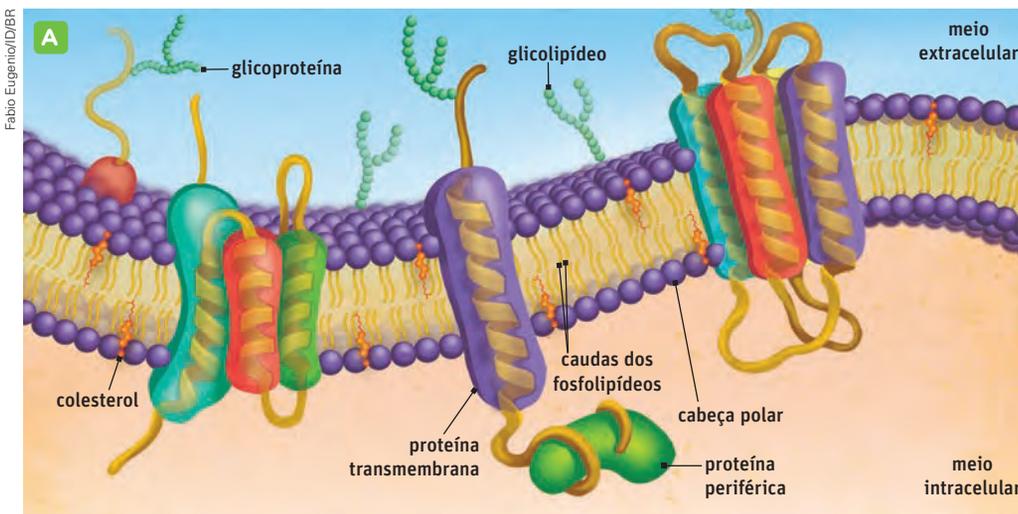
**B** Representação sem proporção de tamanho.



Paulo César Pereira/ID/BR

Representação da bicamada lipídica: no detalhe, moléculas de fosfolipídios. Cores-fantasia.

Fonte de pesquisa: ALBERTS, Bruce et al. *Fundamentos da biologia celular*. 3. ed. Porto Alegre: Artmed, 2011. p. 365-370.



Fabio Eugenio/ID/BR

Representação sem proporção de tamanho.

Representação da membrana plasmática de acordo com o Modelo de Mosaico Fluido. Note como os lipídios (fosfolipídios e colesterol), as proteínas, os glicolipídios e as glicoproteínas estão organizados. Cores-fantasia.

Fonte de pesquisa: Reece, J. B. et al. *Campbell Biology*. 10. ed. [S.l.] Pearson, 2014. p. 125.

## Carboidratos da membrana

Os carboidratos associados aos lipídios (glicolipídios) e às proteínas (glicoproteínas) da membrana plasmática são essenciais no reconhecimento célula-célula. A composição, a quantidade e a disposição dessas moléculas variam de acordo com a célula e representam uma espécie de “impressão digital” celular. Isso possibilita que células que não pertencem ao organismo sejam reconhecidas e eliminadas pelo sistema imunitário. Por outro lado, essas moléculas também podem provocar rejeição, por exemplo, em transplantes de órgãos e transfusões entre tipos não compatíveis de sangue. Os tipos sanguíneos (A, B, AB e O) são definidos de acordo com os tipos de glicolipídios e glicoproteínas presentes na membrana celular das hemácias (células vermelhas do sangue).

O reconhecimento celular também permite que tipos celulares de um mesmo organismo se identifiquem, como acontece entre neurônios (células do sistema nervoso), que se associam formando redes.

## Funções da membrana plasmática

A membrana celular desempenha diversas funções, entre as quais se destacam o reconhecimento e o transporte de substâncias.

### Reconhecimento de substâncias

Na membrana plasmática existem **proteínas receptoras** que reconhecem a presença de determinadas substâncias no meio extracelular. Essas substâncias, chamadas de **mensageiras** ou **ligantes**, atuam como estímulo, ou seja, como um sinal ao qual a célula responde, modificando seu funcionamento. Em alguns casos, pequenas moléculas presentes no meio intracelular, denominadas **mensageiros intracelulares**, também participam da resposta da célula (imagem ao lado).

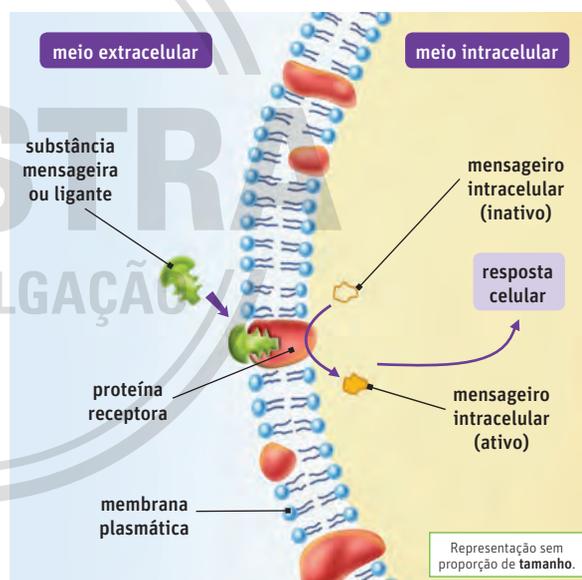
Existem muitos tipos de receptores na membrana. Cada um deles interage com ligantes diferentes, como um mecanismo chave-fechadura. Assim, uma molécula mensageira só poderá interagir com uma célula que possua, em sua membrana, os receptores correspondentes. Por exemplo, um hormônio que estimula a glândula tireoide não se liga às células do ovário, uma vez que elas não apresentam receptores para esse hormônio.

### ATIVIDADES

1. O HIV, causador da aids, é capaz de invadir determinadas células do sistema imunológico humano, mas não ataca outras células do corpo humano. Sabendo que o vírus possui um envoltório externo composto por proteínas, elabore uma hipótese para explicar como o HIV reconhece e invade determinadas células, mas não outras.

Fonte de pesquisa: BSCS Biology: a molecular approach. 9. ed. Columbus: Glencoe/McGraw-Hill, 2006. p. 84.

Esquema da interação entre os receptores da membrana e as moléculas mensageiras. Cores-fantasia.



Luís Moura/ID/BR

## AÇÃO E CIDADANIA

### Diabetes

O diabetes é um distúrbio causado pela incapacidade do organismo de produzir ou utilizar insulina. Essa substância, produzida pelo pâncreas, auxilia a entrada de glicose nas células. Por isso, na falta de insulina, a quantidade de glicose no sangue aumenta, o que pode provocar, ao longo do tempo, problemas visuais, circulatórios, cardíacos, renais, entre outros. Sem tratamento adequado, o diabetes pode levar à morte.

Existem dois tipos de diabetes: o tipo I e o tipo II. No tipo I, o sistema imunitário destrói as células do pâncreas que a produzem. Causada por fatores genéticos, é mais comum em pessoas com menos de 20 anos. No

diabetes tipo II, a quantidade de insulina no sangue é frequentemente elevada, mas a glicose não é absorvida. Isso acontece porque as células do corpo apresentam menos receptores de insulina na membrana plasmática. O diabetes tipo II é mais frequente em pessoas sedentárias, com hábitos alimentares incorretos e com mais de 35 anos. Evitar o sobrepeso e a obesidade, praticar atividades físicas regularmente, não fumar e controlar a pressão arterial são medidas de prevenção.

No Brasil, instituições governamentais possuem programas de distribuição gratuita de remédios para diabetes.

## Transporte de substâncias

A célula troca substâncias com o meio continuamente. Substâncias fundamentais para sua sobrevivência, como gás oxigênio, aminoácidos e glicose, devem passar do meio externo para o interno. Da mesma maneira, a célula produz substâncias que devem ser eliminadas, como o gás carbônico.

## Permeabilidade seletiva

Nem todas as substâncias passam pela membrana plasmática. Enquanto algumas moléculas podem atravessá-la livremente, outras têm sua passagem controlada ou até mesmo bloqueada. Por ser permeável a algumas substâncias e impermeável a outras, a membrana plasmática é considerada uma membrana **semipermeável**. A propriedade da membrana de selecionar algumas das substâncias que a atravessam é chamada de **permeabilidade seletiva**.

Há diferentes processos envolvidos no transporte de substâncias através da membrana. Esses processos podem ser classificados de acordo com a energia gasta pela célula, como veremos a seguir.

## BIOLOGIA E QUÍMICA

### Soluções

Água com açúcar, café solúvel e chás preparados são exemplos de soluções, ou seja, de misturas cujos componentes não podem ser distinguidos a olho nu.

Uma solução é formada por um soluto, que é a substância dissolvida, e um solvente, a substância que dissolve o soluto. Por exemplo, em uma solução de água e açúcar, a água é o solvente, e o açúcar, o soluto. Por sua grande capacidade de dissolver substâncias, a água é chamada de solvente universal.

### Concentração de uma solução

A concentração indica a proporção de soluto e de solvente em uma solução (imagem **A**). Por exemplo, a concentração de uma solução de 1 L de água e 9 g de sal de cozinha é de 9 g/L. Também é possível expressar a concentração em porcentagem:

$$\frac{9 \text{ g}}{1000 \text{ g}} = 0,9\%$$

### Gradiente de concentração

Quando uma solução apresenta regiões com diferentes concentrações de soluto, dizemos que há diferença de concentração ou **gradiente de concentração**.

Por exemplo, o café que bebemos é uma solução de água e diversos solutos igualmente distribuídos. Entretanto, o café solúvel não se dissolve instantaneamente. Assim que é colocado em uma xícara com água quente, formam-se manchas escuras, que correspondem às regiões em que a solução é mais concentrada (imagem **B**). Com o tempo, o café (soluto) se desloca da região em que está mais concentrado para aquelas em que está menos concentrado, até que a concentração da solução se iguale em todos os pontos. Quando agitamos o líquido com uma colher, aceleramos esse processo.

### Comparando concentrações

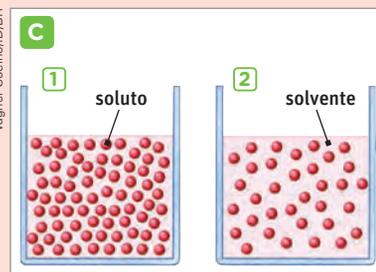
De acordo com a quantidade de soluto e solvente que contém, as soluções podem ter concentrações diferentes. Em uma comparação entre duas soluções (imagem **C**), a mais concentrada é chamada **hipertônica**, enquanto a menos concentrada é chamada **hipotônica**. Soluções de mesma concentração são chamadas **isotônicas**.



O soro fisiológico é preparado com cloreto de sódio (sal de cozinha) e água destilada. A concentração de 0,9% indica que cada litro de solução contém 9 g de sal.



Café solúvel dissolvendo-se em água.



Representação sem proporção de tamanho.

A solução **1** é hipertônica em relação à solução **2**. E a solução **2** é hipotônica em relação à solução **1**. Cores-fantasia.

Fotografias: Eduardo Santalles/D/BR

Fernando Favoreto/Criar Imagem

Vagner Coelho/D/BR

## Transporte por processos passivos

Esse tipo de transporte ocorre espontaneamente, por isso também é chamado de **transporte passivo**. As substâncias entram na célula ou saem dela de acordo com as diferenças de concentração, sem gasto de energia.

### Difusão simples

As partículas que constituem a matéria, como átomos e moléculas, estão em movimento constante. Esse movimento é mais intenso nos gases do que nos líquidos, e mais intenso nestes do que nos sólidos.

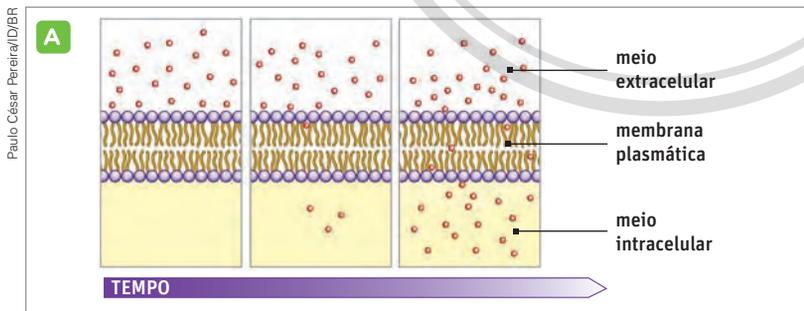
A intensidade do movimento também depende da temperatura: quanto maior ela for, mais as partículas se movimentam. Essa característica afeta muitos processos que ocorrem nos seres vivos, incluindo o transporte de substâncias através da membrana plasmática.

Por exemplo, em um copo com água, todas as moléculas do líquido estão em movimento (o movimento das moléculas que formam o copo não será considerado). Imagine que uma colher de chá de sal de cozinha seja adicionada à água. Como as partículas que compõem o sal também se encontram em movimento espontâneo, depois de algum tempo o sal estará homogeneamente espalhado por toda a água, desde que a quantidade de soluto possa ser dissolvida no solvente. Dizemos, então, que houve **difusão** do soluto através do solvente.

A difusão ocorre sempre da região onde há maior concentração de soluto em direção à região de menor concentração, ou seja, ela ocorre a **favor do gradiente de concentração**. Esse processo faz o gradiente de concentração diminuir à medida que o soluto se difunde da região de maior concentração para a de menor concentração, até atingir uma distribuição homogênea. Nessa situação, o movimento das moléculas não cessa: elas continuam se movendo aleatoriamente pela solução.

Algumas substâncias entram nas células ou saem delas por difusão (imagem A). Para que isso ocorra, são necessários dois fatores:

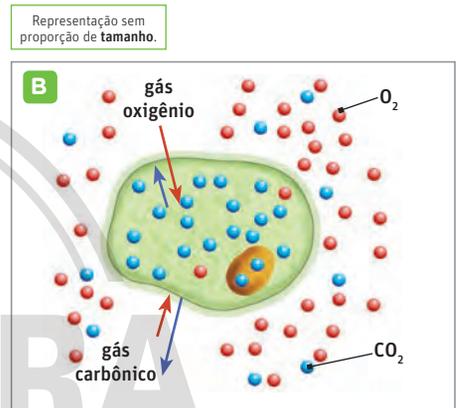
- A existência de gradiente de concentração entre célula e ambiente.
- A membrana plasmática deve ser permeável ao soluto.



Paulo César Pereira/D/BR

## ATIVIDADES

2. A atmosfera terrestre possui aproximadamente 21% de gás oxigênio e 0,03% de gás carbônico. O ar expirado pelo ser humano, em condições normais, apresenta aproximadamente 16% de gás oxigênio e 4% de gás carbônico. Sabendo-se que as células consomem  $O_2$ , explique por que o ar expirado apresenta quantidade considerável desse gás.



Vagner Coelho/D/BR

Esquema das trocas gasosas em uma célula, em que o  $O_2$  é absorvido e o  $CO_2$  é eliminado por difusão. Pequenas quantidades dessas substâncias transitam em sentido oposto, mas a tendência é de equilíbrio entre as concentrações. Cores-fantasia.

Representação sem proporção de tamanho.

Esquema do processo de difusão de um soluto através da membrana plasmática. À esquerda, o soluto está inteiramente no meio extracelular. Na figura central, ele começa a entrar na célula. À direita, já está distribuído homogeneamente. Cores-fantasia.

Fonte de pesquisa das imagens desta página: REECE, J. B. et al. *Campbell Biology*. 10. ed. [S.l.] Pearson, 2014. p.47-48, 53.

**Capilar:** vaso sanguíneo com espessura extremamente fina que permite trocas de substâncias por sua parede.

## Osmose

Quando duas soluções estão separadas por uma membrana semipermeável, ou seja, permeável apenas ao solvente, este se desloca do meio com menor concentração para o meio em que a concentração é maior. Esse fenômeno é chamado de **osmose**. A tendência é que, com o passar do tempo, as concentrações se igualem. Observe as imagens **A** e **B**.

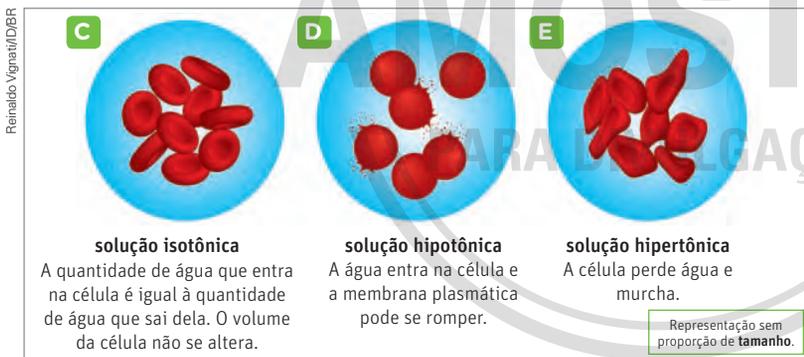
A osmose, fenômeno muito frequente nos seres vivos, pode ser considerada um tipo especial de difusão que reduz o gradiente de concentração e ocorre sem gasto energético.

### Osmose em células animais

Em um meio extracelular isotônico, isto é, com a mesma concentração do citoplasma, a quantidade de água que entra na célula é aproximadamente igual à que sai dela (imagem **C**).

Se o meio extracelular é hipotônico, isto é, tem concentração menor que a do citoplasma, ocorrerá passagem de água do meio menos concentrado – o lado de fora da célula – para o meio mais concentrado – o lado de dentro da célula. Dessa forma, células mergulhadas em soluções hipotônicas tendem a absorver água (imagem **D**). Se a absorção de água é muito grande, a célula incha até que a membrana celular se rompe, e a célula morre.

Se o meio é hipertônico, ou seja, mais concentrado do que o citoplasma, as células tendem a perder água para o meio. Isso acontece porque a água passa do meio menos concentrado – neste caso, o interior da célula – para o meio externo, mais concentrado, e a célula pode murchar e até morrer (imagem **E**).

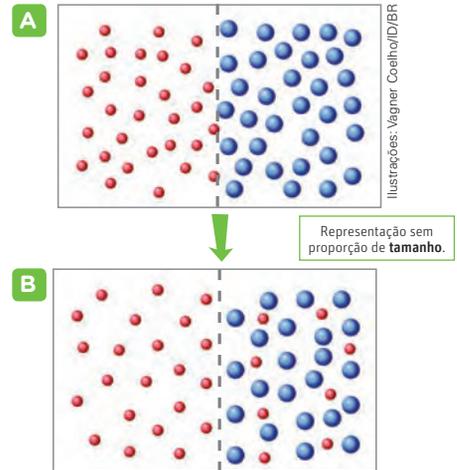


Esquema de hemácias mergulhadas em soluções com diferentes concentrações. Cores-fantasia.

### Osmose em células vegetais

Células vegetais também absorvem ou perdem água por osmose. Imersa em meio hipertônico, a célula vegetal perde água por osmose, o que pode levá-la ao murchamento. As células vegetais, porém, possuem uma parede celulósica que recobre a membrana. Quando a célula murcha, a membrana se deforma, mas a parede celular, por ser menos flexível, não sofre a mesma deformação. Como consequência, pode haver o descolamento da membrana plasmática da parede celular, fenômeno denominado **plasmólise** (imagem **F**).

A plasmólise pode ser revertida se as células forem imersas em meio hipotônico: a célula absorve água por osmose, voltando a seu estado normal, no fenômeno denominado **deplasmólise**. Se a diferença de concentração persiste, a célula absorve mais água, ficando **turgida** (inchada). A presença da parede celular, porém, impede que a célula continue inchando. Assim, não ocorre o rompimento da membrana plasmática (imagem **G**).

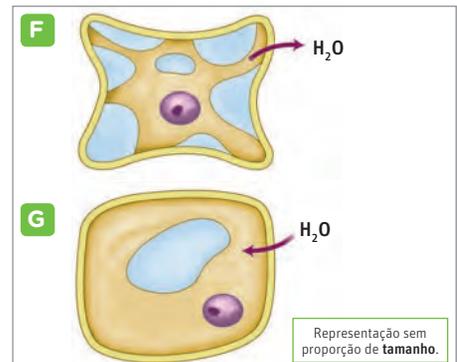


Esquema de ocorrência da osmose. A membrana semipermeável (linha tracejada) é permeável ao solvente (vermelho), mas não ao soluto (azul). Cores-fantasia.

### ATIVIDADES

3. As frutas, em geral, não se conservam adequadas ao consumo por muito tempo: a ação de microrganismos, como fungos e bactérias, sobre as substâncias orgânicas das frutas provoca seu apodrecimento. O mesmo não acontece com frutas cristalizadas ou em compota, que se conservam por meses.

- Explique por que as conservas açucaradas são mais resistentes ao ataque de microrganismos do que frutas frescas.
- Você conhece outro método de conservação de alimentos que tenha por base o mesmo princípio?



Representação esquemática de células vegetais imersas em solução hipertônica (**F**) e hipotônica (**G**). Cores-fantasia.

Fonte de pesquisa das imagens desta página: REECE, J. B. et al. *Campbell Biology*. 10. ed. [S.l.] Pearson, 2014. p. 131-132.

## Osmorregulação

As células de protozoários e certos invertebrados marinhos têm concentração de sais equivalente à do meio externo. Por isso, a quantidade de água em seu interior se mantém constante.

Mas, para muitos seres vivos, a regulação da osmose, conhecida como **osmorregulação**, é imprescindível à sobrevivência e envolve processos que gastam energia. Peixes marinhos, por exemplo, tendem a perder água por osmose, pois suas células são menos concentradas do que a água do mar. Nesse caso, absorver água do mar – hipertônica – não basta: é preciso eliminar o excesso de sais, o que ocorre pelas brânquias.

Peixes de água doce, por sua vez, são hipertônicos em relação ao meio e tendem a absorver água por osmose. O excesso de água, nocivo ao organismo, é eliminado pela urina abundante. De modo geral, essa regulação impede que peixes de água doce e peixes de água salgada convivam no mesmo aquário.

Aves marinhas, como as gaivotas, que ingerem água salgada e comem organismos com alto teor salino, eliminam o excesso de sais por meio de glândulas de sal localizadas em sua cabeça, sob a pele (imagem A).

## Pressão osmótica

Observe as imagens B e C. Elas representam duas etapas de um experimento em que uma solução de sacarose, envolvida por uma membrana semipermeável, é mergulhada em um vasilhame com água. Um tubo de vidro encontra-se acoplado à extremidade da membrana. Nessa situação, a solução de sacarose, mais concentrada, exerce uma **pressão osmótica** sobre a solução menos concentrada, a água. Quanto maior a diferença de concentração entre as soluções, maior a pressão osmótica.

Conforme o tempo passa, a água tende a atravessar, por osmose, a membrana semipermeável. Como consequência, o nível de líquido no interior do tubo de vidro se eleva (imagem C). Quanto maior o nível do líquido, maior a pressão que ele exerce para baixo. A osmose continua até que as concentrações se igualem ou até que o peso da coluna de líquido no tubo exerça uma pressão equivalente à pressão osmótica (o que ocorrer primeiro).

Um exemplo da importância da pressão osmótica em nosso organismo pode ser observado no processo de reidratação corporal por meio de soro caseiro. Quando ingerimos esse soro, que é composto de água, sal e açúcar, as células do intestino absorvem os íons sódio, provocando o aumento da concentração do meio intracelular e, portanto, o aumento da pressão osmótica sobre o meio extracelular. Como resultado, a água entra nas células por osmose. É por isso que, para nos reidratarmos, a ingestão de soro caseiro é mais eficiente do que a ingestão de água apenas.



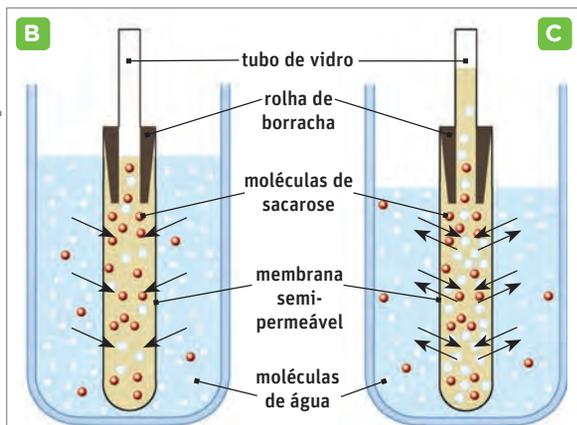
Esquema da localização das glândulas de sal em uma gaivota. Cores-fantasia.

Paulo César Pereira/ID/BF

## ATIVIDADES

4. Organismos unicelulares marinhos possuem, em suas células, um teor de sais equivalente ao do meio externo. Organismos unicelulares de água doce, pelo contrário, apresentam teores salinos superiores em suas células, quando comparados ao meio externo. Responda:

- Qual das duas categorias de organismo vive em meio hipotônico, e qual vive em meio isotônico?
- Qual das duas categorias de organismo gasta energia para manter o equilíbrio osmótico de suas células? Justifique.



Representação sem proporção de tamanho.

Esquema do fenômeno da osmose. Em (B), início do experimento. Em (C), o peso da coluna de água no tubo de vidro contrabalança a pressão osmótica, e o experimento atinge o equilíbrio. As setas indicam o trânsito de solvente: em (B), ele atravessa a membrana em direção à solução mais concentrada; em (C), o equilíbrio foi atingido e o solvente atravessa a membrana em ambos os sentidos. Cores-fantasia.

Fonte de pesquisa: TORTORA, G. J. *Corpo humano: fundamentos de fisiologia e anatomia*. 8. ed. Porto Alegre: Artmed, 2012. p. 49.

## Difusão facilitada

Algumas substâncias que não atravessam a membrana por difusão simples podem atravessá-la por meio de proteínas da própria membrana. Essas proteínas, chamadas **transportadoras**, podem ser divididas em dois grupos.

- As **proteínas canal** (imagem A) atuam como canais ou poros através dos quais determinadas substâncias, geralmente íons, atravessam a membrana. Há dois tipos de proteínas canal: as passivas, que permitem a entrada de água e pequenos íons, e outras que abrem e fecham conforme o estímulo que recebem.

- As **permeases** ou **proteínas carregadoras** (imagem B) mudam de formato ao unir-se a certas moléculas, como aminoácidos, transportando-as através da membrana.

Esse transporte passivo mediado por proteínas é denominado **difusão facilitada**. Ele ocorre a favor do gradiente de concentração e não implica gasto de energia pela célula. Porém, somente as moléculas que se “encaixam” no formato das proteínas transportadoras atravessam a membrana. Assim, o transporte é seletivo, ou seja, permite a passagem de apenas certas moléculas.

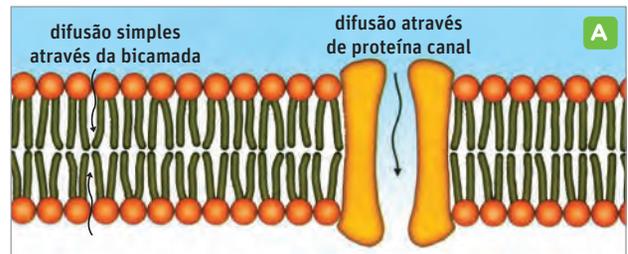
## Transporte ativo

Certas substâncias são transportadas ativamente, isto é, aumentando o gradiente de concentração e com gasto de energia. Um dos exemplos mais conhecidos de transporte ativo é a **bomba de sódio e potássio** (imagem C).

Na maior parte dos animais, incluindo o ser humano, a concentração de íons potássio ( $K^+$ ) dentro das células é maior do que no meio externo. O contrário ocorre com o íon sódio ( $Na^+$ ), mais concentrado no meio extracelular.

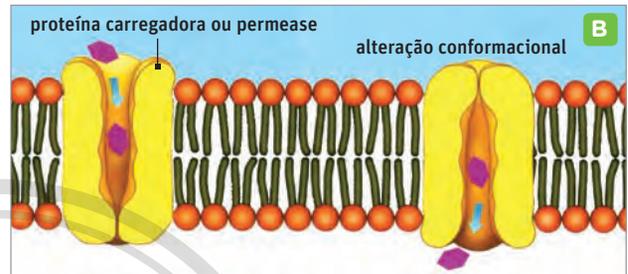
Essa diferença de concentração tenderia a diminuir espontaneamente pelo transporte de íons por difusão facilitada. Mas uma proteína da membrana transporta  $Na^+$  para fora da célula e  $K^+$  para o seu interior. A cada três íons  $Na^+$  que saem da célula, dois íons  $K^+$  são transportados para dentro dela. Esse mecanismo é chamado de bomba de sódio e potássio.

Como o transporte de íons positivos para fora é maior do que para dentro, o interior da célula permanece mais negativo, criando uma diferença de cargas elétricas entre os dois lados da membrana. Essa diferença é essencial para o funcionamento do sistema nervoso, por exemplo.



Esquema da difusão através da bicamada lipídica e através da proteína canal. Cores-fantasia. Representação sem proporção de tamanho.

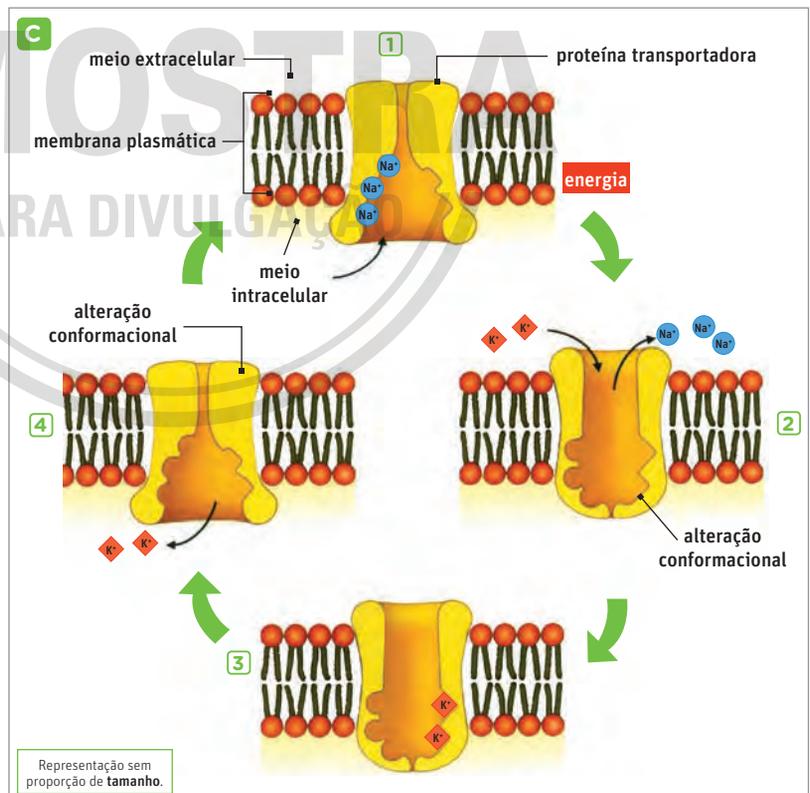
Fonte de pesquisa: *BSCS Biology: a molecular approach*. 9. ed. Columbus: Glencoe/McGraw-Hill, 2006. p. 84.



Esquema da difusão por meio de permeases. Cores-fantasia.

Fonte de pesquisa: *BSCS Biology: a molecular approach*. 9. ed. Columbus: Glencoe/McGraw-Hill, 2006. p. 84.

Representação sem proporção de tamanho.



Esquema da bomba de sódio e potássio. Cores-fantasia.

(1) O sódio do meio intracelular liga-se à proteína da membrana.

(2) A conformação da proteína da membrana muda, expulsando o sódio. Esse processo consome energia.

(3) O potássio liga-se à proteína.

(4) A proteína volta à sua forma original, liberando potássio no citoplasma.

Fonte de pesquisa: ALBERTS, Bruce et al. *Fundamentos da biologia celular*. 3. ed. Porto Alegre: Artmed, 2011. p. 394-395.

## Transporte por meio de vesículas

Até agora foram apresentados alguns tipos de transporte de moléculas de baixa massa molecular. O transporte de moléculas maiores – partículas sólidas ou gotículas de líquido – envolve os processos chamados **endocitose** e **exocitose**. Ambos os processos implicam a formação de vesículas membranosas e gasto de energia.

### Endocitose

É o processo de transporte de macromoléculas para o interior da célula ou de ingestão de diversos materiais. A endocitose pode ser de dois tipos: fagocitose ou pinocitose.

A **fagocitose** (imagem A) é a ingestão de partículas sólidas de grande tamanho. Ela ocorre em algumas células de animais e em muitos protozoários, como as amebas, que fagocitam outras células e partículas orgânicas.

No ser humano e em outros animais, a fagocitose é realizada principalmente por células do sangue – os macrófagos e os neutrófilos, dois tipos de glóbulos brancos (tema abordado no capítulo 16).

A **pinocitose** (imagem B), ingestão de partículas líquidas ou de partículas sólidas muito pequenas, ocorre em quase todas as células animais. É por pinocitose, por exemplo, que as células do intestino absorvem gotículas de lipídios do bolo alimentar.

### Exocitose

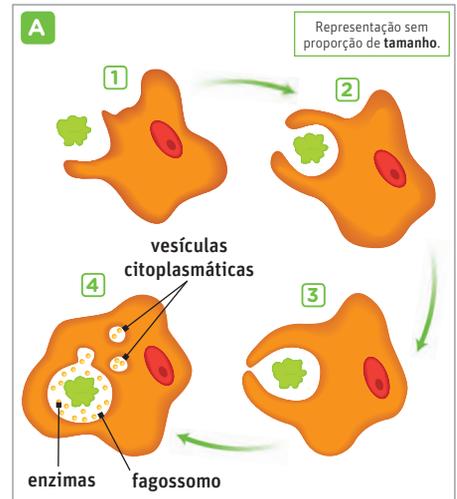
Na **exocitose**, vesículas citoplasmáticas que contêm macromoléculas são transportadas até a superfície da célula, fundem-se à membrana plasmática e eliminam seu conteúdo para o meio extracelular.

É por meio desse processo que muitas glândulas secretam substâncias. Resíduos da digestão intracelular também podem ser eliminados por exocitose. Nesse caso, o processo é denominado **clasmocitose**.

### Transcitose

Na **transcitose** (imagem C), uma vesícula de endocitose atravessa o citoplasma celular, até o lado oposto da célula, onde se transforma em uma vesícula de exocitose e elimina a substância que contém.

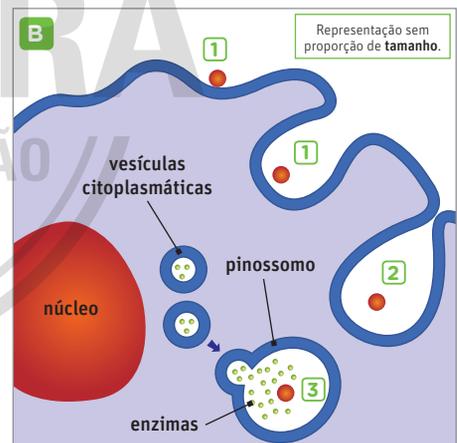
A transcitose ocorre tipicamente em capilares sanguíneos. Por esse processo, substâncias que se encontram na corrente sanguínea são transportadas até os tecidos que circundam os capilares.



Esquema da fagocitose. Cores-fantasia.

- (1) Formam-se pseudópodos, expansões do citoplasma em direção ao exterior da célula.
- (2) A partícula é envolvida pelos pseudópodos.
- (3) Forma-se um fagossomo, vesícula membranosas que se desprende da membrana celular e passa ao citoplasma.
- (4) O fagossomo funde-se a vesículas citoplasmáticas contendo enzimas digestivas.

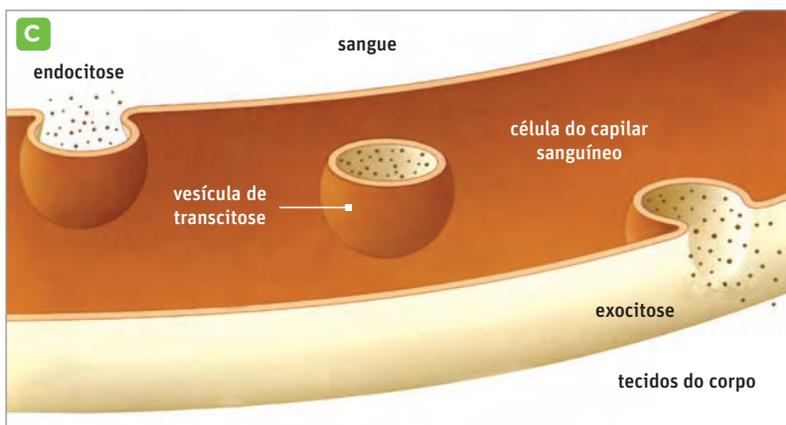
Fonte de pesquisa: REECE, J. B. et al. *Campbell Biology*. 10. ed. [S.l.] Pearson, 2014. p. 138.



Esquema de pinocitose. Cores-fantasia.

- (1) Nesse processo a membrana se dobra para dentro, formando uma invaginação ou canal de pinocitose.
- (2) A membrana do canal de pinocitose se fecha, originando uma vesícula, o pinossomo.
- (3) O pinossomo funde-se a vesículas citoplasmáticas contendo enzimas digestivas.

Fonte de pesquisa: REECE, J. B. et al. *A. Campbell Biology*. 10. ed. [S.l.] Pearson, 2014. p. 138.



Esquema das etapas da transcitose. Cores-fantasia.

Fonte de pesquisa: ALBERTS, Bruce et al. *Fundamentos da biologia celular*. 3 ed. Porto Alegre: Artmed, 2011. p. 525.

Representação sem proporção de tamanho.

## Envoltórios externos à membrana

A maioria das células apresenta algum tipo de envoltório, localizado externamente à membrana plasmática e aderido a ela. Esses envoltórios geralmente estão associados à proteção da membrana, ao reconhecimento celular e às trocas de substâncias entre a célula e o meio.

Os biólogos classificam os envoltórios externos de acordo com sua composição química e com o tipo de organismo em que ocorrem. Alguns envoltórios celulares são o **glicocálix** (ou glicocálice) e as **paredes celulares**.

### Glicocálix

O glicocálix (imagem **A**) é uma cobertura de 10 nm a 20 nm de espessura presente nas células de animais e de alguns protozoários. É composto de glicolípídios e glicoproteínas produzidos pela própria célula que são constantemente renovados.

O glicocálix desempenha diversas funções, como as citadas a seguir.

- Envolve a célula, desempenhando um papel de proteção mecânica.
- Constitui um microambiente específico da célula, pois retém substâncias que conferem acidez e salinidade específicas.
- Atua no reconhecimento celular, seja entre células do mesmo organismo, seja de células invasoras, realizado pelo sistema imunitário.

Em certos tecidos, o glicocálix pode ter ainda outras funções. Por exemplo, nos capilares dos rins, ele atua como um filtro que absorve certas substâncias; nas células que revestem internamente o intestino, o glicocálix retém enzimas digestivas secretadas pelas glândulas intestinais, o que contribui para a digestão de açúcares e proteínas.

### Paredes celulares

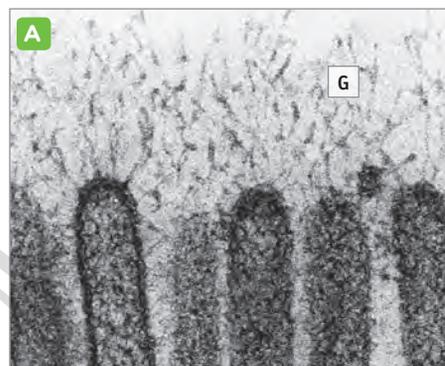
A parede celular é um envoltório presente em células de bactérias, plantas, algas e fungos. Apresenta espessura variável, mas é suficientemente desenvolvida para ser visualizada com microscópio de luz. A composição das paredes celulares inclui vários tipos de compostos: nos fungos, por exemplo, ocorre quitina, enquanto nas algas e plantas predomina a celulose.

#### Parede celular bacteriana

As células de quase todas as bactérias são envolvidas externamente por uma estrutura rígida e porosa, constituída por um carboidrato complexo denominado **peptidoglicano** (imagem **B**). Essas longas moléculas ficam entrelaçadas formando uma espécie de rede.

Mesmo sendo muito resistente, a parede celular bacteriana é permeável à água e permite a difusão de nutrientes e de outras moléculas. Algumas funções da parede celular bacteriana são mencionadas a seguir.

- Confere o formato característico à célula.
- Impede a expansão do citoplasma e o rompimento da célula por absorção excessiva de água.
- Protege a célula. Bactérias com parede celular danificada tornam-se fragilizadas, sofrendo rompimento por excessiva absorção de água, ou são facilmente atacadas por outras células e por microrganismos. Muitos antibióticos atuam sobre a parede celular bacteriana, fragilizando sua estrutura ou mesmo promovendo sua dissolução. Dessa maneira, as bactérias não encontram condições de sobrevivência no organismo, sendo mais facilmente combatidas pelo sistema imunitário.

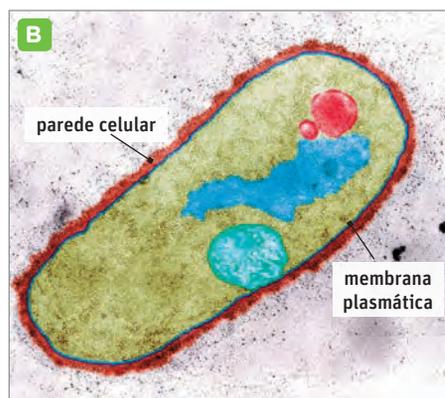


Detalhe da membrana de uma célula (área mais escura) do epitélio do intestino delgado de um morcego. A estrutura que confere à célula um aspecto “felpudo” (identificada pela letra **G**) é o glicocálix. (Foto ao microscópio eletrônico de transmissão; aumento de cerca de 1 500 vezes.)

Don W. Fawcett/Photo Researchers/Latinstock

### ATIVIDADES

5. A parede celular é, algumas vezes, chamada de membrana esquelética. Você acredita que essa denominação faz sentido? Explique.



Célula bacteriana. A parede celular aparece em vermelho. (Foto ao microscópio eletrônico de transmissão; imagem colorizada; aumento de cerca de 56 500 vezes.)

Dr. Ralph Stepecky/Visuals Unlimited/Getty Images

## Parede celulósica

A parede celular das células vegetais é também chamada **parede celulósica** por conter grande quantidade de celulose, um tipo de carboidrato.

Nas células vegetais jovens, recém-formadas, a parede celulósica é constituída por duas camadas: a **parede primária** e a **lamela média**. Quando a célula atinge seu tamanho definitivo, forma-se a **parede secundária**, situada entre a membrana plasmática e a parede primária (imagem A).

A parede primária é delgada e flexível e não impede o crescimento da célula (imagem B). É constituída principalmente por celulose e outras substâncias, como hemicelulose e pectina.

A lamela média localiza-se entre as paredes primárias de células vizinhas. É composta de pectina, substância que promove aderência da lamela a essas paredes, e pode apresentar lignina, que confere maior rigidez aos tecidos.

Essas barreiras são atravessadas por estruturas denominadas **plasmodesmos**, verdadeiros canais de comunicação entre os citoplasmas de células vizinhas.

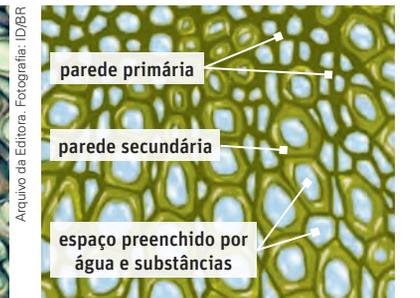
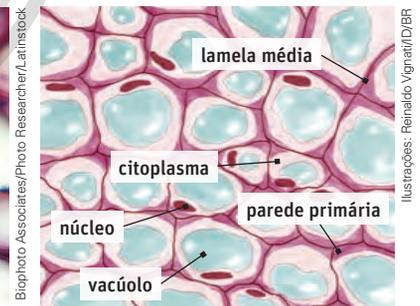
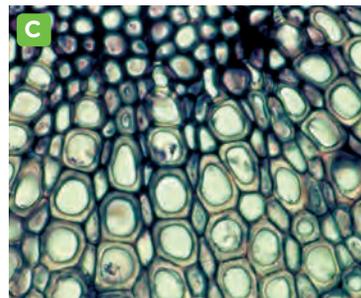
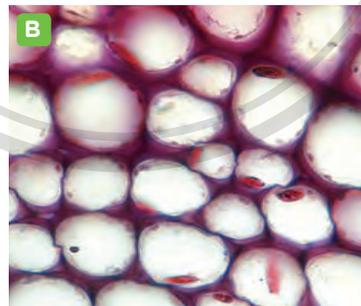
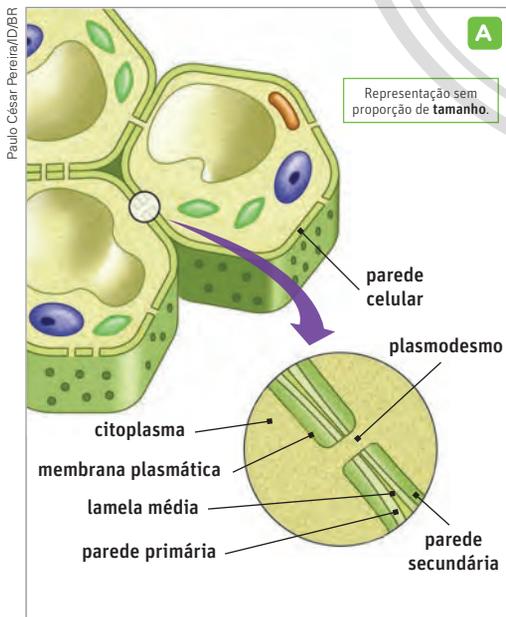
As células que apresentam parede secundária muito desenvolvida geralmente estão mortas (imagem C). A parede secundária é mais espessa e mais rígida que a parede primária. Sua composição química inclui principalmente microfibrilas de celulose organizadas em várias camadas sobrepostas, formando uma malha altamente resistente. Em geral, também estão presentes outras substâncias, como glicoproteínas, hemicelulose e pectina.

Em alguns casos, a parede secundária também contém lignina, substância que confere extrema rigidez e dureza a alguns tecidos vegetais, como os que formam a madeira. **Ceras e resinas** também são comuns, dotando as madeiras de odores característicos e grande resistência à decomposição por microrganismos.

Em tecidos vegetais de revestimento, é comum o acúmulo, na parede secundária, de **suberina**, um composto ceroso que impede a passagem de água.

Entre as funções da parede celulósica podem ser citadas:

- Proteção à célula e manutenção de seu formato.
- Adesão e a comunicação entre células vizinhas.
- Proteção contra a entrada excessiva de água.
- Manutenção da postura ereta da planta.



Esquema da disposição e estrutura da parede celulósica e ampliação de um plasmodesmo. Cores-fantasia.

Fonte de pesquisa: REECE, J. B. et al. *Campbell Biology*. 10. ed. [S.l.] Pearson, 2014. p. 118.

(B) Células vegetais com parede primária. (Foto ao microscópio de luz; imagem colorizada; aumento de cerca de 220 vezes.) Ao lado, representação ilustrada com base na fotografia. Cores-fantasia. (C) Células vegetais com paredes primária e secundária. (Foto ao microscópio de luz; imagem colorizada; aumento de cerca de 170 vezes.) Ao lado, representação ilustrada com base na fotografia. Cores-fantasia.

# Práticas de Biologia

## Osmose em ovos de aves

### Objetivo

Verificar a ocorrência de osmose em ovos de aves.

### Material

- 3 ovos de codorna crus
- vinagre de vinho branco, de maçã ou de álcool
- açúcar
- 1 recipiente de plástico transparente com tampa
- 3 copos de plástico transparente
- 3 etiquetas ou pedaços de fita-crepe
- 1 colher de sobremesa
- lápis
- água destilada ou água de torneira
- soro fisiológico (solução salina a 0,9%)

### Procedimento

1. Coloque os ovos de codorna no recipiente plástico e adicione vinagre até cobri-los totalmente. Aguarde 24 horas.
2. Escreva, em cada etiqueta, uma das legendas a seguir.
  - água destilada (ou de torneira)
  - soro fisiológico
  - água com açúcarCole uma etiqueta em cada copo.
3. Coloque os respectivos conteúdos nos copos, de acordo com as etiquetas que você fez: água destilada (ou de torneira) no primeiro; soro fisiológico no segundo; água e uma colher de sobremesa de açúcar no terceiro.  
Não é necessário encher os copos até a borda, basta adicionar líquido suficiente para cobrir o ovo.
4. Coloque um ovo em cada copo. Atenção: faça isso com cuidado, para não romper os ovos.
5. Aguarde aproximadamente 2 horas.

### Resultados

1. Observe o que ocorreu com os ovos: procure verificar aspectos como a coloração e a textura de cada um.
2. Verifique também se em algum deles houve variação de volume.
3. Anote em seu caderno tudo o que ocorreu com os ovos.

### Discussão

1. Por que, neste experimento, é necessário mergulhar os ovos no vinagre por 24 horas?
2. Dos líquidos utilizados no experimento, qual é o mais concentrado? E qual o menos concentrado?
3. De acordo com os resultados, a membrana que envolve o ovo é permeável à água? E ao açúcar?
4. Elabore uma hipótese explicativa para o que ocorreu com cada ovo.



Ovos de codorna com casca, mergulhados em vinagre.

Fotografias: Sérgio Dotta Jr./ID/BR



Mesmos ovos da fotografia acima, 24 horas depois. Note que as cascas foram dissolvidas.

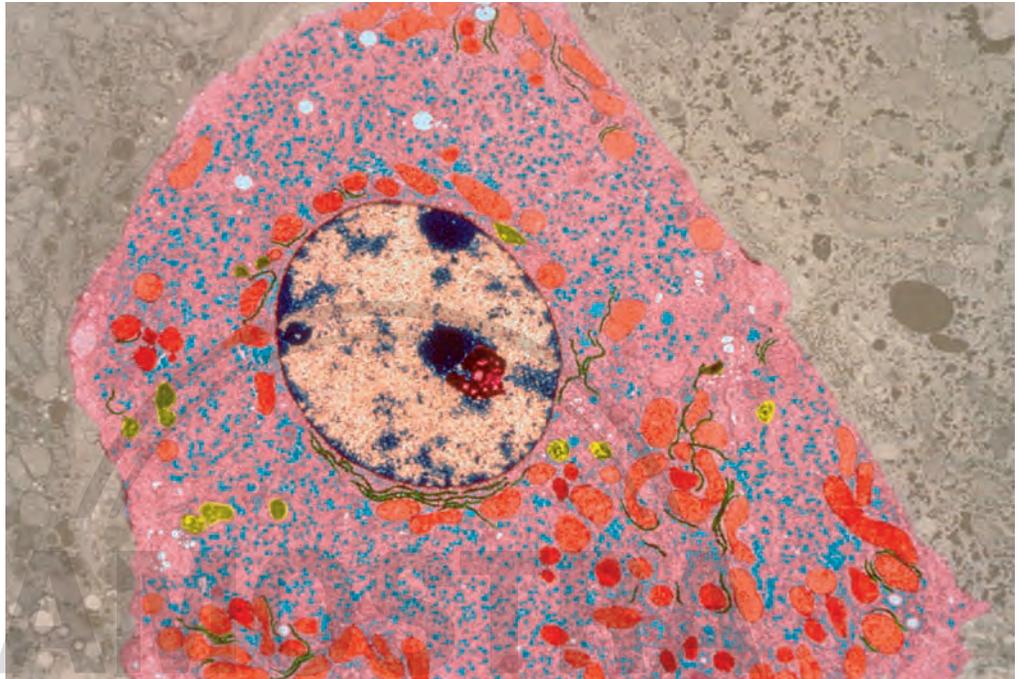
# O citoplasma

## O QUE VOCÊ VAI ESTUDAR

A composição do citoplasma.

Estrutura e composição química das organelas.

Processos biológicos associados às organelas.



Phototake/Alamy/Other Images

Imagem de célula do fígado que mostra o núcleo (ovalado com manchas em azul-escuro) e o citoplasma (toda a área de fundo rosado ao redor do núcleo). Observe a quantidade de estruturas presentes no citoplasma. (Foto ao microscópio eletrônico de transmissão; imagem colorizada; aumento de cerca de 4 650 vezes.)

Em sua obra *Micrographia*, de 1665, Robert Hooke afirmou que as inúmeras cavidades observadas nos fragmentos de cortiça, às quais ele chamou de células, eram cheias de ar. Observações posteriores, feitas com tecidos vivos, trouxeram novas e importantes informações. Diversos pesquisadores, entre eles o próprio Hooke, perceberam que estruturas semelhantes às vistas na cortiça eram preenchidas por um tipo de líquido. Por volta de 1809, o naturalista francês Jean-Baptiste Lamarck já afirmava que os seres vivos seriam formados “por uma massa de tecidos celulares na qual líquidos mais ou menos complexos movimentam-se mais ou menos rapidamente”.

O desenvolvimento da microscopia e das técnicas de coloração, a partir do século XIX, permitiu a descoberta de inúmeros corpúsculos e estruturas internas das células. Os cientistas puderam supor, então, que a célula era uma unidade bem mais complexa do que se imaginava, o que só ficou claro muito tempo depois, ao serem descobertas as diversas funções dessas estruturas.

A variedade de formas das células chama a atenção. Um vertebrado, por exemplo, é formado por mais de duzentos tipos celulares, entre eles: células musculares, alongadas, em forma de fuso; células de revestimento, achatadas como lajetas; células glandulares, volumosas, com formato cúbico ou arredondado; e células nervosas, com prolongamentos. Uma diversidade equivalente é encontrada também nas células vegetais e entre os seres unicelulares.

Apesar dessa enorme diversidade, todas as células apresentam estruturas em comum. Elas possuem uma membrana plasmática, que as separa do meio externo; material genético, relacionado à hereditariedade, e um **citoplasma**. Esse último é o tema deste capítulo.

## Organização geral do citoplasma

O interior de toda célula viva é preenchido por uma substância gelatinosa, inicialmente denominada **citoplasma** (do grego *kytos*, “célula”, e *plasma*, “molde”). Modernamente, essa substância recebeu a denominação de **citossol**, e “citoplasma” passou a designar o conjunto formado pelo citossol e pelas estruturas nele contidas.

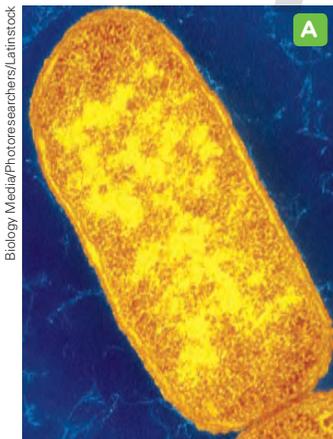
Imersas no citossol, podem estar presentes diversas estruturas, membranosas ou não. As transformações químicas que ocorrem no interior da célula estão associadas, em maior ou menor grau, a essas estruturas, denominadas organelas citoplasmáticas (do latim *organella*, “órgão pequeno”). As organelas citoplasmáticas apresentam formato e composição química característicos.

Além das organelas, o citoplasma apresenta uma rede de túbulos e filamentos de proteínas que sustentam e dão mobilidade aos demais componentes celulares.

O citoplasma pode conter, também, substâncias de reserva energética, como carboidratos, óleos e gorduras, encontradas em muitas células.

### O citoplasma das células procarióticas

Os **seres procariontes** são representados pelas bactérias (imagem A) e arqueas (tema abordado no volume 2 desta coleção).



Um exemplo de célula procariótica: a bactéria *Escherichia coli*. Observe as áreas claras, que correspondem ao material genético, e perceba que não há envoltório nuclear. (Foto ao microscópio eletrônico de transmissão; imagem colorizada; aumento de cerca de 6 300 vezes.)

As células desses organismos não apresentam membrana envolvendo o material genético e são chamadas de **procarióticas** (do grego *pro*, “anterior”, e *karyon*, “núcleo”). Organelas membranosas também estão ausentes; entretanto, em algumas espécies, a membrana da célula apresenta dobras internas (invaginações), que podem estar relacionadas a funções do metabolismo celular.

As células procarióticas são muito pequenas; medem, aproximadamente, de 0,5  $\mu\text{m}$  a 2,0  $\mu\text{m}$  de diâmetro e entre 2,0  $\mu\text{m}$  e 8,0  $\mu\text{m}$  de comprimento. Os formatos são variados, e muitas têm flagelos aderidos à superfície celular (imagem B).

### O citossol

Nas células procarióticas, o citossol é composto de água, íons, carboidratos, lipídios, proteínas (incluindo enzimas) e aminoácidos isolados. Nele, em interação com enzimas presentes na membrana plasmática, ocorrem todos os processos químicos do metabolismo celular, como a produção e a degradação de substâncias diversas; a transformação de compostos químicos, envolvendo liberação ou acúmulo de energia; e o transporte de substâncias.

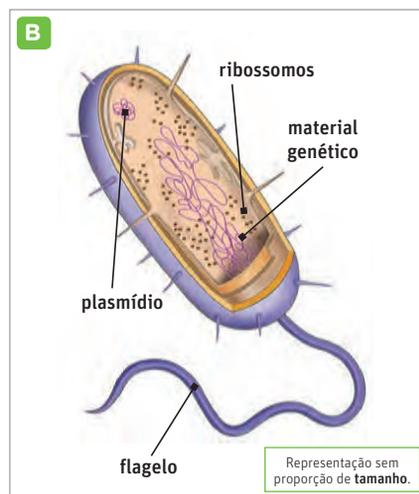
No citossol da célula procariótica, estão presentes também milhares de corpúsculos não membranosos, constituídos de proteínas e RNA. São os **ribossomos**, organelas responsáveis pela síntese de proteínas.

### O nucleóide

O termo **nucleóide** denomina a região onde se concentra a maior parte do DNA da célula procariótica. Uma única molécula de DNA, de formato circular, que corresponde ao **cromossomo** da célula procariótica, permanece aderida a uma dobra da membrana plasmática denominada **mesossomo**.

O mesossomo não é visível em certos tipos de preparação microscópica. Por isso, alguns cientistas acreditam que eles sejam artefatos de técnica, ou seja, modificações na estrutura das células decorrentes dos métodos empregados em microscopia. No entanto, esse tema ainda é controverso.

Além do DNA cromossômico, nesses seres são observados pequenos fragmentos circulares de DNA, denominados **plasmídios**, que se encontram dispersos no citoplasma da célula, desempenhando inúmeras funções no metabolismo celular. Em algumas bactérias patogênicas (aquelas que causam doenças), por exemplo, os plasmídios armazenam a informação genética relacionada à resistência da bactéria à ação de certos antibióticos.



Studio Caparroz/ID/BR

Célula procariótica representada em corte para mostrar algumas de suas estruturas. Cores-fantasia.

Fonte de pesquisa: REECE, J. B. et al. *Campbell Biology*. 10. ed. [S.l.]: Pearson, 2014. p. 97

## O citoplasma das células eucarióticas

A maior parte dos grupos de seres vivos da atualidade – algas, protozoários, fungos, animais e plantas – é **eucariote**, ou seja, formada por células **eucarióticas** (do grego *eu*, “verdadeiro”, e *karyon*, “núcleo”). Nessas células, o material genético encontra-se separado do restante da célula por uma membrana dupla, a **carioteca**, que delimita o núcleo. Mas, apesar de separado, o material genético não está isolado, pois a membrana nuclear tem poros e outros canais que permitem a comunicação do interior do núcleo com o restante da célula. (O núcleo e a carioteca são estudados no capítulo 9 deste livro.)

O citoplasma, nessas células, pode ser definido como a região entre a membrana plasmática e o núcleo celular. Ele corresponde, portanto, ao espaço ocupado pelo citosol, que, por sua vez, aloja inúmeras estruturas, as **organelas celulares** (imagem ao lado). O citoplasma das células eucarióticas pode ocupar até 80% do volume celular.

As células eucarióticas são muito maiores que as procarióticas. Uma célula animal típica tem, em média, de 20 µm a 30 µm de diâmetro. Algumas células vegetais são ainda maiores, podendo atingir até 100 µm de comprimento. Por outro lado, a composição do citosol nas células eucarióticas é similar à das células procarióticas, isto é, apresenta as mesmas substâncias básicas, com 70% a 80% de água.

### O citosol é um coloide

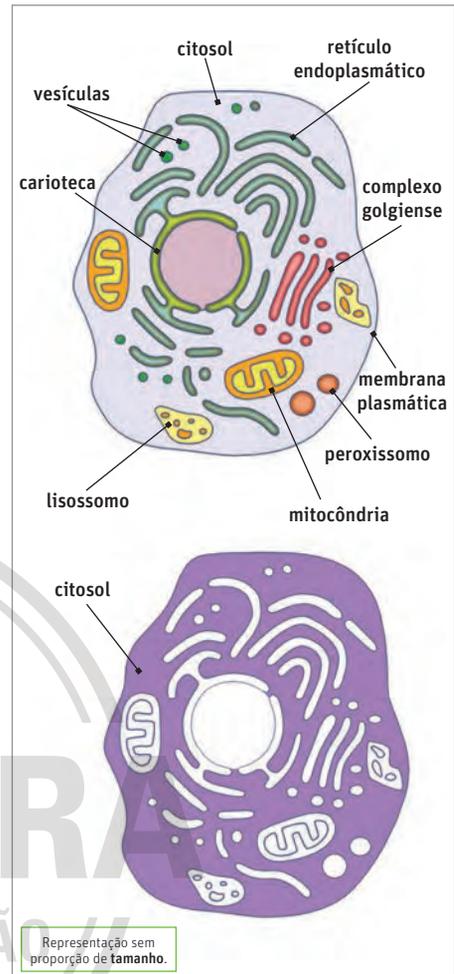
O citosol é a matriz **proteico-gelatinosa**, de consistência variável, dentro da qual ficam as organelas. Entre as substâncias presentes no citosol, encontram-se algumas de tamanho relativamente pequeno, como íons diversos e moléculas de açúcares simples e aminoácidos, que se comportam como solutos, dissolvendo-se na água presente no citosol. Outras substâncias, como as proteínas, que são moléculas relativamente grandes, permanecem dispersas sem se dissolver na água do meio intracelular. A essa mistura de um **dispersante** (a água) e um conjunto de partículas **dispersas** (no caso, as macromoléculas insolúveis) dá-se o nome de **coloide**. As partículas coloidais apresentam diâmetro entre 1 nm e 1 000 nm e um comportamento característico, que faz com que essa mistura tenha propriedades diferentes daquelas das soluções.

Os coloides frequentemente apresentam uma consistência gelatinosa, mais firme que a consistência líquida das soluções. Assim, conforme a proporção de água e proteínas presentes no citosol, este pode apresentar-se sob uma forma mais líquida (chamada de fase **sol**) ou gelatinosa (chamada de fase **gel**). Essa proporção pode variar em uma mesma célula, havendo passagem do estado sol para gel, e vice-versa, de acordo com o estado funcional da célula.

### Funções do citoplasma

No citoplasma, ocorrem reações metabólicas importantes envolvendo o transporte, a produção e a degradação de substâncias diversas: a síntese de proteínas e de ácidos graxos; a síntese e degradação de carboidratos, como o glicogênio; e as transformações das proteínas recém-sintetizadas em proteínas funcionais. Nele também ocorre todo o **metabolismo energético** das células, o que inclui transformações de energia de uma forma em outra. Frequentemente esses processos metabólicos resultam da interação entre o citosol e as organelas citoplasmáticas.

Além disso, a ocorrência de movimentos celulares também está associada ao citoplasma, mais especificamente à presença do **citoesqueleto** (veja mais adiante, neste capítulo).



Representação indicando a diferença entre citoplasma e citosol. O citosol (abaixo) é a substância gelatinosa que preenche os espaços existentes entre as estruturas citoplasmáticas – como as organelas –, enquanto o citoplasma (acima) é o conjunto formado pelo citosol mais as estruturas citoplasmáticas. Cores-fantasia.

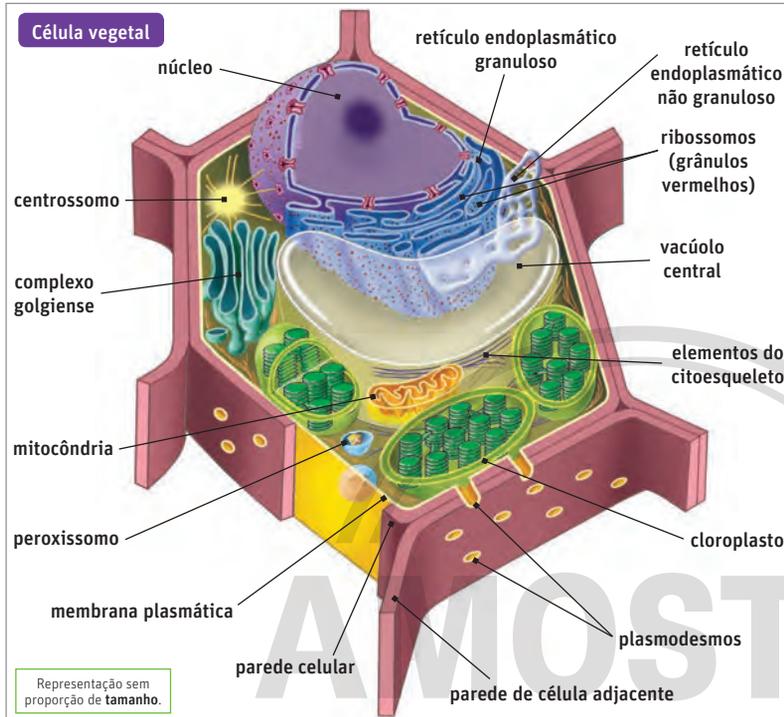
Fonte de pesquisa: ALBERTS, B. et al. *Fundamentos da Biologia Celular*. 3. Ed. Porto Alegre: Artmed, 2011, p. 21.

### ATIVIDADES

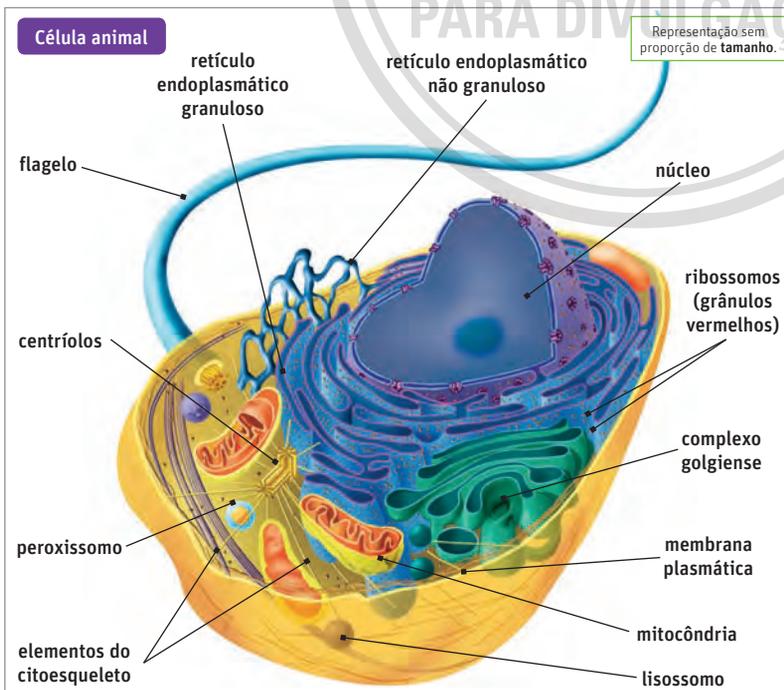
1. Em livros de Biologia, é comum o citosol ser também chamado de hialoplasma. Esse termo é resultado da união de duas palavras gregas, *hyalos* e *plasma*. Pesquise sobre o significado dessas duas palavras e responda: O termo “hialoplasma” é adequado para se referir ao citosol?

## A célula eucariótica e seus componentes

As modernas técnicas de microscopia de luz e eletrônica permitiram aos cientistas elaborar sofisticados modelos que representam a organização interna da célula (imagens abaixo) e, conseqüentemente, compreender seus múltiplos componentes. Para facilitar seu estudo, as diversas organelas serão apresentadas separadamente nas próximas seções.



Ilustrações: Reinaldo Vignatti/D/BR



Representação de uma célula vegetal (acima) e uma célula animal (abaixo) em corte para mostrar seu interior. As duas células representadas são apenas generalizações didáticas; nem todas as células apresentam, simultaneamente, todas essas organelas. Cores-fantasia.

Fonte de pesquisa: REECE, J. B. et al. *Campbell Biology*. 10. ed. [S.l.]: Pearson, 2014. p. 100-101.

### ATIVIDADES

2. Apesar da enorme diversidade de formas que as células podem apresentar, os biólogos costumam reconhecer a existência de três tipos básicos: as procarióticas, as eucarióticas vegetais e as eucarióticas animais.
  - a) Cite ao menos três elementos comuns entre as células procarióticas, as eucarióticas animais e as eucarióticas vegetais.
  - b) Cite elementos do citoplasma presentes na célula vegetal típica que possam ajudar na diferenciação desta quando comparada com as células animais.

# Organelas derivadas da membrana plasmática

Entre as organelas citoplasmáticas mais comuns na maioria das células estão aquelas derivadas da membrana plasmática.

## Retículo endoplasmático

O retículo endoplasmático (RE) é formado por um conjunto de tubos, canais e bolsas interconectados que se estende por todo o citoplasma, desde a membrana plasmática até a carioteca, e se funde com ambas. A estrutura de suas membranas é semelhante à da membrana plasmática. O retículo endoplasmático pode corresponder a mais da metade do conteúdo membranoso total de uma célula.

## O retículo endoplasmático granuloso

Corresponde a regiões do retículo endoplasmático que apresentam ribossomos aderidos à sua superfície (imagens A e B).

Quase toda célula eucariótica apresenta **retículo endoplasmático granuloso (REG)**, em maior ou menor grau de desenvolvimento. Uma exceção são as hemácias de mamíferos, nas quais o REG está ausente.

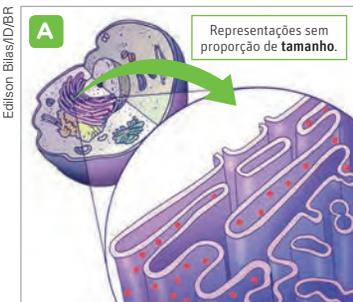
Células nas quais o REG é bem desenvolvido geralmente têm intensa atividade de produção de proteínas, muitas das quais saem da célula e desempenham seu papel fisiológico fora dela. São as chamadas **proteínas de exportação**. Entre as células que exportam proteínas estão as que revestem a parede do estômago e produzem muco e enzimas digestivas.

Em células que produzem apenas proteínas de uso interno, o REG é, em geral, menos desenvolvido.

## O retículo endoplasmático não granuloso

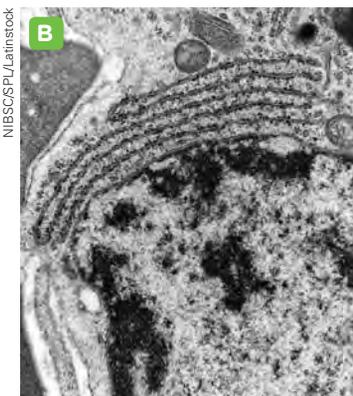
As regiões do RE onde os ribossomos estão ausentes são denominadas **retículo endoplasmático não granuloso (RENG)**.

Enquanto o REG é formado predominantemente por bolsas achatadas, no RENG predominam **tubos e vesículas**. Ambas as regiões estão interconectadas; a transição de uma forma a outra se dá de modo gradual (imagem C). Aos poucos, as vesículas achatadas tornam-se delgadas e tubulares, até desaparecerem completamente. Os ribossomos, muito abundantes na região próxima ao núcleo, vão se tornando escassos, até não serem mais encontrados na superfície do retículo próxima à membrana celular.



(A) Representação do REG. Note, no detalhe ampliado, os pontos vermelhos representando os ribossomos. Cores-fantasia.

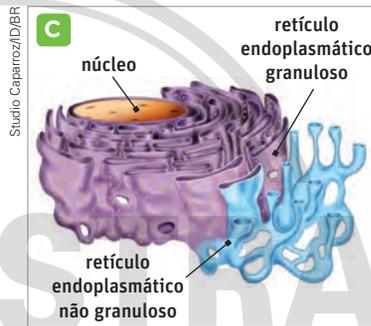
Fonte de pesquisa: REECE, J. B. et al. *Campbell Biology*. 10. ed. [S.l.]: Pearson, 2014. p. 105.



REG

NC

(B) Parte do REG de uma célula. Note a proximidade do retículo com o núcleo celular (NC). (Foto ao microscópio eletrônico de transmissão; aumento de cerca de 8 250 vezes.)



Representação da transição entre o REG e o RENG. Note a continuidade que existe entre essas estruturas e o próprio núcleo celular. Cores-fantasia.

Fonte de pesquisa: REECE, J. B. et al. *Campbell Biology*. 10. ed. [S.l.]: Pearson, 2014. p. 103.

A maioria das células apresenta RENG pouco desenvolvido, porém há algumas exceções, como as células dos músculos estriados esqueléticos.

Entre as funções do RENG podemos destacar:

- **Síntese de lipídios:** fosfolipídios, esteroides, colesterol e outros lipídios de membranas são sintetizados no RENG.
- **Contração muscular:** o RENG das células dos músculos esqueléticos acumula grande quantidade de íons cálcio, fundamentais para a contração muscular.
- **Liberação de glicose:** o glicogênio armazenado nas células do fígado apresenta-se na forma de grânulos aderidos à face externa do RENG. Quando o organismo necessita de energia, ocorre a conversão do glicogênio em glicose, no citoplasma.
- **Desintoxicação:** pesticidas, conservantes alimentícios, alguns medicamentos, além de drogas e álcool, são degradados no RENG. Há evidências de que a ingestão frequente dessas substâncias acarreta o aumento do volume citoplasmático ocupado pelo RENG, como um ajuste do organismo à presença dessas substâncias, o que implicaria desenvolvimento de tolerância em relação a elas. No caso de dependência química de álcool ou drogas, isso pode levar à ingestão de doses cada vez maiores das substâncias tóxicas, agravando o quadro de intoxicação do organismo e causando risco de morte.

## Complexo golgiense

O complexo golgiense (CG) consiste em um conjunto de bolsas achatadas e levemente curvadas, sempre associadas a um conjunto de vesículas secretoras (imagens A e B). Anteriormente denominado complexo de Golgi, em referência a seu descobridor, o citologista italiano Camilo Golgi (1843-1926), o CG está presente em quase todas as células eucarióticas. As hemácias dos mamíferos são uma exceção.

### Estrutura e localização

Morfológicamente, o complexo golgiense consiste em uma ou mais unidades. Cada uma dessas unidades apresenta, geralmente, de três a cinco bolsas (ou cisternas) achatadas, com formato discoide, e vesículas de formato esférico, as **vesículas secretoras**, associadas às bolsas (imagem B).

A posição ocupada pelo CG é relativamente a mesma em cada tipo de célula. Ele aparece localizado entre o retículo endoplasmático, de um lado, e as vesículas secretoras, de outro lado, em uma região próxima à membrana plasmática. As unidades do CG podem apresentar continuidade com o RE e as vesículas secretoras.

As proteínas sintetizadas no REG são acondicionadas no interior de **vesículas transportadoras**. Essas estão unidas ao CG e são transferidas de uma bolsa a outra até atingirem a que está mais próxima da membrana plasmática. Nessa região do CG formam-se novas vesículas secretoras que, posteriormente, desprendem-se dele e podem chegar à superfície da célula, onde seu conteúdo é eliminado (imagem B).

### Funções do complexo golgiense

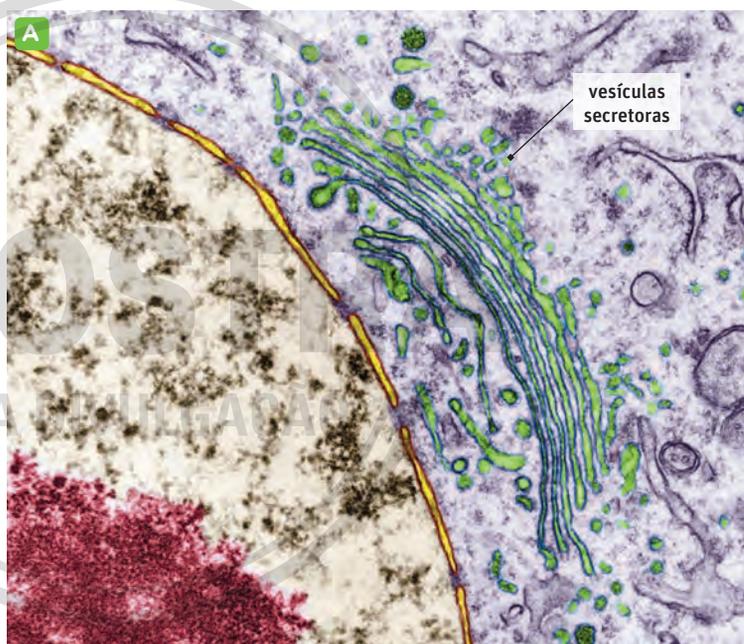
De modo geral, as funções do complexo golgiense estão associadas ao transporte de proteínas no interior da célula, assim como à finalização da síntese de algumas proteínas e lipídios, através dos processos de **fosforilação** (adição de fosfatos) ou **glicosação** (adição de glicose).

Enzimas presentes na membrana do CG podem modificar as substâncias produzidas no RE. Em alguns casos, uma molécula de ácido fosfórico é adicionada à proteína, obtendo-se, assim, uma fosfoproteína. Se a molécula adicionada for um açúcar,

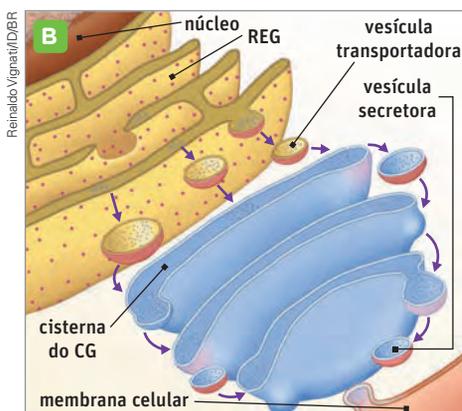
originam-se glicoproteínas. De maneira similar, lipídios podem ser transformados em fosfolipídios ou glicolipídios.

O complexo golgiense também é responsável pela síntese de alguns polissacarídeos, como os que estão presentes na matriz extracelular das células animais. A hemicelulose, substância presente na parede celular das células vegetais, também é sintetizada no CG.

Outras substâncias eliminadas pelo CG podem ter diferentes funções: participar de processos de transporte de substâncias, ao associar-se à membrana plasmática; formar grânulos de secreção ou lisossomos; retornar ao RE e participar de processos de síntese.



Complexo golgiense (em verde) no citoplasma, à direita do núcleo (delimitado pela carioteca, em amarelo). (Foto ao microscópio eletrônico de transmissão; imagem colorizada; aumento de cerca de 30 mil vezes.)



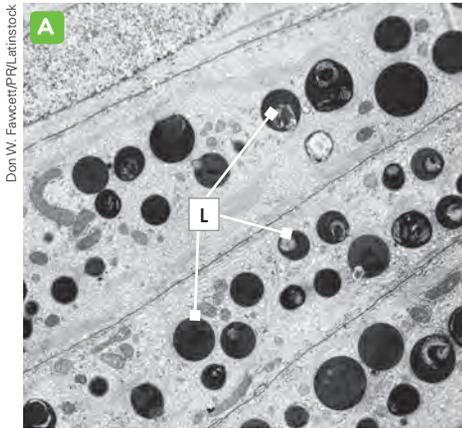
Representação sem proporção de tamanho.

Representação das relações entre o RE e o CG. Note que o complexo golgiense é formado por bolsas com cisternas. Cores-fantasia.

Fonte de pesquisa: REECE, J. B. et al. *Campbell Biology*. 10. ed. [S.l.]: Pearson, 2014. p. 105-106.

## Lisossomos

Os lisossomos (imagem A) são vesículas que se desprendem do CG. Apresentam formato esférico e tamanho variável, e estão presentes nas células eucarióticas em geral. São repletos de enzimas digestivas, capazes de degradar diversas substâncias. As enzimas lisossomais caracterizam-se por atuar melhor em ambiente ácido, sendo denominadas **hidrolases ácidas**. Embora potentes, essas enzimas não atuam sobre a própria membrana do lisossomo, já que esta possui mecanismos de proteção.



Lisossomos (L) de uma célula. (Foto ao microscópio eletrônico de transmissão; aumento de cerca de 11 mil vezes.)

## Funções dos lisossomos

Os lisossomos promovem a digestão intracelular. Dependendo do material a ser digerido, a digestão intracelular pode ser de dois tipos. Na **heterofagia**, o material a ser digerido tem origem externa à célula – material fagocitado, por exemplo. Nesse caso, lisossomos primários (vesículas recém-liberadas pelo CG) fundem-se às **vesículas de fagocitose**, formando os **vacúolos digestivos** (imagem B). Após a digestão, os subprodutos das substâncias fagocitadas são liberados no citoplasma. Resíduos não digeridos são eliminados por exocitose.

A **autofagia** ocorre quando os lisossomos digerem componentes citoplasmáticos. É o caso de organelas celulares velhas ou inoperantes, que são envolvidas por membranas e fundem-se com os lisossomos, originando os **vacúolos autofágicos**.

A autofagia é um processo natural, pois permite a reciclagem dos componentes celulares e a remodelação dos tecidos. Por exemplo, durante a metamorfose dos girinos, a cauda se degenera por autofagia. Nas sementes em germinação, lisossomos podem estar envolvidos na digestão dos materiais de reserva energética, disponibilizando-os para o embrião em desenvolvimento. Em mamíferos, a regressão do útero ao seu tamanho normal, após o parto, está relacionada à autofagia: a massa do útero humano, imediatamente após o parto, é de cerca de 2 kg; após aproximadamente nove dias, o órgão readquire sua massa normal, de mais ou menos 50 g.

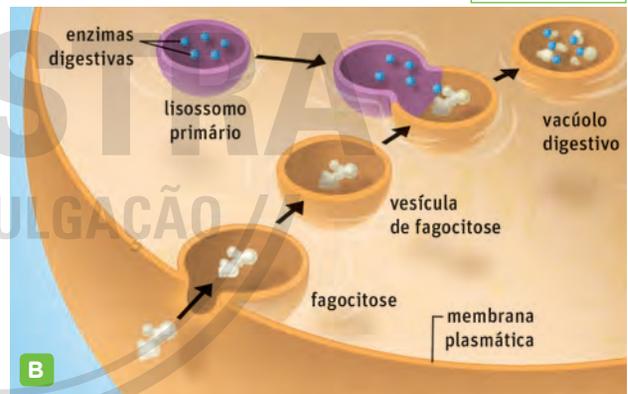
## Peroxisissomos

Os **peroxissomos** são organelas presentes em todas as células eucarióticas. Têm aspecto semelhante ao dos lisossomos, mas diferem destes pelo conteúdo enzimático, que é produzido totalmente no núcleo da célula. Nos peroxissomos existem **oxidases**, enzimas que decompõem moléculas orgânicas, como aminoácidos e lipídios, dando origem ao **peróxido de hidrogênio** ( $H_2O_2$ ).

O peróxido de hidrogênio é utilizado na neutralização de substâncias tóxicas que penetram no organismo, como o álcool, por exemplo. Essas reações de neutralização de toxinas ocorrem principalmente nas células do fígado e dos rins. O próprio peróxido de hidrogênio, porém, é tóxico para a célula, sendo rapidamente convertido em água e gás oxigênio por outra enzima, a **catalase**.

Os peroxissomos são também responsáveis pela oxidação de aminoácidos e ácidos graxos, formando compostos orgânicos que serão utilizados em reações de síntese, com a conseqüente liberação de energia.

Nos peroxissomos de células de sementes, os ácidos graxos podem ser convertidos em carboidratos, tornando as reservas energéticas disponíveis para o crescimento do embrião.



Esquema de formação de um vacúolo digestivo.

Fonte de pesquisa: REECE, J. B. et al. *Campbell Biology*. 10. ed. [S.l.]: Pearson, 2014. p. 107.

## ATIVIDADES

3. As hemácias do sangue originam-se na medula óssea, a partir da modificação dos eritroblastos (células nucleadas e dotadas de organelas). Nesse processo, o núcleo da célula é expelido por exocitose, a hemoglobina (proteína que transporta os gases respiratórios) é sintetizada, e os demais componentes celulares são destruídos. A hemácia madura finalmente penetra na corrente sanguínea.
  - a) Como se denomina o processo de degradação dos componentes internos de uma célula, como verificado nos eritroblastos?
  - b) Quais organelas celulares são as responsáveis por esse processo?

## Vacúolos

Células de organismos eucarióticos frequentemente contêm **vacúolos**, que são vesículas delimitadas por membrana e que ocupam grande parte do volume celular. Eles são mais abundantes nas células vegetais, mas ocorrem também em protozoários e outros organismos (imagens A e B), exercendo funções variadas.

## Equilíbrio osmótico

Células vegetais recém-formadas apresentam numerosas bolsas membranosas de tamanho reduzido. Com o amadurecimento da célula, essas bolsas tendem a unir-se, formando o **vacúolo central**, que pode conter água, além de íons sódio e potássio (imagem C).

Caso a célula perca água para o ambiente, a água vacuolar pode ser transferida para o citosol. Quando houver novamente disponibilidade dessa substância no ambiente circundante, o vacúolo – agora com volume reduzido e conteúdo mais concentrado – pode facilmente reabsorver água, por osmose, a partir do citosol.

Em protozoários, como amebas e paramécios, o excesso de água absorvido por osmose é eliminado pelo **vacúolo contrátil** (imagem B). O vacúolo expandido se aproxima da superfície interna da membrana e realiza movimentos de contração, eliminando a água diretamente no meio extracelular.

## Digestão intracelular

Nas células vegetais, os vacúolos também podem estar relacionados à função de digestão intracelular. Nesse caso, seu conteúdo é rico em **hidrolases ácidas**, enzimas que quebram outras substâncias por hidrólise. Esse processo pode estar associado à reciclagem dos componentes celulares ou à disponibilização de substâncias de reserva.

Em células animais, a digestão intracelular, mencionada na página anterior, ocorre em vacúolos específicos: os vacúolos digestivos.

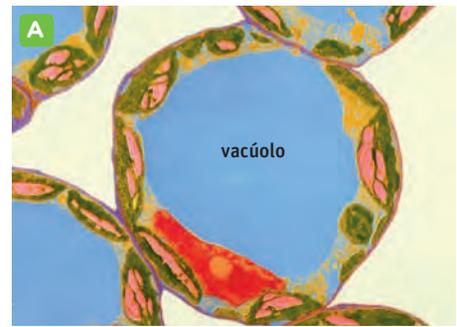
## Armazenamento de substâncias

Células de sementes podem conter grandes vacúolos repletos de proteínas ou outras substâncias orgânicas. Durante a germinação, essas substâncias são digeridas e os subprodutos resultantes são transferidos para o citosol, onde são usados no desenvolvimento do embrião.

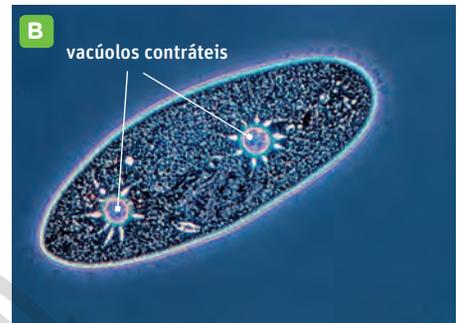
**Látex** ou **alcaloides** também podem ser encontrados nos vacúolos das células vegetais. Essas substâncias podem ser tóxicas, ou ter sabor desagradável, o que inibe a ação de herbívoros.

Os vacúolos de células vegetais podem acumular pigmentos, denominados **antocianinas**. As antocianinas são encontradas em flores e folhas de uma grande variedade de plantas que apresentam coloração diversificada: vermelho, azul, violeta e tons intermediários.

Os vacúolos celulares, em alguns vegetais, também podem ser utilizados como **reservatório de produtos** do metabolismo que poderiam ter efeito tóxico, caso permanecessem em circulação ou no citosol.



Dr. Jeremy Burgess/SP/Latinstock

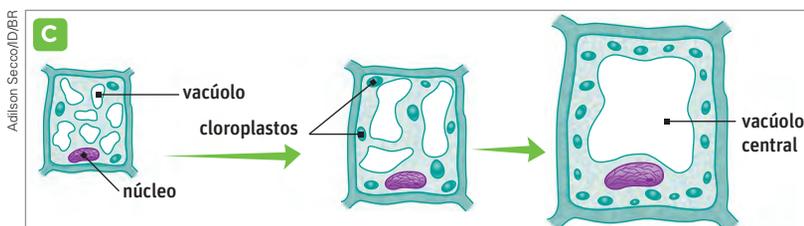


Phototake/Alamy/Other Images

(A) Células vegetais evidenciando o vacúolo que, em alguns casos, pode ocupar a maior parte do volume celular. (Foto ao microscópio eletrônico de transmissão; imagem colorizada; aumento de cerca de 2 000 vezes.) (B) Protozoários, como esse paramécio, podem ter mais de um vacúolo contrátil em suas células. (Foto ao microscópio de luz com contraste de fase; aumento de cerca de 315 vezes.)

## ATIVIDADES

4. Paramécios são protozoários de água doce. O que ocorreria com a célula de um paramécio caso seus vacúolos contráteis deixassem de funcionar?



Adilson Secco/ID/BR

Representação sem proporção de tamanho.

Esquema da formação do vacúolo em célula vegetal. Cores-fantasia.

## Organelas endossimbióticas

Mitocôndrias e cloroplastos possivelmente derivam de bactérias ancestrais que se associaram a células eucarióticas (ver teoria endossimbiótica no capítulo 3). Ambas as organelas são delimitadas por duas membranas e estão presentes apenas nas células eucarióticas aeróbias, onde desempenham funções relacionadas ao metabolismo energético.

### Mitocôndrias

São organelas esféricas, ovaladas ou alongadas, com diâmetro entre 0,5 µm e 1,0 µm e comprimento de até 7 µm (imagem A). Em geral, as mitocôndrias são mais numerosas nas células com maior atividade metabólica, como as células hepáticas (do fígado), musculares e nervosas.

### Estrutura e função das mitocôndrias

A membrana mitocondrial externa tem estrutura e composição semelhantes às da membrana de outras organelas, porém permite a passagem de diversas substâncias de grande peso molecular. A membrana interna apresenta dobras que se projetam para o interior da organela, denominadas **cristas mitocondriais** (imagem B).

O espaço interno da mitocôndria é preenchido por uma substância – a **matriz mitocondrial** – semelhante ao citosol. Nela encontram-se RNA e DNA, ribossomos (menores que os ribossomos citoplasmáticos, assemelham-se aos das bactérias), além de enzimas e íons cálcio e fosfato. Assim, essa organela é capaz de sintetizar muitas das proteínas de que necessita – as demais são produzidas no citosol.

A principal função da mitocôndria é a **respiração celular**, com consequente produção de ATP, molécula que armazena energia (tema abordado no capítulo 7).

As mitocôndrias podem duplicar-se por divisão binária, especialmente antes da divisão celular, de modo que as células-filhas recebem um número de mitocôndrias que lhes permite manter suas atividades.

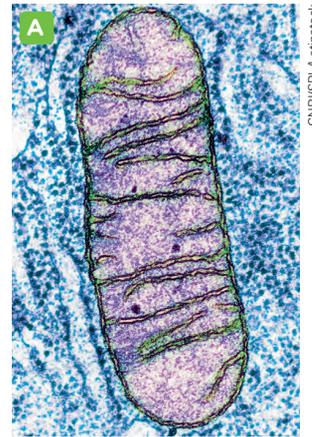
As mitocôndrias de animais e plantas com reprodução sexuada originam-se sempre daquelas que existem no gameta feminino. As presentes no gameta masculino degeneram após a fecundação.

### Plastos

Exclusivas de células vegetais, essas organelas originam-se de diminutas vesículas esféricas dotadas de membrana dupla, que se desenvolvem e se especializam em diferentes funções. Em geral, podem ser:

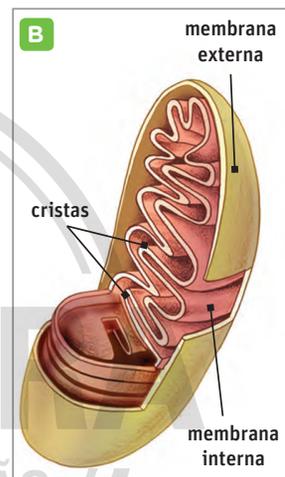
- **leucoplastos** (do grego *leukos*, “branco”), desprovidos de pigmentação, sintetizam e acumulam substâncias de reserva, como proteínas e lipídios. Os **amiloplastos**, que armazenam amido, são abundantes principalmente em células de sementes e em certas regiões da raiz.
- **chromoplastos** (do grego *chromos*, “cor”), plastos que acumulam pigmentos, como os carotenos, a ficoeritrina ou a clorofila, pigmento que dá a cor verde às plantas; nesse último caso, eles recebem o nome de **cloroplastos**.

Os cloroplastos podem ter diversos formatos, como esféricos e ovalados. Em certas algas podem apresentar-se como longos filamentos espiralados. De tamanho variável, são facilmente observados ao microscópio de luz devido à pigmentação esverdeada (imagem C). A maior parte das células que realizam fotossíntese possui várias dezenas de cloroplastos.



CNR/SPL/Latinstock

Mitocôndria. (Foto ao microscópio eletrônico de transmissão; imagem colorizada; aumento de cerca de 37 mil vezes.)



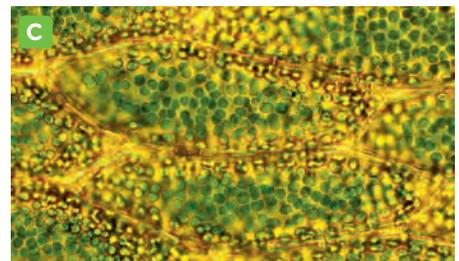
Edilson Bias/DIBR

Esquema de uma mitocôndria, evidenciando a dupla camada de membranas. Cores-fantasia.

Fonte de pesquisa: REECE, J. B. et al. *Campbell Biology*. 10. ed. [S.l.]: Pearson, 2014. p. 111.

### ATIVIDADES

5. A observação de vários tecidos corporais ao microscópio eletrônico revela que nas células musculares existem mitocôndrias em maior abundância que nas células do tecido ósseo. Formule uma hipótese que possa explicar esse fato.



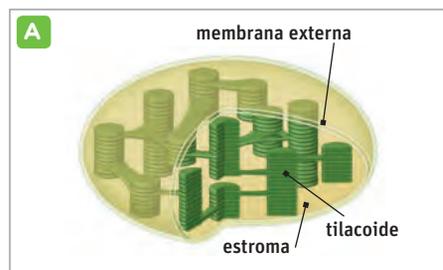
Dr. Keith Wheeler/SPL/Latinstock

Cloroplastos (em verde) em células vegetais. (Foto ao microscópio de luz; aumento de cerca de 210 vezes.)

## Estrutura dos cloroplastos

As membranas dos cloroplastos são estruturalmente similares às membranas de outras organelas. A externa é altamente permeável a íons diversos e a moléculas maiores. A interna, menos permeável, apresenta proteínas transportadoras específicas e se caracteriza por um extenso padrão de dobras, formando bolsas ocas e achatadas denominadas **tilacoides** (imagem A). A membrana dos tilacoides apresenta pigmentos, especialmente clorofilas, que absorvem a energia luminosa utilizada na fotossíntese (tema abordado no capítulo 8).

O espaço interno da organela é preenchido pelo **estroma**, matriz onde se encontram várias enzimas, DNA, ribossomos e grãos de amido. Os lipídios e parte das proteínas do cloroplasto são sintetizados no estroma, enquanto outra parte das proteínas é importada do citoplasma.



Renaldo Vignati/D/BR

Esquema de um cloroplasto, evidenciando sua estrutura interna. Cores-fantasia.

Fonte de pesquisa: REECE, J. B. et al. *Campbell Biology*. 10. ed. [S.l.]: Pearson, 2014. p. 111.

## Estruturas celulares sem membrana

Algumas estruturas celulares não apresentam envoltório membrano, sendo constituídas fundamentalmente por proteínas globulares, filamentosas ou tubulares. É o caso dos componentes do citoesqueleto e dos ribossomos. Nestes últimos, observa-se também a presença de ácido nucleico (RNA) em sua estrutura.

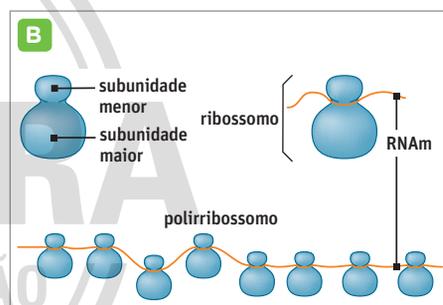
## Ribossomos

Quando observados sob microscópio eletrônico, apresentam o aspecto de grânulos ou corpúsculos aproximadamente esféricos. Podem estar livres no citosol, aderidos à membrana do RE e também no interior dos cloroplastos e das mitocôndrias. Embora presentes em quase todas as células, os ribossomos são escassos nas hemácias e ausentes nos espermatozoides maduros.

São constituídos por duas subunidades acopladas, uma maior e outra menor. Cada subunidade é constituída por proteínas e um tipo especial de RNA, denominado **RNA ribossômico** (RNAr). Entre as duas subunidades forma-se um sulco, ou ranhura, no qual moléculas de outro tipo de RNA, o **RNA mensageiro** (RNAm), se encaixam (imagem B).

Os ribossomos das células eucarióticas têm cerca de 32 nm de comprimento e 22 nm de largura. Os ribossomos dos seres procariontes são ligeiramente menores e menos densos, e também têm diferenças quanto às proteínas e ao RNA que os constituem.

Nessas organelas ocorre a **síntese de proteínas**, e, por isso, elas são mais abundantes em células secretoras. Nos ribossomos são encontradas diversas moléculas envolvidas na síntese proteica, que tornam possível a ligação dos aminoácidos em uma sequência predeterminada. Frequentemente, vários ribossomos se encaixam em uma mesma molécula de RNAm, formando uma estrutura denominada **polirribossomo**, ou simplesmente **polissomo** (imagem B).

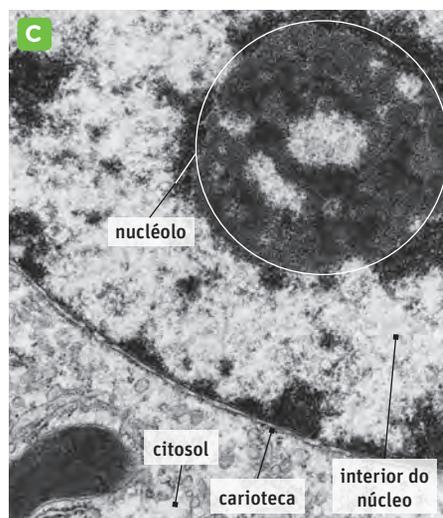


Adilson Secco/D/BR

Esquema de ribossomos isolados (no alto) e de um polirribossomo (embaixo). Observe que uma molécula de RNAm se encaixa entre as subunidades ribossômicas. Cores-fantasia.

## Origem dos ribossomos

Várias regiões da célula estão envolvidas na produção dos ribossomos. O RNAr é produzido em uma região especial do núcleo celular, o **nucléolo** (imagem C). As proteínas ribossômicas são produzidas no citoplasma e importadas para o interior do núcleo, unindo-se ao RNAr na região do nucléolo. As duas subunidades ribossomais migram para o citosol através dos poros da carioteca e lá se unem no momento da síntese proteica, formando os ribossomos.



Dr. Gopal Murli/SPL/Latinstock

Célula de fígado de rato. O nucléolo aparece como uma mancha mais escura no interior do núcleo celular. (Foto ao microscópio eletrônico de transmissão; aumento de cerca de 27 000 vezes.)

## Citoesqueleto

O citosol, seja em fase sol ou gel, é uma substância amorfa, isto é, sem forma definida. No entanto, proteínas dispersas no citosol agrupam-se, originando longos tubos e filamentos que, entrelaçados, formam uma espécie de rede que permeia todo o citoplasma. Essa rede proteica é chamada de **citoesqueleto** (imagens A e B).

Dependendo do tipo de proteína e da maneira como elas se agrupam, podem ser reconhecidos os **microfilamentos**, os **filamentos intermediários** e os **microtúbulos** (imagem C).

## Microfilamentos

Os microfilamentos resultam da polimerização (encadeamento) de uma proteína globular – a **actina** –, gerando estruturas flexíveis em forma de fios com aproximadamente 7 nm de espessura e de comprimento variável. Os microfilamentos e outras proteínas associadas são responsáveis por muitos dos movimentos celulares. Por exemplo, nas células musculares, a actina se associa à miosina, e a interação de ambas permite a contração da célula muscular.

Na etapa final das divisões das células animais, um anel formado por actina e por miosina envolve a célula em sua região equatorial. Ao contrair-se, esse anel provoca o estrangulamento da célula, com a separação do citoplasma em duas células-filhas. Os microfilamentos também participam da realização dos **movimentos amebóides**, que são vistos na página seguinte.

## Filamentos intermediários

Os filamentos intermediários possuem aproximadamente 10 nm de espessura. Eles podem ser formados por mais de um tipo de proteína, e uma célula pode conter mais de um tipo de filamento intermediário.

Esses filamentos desempenham **função estrutural**, evitando o rompimento das membranas de células que suportam tensões, como as células epiteliais e as musculares. Estão presentes, também, nos longos prolongamentos das células nervosas (os dendritos e axônios) e em células como fibrócitos e condrócitos, pertencentes a tecidos que desempenham função de sustentação. Nesses casos, os filamentos intermediários ajudam a manter o formato das células.

## Microtúbulos

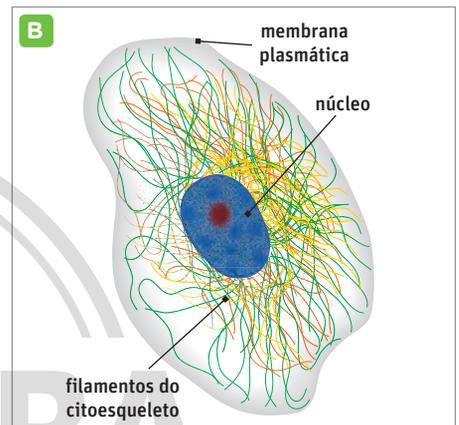
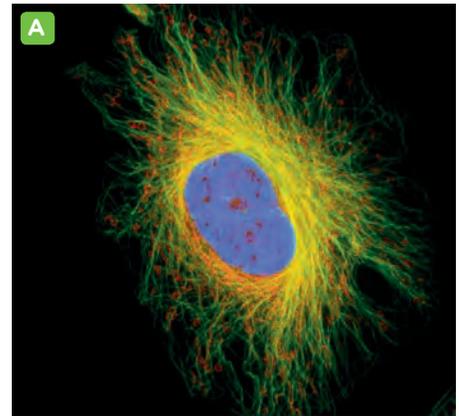
Os microtúbulos são formados pela polimerização de uma proteína globular, a **tubulina**. As unidades de tubulina unem-se em espiral, formando a parede de um cilindro oco com aproximadamente 28 nm de diâmetro externo. Cada volta da espiral corresponde a treze moléculas de tubulina (imagem C).

Os microtúbulos relacionam-se a diversos tipos de movimentos intracelulares, como o transporte de vesículas através do citoplasma e o deslocamento dos cromossomos durante as divisões celulares. Eles também formam as estruturas de apoio aos **cílios** e **flagelos**, prolongamentos citoplasmáticos relacionados à movimentação da célula.

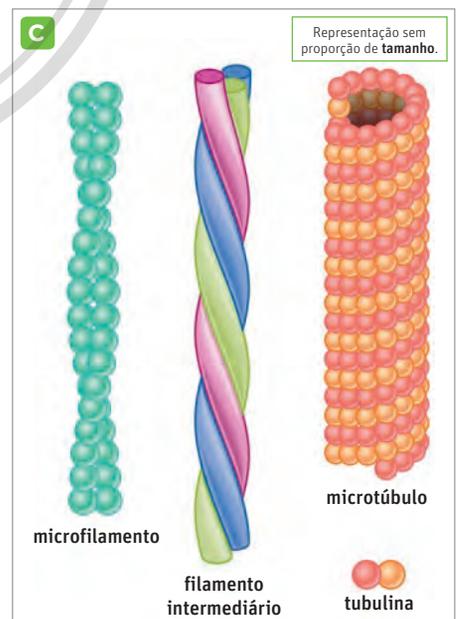
## Ciclose

A ciclose corresponde a uma **corrente citoplasmática**, mais facilmente observada em células vegetais. Nessas células, o citoplasma está contido no estreito espaço existente entre o grande vacúolo central e a membrana plasmática. A corrente citoplasmática fica evidenciada pela movimentação dos cloroplastos e outros orgânulos celulares.

Nessa fina camada citoplasmática encontram-se microfilamentos dispostos paralelamente à direção da ciclose. Há evidências de que a força propulsora da ciclose decorre da interação entre a actina e a miosina, bem como do fluxo de água entre o vacúolo, o citosol e o meio extracelular.



(A) Célula com núcleo e filamentos do citoesqueleto em evidência. (Foto ao microscópio de fluorescência; aumento de cerca de 810 vezes.) (B) Representação com base na fotografia. Cores-fantasia.



Esquema dos elementos esqueléticos da célula. Cores-fantasia.

Fonte de pesquisa: ALBERTS, B. et al. *Fundamentos da biologia celular*. 3. ed. Porto Alegre: Artmed, 2011. p. 571-604.

## Movimentos ameboides

Embora a denominação movimento amebóide faça referência à ameba – um protozoário –, esse tipo de movimento é observado em uma variedade de células, entre as quais os glóbulos brancos do sangue.

Fundamentalmente, o movimento amebóide consiste em uma constante alteração no formato da célula, com a formação de prolongamentos do citoplasma denominados **pseudópodes** (imagem **A**). A formação de um pseudópode deve-se à ação conjunta de microfilamentos de actina e miosina, os quais proporcionam a força necessária para a alteração no formato celular.

Porém, apenas a ação dos microfilamentos não é suficiente para gerar os movimentos amebóides, sendo necessárias também modificações do citoplasma. Em muitas células, o citoplasma mais próximo da membrana encontra-se em fase gel, enquanto o citoplasma mais interno está em fase sol. Para que seja possível a formação de um pseudópode, é preciso que, além da tração exercida na superfície celular pelos microfilamentos, ocorra também uma alteração localizada do citoplasma, que passa da fase gel para a fase sol e, assim, flui para a região da célula que sofreu tração, fazendo surgir a expansão, ou seja, o pseudópode.

Os pseudópodes estão relacionados à **fagocitose** e à **locomotoção celular**. No entanto, para que esta última ocorra, a célula necessita estar apoiada sobre um substrato.

## Centrossomo

O centrossomo é uma região presente nas células animais e em algumas células vegetais para a qual se direcionam muitos dos microtúbulos que formam o citoesqueleto.

### Estrutura e composição

O centrossomo é constituído por um corpo central, formado por um par de **centríolos** rodeados por uma substância amorfa (imagens **B**, **C** e **D**).

Os centríolos ocorrem aos pares, dispostos de modo perpendicular um ao outro. Cada centríolo é uma estrutura cilíndrica de aproximadamente  $0,2\ \mu\text{m}$  de diâmetro e  $0,5\ \mu\text{m}$  de comprimento, e sua parede – que é formada por nove conjuntos de três microtúbulos, ou trincas – delimita um interior oco.

### Origem e função

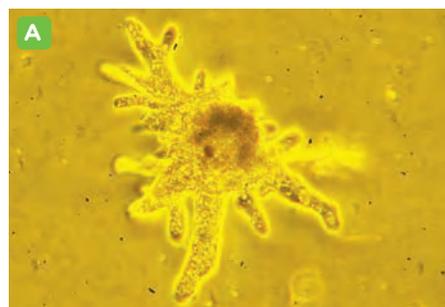
Um centríolo se desenvolve a partir de um cilindro mais curto, orientado perpendicularmente a outro centríolo já existente, e cuja parede é formada por apenas nove microtúbulos. De cada um desses nove microtúbulos formam-se, paralelamente, os demais microtúbulos das trincas. Ocorre também crescimento longitudinal, até o centríolo estar completamente formado.

Os centríolos sofrem duplicação nos momentos iniciais da divisão celular, de modo que cada célula-filha recebe um par deles.

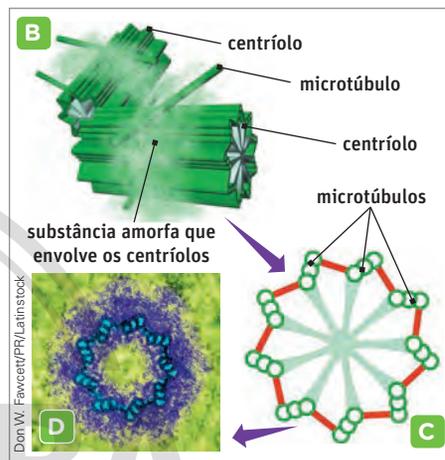
Do centrossomo derivam todas as estruturas que, como os cílios e os flagelos, são formadas por microtúbulos, incluindo-se o **fuso mitótico** (imagens **E** e **F**), estrutura responsável pelo deslocamento dos cromossomos durante a divisão celular.

Nas células que não têm centrossomo, como ocorre na maioria das plantas, os microtúbulos se formam a partir de uma zona difusa que desempenha esse papel.

(**E**) Célula humana em divisão. Observe o citoplasma, corado em vermelho, e as fibras do fuso, em azul-claro e em verde. (Foto ao microscópio de fluorescência; uso de corantes; aumento de cerca de 430 vezes.) (**F**) Esquema com base na micrografia. Cores-fantasia.

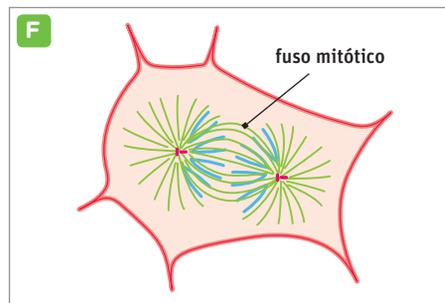
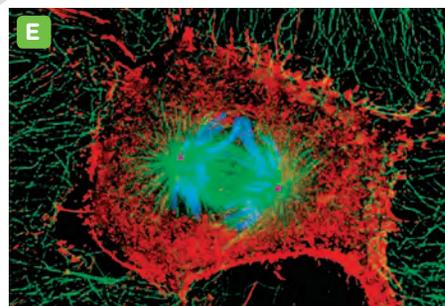


Uma ameba. Os contornos irregulares são os pseudópodes. (Foto ao microscópio de luz; aumento de cerca de 170 vezes.)



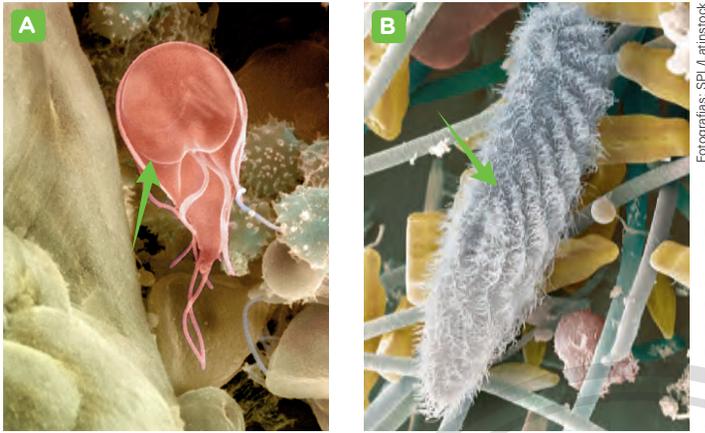
(**B**) Representação de um centrossomo mostrando o par de centríolos. (**C**) Esquema de corte transversal em um dos centríolos (ambos em cores-fantasia). (**D**) Secção transversal de um centríolo. (Foto ao microscópio eletrônico de transmissão; imagem colorizada; aumento de cerca de 150 mil vezes.)

Fonte de pesquisa: REECE, J. B. et al. *Campbell Biology*. 10. ed. [S.l.]: Pearson, 2014. p. 114.



## Cílios e flagelos

Derivados dos centríolos, os cílios e os flagelos são expansões citoplasmáticas extremamente delgadas, sustentadas por um par central de microtúbulos. Os cílios são curtos e numerosos, enquanto os flagelos são mais longos e ocorrem em menor número nas células.

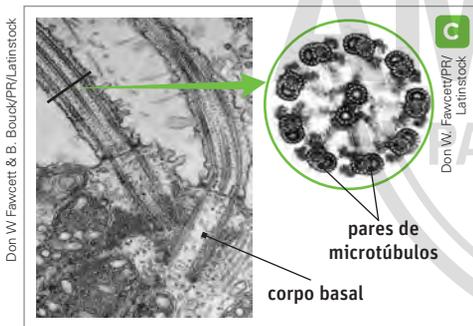


Fotografias: SPL/Lainstock

(A) *Giardia*, protozoário flagelado (seta). (B) *Paramecium*, protozoário ciliado (seta). (Fotos ao microscópio eletrônico de varredura; imagens colorizadas; aumento de cerca de 2 380 vezes em A e de 325 vezes em B.)

### Estrutura e composição

Cílios e flagelos são formados por um **corpo basal** e um **axonema** (imagem C). O corpo basal está ancorado no citoplasma celular. A estrutura interna do axonema revela nove pares de microtúbulos periféricos (que formam um cilindro alongado) e um par central.



Don W. Favcett & B. Bouck/PP/Lainstock

Don W. Favcett/PR/Lainstock

Corte longitudinal de um flagelo e de seu corpo basal. (Foto ao microscópio eletrônico de transmissão; aumento de cerca de 16 mil vezes.) No destaque, corte transversal do axonema. (Foto ao microscópio eletrônico de transmissão; aumento de cerca de 38 000 vezes.)

### ATIVIDADES

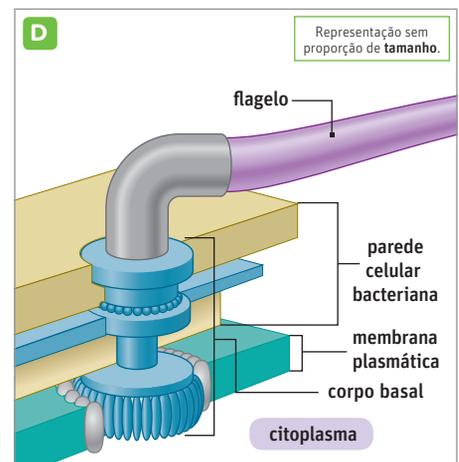
- Em pessoas com síndrome de Kartagener, os cílios e os flagelos podem apresentar mobilidade reduzida ou ser totalmente imóveis. Explique a relação desse sintoma com o fato de pessoas com essa síndrome muitas vezes apresentarem problemas respiratórios e de fertilidade.

### Funções de cílios e flagelos

A ação de cílios e flagelos está relacionada à **locomção da célula em um meio líquido**, como é o caso de protozoários e espermatozoides. Nos seres multicelulares, a ação de cílios e flagelos provoca a movimentação de fluidos ou de partículas. Nas vias respiratórias humanas, por exemplo, o epitélio de revestimento tem células ciliadas, que deslocam para as vias aéreas superiores o muco e as partículas de poeira acumulados no interior dos pulmões e da traqueia.

### Flagelos bacterianos

Muitos seres procariontes têm flagelos, porém com estrutura completamente diversa daquela observada nos eucariontes. Em procariontes, o flagelo consiste em um filamento da proteína **flagelina**, que se apoia em uma estrutura, também proteica, em forma de cotovelo (imagem D). O conjunto ancora-se à parede celular e à membrana plasmática, onde um aparato semelhante a um rotor (o corpo basal) realiza movimentos giratórios, fazendo o flagelo girar como uma hélice, o que desloca a bactéria.



Adilson Secco/ID/BFR

Esquema da estrutura do flagelo bacteriano. Cores-fantasia.

Fonte de pesquisa: TORTORA, G. J. et al. *Microbiologia*. 10. ed. Porto Alegre: Artmed, 2012, p. 82.

# Práticas de Biologia

## Construção de modelos de células

### Objetivo

Construir um modelo para reconhecer e identificar as estruturas internas de uma célula.

### Material

- recipiente plástico ou de vidro (pote de sorvete, vidro grande de compota com boca larga, etc.)
- panela ou recipiente de vidro térmico
- gel incolor
- gel fixador (colorido) de cabelo
- massa de modelar de cores variadas
- fitas coloridas ou fios de lã coloridos
- outros materiais, diferentes e variados, escolhidos a critério de cada grupo
- 1 saquinho plástico pequeno
- 1 colher ou espátula

### Procedimento

1. Seguindo as orientações do professor, forme um grupo com mais quatro ou cinco colegas e defina, com a participação coletiva da turma, qual modelo de célula caberá ao seu grupo construir. Essa definição poderá ser feita, por exemplo, por meio de sorteio e deverá envolver tipos diferentes de células (animais, vegetais e procarióticas).
2. Após a definição do modelo a ser feito, pesquise com seus colegas de grupo as características da célula a ser modelada (forma, dimensões, organelas existentes, etc.).
3. Defina com seus colegas de grupo se o modelo que vocês farão será bidimensional ou tridimensional. Defina também quais materiais serão utilizados para criar o modelo. Vocês poderão usar os materiais sugeridos na lista apresentada anteriormente ou acrescentar outros que julgarem mais convenientes. Por exemplo: massinha de modelar de cor verde pode ser uma boa escolha para representar os cloroplastos, enquanto fios de lã coloridos podem servir para representar os cromossomos.
4. Com a ajuda do professor e dos demais colegas, defina uma escala de tamanho a ser usada para a construção de seu modelo, para manter a proporção entre as várias estruturas celulares representadas. Uma sugestão é considerar, por exemplo, que 1 micrômetro equivale a 1 cm. Assim, usando a “regra de 3 simples”, você poderá calcular e manter as dimensões proporcionais da parede celular, da membrana celular, das mitocôndrias, dos ribossomos, do núcleo e de outras estruturas celulares.

### Resultado

1. Ao final da atividade, apresente e discuta as características de seu modelo (e da célula que ele representa) com seus colegas de turma. Organize, com a ajuda dos colegas e sob orientação do professor, um mural ou exposição dos vários modelos construídos, identificando a que tipo de célula cada um deles corresponde.

### Discussão

1. Um modelo, como toda representação, é sempre limitado quando comparado ao objeto que procura representar. Isso, porém, é esperado, pois o modelo é usado para generalizar padrões, indo além das ocorrências particulares do objeto representado. Discuta o modelo de célula que você e seu grupo construíram, considerando os seguintes aspectos:
  - a) É possível identificar, sem legenda, as organelas e estruturas representadas?
  - b) Todas as organelas estão representadas? Quais estão ausentes no modelo? Por quê?
  - c) As proporções de tamanho entre os vários componentes estão corretas?
  - d) Observe os modelos elaborados pelos demais grupos. É possível fazer a correta identificação do tipo de célula representada?
  - e) Há organelas que foram representadas em todos os modelos? Se há, quais são elas?
2. A escala adotada auxiliou ou dificultou a construção do modelo feito por seu grupo? Como?

# Metabolismo energético

## O QUE VOCÊ VAI ESTUDAR

Como as células obtêm a energia necessária para seu metabolismo.

Os processos químicos que fazem parte da respiração celular aeróbia.

Outros processos de obtenção de energia e alguns organismos que os realizam.

As substâncias que fornecem energia para as células.



Jorge Martínez/MEXSPO/Photoarena

Seleções femininas de handebol do Brasil e do México, em partida dos Jogos Panamericanos de Toronto (2015). A quantidade de energia necessária para manter o corpo das atletas em atividade aumenta entre 10 e 20 vezes em relação ao estado de repouso.

Toda a atividade realizada pelos seres vivos — e, portanto, por suas células — depende de fornecimento constante de energia. Os físicos consideram energia a capacidade que um corpo, uma substância ou um sistema físico têm de realizar trabalho (geralmente produzir movimento). A energia pode ser transferida de um corpo a outro e também convertida de um tipo a outro. O calor, a luz e o som, por exemplo, são diferentes tipos de energia.

Toda matéria é formada por substâncias, que por sua vez são formadas por moléculas e átomos. Os átomos estão ligados uns aos outros por meio de ligações químicas que contêm energia armazenada. As moléculas presentes em um pedaço de madeira, por exemplo, contêm energia química na ligação entre seus átomos. Quando ocorre a combustão (queima) da madeira, a energia química desse material se transforma em energia luminosa e térmica.

Um dos principais tipos de energia aproveitada pelas células é a energia química. É ela que permite às jogadoras da fotografia acima visualizar a bola, mover o corpo, saltar e manter o equilíbrio, localizar as outras jogadoras, decidir qual a melhor jogada e, ao mesmo tempo, manter as funções vitais do organismo. Todas essas atividades levam à conversão da energia química em outras formas de energia.

Ao longo deste capítulo, serão discutidos os processos e as reações que garantem a transformação da energia contida nos alimentos em energia utilizável no metabolismo celular.

Para além da Biologia, o estudo do metabolismo emprega conhecimentos fundamentais da Química e da Física.

## Metabolismo

Toda célula contém um conjunto de substâncias que participam de reações químicas vitais. Algumas delas são utilizadas na transferência de energia empregada em diversos processos orgânicos. Outras são “desmontadas”, e seus componentes são utilizados na “produção” das moléculas necessárias ao funcionamento e crescimento do organismo.

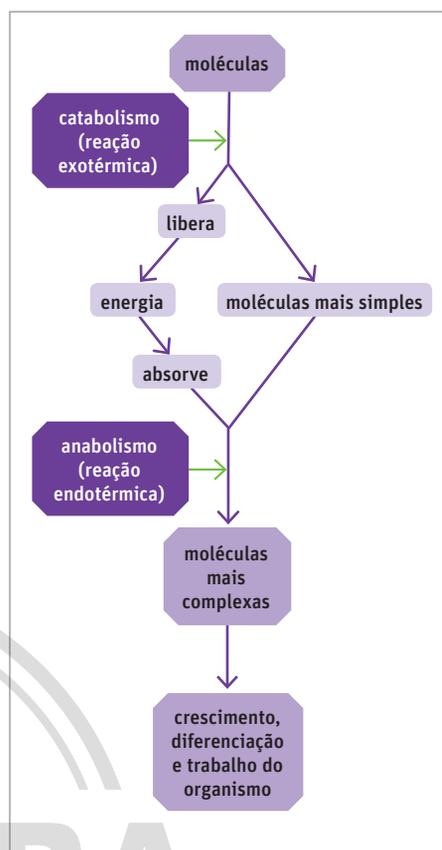
Toda essa atividade de transformação química constitui o **metabolismo celular**. Em outras palavras, o metabolismo (do grego *metabolé*, “mudança”, “transformação”) pode ser definido como o conjunto de reações químicas que ocorre em organismos vivos.

As reações que constituem o metabolismo podem ser separadas em dois grupos.

- **Catabolismo** ou reações de **degradação e quebra**, em que ocorre a decomposição, o “desmonte” de moléculas, com liberação de energia.
- **Anabolismo** ou reações de **síntese e produção**, em que são formadas moléculas complexas a partir de outras mais simples, com absorção de energia.

Assim, o catabolismo é um conjunto de reações exotérmicas (veja caixa abaixo) que forma moléculas menores e mais simples; já o anabolismo é um conjunto de reações endotérmicas que forma, geralmente, moléculas mais complexas. Anabolismo e catabolismo ocorrem juntos dentro das células (esquema ao lado).

Um exemplo de catabolismo é a degradação de moléculas de glicose no interior das células humanas, liberando energia. Essa energia pode ser direcionada para a síntese de outras substâncias (anabolismo). Um exemplo de anabolismo é a síntese de proteínas nas células musculares, com aumento da massa muscular, em resposta à atividade física.

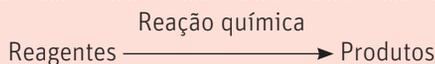


Esquema representando o metabolismo celular.

### BIOLOGIA E QUÍMICA

#### Reações químicas

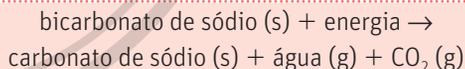
Reação química é todo processo em que uma ou mais substâncias (**reagentes**) se recombinam e transformam-se, dando origem a uma ou mais substâncias (**produtos**), com características e/ou propriedades diferentes das observadas nos reagentes. Nessa transformação, os reagentes têm seus átomos reorganizados, originando substâncias diferentes, os produtos. Uma transformação ou reação química é evidenciada pelas diferenças entre o estado inicial e o final.



Por exemplo, para fazer um bolo é preciso preparar a massa, uma mistura de manteiga, açúcar, ovos, farinha, leite e fermento. Essa mistura, com a aparência de uma pasta amarelada, é levada ao forno e muda completamente: deixa de ser a pasta original, transformando-se em um bolo. Diversas reações químicas ocorrem, durante o cozimento, entre os vários constituintes da massa, originando os produtos presentes no bolo, que têm características diferentes.

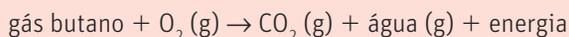
Algumas reações precisam receber energia para ocorrer. São as **reações endotérmicas** (do grego *éndon*, “dentro”, e *thermós*, “temperatura”). Nestas, os reagentes contêm menos energia do que os produtos. Um exemplo é a seguinte reação de decomposição do fermento químico

(basicamente, bicarbonato de sódio), que ocorre quando se faz um bolo:



Outro exemplo é a fotossíntese, conjunto de reações químicas que ocorre nas plantas e em outros organismos em que a energia luminosa (luz solar) é captada e transformada em energia química, na forma de carboidratos.

Outras reações liberam energia e são chamadas de **exotérmicas** (do grego *ékso*, “fora”, e *thermós*, “temperatura”). Nestas, parte da energia presente nos reagentes pode ser liberada durante a reação. A queima do gás de cozinha (butano) é um exemplo desse tipo de reação. O calor despreendido pela chama do forno é a energia necessária para a transformação das substâncias que compõem o bolo.



A degradação da glicose no organismo vivo é outro exemplo. Ao fim de um conjunto de reações, a energia química da molécula de glicose pode transformar-se em outros tipos de energia – por exemplo, a energia térmica que aquece o organismo.

## Reações de oxirredução

Uma das maneiras de transferir energia de uma substância para outra é o trânsito de elétrons, partículas subatômicas com carga negativa.

Segundo o modelo atômico vigente, os elétrons podem ser encontrados em torno do núcleo atômico, ocupando diferentes níveis energéticos, de acordo com a quantidade de energia de que dispõem.

É comum os elétrons de certos átomos perderem energia e mudarem de nível energético durante uma reação química. Eles também podem captar energia, ficando excitados ou energizados. Nesse caso, podem saltar de um nível energético para outro (mais externo). Em outras ocasiões, elétrons podem ser transferidos das moléculas de uma substância para moléculas de outra que possam recebê-los.

A perda de elétrons é chamada de **oxidação**, e o ganho, de **redução**. Em uma reação química, sempre que há oxidação ocorre simultaneamente redução. Esse tipo de reação química, em que há transferência de elétrons, é chamado de **reação de oxirredução** ou **reação redox**.

Observe a reação na imagem **A**. Enquanto **X** perde elétrons – e, portanto, é oxidado –, **Y** ganha elétrons – ou seja, é reduzido. Chamamos de **agente oxidante** a substância que provoca a oxidação, e de **agente redutor** a substância que provoca a redução. Assim, para a reação do esquema, dizemos que **X** é o agente redutor, pois **Y** foi reduzido no processo, e **YO** é o agente oxidante, já que provocou a oxidação de **X**.

Em geral, além de perder elétrons, a substância que se oxida fica com carga negativa menor ou carga positiva maior do que aquela que tinha antes da oxidação. Ao contrário, a substância que se reduz recebe elétrons, ficando com uma carga negativa maior ou carga positiva menor do que aquela que tinha antes da redução.

## As moléculas de ATP e ADP

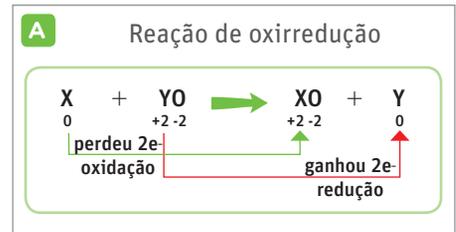
Em condições normais, as células recebem um suprimento constante de energia, proveniente da degradação das moléculas de nutrientes (reações exotérmicas).

Parte dessa energia é perdida sob a forma de calor, e parte é utilizada em reações endotérmicas do metabolismo. Isso é possível graças a um mecanismo conhecido como **acoplamento de reações** (leia mais na próxima página), em que algumas substâncias armazenam temporariamente a energia que será depois transferida a outras.

Uma das substâncias que armazenam energia é o **trifosfato de adenosina (ATP)**. A molécula de ATP (imagem **B**) é formada pela união de uma molécula de **adenina** (base nitrogenada) com uma molécula de **ribose** (pentose) e três grupos fosfato (P). Nas células é comum a presença de íons fosfato livres ( $P_i$ ), isto é, que não estão ligados a moléculas orgânicas e que, por isso, são chamados de fosfatos inorgânicos. A adenina e a ribose formam a **adenosina**, que, ligada aos três fosfatos, forma o trifosfato de adenosina (ATP), como mostra o esquema ao lado.

A remoção de um íon fosfato da molécula de ATP, por meio de uma reação de hidrólise, provoca a liberação de grande quantidade de energia (que poderá ser utilizada em outras reações) e a formação de uma molécula de **difosfato de adenosina (ADP)** com liberação de um fosfato inorgânico. A molécula de ADP é muito parecida com a do ATP. No entanto, nela há apenas dois fosfatos; logo, o ADP tem menor quantidade de energia que o ATP.

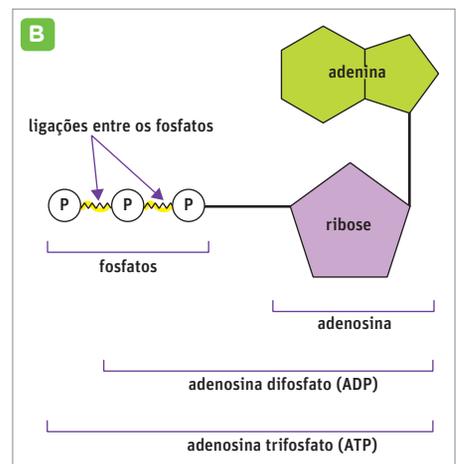
Tanto o ATP como o ADP são moléculas solúveis que se difundem por toda a célula.



Esquema de uma reação hipotética de oxirredução. Átomos de oxigênio são representados pela letra **O**. Os números indicam a carga elétrica que o átomo “aparenta” possuir na substância formada.

### ATIVIDADES

- Além do ATP, outro tipo de molécula orgânica encontrada nos seres vivos apresenta bases nitrogenadas, pentoses e fosfatos associados.
  - Que tipo de molécula é essa?
  - Qual variedade desse tipo de molécula apresenta, assim como o ATP, adenina e ribose?



Esquema das moléculas de ADP e ATP. Cores-fantasia.

Fonte de pesquisa: ALBERTS, B. et al. *Fundamentos da biologia celular*. 3. ed. Porto Alegre: Artmed, 2011. p. 57.

## O papel do ATP

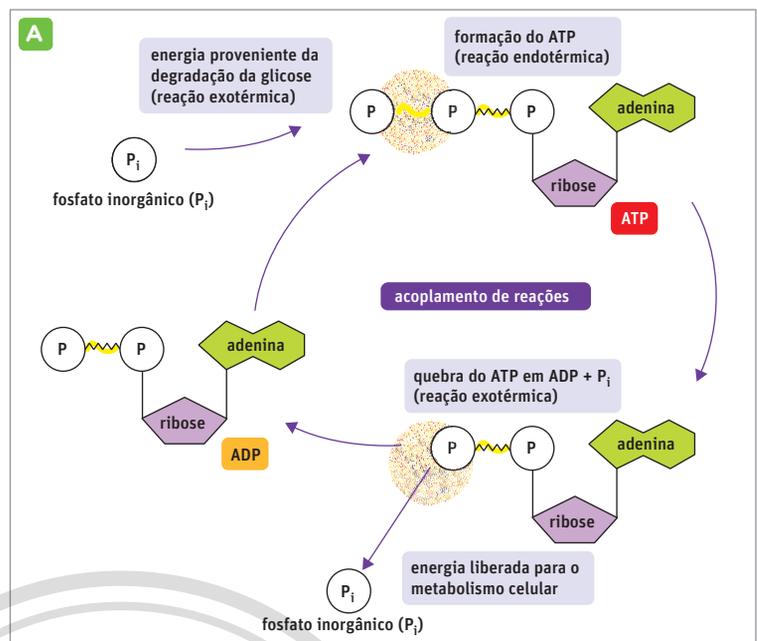
Um exemplo de acoplamento de reações é justamente a síntese do ATP (imagem A), que ocorre a partir da adição de um fosfato inorgânico ao ADP (fosforilação do ADP).

Durante a reação  $\text{ADP} + \text{P}_i \rightarrow \text{ATP}$ , há consumo de energia (reação endotérmica), que fica armazenada na molécula de ATP. Logo, o produto da reação (ATP) acumula mais energia do que os reagentes ( $\text{ADP} + \text{P}_i$ ). Quando o metabolismo celular necessita de energia, o ATP é hidrolisado em ADP e  $\text{P}_i$  ( $\text{ATP} \rightarrow \text{ADP} + \text{P}_i$ ) e a energia liberada é utilizada pela célula. Nesse processo, parte da energia é perdida sob a forma de calor.

Devido às forças de atração molecular, os fosfatos ligam-se mais fortemente quando próximos da ribose e mais fracamente quando distantes. Assim, o fosfato que fica na extremidade da molécula tende a liberar-se mais facilmente, liberando também a energia (reação exotérmica). Essa energia pode ser utilizada em outra reação endotérmica.

Isso significa que o ATP funciona como uma espécie de “reserva energética”, que pode ser gasta pela célula sempre que necessário. De fato, a cada instante e em cada célula, milhares de moléculas de ATP se decompõem em ADP e  $\text{P}_i$ , liberando energia. A “recarga” dos ADPs ocorre rapidamente toda vez que há liberação de energia.

A importância das reações acopladas nas células e da função do ATP pode ser mais bem compreendida se compararmos a liberação de energia na célula a um tipo de liberação de energia muito comum no dia a dia: a combustão do gás de cozinha. Nessa reação, toda a energia do gás é liberada de uma só vez, sob a forma de calor e luz. Se a energia da glicose fosse liberada do mesmo modo, o calor seria tão intenso que destruiria as proteínas e interromperia todas as reações metabólicas, matando a célula. Mas não é assim que ocorre, pois a energia armazenada nas ligações químicas da molécula de glicose é liberada de maneira gradativa, em uma cadeia de reações que sintetizam ATP. Depois, de acordo com as necessidades da célula, o ATP é hidrolisado, e a energia liberada pelo desligamento de grupos fosfato é utilizada nas diversas reações metabólicas das células.



Quando o ATP perde um fosfato, este pode se transferir para outra molécula (substrato), que se torna, por sua vez, fosforilada (imagem B). A molécula fosforilada recebe também parte da energia (outra parte se perde como calor), que vem com o fosfato, e torna-se capaz de realizar alguma atividade biológica. Por exemplo, as proteínas das células musculares só conseguem promover a contração depois de fosforiladas.

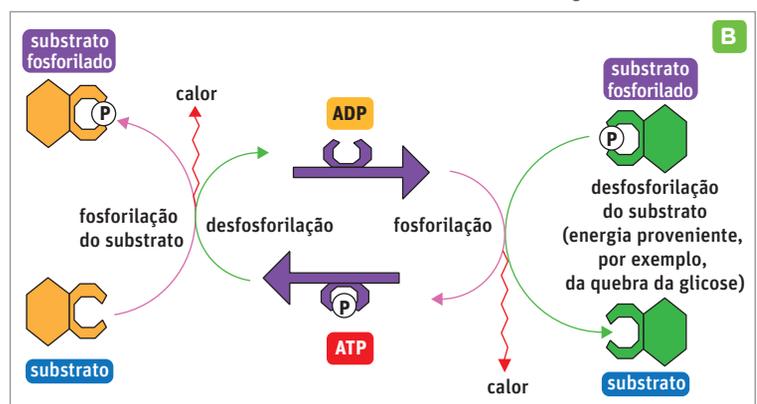
O processo inverso também ocorre: a molécula orgânica ligada ao fosfato (substrato fosforilado) sofre desfosforilação, e o fosfato que foi desligado pode ser usado na reconstituição do ATP a partir do ADP. Entretanto, isso só acontece se houver uma fonte de energia disponível, como carboidratos ou lipídios.

As reações de síntese de inúmeras moléculas orgânicas também usam a energia cedida pelo ATP.

Esquema que representa o acoplamento de reações, com o ATP como “reserva energética” das células. Cores-fantasia.

Fonte de pesquisa: ALBERTS, B. et al. *Fundamentos da biologia celular*. 3. ed. Porto Alegre: Artmed, 2011. p. 57.

Esquema que representa o papel do ATP como transportador de energia. Cores-fantasia.



## Reações de oxirredução e metabolismo celular

Devido à contínua entrada e saída de substâncias e à transformação dessas substâncias no interior das células, os seres vivos se mantêm em atividade, permanecendo em estado de equilíbrio dinâmico.

No metabolismo celular ocorrem sucessivas reações de oxirredução, nas quais elétrons ou íons hidrogênio ( $H^+$ ) são transferidos de uma molécula para outra. Íons hidrogênio liberados nas reações de oxidação são acompanhados de grande quantidade de energia, que estava armazenada nas moléculas das quais faziam parte.

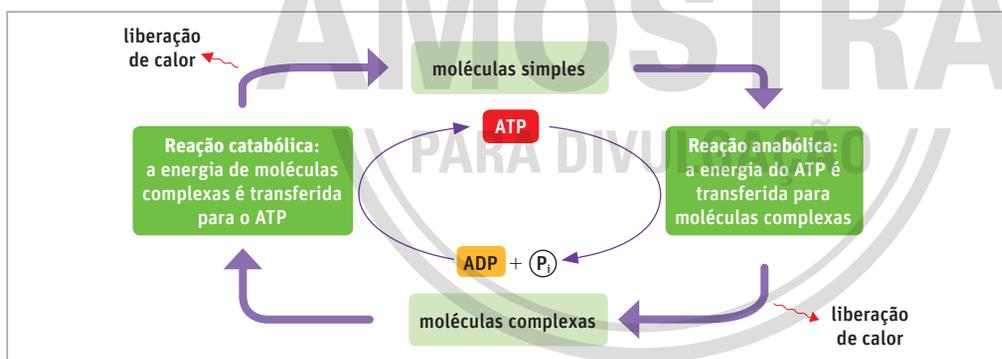
O aproveitamento da energia química pelos seres vivos pode ser realizado através do mecanismo de acoplamento energético, ou seja, do armazenamento de energia nas ligações químicas das moléculas de ATP.

Diversas transformações moleculares nas quais ocorre liberação de energia (processos catabólicos) são de oxidação. Nesses processos ocorre a degradação oxidativa das moléculas dos nutrientes, o que implica a

redução de outras. O processo catabólico global deve ser exotérmico, pois a energia liberada permite à célula realizar seus processos anabólicos.

Assim, a célula deve dispor de um **aceptor**, molécula que receba os elétrons ou os íons de hidrogênio desprendidos nas reações de oxidação. De acordo com a natureza do aceptor, os seres vivos podem ser classificados como **aeróbios**, se a molécula que recebe elétrons ou íons de hidrogênio for o gás oxigênio, ou **anaeróbios**, se o agente oxidante for outra substância, como um nitrato ou um sulfato.

O **catabolismo aeróbio** é formado por várias reações químicas que conduzem finalmente à obtenção de moléculas de ATP, que poderão ser utilizadas em outros processos que necessitam de energia – as rotas de anabolismo. A energia que não é armazenada é dissipada na forma de calor (veja imagem abaixo). É exatamente isso que acontece ao longo dos processos de obtenção de energia realizados pelas células, descritos a seguir.



Alex Argenteo/DFBR

Esquema simplificado de processos anabólicos e catabólicos na célula.

## ➤ AÇÃO E CIDADANIA

### Atividade física e saúde

O dia 6 de abril é considerado o Dia Mundial da Atividade Física. Nessa data, todos os anos, são desenvolvidas campanhas de conscientização em diversos países. De acordo com a Organização Mundial da Saúde, o sedentarismo, ou seja, a falta de atividade física, é o quarto maior fator de risco de morte em todo o mundo. A prática de exercícios aeróbios ou anaeróbios pode colaborar para diminuir esses riscos.

O exercício aeróbio utiliza energia proveniente da respiração aeróbia, que requer o uso do gás oxigênio (por isso o nome “aeróbio”). Ele estimula a função dos sistemas cardiovascular e respiratório e também o metabolismo, pois aumenta a capacidade cardíaca e pulmonar ao elevar o consumo do gás oxigênio. Caminhar, correr e pedalar são exemplos de exercícios aeróbios.

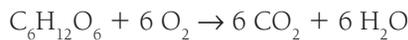
O exercício anaeróbio é, em geral, um exercício de força, de alta intensidade e curta duração. Envolve um esforço intenso realizado por um número limitado de músculos e há produção de ácido láctico. São exemplos de exercícios anaeróbios a corrida de 100 metros rasos, os saltos e o arremesso de peso.

## Respiração celular aeróbia

A maioria das espécies de seres vivos atuais é aeróbia, isto é, são organismos que obtêm a energia de que necessitam para a manutenção dos seus processos vitais por meio da **respiração celular aeróbia**, assim chamada por utilizar o gás oxigênio.

Nesse processo, que ocorre em uma série de etapas, substâncias orgânicas, como a glicose, são degradadas com a participação do gás oxigênio, produzindo água (H<sub>2</sub>O) e gás carbônico (CO<sub>2</sub>) e liberando energia. Parte dessa energia é armazenada em moléculas de ATP e será utilizada nos processos celulares.

Desconsiderando-se as etapas intermediárias do processo, a respiração pode ser resumida na equação geral abaixo.



As reações da respiração celular aeróbia podem ser divididas em duas fases.

- **Fase anaeróbia** ou **glicólise**: acontece no citosol, sem a participação do gás oxigênio. É o início do catabolismo da glicose.
- **Fase aeróbia**: acontece obrigatoriamente na presença do gás oxigênio. Nos seres eucarióticos, ela ocorre nas mitocôndrias; em procariontes, ela ocorre no citosol, em interação com enzimas da membrana.

### Fase anaeróbia

Na fase anaeróbia ou glicólise (do grego *glykys*, “açúcar”, e *lysis*, “quebra”), a glicose, uma molécula relativamente simples formada por seis átomos de carbono, é degradada mediante uma série de reações das quais resultam duas moléculas de piruvato, com três átomos de carbono cada. O esquema ao lado ilustra, de forma simplificada, as etapas (A, B, C e D) dessa fase. Acompanhe a explicação a seguir com o auxílio desse esquema.

A glicólise é um processo exotérmico. Mas, para que ela se inicie, são necessárias duas moléculas de ATP (A). A glicose, em condições normais, reage com certa dificuldade. As moléculas de ATP fornecem a energia necessária para ativar o processo. Quando ele for concluído, terão se formado quatro moléculas de ATP. Se considerarmos que duas delas repõem as duas inicialmente utilizadas, o saldo final é de duas moléculas de ATP.

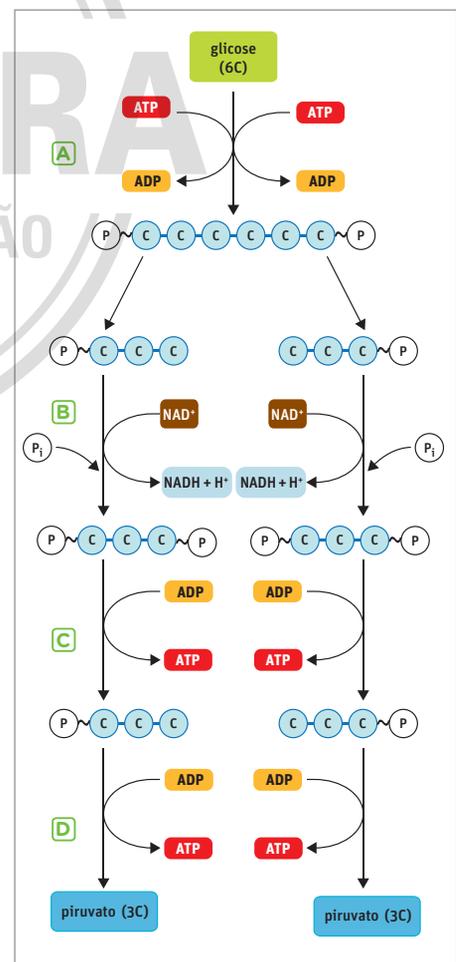
Durante o processo de formação do piruvato, há incorporação e perda de fosfato pelas moléculas participantes das reações. Inicialmente, dois fosfatos presentes nas duas moléculas de ATP (chamadas de moléculas de ativação) são incorporados (etapa A). Dois fosfatos inorgânicos são incorporados posteriormente (etapa B). Por convenção, as ligações envolvendo os fosfatos – cujo desligamento da molécula implica liberação de grande quantidade de energia – são representadas pelo símbolo ~.

Durante a degradação da glicose, quatro íons de hidrogênio são liberados. Eles são captados e presos em duas moléculas transportadoras de hidrogênio, chamadas de **nicotinamida-adenina-dinucleotídeo (NAD<sup>+</sup>)**. Cada uma torna-se, então, **NADH + H<sup>+</sup>** (etapa B). Em seguida, quatro moléculas de ADP incorporam os fosfatos, formando as quatro moléculas de ATP (etapas C e D).

A glicólise libera apenas parte da energia disponível na molécula de glicose; o restante continua armazenado nas moléculas de piruvato e será liberado nas etapas posteriores.

### ATIVIDADES

2. Organismos autótrofos são capazes de produzir carboidratos. Esses organismos realizam respiração celular? Justifique.



Esquema simplificado da glicólise. Cores-fantasia.

## Fase aeróbia

Essa fase da respiração acontece apenas na presença do gás oxigênio, por isso ela é dita aeróbia. Em seres eucarióticos, ela ocorre no interior das mitocôndrias, onde se forma a maioria das moléculas de ATP.

As mitocôndrias (imagem A) são formadas por uma dupla membrana, a externa e a interna. A membrana interna apresenta uma série de dobras ou cristas mitocondriais. As membranas delimitam uma região chamada de espaço intermembrana. O volume interno da mitocôndria é preenchido por um fluido viscoso, a matriz mitocondrial.

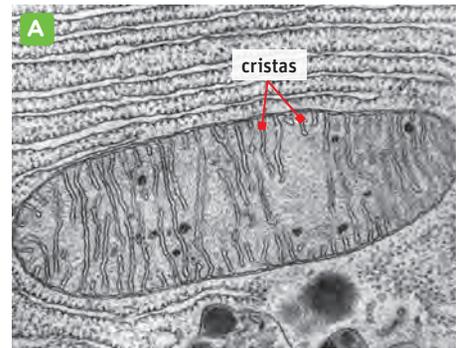
A fase aeróbia é dividida em duas sequências de reações: o **ciclo de Krebs**, que ocorre na matriz mitocondrial, e a **cadeia respiratória**, que ocorre nas cristas mitocondriais.

Ao longo da cadeia respiratória, o piruvato é degradado, seus átomos de carbono são eliminados em forma de dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), e seus íons de hidrogênio são carregados pelos aceptores  $\text{NAD}^+$  e  $\text{FAD}$  (**flavina-adenina-dinucleotídeo**), formando-se, respectivamente,  $\text{NADH} + \text{H}^+$  e  $\text{FADH}_2$ .

Os íons de hidrogênio captados pelos aceptores são transferidos para o oxigênio, que chega às células por difusão a partir do meio extracelular. Dessa união entre o oxigênio e os íons hidrogênio formam-se moléculas de água, enquanto as moléculasceptoras voltam à forma inicial ( $\text{NAD}^+$  e  $\text{FAD}$ ). Apesar de o oxigênio participar apenas da última etapa da cadeia respiratória, em sua ausência as demais reações dessa fase não ocorrem.

Durante a fase aeróbia, uma grande quantidade de energia fica armazenada nas moléculas de ATP e pode ser utilizada posteriormente pela célula. Isso acontece porque elétrons passam sucessivamente por uma série de moléculas transportadoras – a cadeia respiratória – e ao longo dessas etapas liberam energia gradualmente mediante reações de oxirredução.

A imagem B resume o que ocorre nas células durante a respiração celular.



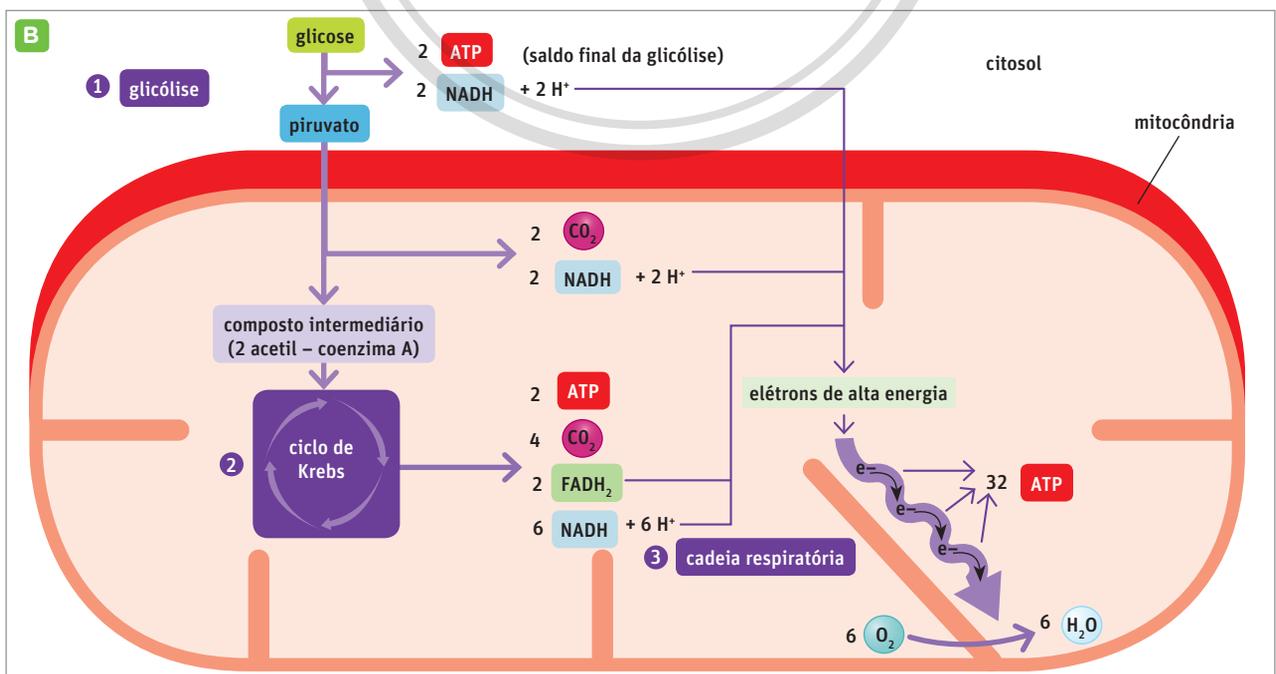
Mitocôndria em corte longitudinal (no sentido do maior comprimento), mostrando as cristas mitocondriais. (Foto ao microscópio eletrônico de transmissão; aumento de cerca de 24 mil vezes.)

Keith R. Porter/PR/Latinstock

### ATIVIDADES

- O piruvato, molécula orgânica composta de três átomos de carbono que aparece ao final da fase anaeróbia ou glicólise, é totalmente degradado (quebrado) na fase seguinte.

Explique o que acontece com seus átomos de carbono e de hidrogênio.



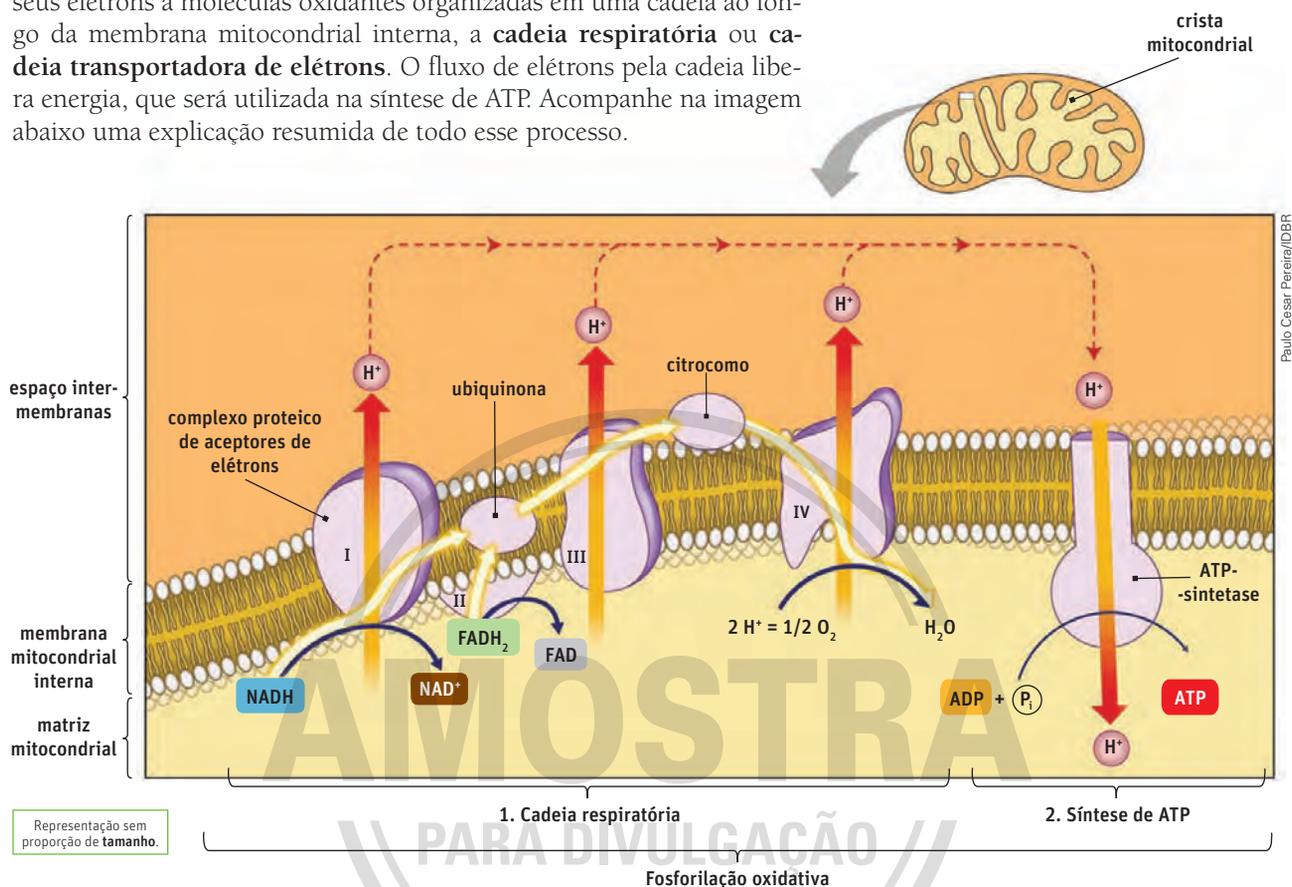
Esquema geral da respiração aeróbia. As duas moléculas de piruvato, produto final da glicólise, são degradadas ao longo da fase aeróbia. Cores-fantasia.

Reinaldo Vignati/ID/BR



## Cadeia respiratória

Os íons hidrogênio e os elétrons liberados nas diversas etapas anteriores da respiração celular são transportados até as cristas mitocondriais pelas moléculas transportadoras NADH e FADH<sub>2</sub>. Estas cedem seus elétrons a moléculas oxidantes organizadas em uma cadeia ao longo da membrana mitocondrial interna, a **cadeia respiratória** ou **cadeia transportadora de elétrons**. O fluxo de elétrons pela cadeia libera energia, que será utilizada na síntese de ATP. Acompanhe na imagem abaixo uma explicação resumida de todo esse processo.



**1. Cadeia respiratória.** É formada por aceptores de elétrons (numerados de **I a IV**) dispostos de maneira organizada na membrana interna da mitocôndria. Esses aceptores são complexos proteicos que recebem os elétrons (e respectivos íons H<sup>+</sup>) transportados pelo NADH e pelo FADH<sub>2</sub>. Ao ceder elétrons aos aceptores, as moléculas transportadoras passam a NAD<sup>+</sup> e FAD, respectivamente. Os elétrons são transferidos de umceptor a outro (setas amarelas) por meio de aceptores intermediários, a **ubiquinona** e os **citocromos**, e, ao longo dessa transferência, perdem energia gradualmente. Quanto aos íons H<sup>+</sup>, eles são bombeados pelos aceptores de elétrons para o espaço intermembranar (setas vermelhas apontadas para cima). O último elemento oxidante da cadeia respiratória e, portanto, oceptor final de elétrons é o gás oxigênio, proveniente do meio extracelular, que, ao receber íons hidrogênio, forma moléculas de água (H<sub>2</sub>O).

**2. Síntese de ATP.** Com o acúmulo de íons hidrogênio (H<sup>+</sup>) no espaço entre as membranas mitocondriais, forma-se um gradiente de concentração entre esse espaço (onde os íons H<sup>+</sup> estão mais concentrados) e a matriz mitocondrial (onde eles estão menos concentrados). Assim, os íons H<sup>+</sup> tendem a voltar para a matriz, mas só podem fazê-lo se atravessarem um conjunto específico de proteínas denominado **ATP-sintetase** (seta vermelha apontada para baixo). Nesse processo, há liberação de energia, que é utilizada na fosforilação de moléculas de ADP, isto é, na ligação de um fosfato inorgânico (P<sub>i</sub>) ao ADP, com a formação de ATP. A sequência de reações da cadeia respiratória mais a síntese de ATP formam um conjunto chamado de **fosforilação oxidativa**. Cores-fantasia.

Fonte de pesquisa: REECE, J. B. et al. *Campbell Biology*. 10. ed. [S.l.]: Pearson, 2014, p. 174.

Na célula eucariótica, o fato de as diferentes etapas da respiração celular ocorrerem na mitocôndria – onde as enzimas e outras substâncias que participam das reações estão dispostas de maneira organizada, em pontos específicos – oferece grandes vantagens à célula. Uma delas é a rapidez com que ocorre o processo. Se a respiração acontecesse no citosol, com os reagentes dispersos, o processo seria bem mais lento. E mesmo nos organismos procarióticos, cujas células não dispõem de mitocôndrias, as enzimas e outras substâncias que participam da respiração celular estão localizadas em dobras internas da membrana plasmática, ou ancoradas em pontos específicos desta, contribuindo para maior eficiência do processo.

### ATIVIDADES

4. As mitocôndrias muitas vezes são descritas como “pilhas” das células vivas. Explique por que essa analogia pode ser feita.

## Balço energético da respiração celular

Durante a glicólise há produção de duas moléculas de piruvato e um saldo de 2 ATP e duas moléculas de NADH. Quando as moléculas de NADH atravessam as membranas da mitocôndria, ocorre gasto de 2 ATP. Os outros 8 NADH e os 2 FADH<sub>2</sub> que se formam na respiração já estão dentro da matriz mitocondrial e, portanto, não há gasto de ATP. Assim, ao final do processo, para cada molécula de glicose, o saldo energético é de **36 ATP**.

Nos organismos procarióticos que realizam respiração celular aeróbia, as diferentes etapas da respiração ocorrem no citosol. Portanto, não existe o gasto de 2 ATP que, na célula eucariótica, são consumidos quando o NADH atravessa a membrana mitocondrial. Assim, o saldo energético final da respiração aeróbia nesses organismos é de **38 ATP** para cada molécula de glicose.

## Obtenção de energia por meio de outras substâncias orgânicas

Assim como a glicose, outras substâncias orgânicas também podem ser utilizadas em algumas reações da respiração celular, com liberação de energia (veja imagem ao lado) e eliminação de CO<sub>2</sub> e H<sub>2</sub>O.

Os **carboidratos** são a principal fonte de energia para os seres vivos. Monossacarídeos de estrutura molecular semelhante à da glicose, como a frutose e a galactose, também podem ser degradados, liberando energia.

Dentre os **lipídios**, os glicerídeos são usados pelas células animais e vegetais como reserva de energia. Eles normalmente são degradados formando moléculas mais simples: o glicerol e os ácidos graxos – estes dão origem a moléculas de acetil-CoA, que são incorporadas ao ciclo de Krebs.

Os **aminoácidos** também podem ser utilizados como combustível metabólico em algumas situações, fornecendo energia. O grupo α-amino da molécula se separa e é excretado na forma de compostos nitrogenados, como a ureia. A cadeia de carbono resultante dessa separação sofre transformações, dando origem a compostos intermediários que podem ser incorporados ao ciclo de Krebs.

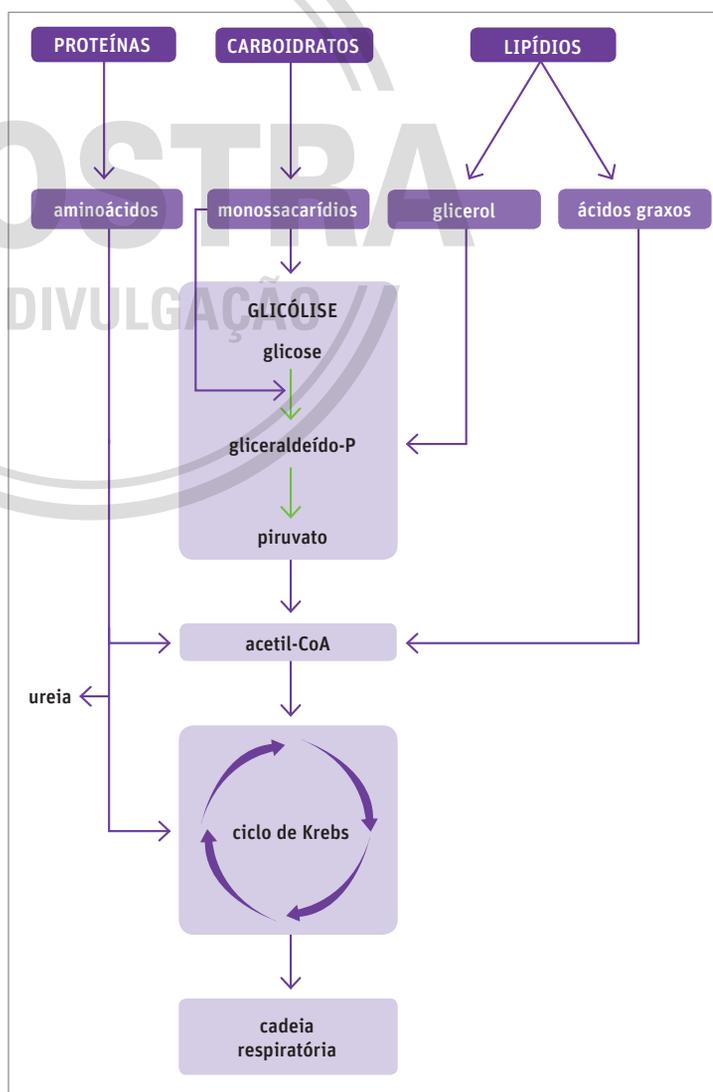
Em situações de extrema e prolongada falta de nutrientes, algumas proteínas podem ser degradadas, fornecendo energia para o organismo. As primeiras proteínas a serem degradadas são as que formam os músculos estriados esqueléticos, em um processo que pode ser irreversível, isto é, mesmo que o organismo volte a se nutrir adequadamente, a musculatura perdida pode não voltar a se recuperar.

Esquema simplificado das vias metabólicas que levam ao aproveitamento de proteínas, carboidratos e lipídios.

### ATIVIDADES

5. Algumas substâncias, como o gás sulfídrico, podem causar a destruição dos citocromos, proteínas localizadas na membrana interna das mitocôndrias.

Descreva as consequências dessa destruição para a síntese de ATP nessas organelas.



# Processos anaeróbios de obtenção de energia

Organismos que realizam apenas respiração aeróbia são chamados de **aeróbios obrigatórios**.

Alguns microrganismos que fazem respiração celular aeróbia também podem realizar processos anaeróbios em caso de diminuição ou ausência de gás oxigênio no ambiente onde se encontram. Esses organismos são chamados **anaeróbios facultativos**.

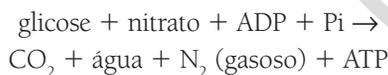
Outros microrganismos não são capazes de utilizar gás oxigênio na respiração – são os chamados **anaeróbios obrigatórios**; para eles, o gás oxigênio é prejudicial.

A **respiração anaeróbia** e a **fermentação** são os dois processos anaeróbios realizados por organismos anaeróbios facultativos e obrigatórios.

## Respiração anaeróbia

Realizada por alguns tipos de bactérias, a **respiração anaeróbia** ocorre no citosol das células em interação com enzimas presentes na membrana plasmática.

Nesse processo, acontecem as mesmas etapas da respiração celular aeróbia, porém o receptor final de elétrons na cadeia respiratória não é o gás oxigênio, mas substâncias como **nitritos, nitratos, sulfatos** ou **carbonatos**. Certas bactérias que vivem no solo, por exemplo, realizam a respiração anaeróbia resumida na equação abaixo.



## Fermentação

A **fermentação** é outro processo de liberação de energia que ocorre sem a participação do gás oxigênio.

As reações químicas da fermentação envolvem a degradação parcial da glicose (glicólise) com liberação de piruvato. Entretanto, ao final, são produzidas outras substâncias cujas moléculas são maiores do que as de H<sub>2</sub>O e CO<sub>2</sub> produzidas na respiração celular. Como boa parte da energia contida inicialmente na glicose continua associada a seus produtos, ao final da fermentação o rendimento energético é pequeno: duas moléculas de ATP por molécula de glicose.

Esse processo é considerado o mecanismo mais antigo de obtenção de energia. As

bactérias causadoras do tétano são exemplo de organismos exclusivamente fermentadores.

A fermentação também ocorre no citosol das células. Como na glicólise, a molécula de glicose é degradada em duas de piruvato. A partir daí, o processo prossegue com outros tipos de reações químicas. Dependendo do tipo de organismo, forma-se álcool etílico (**fermentação alcoólica**), ácido acético (**fermentação acética**) ou ainda ácido láctico (**fermentação láctica**).

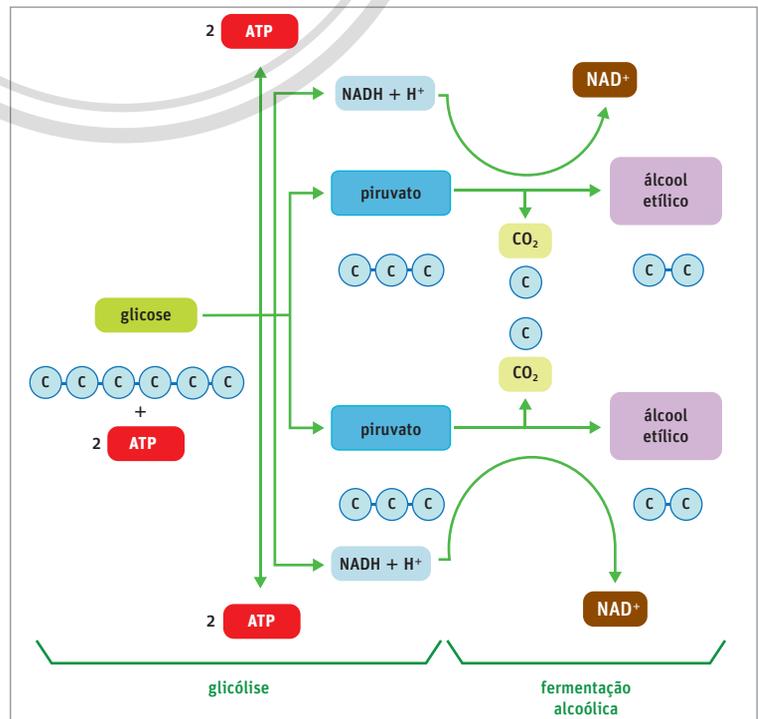
## Fermentação alcoólica

Na fermentação alcoólica, cada piruvato libera inicialmente uma molécula de gás carbônico (CO<sub>2</sub>), formando um composto de dois carbonos. Esse composto sofre redução pelo NADH, originando o **álcool etílico** (veja a imagem abaixo).

O álcool etílico ou etanol retém certa quantidade de energia nas ligações químicas.

A fermentação alcoólica é realizada principalmente por **bactérias e leveduras**. Entre as leveduras (fungos unicelulares microscópicos), a espécie *Saccharomyces cerevisiae* é a mais utilizada na produção de bebidas alcoólicas. Ela transforma os açúcares presentes na uva e no malte, por exemplo, em componentes do vinho e da cerveja, respectivamente.

Esquema simplificado da fermentação alcoólica. Cores-fantasia.



Alex Argozino/DYBR

## A fermentação alcoólica na indústria

No processo de fabricação de vinhos e cervejas, utiliza-se o **mosto**, uma mistura açucarada – no caso do vinho, é o suco de uva; no caso da cerveja, é o líquido produzido com o malte moído. A glicose dissolvida no mosto entra por difusão nas células das leveduras, onde tem início a fermentação.

O mosto, antes doce, muda de sabor devido à liberação do álcool etílico. O gás carbônico formado também se dissolve, e o excesso se desprende, borbulhando no mosto. Depois de certo tempo, a elevada concentração de álcool torna-se tóxica para as próprias leveduras, que morrem, cessando a fermentação.

As leveduras são anaeróbias facultativas. Assim, se no ambiente houver quantidade suficiente de gás oxigênio, elas respiram aerobicamente, degradando completamente as moléculas de glicose em  $\text{CO}_2$  e  $\text{H}_2\text{O}$ , extraindo mais energia delas.

O mesmo microrganismo também é empregado para fazer pão. Os ingredientes são mecanicamente misturados, e as células das leveduras são homogeneamente distribuídas pela massa.

Depois, a massa precisa descansar. É nessa etapa que ocorre a fermentação. O descanso é importante também para permitir que a massa cresça e adquira um volume adequado.

O  $\text{CO}_2$  produzido na fermentação fica armazenado no interior da massa, em pequenas bolhas, justamente o que faz com que as massas aumentem de volume. Assando a massa, as paredes das bolhas endurecem, mantendo os “furinhos” no miolo do pão (veja imagem ao lado).



Os orifícios presentes no pão correspondem às bolhas de  $\text{CO}_2$  formadas durante o crescimento da massa.

## Fermentação acética

Esse tipo de fermentação é usado na fabricação do vinagre, uma solução com **ácido acético** que pode ser produzida com vinho ou sucos. No início, o processo industrial é totalmente anaeróbio, usando-se a mesma levedura empregada na produção de vinho e cerveja.

Após a glicólise e a fermentação alcoólica, a concentração de álcool etílico na solução é ajustada de modo que fique entre 10% e 13%. Finalmente adicionam-se **acetobactérias**, que transformam o álcool em ácido acético.

Além de sua fabricação industrial, o vinagre também pode formar-se em garrafas de vinho guardadas em condições inadequadas, ou cujas rolhas danificadas permitam o contato do vinho com o ar. As acetobactérias, normalmente presentes no ar, e o gás oxigênio misturam-se ao vinho, fazendo-o “azedar” devido à formação natural de ácido acético. Por isso o vinagre também é chamado de “vinho azedo”.

### ATIVIDADES

- Quando se faz pão em casa, algumas pessoas utilizam água morna e um pouco de açúcar ao preparar a massa antes de deixá-la descansar. Dessa forma, os pães ficam mais macios depois de assados. Por que isso ocorre?

## BIOLOGIA TEM HISTÓRIA

### Pasteurização

O cientista francês Louis Pasteur (1822-1895) desenvolveu importantes trabalhos nas áreas da biologia, medicina e química.

Por volta de 1850, alguns agricultores pediram a Pasteur que explicasse a razão pela qual os vinhos e as cervejas azedavam. Durante a investigação, Pasteur constatou que esse processo era provocado por microrganismos. O problema foi solucionado mediante uma técnica de aquecimento seguida de resfriamento, que ficou conhecida como pasteurização. Após o procedimento, grande parte dos microrganismos decompositores dos alimentos era eliminada.

Com esses trabalhos, ficou constatado que os microrganismos estavam envolvidos tanto nos processos de fermentação quanto nos de decomposição orgânica.

## Fermentação láctica

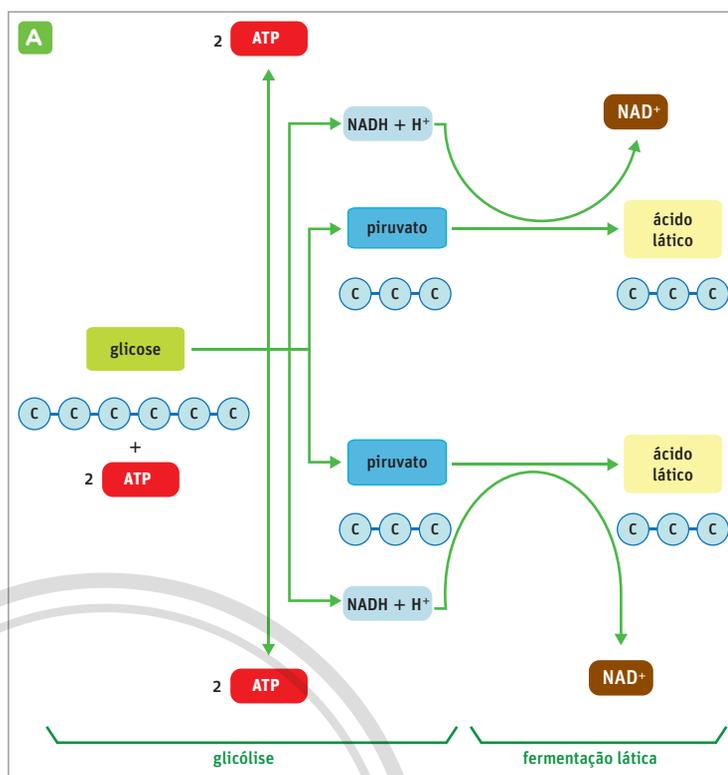
A fermentação láctica é um processo anaeróbio de obtenção de energia realizado por vários organismos (como bactérias, protozoários, fungos) e tecidos animais em geral – por exemplo, o tecido muscular esquelético.

A fermentação láctica, tal como a alcoólica, realiza-se em duas fases (imagem A). Na primeira fase, uma molécula de glicose é degradada em duas moléculas de piruvato. Para desencadear essa reação, são necessárias 2 moléculas de ATP. Em seguida, a glicose é oxidada, e 2 moléculas  $\text{NAD}^+$  são reduzidas a  $\text{NADH}$ . Durante o processo são também sintetizadas 4 moléculas de ATP a partir de  $4 \text{ADP} + 4 \text{P}_i$ , resultando um rendimento de 2 moléculas de ATP.

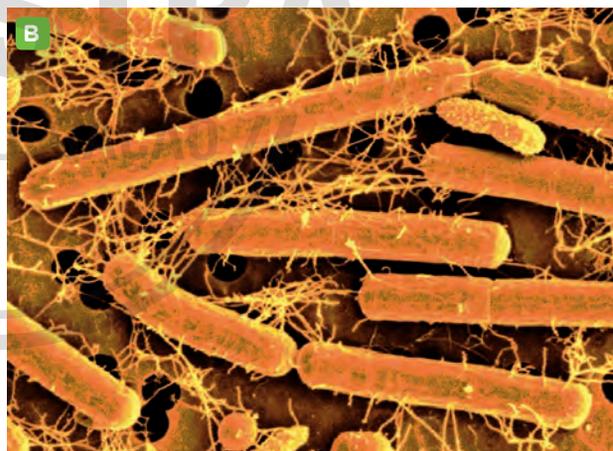
Na segunda fase, ou fermentação láctica propriamente dita, o piruvato é reduzido ao combinar-se com os íons de hidrogênio transportados pelo  $\text{NADH}$ , originando **ácido láctico** ( $\text{C}_3\text{H}_6\text{O}_3$ ). Durante esse tipo de fermentação não há produção de gás carbônico.

A fermentação láctica, da mesma maneira que os demais tipos de fermentação, pode resultar na deterioração de alimentos armazenados em condições inadequadas, como umidade ou temperatura elevadas. Em ambiente favorável, os organismos fermentadores, presentes no ar, desenvolvem-se e reproduzem-se, utilizando os açúcares dos alimentos como fonte de energia. Se forem organismos que realizam fermentação láctica, como os **lactobacilos** (imagem B), liberam ácido láctico. O excesso de acidez resultante inviabiliza o consumo dos produtos, pois, além de alterar características como odor e sabor, pode causar intoxicações alimentares sérias se esses alimentos forem ingeridos. É o caso, por exemplo, do leite que azeda.

Bactéria *Lactobacillus* sp., que realiza fermentação láctica. (Foto ao microscópio eletrônico de varredura; imagem colorizada; aumento de cerca de 21 mil vezes.)



Esquema simplificado da fermentação láctica. Cores-fantasia.



SciMAT/PPF/Latinstock

Alex Argazino/D/BR

## BIOLOGIA NO COTIDIANO

### Bactérias do queijo coalho

Bactérias do gênero *Lactobacillus* foram selecionadas [...] para produção de um novo fermento lácteo que poderá ser utilizado na produção do queijo coalho industrial. A novidade preserva características do produto feito artesanalmente, como sabor e textura, expandindo a possibilidade de comercialização. O queijo coalho artesanal consumido nas regiões do Nordeste é feito com leite cru, o que é proibido na produção industrial. “No processo de pasteurização para eliminar as bactérias

patogênicas, também são eliminadas as da microbiota normal do leite, que conferem ao produto final características próprias de sabor e textura apreciadas pelos consumidores”, explica a pesquisadora Laura Bruno.

[...] O processo de escolha de três cepas bacterianas [...] durou 10 anos. O material selecionado foi testado e as bactérias foram utilizadas em duas formulações diferentes. Ambas foram eficazes na fabricação de queijo com leite pasteurizado. [...]

Revista Pesquisa Fapesp. Disponível em: <<http://revistapesquisa.fapesp.br/2015/07/15/bacterias-do-queijo-coalho/>>. Acesso em: 8 mar. 2016.

## A fermentação láctica na indústria

Bactérias anaeróbias produtoras de ácido láctico são amplamente utilizadas na produção industrial de iogurtes, coalhadas, queijos, manteigas e outros derivados do leite; de **carnes curadas**, como salame e outros embutidos; e de conservas do tipo pickles, chucrute ou azeitonas. A acidez que se desenvolve nesse tipo de conserva inibe o crescimento de outros microrganismos, contribuindo para sua preservação.

A produção de iogurtes, coalhadas, queijos e manteigas está ligada à atividade de diferentes espécies de lactobacilos. Nesse processo, o açúcar do leite, a lactose, é inicialmente degradado por ação enzimática, fora das células bacterianas, em glicose e galactose (monossacarídeos). Depois, essas substâncias entram nas células, onde ocorre a fermentação. A elevação da acidez proveniente da produção de ácido láctico causa a alteração das proteínas do leite, que coagulam, e isso cria a consistência característica da coalhada. O soro, que fica separado do coalho, é uma mistura de água, sais minerais e outras substâncias dissolvidas.

Na produção industrial do iogurte são utilizadas culturas das espécies *Lactobacillus bulgaricus* e *Streptococcus thermophilus*. Cada grama de iogurte pode conter bilhões desses seres vivos – por isso ele é considerado um “produto vivo”. As duas culturas se completam, mantendo-se sempre em proporção específica. O *S. thermophilus* realiza fermentação láctica e garante as condições de crescimento do lactobacilo. Este, por sua vez, além de também realizar a fermentação láctica, degrada certas proteínas que fornecem ao *Streptococcus* nutrientes essenciais ao seu desenvolvimento.

A produção do iogurte natural envolve as seguintes etapas: seleção da matéria-prima e preparo da mistura, homogeneização, incubação e resfriamento. São elas que levam à obtenção do produto com as características desejadas: consistência adequada, coágulo firme, textura cremosa, sabor levemente ácido e aroma típico.

Ao leite pasteurizado é comum adicionar leite em pó ou ingredientes como ágar-ágar, gelatina, açúcar, glicose e amido de milho, visando obter melhor consistência do produto. A etapa seguinte é a homogeneização do leite, quando a dissolução dos sólidos é melhorada, garantindo-se a estabilidade do coágulo e obtendo-se um produto mais cremoso e de melhor sabor. Depois, o leite é transportado para tanques onde será adicionada a cultura mista de *L. bulgaricus* e *S. thermophilus*. A quantidade de cultura empregada varia entre 1% e 3% do volume de leite.

Em seguida, a mistura é incubada a temperaturas entre 40 °C e 45 °C. A fermentação se processa durante a incubação até que seja atingido um pH final entre 4,1 e 4,2 (ácido). Nesse ponto, a fermentação deve ser interrompida por um rápido resfriamento. A refrigeração do iogurte interrompe o crescimento das bactérias; porém elas ainda mantêm certa atividade metabólica. É por isso que, durante o armazenamento, a acidez do produto tende a aumentar, e a viscosidade, a diminuir.

Na produção da maioria dos queijos empregam-se outras espécies de bactérias, como *Lactobacillus casei* ou *Streptococcus lactis*. Um queijo recém-produzido geralmente é salgado, e seu sabor é brando. A maioria deles é deixada para descansar sob condições cuidadosamente controladas (imagem ao lado). Esse período de amadurecimento pode durar de alguns dias a vários anos, dependendo do tipo de queijo. Durante esse processo, outros microrganismos e enzimas transformam a textura dos queijos e intensificam seu sabor. Alguns queijos especiais ainda têm bactérias adicionais ou bolores intencionalmente introduzidos neles antes ou durante a maturação.

**Carne curada:** carne que, durante o processamento, recebe sal, condimentos e aditivos.

## ATIVIDADES

7. Uma pessoa resolveu preparar uma coalhada caseira e, para isso, ferveu um litro de leite. Como estava com pressa, antes que a temperatura do leite baixasse para 45 °C, ela misturou o fermento, cobriu a vasilha e colocou-a na geladeira. Porém, não houve a formação da coalhada.

Explique a influência da temperatura sobre esse processo e os dois erros cometidos por essa pessoa.



Exemplares de queijo coalho.

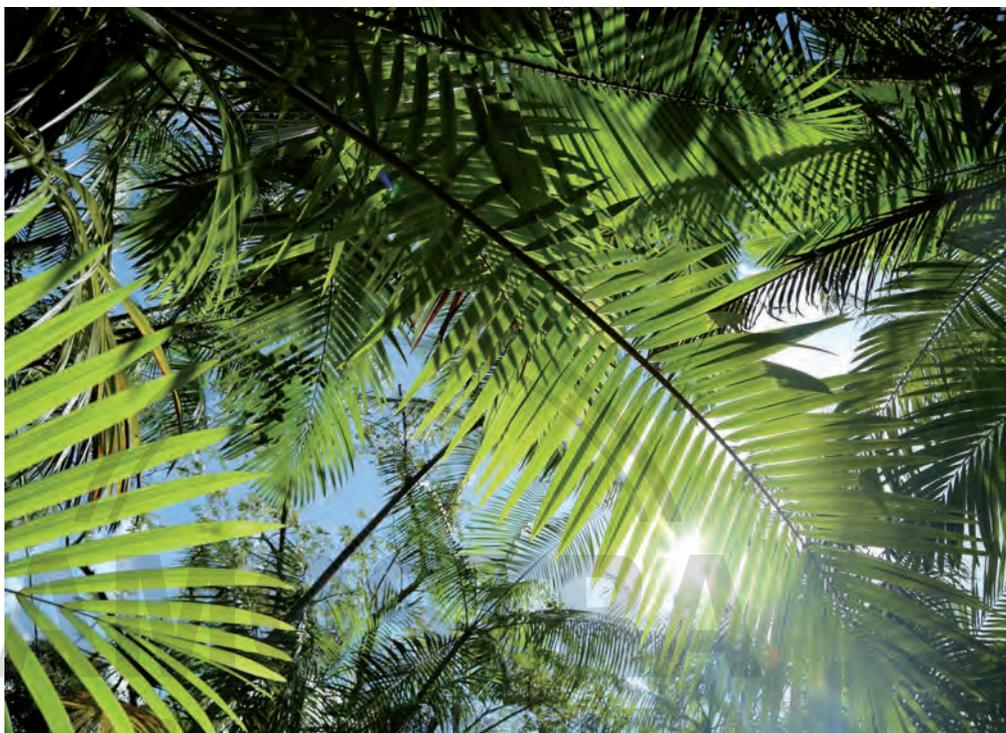
# Fotossíntese e quimiossíntese

## O QUE VOCÊ VAI ESTUDAR

As etapas da fotossíntese.

A conversão de energia luminosa em energia química.

A quimiossíntese.



Fabio Colombini/Acervo do fotógrafo

Luz do Sol incidindo sobre folhas de açazeiros (cerca de 12 m de altura). Macapá (AP), 2014.

A fotossíntese é um processo biológico de extrema importância para a vida na Terra. Esse processo produz carboidratos, um tipo de composto orgânico, que são utilizados como fonte de energia e matéria para os organismos fotossintetizantes. Estes, por sua vez, servem de alimento a organismos heterótrofos.

Na fotossíntese, os organismos chamados de fotoautotróficos, como plantas, algas e algumas bactérias, convertem energia luminosa em energia química, que será utilizada nos processos metabólicos de suas células. Essa energia luminosa – primariamente, energia do Sol – é convertida em energia química contida nas ligações entre os átomos de carboidratos, por meio de uma série de etapas que envolvem a participação de substâncias do ambiente – água e gás carbônico – e outras do próprio organismo, como a clorofila.

A fotossíntese gera também gás oxigênio ( $O_2$ ), essencial para a sobrevivência de diversos seres vivos.

A quimiossíntese é realizada por certas bactérias e arqueas no qual, à semelhança do que ocorre na fotossíntese, há síntese de substâncias orgânicas complexas a partir de substâncias inorgânicas e da energia de uma fonte externa. Porém, diferentemente do que ocorre na fotossíntese, na quimiossíntese a energia não vem da luz, mas de reações químicas de oxidação de compostos inorgânicos do ambiente (como amônia, nitrito, etc.). A energia química liberada nesse processo é utilizada na formação dos compostos orgânicos que a célula utilizará como alimento. Nesse processo, não há liberação de gás oxigênio.

Neste capítulo, os dois processos – fotossíntese e quimiossíntese – serão apresentados do ponto de vista bioquímico.

## Introdução à fotossíntese

A fotossíntese é um fenômeno biológico que ocorre nos cloroplastos de seres eucarióticos ou em sistemas de membranas presentes no citoplasma de seres procarióticos fotossintetizantes.

O fenômeno envolve dois reagentes (uma fonte de carbono – o gás carbônico,  $\text{CO}_2$  – e uma fonte de hidrogênio – a água,  $\text{H}_2\text{O}$ ), uma fonte luminosa e pigmentos sensíveis à luz.

A fonte primária de energia luminosa da fotossíntese é o Sol, mas o fenômeno também ocorre na presença de fontes artificiais de energia (como as lâmpadas).

O rearranjo das moléculas de gás carbônico e água forma três produtos distintos após uma série de reações: carboidrato, água e gás oxigênio ( $\text{O}_2$ ).

Desconsiderando-se, neste momento, todas as reações bioquímicas envolvidas, a fotossíntese pode ser genericamente representada pela equação:



Na equação,  $(\text{CH}_2\text{O})$  é a fórmula geral dos carboidratos.

É comum encontrar glicose, composto orgânico com seis carbonos, representada nessa equação,

embora ela não seja o único carboidrato produzido nesse processo:



## O cloroplasto

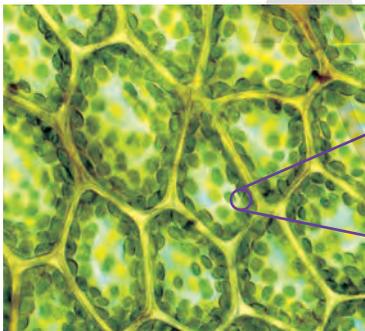
Um cloroplasto tem três componentes principais: envoltório, tilacoide e estroma (imagens abaixo).

O **envoltório**, parte externa da organela, é formado por uma membrana dupla. As moléculas de clorofila estão localizadas na membrana interna. Nos cloroplastos maduros há uma terceira membrana, que forma vesículas com o formato de discos achatados, denominados **tilacoides**, onde ocorre a **etapa fotoquímica** da fotossíntese.

Os tilacoides podem organizar-se em pilhas, cada uma delas chamada de *granum* (que significa “grão”, em latim). A totalidade dessas pilhas em um cloroplasto recebe o nome *grana* (plural de *granum*).

No espaço entre o envoltório e os tilacoides encontra-se uma substância gelatinosa, o **estroma**, que contém ribossomos, DNA e RNA, responsáveis pela síntese de certas proteínas do cloroplasto. No estroma ocorre a **etapa química** da fotossíntese.

John Durham/SPL/Latinstock

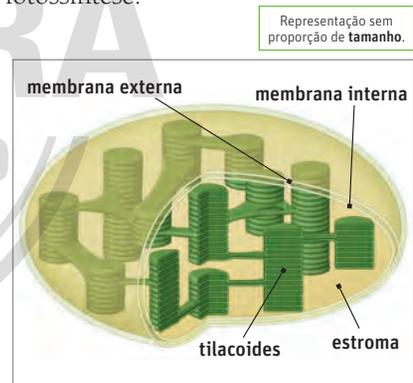


Células vegetais com grande quantidade de cloroplastos. (Foto ao microscópio de luz; aumento de cerca de 600 vezes.)



Corte transversal de cloroplasto. (Foto ao microscópio eletrônico de transmissão; imagem colorizada; aumento de cerca de 11 mil vezes.)

Dr. Jeremy Burgess/SPL/Latinstock



Representação de um cloroplasto cortado. Cores-fantasia.

Fonte de pesquisa: REECE, J. B. et al. *Campbell Biology*. 10. ed. [S.l.]: Pearson, 2014. p. 111.

Reinaldo Vignatti/D/BR

## BIOLOGIA SE DISCUTE

### Os primeiros seres fotossintetizantes

Evidências indicam que os primeiros organismos capazes de realizar a fotossíntese eram similares às atuais cianobactérias e viveram no planeta há cerca de 3,5 bilhões de anos. A proliferação desses organismos unicelulares por volta de 2 bilhões de anos atrás acarretou uma mudança considerável na atmosfera primitiva da Terra: com o aumento da taxa de fotossíntese, a quantidade de gás oxigênio aumentou gradativamente, tornando possível a evolução de seres aeróbios aquáticos e terrestres.

Posteriormente, novas espécies de organismos fotossintetizantes e heterótrofos apareceram, ampliando significativamente a biodiversidade em nosso planeta.

O aumento progressivo da taxa de fotossíntese provavelmente também foi uma das razões para a diminuição da concentração, na atmosfera, do gás carbônico, substância que é consumida no processo fotossintético – na atmosfera primitiva da Terra a concentração desse gás era maior do que a atual.

### A energia da luz

Uma importante novidade evolutiva apresentada pelos primeiros seres fotossintetizantes foi a capacidade de captar a energia da luz solar, que, convertida em energia química, é utilizada na realização de atividades metabólicas. A presença de diversos pigmentos – especialmente a clorofila – nas células desses organismos é condição essencial para a captação da energia da luz.

### A luz do Sol

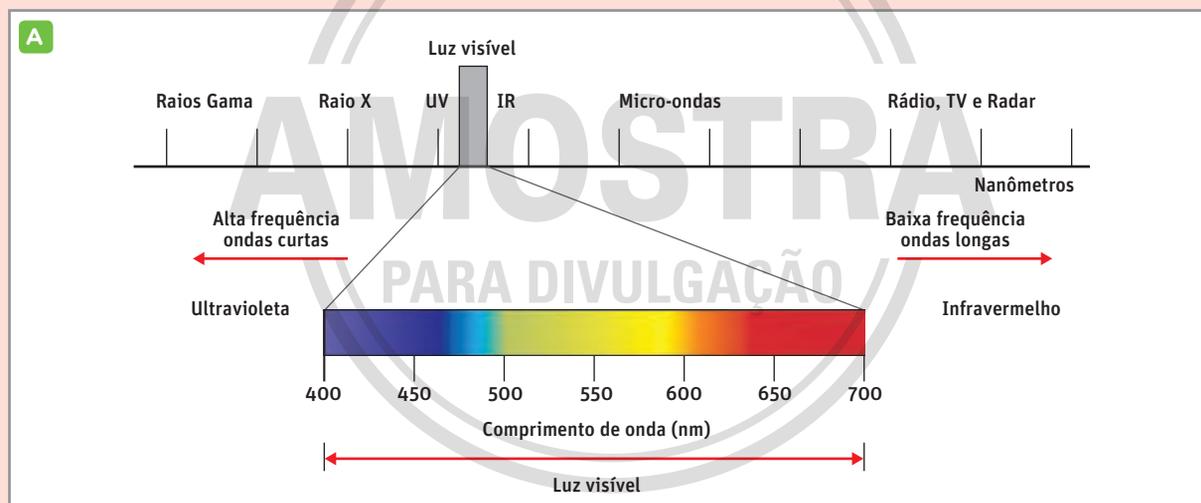
A luz é um tipo específico de energia, denominada energia eletromagnética (ou radiação eletromagnética). Esse tipo de energia viaja em ondas eletromagnéticas, cujo tamanho, denominado comprimento de onda (distância entre duas cristas da onda, medida em nanômetros), é variável.

A luz do Sol – forma primária de energia que incide na Terra, iluminando-a e aquecendo-a – é composta de diferentes comprimentos de onda, mas o olho humano só consegue distinguir uma parcela deles, entre 400 e 700 nanômetros, aproximadamente. É o que se denomi-

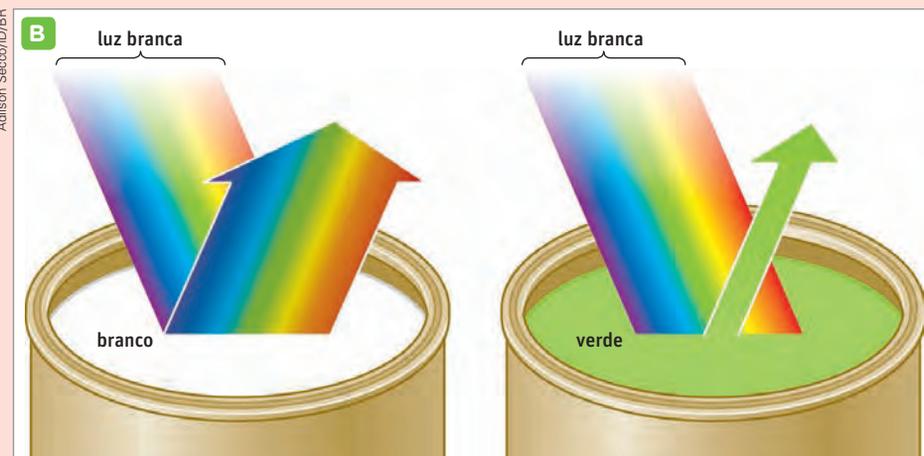
na espectro de luz visível. Comprimentos de onda acima dessa faixa, isto é, maiores que 700 nm – como o infravermelho, as micro-ondas e as ondas de rádio –, ou abaixo dela, isto é, menores que 400 nm – como o ultravioleta, os raios X e os raios gama – não são visíveis pelo olho humano, imagem **A**.

A luz solar não tem cor, mas, quando atravessa um prisma, decompõe-se em várias cores, popularmente denominadas “cores do arco-íris”. Cada cor equivale a uma determinada faixa de comprimento de onda. Por exemplo, o menor comprimento de onda visível pelo olho humano (cerca de 400 nm) corresponde à cor violeta, e o maior (cerca de 700 nm), à cor vermelha.

Ao chegar às plantas e a outros seres fotossintetizantes, a luz solar pode ser captada, absorvida ou refletida por diferentes moléculas, denominadas pigmentos. A cor de cada pigmento é resultado do comprimento de onda refletido: por exemplo, a clorofila é verde porque reflete o comprimento de onda correspondente a essa cor, em torno de 540 nm (imagem **B**).



Representação do espectro luminoso. Os comprimentos de onda visíveis pelo olho humano representam uma pequena parcela da luz. Fonte de pesquisa: RAVEN, P. H. et al. *Biologia vegetal*. 7. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2007. p. 128.



A luz que incide em um objeto é parcialmente absorvida e parcialmente refletida. A tinta verde reflete o comprimento de onda do verde e absorve os demais comprimentos de onda visíveis. A tinta branca reflete todos os comprimentos de onda.

## Pigmentos fotossintetizantes

Os pigmentos são substâncias capazes de absorver energia luminosa. Dependendo do grupo vegetal ou do organismo, certos pigmentos poderão ser mais abundantes. Os principais grupos de pigmentos são os carotenos, xantofilas, ficobilinas e clorofilas.

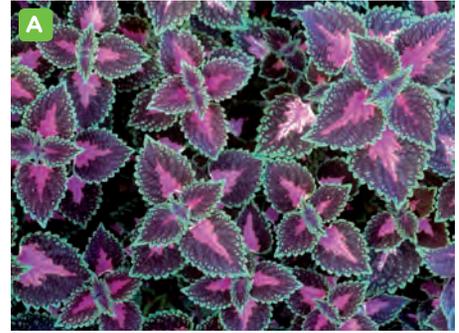
Os **carotenos** e as **xantofilas**, pigmentos que absorvem luz de comprimentos de onda entre 380 nm e 500 nm, têm colorações que variam do amarelo ao vermelho. São encontrados em algas multicelulares e plantas (imagem A). Por exemplo, o pigmento vermelho do tomate é um caroteno chamado licopeno, e o pigmento alaranjado da cenoura é o betacaroteno. As xantofilas são pigmentos amarelados presentes em algas e em algumas plantas.

As **ficobilinas** são pigmentos que absorvem luz de comprimentos de onda entre 500 nm e 700 nm. Podem ser de coloração azul (**ficocianinas**) ou vermelha (**ficoeritrinas**). Esses pigmentos são encontrados em cianobactérias e algas multicelulares vermelhas (imagem B).

As **clorofilas** são os pigmentos verdes mais abundantes em todos os seres autótrofos. Existem quatro tipos de clorofila, identificados como *a*, *b*, *c* e *d*. Destes, a clorofila *a* está presente em praticamente todos os organismos fotossintetizantes. A clorofila *b*, nas algas verdes e nas plantas. A clorofila *c* é encontrada em algas douradas e algas pardas. A clorofila *d* ocorre apenas em algas vermelhas e cianobactérias. As bactérias sulfurosas (abordadas no final deste capítulo) apresentam um tipo particular de clorofila denominado bacterioclorofila.

Para a clorofila *b*, por exemplo, o pico máximo de absorção luminosa ocorre entre 440 nm e 460 nm, havendo um pico menor entre 640 nm e 660 nm (imagem C).

Nos organismos eucarióticos, a clorofila e outros pigmentos fotossintéticos estão localizados nos *grana* dos cloroplastos. Nas bactérias fotossintetizantes (organismos procarióticos), esses pigmentos podem estar dispersos no citosol ou integrados a sistemas de membranas, que, em geral, são invaginações da membrana plasmática.

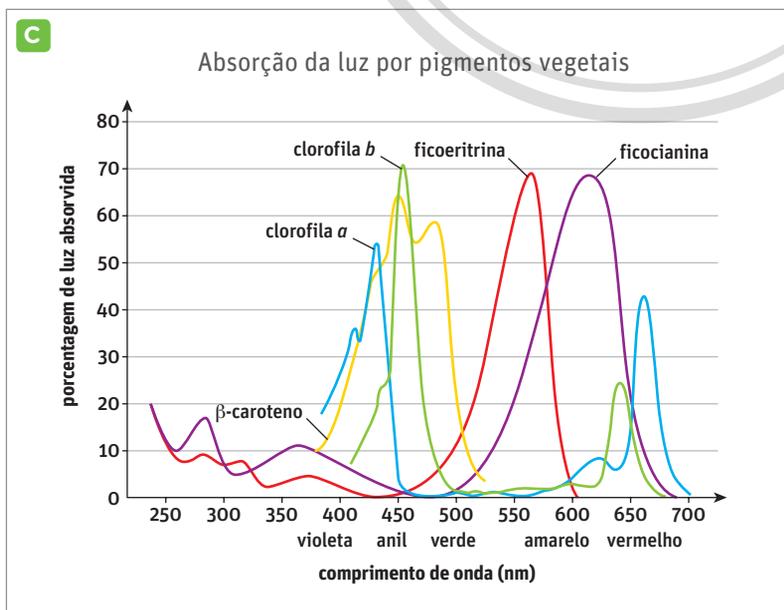


© David Sierent/Visuals Unlimited/Corbis



Tim Gaaney/Alamy/Latinstock

(A) Folhagem ornamental de *Coleus blumei* (cerca de 40 a 90 cm de altura), que contém carotenoides, compondo a cor roxa. (B) Alga vermelha *Palmaria palmata* (cerca de 20 cm de comprimento), que tem predominantemente ficoeritrinas.



Adilson Secco/D/BR

Espectro de absorção da luz por diversos pigmentos.

Fonte de pesquisa: RAVEN, P. H. et al. *Biologia vegetal*. 7. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2007. p. 129.

### ATIVIDADES

1. Um pai decidiu colocar vasos de samambaias e violetas no quarto de sua filha. Sobre os vasos, pôs duas lâmpadas incandescentes e deu o seguinte conselho a ela: “Deixe as lâmpadas acesas mesmo durante a noite, pois as plantas respiram se estiverem no escuro, e aí você pode ficar sem oxigênio”.

Você concorda com o conselho dado pelo pai? Por quê?

## Joseph Priestley e a fotossíntese

Joseph Priestley (1733-1804) foi um estudioso inglês que, no final do século XVIII, contribuiu para a descoberta da fotossíntese.

Priestley não era botânico, nem biólogo. Foi um pastor protestante, muito envolvido com questões religiosas, mas que também se dedicava à educação e à pesquisa científica.

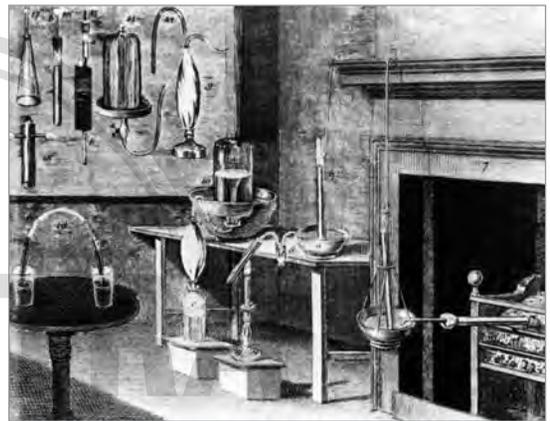
Seu envolvimento com aquilo que chamamos de fotossíntese (e que não tinha esse nome, na época dele) ocorreu quando estava estudando diferentes tipos de “ares” (gases), ou seja, uma pesquisa que classificariamos hoje como pertencente à Química. Até o início do século XX, era muito comum que os estudiosos pesquisassem diversas áreas do conhecimento, sem se preocupar com as barreiras que atualmente se estabelecem entre as várias disciplinas.

Em 1771, Priestley estava estudando o dióxido de carbono (chamado, na época, de “ar fixo”), produzido em grande quantidade na fermentação da cerveja. Ele fazia suas pesquisas em casa, como praticamente todos nessa época, improvisando equipamentos para coletar e analisar os gases.

Priestley verificou que uma vela colocada nesse “ar” se apagava, e que pequenos animais morriam nele. Quando uma chama queimava em um recipiente fechado, ela também se apagava; e animais morriam quando eram presos em um local pequeno, sem circulação de ar. Além disso, se um novo animal fosse colocado no mesmo recipiente onde um animal havia morrido, ele também morria imediatamente.

Ele testou o ar de recipientes em que uma vela havia se apagado, ou um camundongo havia morrido, notando que havia surgido “ar fixo”. Concluiu, então, que a combustão e a respiração eram capazes de modificar o ar.

Como as plantas também são vivas, Priestley imaginou inicialmente que elas também morreriam no “ar fixo”. No entanto, colocando um ramo de hortelã dentro de um recipiente onde um animal havia morrido, a planta continuou viva e cresceu.



Gravura do século XVII representando a sala de experimentos da casa de Priestley, onde ele realizou seus estudos sobre os diferentes tipos de “ar”.

SP/Latinstock

De acordo [com essa ideia], no dia 17 de agosto de 1771 eu coloquei um ramo de hortelã em certa quantidade de ar na qual uma vela de cera havia se apagado, e descobri que, no dia 27 do mesmo mês, outra vela queimou perfeitamente bem dentro dele. Eu repeti o mesmo experimento no mínimo oito ou dez vezes no resto do verão, sem nenhuma variação dos resultados. Várias vezes eu dividi em duas partes a quantidade de ar na qual a vela havia se apagado, e colocando a planta em uma delas, deixei a outra exposta do mesmo modo, contida também dentro de um recipiente de vidro imerso em água, mas sem nenhuma planta; e nunca deixei de observar que na primeira uma vela conseguia queimar, mas não na segunda. Descobri que em geral eram suficientes cinco ou seis dias para restaurar esse ar, quando a planta estava vigorosa; no entanto mantive esse tipo de ar em recipientes de vidro imersos em água, durante vários meses, sem ser capaz de perceber a ocorrência da menor alteração nele.

PRIESTLEY, Joseph. Observations on different kinds of air. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London*, v. 62, n. 147-264, p. 168, 1772. (Tradução dos autores.)

Analisando o ar do recipiente, Priestley verificou que o “ar fixo” havia desaparecido. Verificou também que uma vela conseguia ficar acesa dentro desse recipiente por algum tempo, e que um camundongo permanecia vivo ali durante alguns minutos.

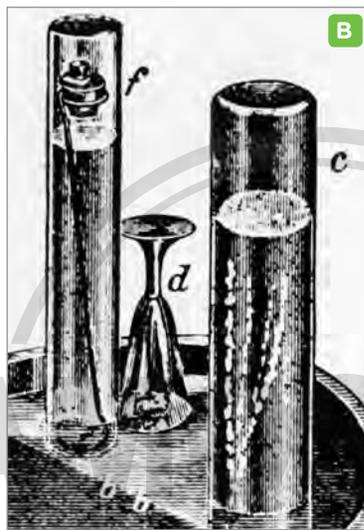
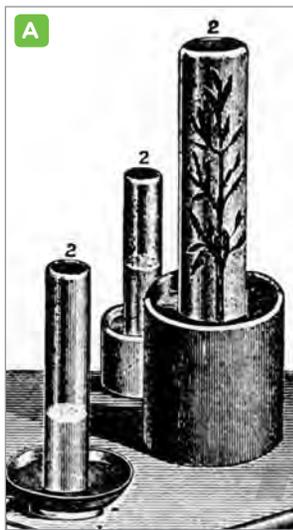
Fiquei completamente convencido de que o ar, tornado altamente nocivo pela respiração, pode ser restaurado por ramos de hortelã crescendo nele. [...] Um camundongo continuou vivo nele por cinco minutos, sem mostrar qualquer sinal de desconforto, sendo retirado bastante forte e vigoroso; outro camundongo morreu depois de apenas dois segundos em uma parte do mesmo ar original, que tinha recebido a mesma exposição, mas sem nenhuma planta nele.

WILLCOX, William B. (Ed.). *The papers of Benjamin Franklin*. New Haven: Yale University Press, 1975. v. 19. p. 200. (Tradução dos autores.)

A conclusão de Priestley foi que as folhas das plantas extraíam do ar o “eflúvio podre”, tornando o restante do ar mais adequado para a respiração. Ele não pensou em uma transformação química do ar, nem imaginou que as folhas pudessem estar despreendendo um ar especial (gás oxigênio).

Estas provas da restauração parcial do ar por plantas em um estado de vegetação, embora em uma situação não natural e confinada, torna altamente provável que o dano que é feito continuamente na atmosfera pela respiração de um enorme número de animais, e pela putrefação de uma grande massa de matéria vegetal e animal é, pelo menos em parte, recuperada pela criação vegetal, apesar da prodigiosa massa de ar que é corrompida diariamente pelas causas acima mencionadas.

PRIESTLEY, Joseph. Observations on different kinds of air. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London*, v. 62, n. 147-264, pp. 198-199, 1772. (Tradução dos autores.)



Detalhes dos experimentos de Priestley. (A) Tubos com diferentes tipos de “ar”, um deles contendo uma planta. (B) Tubo no qual está sendo introduzido um gás, que borbulha através do líquido; taça invertida, onde está sendo mantido um camundongo; tubo de vidro com uma vela suspensa por um suporte de arame. Gravuras presentes no artigo Observations on different kinds of air, de Joseph Priestley.

Dentro de sua crença religiosa, Priestley acreditou que havia desvendado um grande mistério da natureza: os animais e as chamas estão constantemente prejudicando o ar; se Deus não tivesse criado um mecanismo de purificação ou restauração do ar, a vida já teria se tornado impossível.

Esse foi apenas um passo na descoberta da fotossíntese. Priestley não percebeu, em seus primeiros estudos, que as plantas apenas recuperavam o ar quando recebiam a luz solar; não dispunha, também, dos conhecimentos químicos necessários para analisar tudo o que estava ocorrendo nesses experimentos. O fenômeno foi sendo esclarecido gradualmente, por diversos pesquisadores, nas décadas seguintes.

A religião teve papel central em toda a vida de Priestley. Ele acreditava que não poderia existir um conflito entre a razão e a fé e que todos tinham o direito de buscar a verdade livremente, em todas as áreas.

Adotou uma versão pouco comum do cristianismo, em que o próprio Cristo não era considerado Deus. Teve conflitos com pessoas mais conservadoras, não apenas por causa dessas ideias, mas também por suas opiniões políticas. Foi favorável à Revolução Francesa, que era vista como um absurdo por praticamente todos os ingleses; e defendeu a independência dos Estados Unidos, embora isso fosse contrário aos interesses da Inglaterra.

Por todos esses motivos, foi perseguido, e sua casa foi saqueada e queimada. Precisou fugir do país e se refugiar nos Estados Unidos, onde passou o resto de sua vida.

### PARA DISCUTIR

1. Que aspectos da fotossíntese não eram conhecidos por Priestley?
2. As ideias religiosas de Priestley ajudaram ou atrapalharam suas pesquisas científicas?
3. Podemos afirmar que Joseph Priestley descobriu a fotossíntese?

## As etapas da fotossíntese

A fotossíntese é um fenômeno endotérmico, isto é, certa quantidade de energia é absorvida durante a reação. Isso implica que, ao final do processo, a energia química presente nos produtos é maior do que a energia química presente nos reagentes.

A energia luminosa é captada pelos pigmentos fotossensíveis e utilizada na geração de ATP. As moléculas de ATP produzidas fornecerão energia aos reagentes durante a fotossíntese (imagem A).

Entretanto, embora a luz seja essencial, uma parte do processo pode ocorrer mesmo no escuro. Isso porque a fotossíntese envolve duas etapas distintas, ainda que interdependentes: a **etapa fotoquímica** e a **etapa química**. Cada uma delas possui características diferentes e ocorre em locais distintos do cloroplasto.

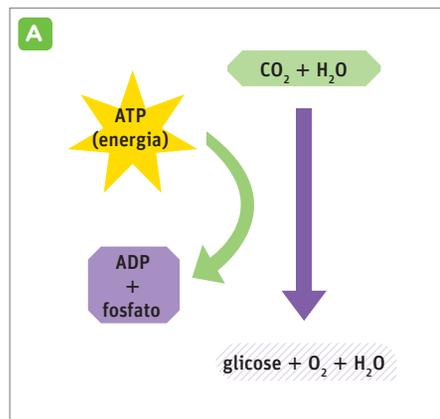
### Etapa fotoquímica

Essa etapa da fotossíntese, também denominada **fase clara** ou **luminosa**, compreende um conjunto de reações que dependem da luz.

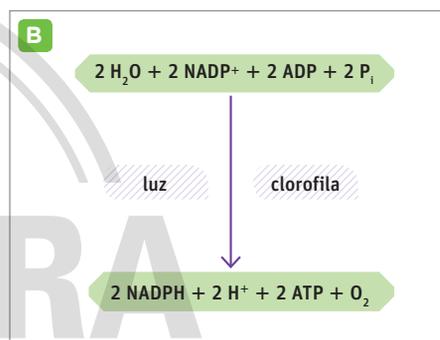
O processo ocorre nos tilacoides dos cloroplastos, na presença de clorofilas e carotenoides, e tem início quando a luz incide sobre as moléculas desses pigmentos fotossensíveis e as excita, ou seja, transfere energia a seus elétrons. Estes se desprendem das moléculas e serão utilizados na formação de ATP a partir do ADP e de fosfato inorgânico. Portanto, a fase fotoquímica da fotossíntese é responsável pela transformação da energia luminosa em energia química, armazenado no ATP.

Devido à ação da luz, ocorre uma reação denominada **fotólise da água**, em que a molécula de água é quebrada. Os átomos de oxigênio produzidos formam gás oxigênio, que é liberado ao ambiente. Já os átomos de hidrogênio participam da síntese de  $\text{NADPH} + \text{H}^+$  a partir de  $\text{NADP}^+$  e da síntese de ATP. Essas sínteses ocorrem junto a diversos processos na membrana dos tilacoides.

A etapa fotoquímica da fotossíntese, portanto, gera gás oxigênio (liberado para a atmosfera), produz ATP (utilizado na etapa química) e  $\text{NADPH} + \text{H}^+$  (também utilizado na etapa química). A imagem B apresenta a equação geral que representa essa etapa.



Moléculas como o ATP transferem energia da luz para carboidratos produzidos na fotossíntese.



Equação geral da etapa luminosa da fotossíntese.  $\text{P}_i$  representa fosfato inorgânico.

## LOGO BIOLOGIA TEM HISTÓRIA

### De onde provém o gás oxigênio

Por muito tempo se pensou que o oxigênio liberado pela fotossíntese era originário do dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ). Em 1941, os cientistas da Universidade de Berkeley (EUA) Martin Kamen (1913-2002), Samuel Ruben (1913-1943) e colaboradores realizaram experimentos mostrando que o oxigênio liberado resultava da quebra da molécula de água, e não do  $\text{CO}_2$ .

Esses experimentos utilizavam isótopos radioativos de oxigênio, o  $^{18}\text{O}$ . A radioatividade emitida pelos átomos de  $^{18}\text{O}$  permite que eles sejam rastreados; assim é possível descobrir de que reações químicas eles participam.

Uma planta regada com água que contém isótopo  $^{18}\text{O}$  libera gás oxigênio contendo esse isótopo  $^{18}\text{O}$ , o que indica que o gás oxigênio é proveniente da água, e não do dióxido do carbono. Quando se realiza o experimento com gás carbônico composto de oxigênio radioativo ( $^{18}\text{CO}_2$ ) e água comum, isto é, água formada pelo isótopo  $^{16}\text{O}$ , verifica-se que o gás oxigênio liberado na fotossíntese é  $^{16}\text{O}_2$ .

### ATIVIDADES

2. A elódea, uma planta aquática, é muito utilizada para estudos sobre fotossíntese. Em um experimento, essa planta foi colocada em um frasco de vidro com água e deixada próximo a uma fonte de luz por cerca de 1 hora. Depois de algum tempo observaram-se várias bolhas gasosas na proximidade das folhas. Qual gás essas bolhas contêm? Que processo da fotossíntese está envolvido na produção desse gás?

## Captação de energia luminosa

A estrutura molecular da clorofila mostra duas regiões distintas: a **hidrofílica**, circular, com um átomo central de magnésio, e a **hidrofóbica**, formada por uma longa cauda de carbono e hidrogênio (imagem A). Nos cloroplastos, a região hidrofílica da clorofila fica voltada para o estroma, enquanto a região hidrofóbica fica imersa na membrana dos tilacoides.

As moléculas de clorofila e de outros pigmentos agrupam-se com proteínas em conjuntos de centenas de unidades na membrana dos tilacoides, constituindo complexos denominados **complexos antena**, pois funcionam como captadores de luz.

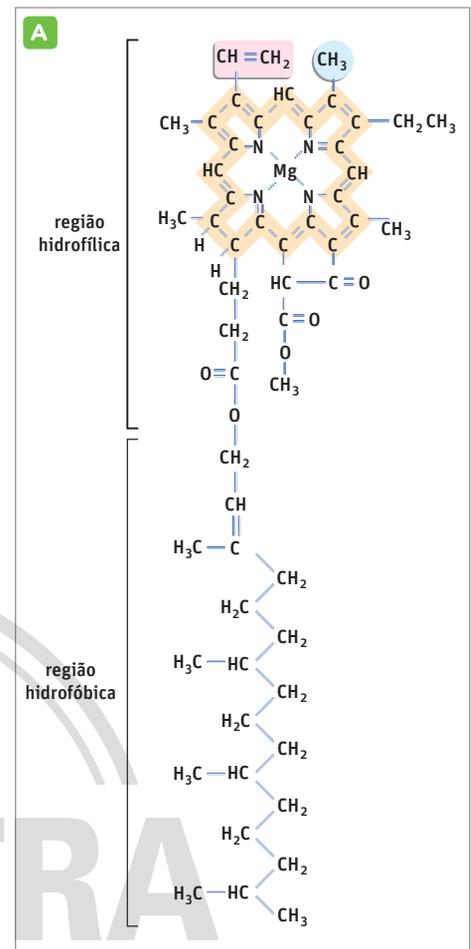
A energia luminosa captada pelas moléculas de pigmentos é conduzida às moléculas vizinhas até o **centro de reação**, onde existe um par de moléculas especiais de clorofila. O conjunto formado pelo centro de reação e pelos complexos antena é chamado de **fotossistema**.

Há dois tipos de fotossistemas, **PS-I** e **PS-II**, que diferem quanto à capacidade de absorver a luz e quanto à posição que ocupam nas membranas dos tilacoides (imagem B).

- O **fotossistema PS-I** está presente com mais frequência nas membranas dos tilacoides em contato direto com o estroma. O centro de reação PS-I é uma clorofila *a* (denominada clorofila P<sub>700</sub>) que absorve um comprimento de onda de 700 nm.
- O **fotossistema PS-II** ocorre nos *grana*. Seu centro de reação é uma clorofila *a* (denominada clorofila P<sub>680</sub>) que absorve comprimento de luz de 680 nm. Esse fotossistema é responsável pela quebra da água.

A energia proveniente das “antenas” excita os elétrons das moléculas de clorofila *a* do centro de reação de ambos os fotossistemas. Os elétrons excitados atingem um nível de energia mais alto e são captados por um receptor de elétrons.

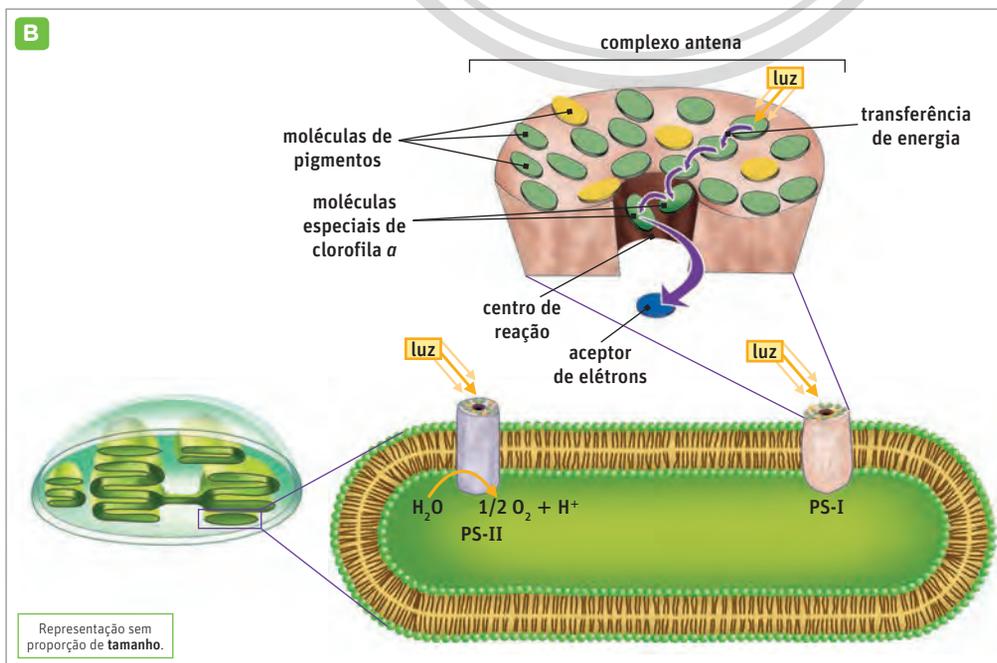
As moléculas de clorofila que perdem elétrons ficam carregadas positivamente e podem atrair novos elétrons. A seguir veremos mais detalhadamente como isso acontece e a importância dessa etapa para a fotossíntese.



Alex Argazzino/ID/BR

Representação da estrutura molecular da clorofila. Cores-fantasia.

Fonte de pesquisa: RAVEN, P. H. et al. *Biologia vegetal*. 7. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2007. p. 132.



Luís Moura/ID/BR

Esquema de fotossistema. A energia da luz é conduzida ao longo de várias moléculas de pigmento até chegar ao centro de reação, onde um elétron da molécula de clorofila é captado por um receptor de elétrons. Os fotossistemas PS-I e PS-II são mostrados lado a lado por razões didáticas. Cores-fantasia.

Fonte de pesquisa: RAVEN, P. H. et al. *Biologia vegetal*. 7. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2007. p. 134-136.

## Fotofosforilação

É a etapa da fotossíntese que ocorre nos tilacoides do cloroplasto, com a participação do fotossistema II, com a clorofila  $P_{700}$  e do fotossistema I, com a clorofila  $P_{680}$ .

Observe a imagem abaixo. Ao serem excitados pela luz, os elétrons da clorofila  $P_{680}$  escapam da molécula e são recebidos pela **plastoquinona** (PQ), molécula que funciona como um aceptor primário de elétrons. Esses elétrons perdem energia, que será utilizada na produção de ATP.

Ocorre, portanto, transformação da energia luminosa em energia química, que é armazenada na molécula de ATP. Nesse caso, a formação de ATP é denominada **fotofosforilação**, pois ocorre a fosforilação, que é a adição de um fosfato ao ADP, em presença de luz.

Da plastoquinona, os elétrons passam para a  $P_{700}$  por meio de transportadores. A clorofila  $P_{700}$  tem potencial redox maior que a  $P_{680}$ . Ao serem ativados pela luz, os elétrons da clorofila do PS-I escapam da molécula e são recebidos por outro aceptor primário, a **ferredoxina** (FD). Parte da energia deles será utilizada na produção de NADPH +  $H^+$  a partir de  $NADP^+$ . Os elétrons perdidos da  $P_{680}$  são repostos pela fotólise da água, enquanto os perdidos da  $P_{700}$  são repostos pelos oriundos da  $P_{680}$ .

Resumindo, nessa etapa do processo fotossintético, a energia luminosa é transformada em energia química, que é armazenada em moléculas de ATP, e é gerado NADPH +  $H^+$ . Ambos serão fundamentais na etapa seguinte da fotossíntese: a síntese de carboidrato.

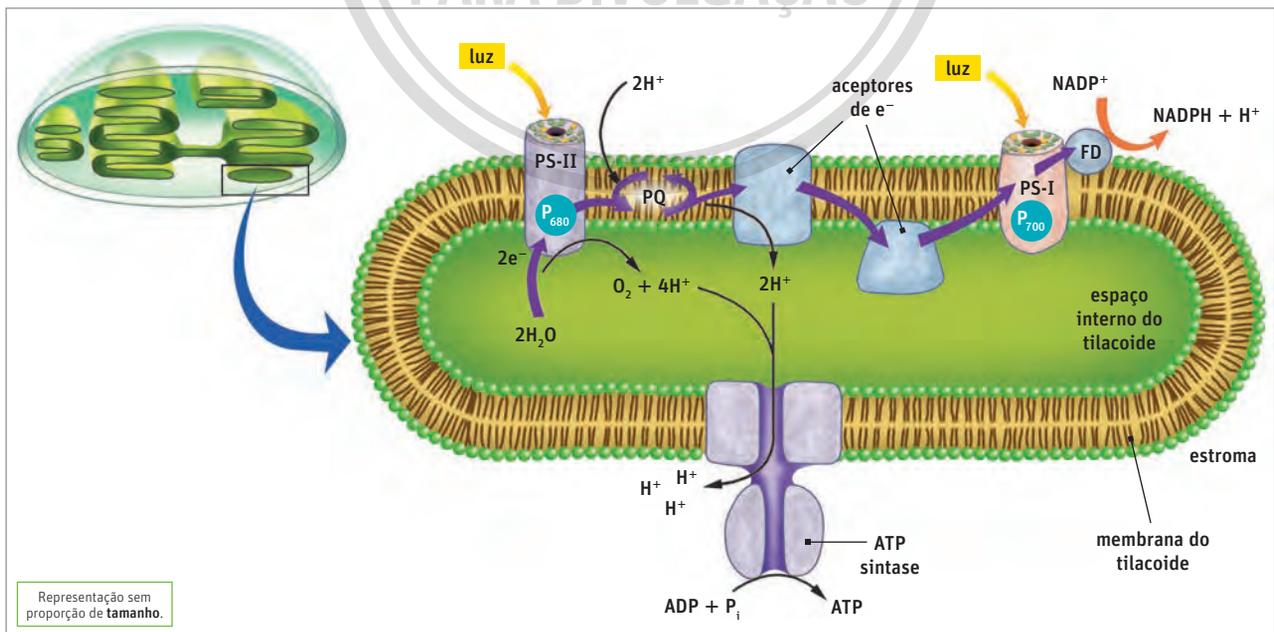
A denominação **fotofosforilação acíclica**, atribuída a essa etapa do processo, está relacionada ao destino dos elétrons perdidos pelas moléculas de clorofila: eles não retornam à molécula original. Ou seja, não completam um ciclo. Mas, como veremos na página seguinte, a fotofosforilação também pode ser cíclica.

### ATIVIDADES

3. Analise a afirmação a seguir, que se refere ao processo fotossintético, e responda às questões propostas.

“O que governa a vida na Terra é um fluxo de elétrons favorecido pela luz do Sol.”

- a) Qual o significado dessa frase?  
b) Está correto afirmar que toda a vida na Terra depende da fotossíntese? Explique.



Luís Moura/DBR

Esquema da fotofosforilação acíclica. A trajetória dos elétrons é representada pelas setas roxas. O elétron que sai da  $P_{680}$  passa por uma série de aceptores até chegar à  $P_{700}$ . Os elétrons perdidos pela  $P_{680}$  são repostos pelos elétrons liberados na quebra da molécula de água. Os íons  $H^+$  resultantes do mesmo processo são utilizados na transformação de  $NADP^+$  em NADPH. ATP sintase é a proteína que catalisa a reação de formação de ATP. As siglas PQ e FD significam plastoquinona e ferredoxina, respectivamente. Cores-fantasia.

Fonte de pesquisa: RAVEN, P. H. et al. *Biologia vegetal*. 7. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2007. p. 136.

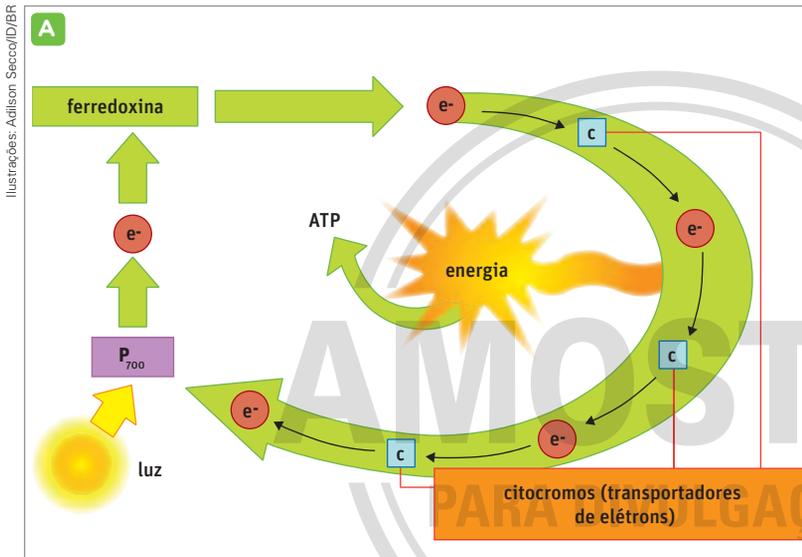
## Fotofosforilação cíclica

Apenas o fotossistema PS-I participa desse processo bioquímico. O sistema é chamado de cíclico porque os elétrons retornam à molécula de onde saíram.

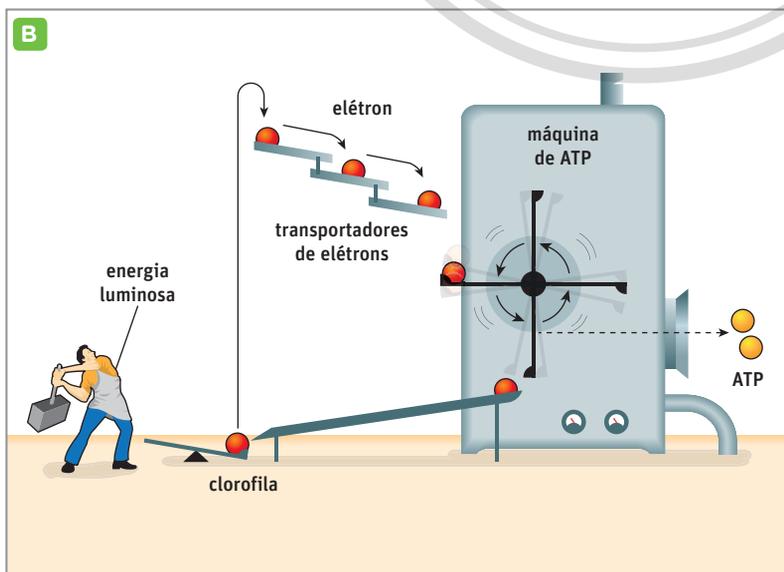
A imagem **A** mostra a saída do elétron da clorofila  $P_{700}$  excitada pela luz. Esse elétron é absorvido pela ferredoxina, passando a perder energia de forma gradativa. Essa energia despendida é aproveitada para a formação de ATP (imagem **B**).

Por meio de diversos **citocromos**, que são transportadores de elétrons, os elétrons captados pela ferredoxina voltam à condição energética original, sendo novamente encaminhados para a clorofila  $P_{700}$ .

Entretanto, nesse processo não ocorre quebra de moléculas de água nem produção de  $NADPH + H^+$ . Esse processo geralmente ocorre quando a concentração de  $NADP^+$  está baixa.



Esquema simplificado da fotofosforilação cíclica. Cores-fantasia.



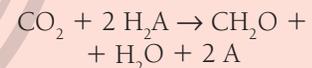
Analogia entre a fotofosforilação cíclica e um sistema hipotético. A luz excita um elétron da clorofila. A energia perdida pelo elétron, ao retornar ao seu nível energético inicial, é utilizada para produzir ATP.

## LOGO BIOLOGIA TEM HISTÓRIA

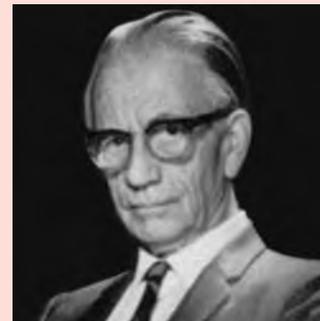
### Um longo percurso

De acordo com o modelo científico atual, o gás oxigênio liberado na fotossíntese provém da molécula de água. Mas foram necessários muitos anos de pesquisas, discussão e confronto de ideias até que se chegasse às evidências que permitiram a elaboração desse conceito.

No século XVIII, o médico alemão Jan Ingenhousz (1730-1799) sugeriu que o  $CO_2$  seria quebrado na fotossíntese, originando carbono e oxigênio. O carbono e a água formariam, então, o carboidrato. Durante muitos anos essa ideia foi aceita. No século XX, porém, o cientista belga Cornelius B. van Neil (1897-1985) propôs que a água seria a fonte de oxigênio na fotossíntese. Essa hipótese de Van Neil surgiu quando ele pesquisou alguns tipos de bactérias fotossintetizantes (as sulfobactérias púrpuras), verificando que elas utilizam o gás sulfídrico ( $H_2S$ ) em vez da água para produzir carboidrato durante a fotossíntese. Essas bactérias acumulam enxofre (S) nas células. A partir daí, Van Neil afirmou que a fotossíntese poderia ser genericamente representada assim:



$H_2A$ , nesse caso, pode ser água ( $H_2O$ ) ou gás sulfídrico ( $H_2S$ ). Se for gás sulfídrico, ocorre a produção de enxofre; se for água, produz-se gás oxigênio. Essa generalização de Van Neil foi corroborada posteriormente com o uso de átomos radioativos, como apresentado no boxe *Biologia tem história* da página 124.



O belga Cornelius B. van Neil.

Disponível em: <[http://biologia.cubaeduca.cu/medias/interactividades/metabolismo/co2/raiz\\_web\\_2.html](http://biologia.cubaeduca.cu/medias/interactividades/metabolismo/co2/raiz_web_2.html)>. Acesso em: 26 nov. 2015.

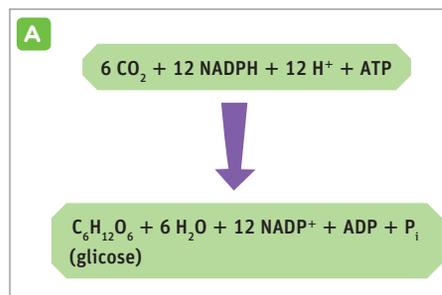
## Etapa química

Também conhecida como **fase escura**, essa etapa da fotossíntese ocorre no estroma dos cloroplastos. Embora seja formada por um conjunto de reações que não dependem diretamente da luz, a etapa química utiliza substâncias produzidas durante a fase fotoquímica.

Em comparação com a fase anterior, a etapa química é mais lenta. Diversas enzimas fazem parte do processo, por isso ela também é denominada **etapa enzimática**.

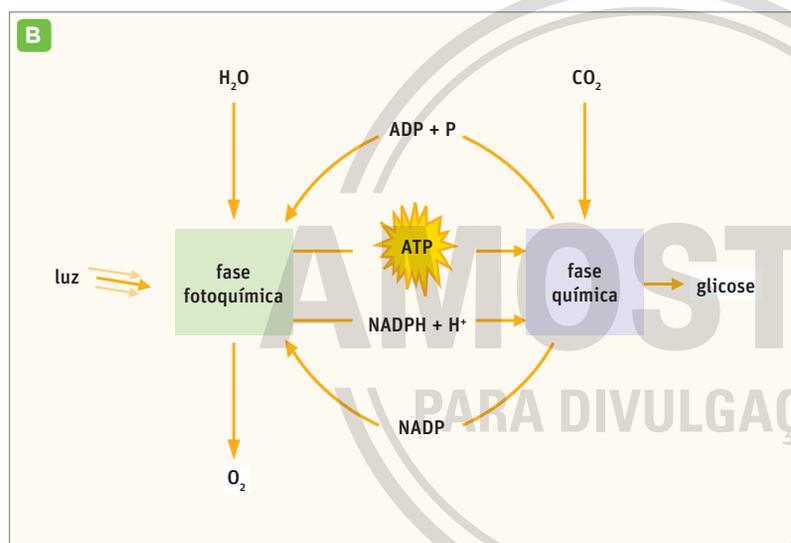
As reações que ocorrem na etapa química usam a energia captada na fase luminosa e armazenada nas moléculas de ATP. Essa energia é utilizada na produção de carboidratos, em um processo conhecido como **fixação do carbono**. Nela também são consumidas as moléculas de NADPH e os  $H^+$  formados na etapa luminosa, como representa a equação geral mostrada na imagem A.

A etapa química da fotossíntese pode ocorrer sem a presença de luz, porém isso só será possível enquanto existirem estoques de produtos formados na fase fotoquímica (imagem B).



Ilustrações: Adilson Secco/ID/BR

Equação geral da etapa química da fotossíntese.



Esquema geral da fotossíntese, mostrando a relação das etapas fotoquímica e química. Na **etapa fotoquímica**, nos tilacoides da organela, a molécula de água é quebrada, com a produção de gás oxigênio ( $O_2$ ) e íons  $H^+$ , que são incorporados ao  $NADP^+$ , formando  $NADPH$ , e a energia da luz é armazenada na forma de  $ATP$ . Na **etapa química**, no estroma da organela, o  $ATP$  é degradado e a energia liberada é utilizada na fixação do carbono do  $CO_2$ , com a produção de glicose ( $CH_2O$ ). Nessa etapa também é consumido  $NADPH$ , com formação de  $NADP^+$ .

### ATIVIDADES

4. A sacarose da cana-de-açúcar e o amido da batata são carboidratos constituídos de glicose, um dos produtos da fotossíntese. Como podem ser classificados a sacarose e o amido quanto ao número de unidades de carboidrato que os compõem?

### BIOLOGIA NO COTIDIANO

#### Faz mal dormir com plantas no quarto?

Como a maior parte das plantas não faz fotossíntese à noite, apenas respiram, é relativamente comum as pessoas pensarem que plantas colocadas no quarto sufocam quem está dormindo, pois “roubam” todo o  $O_2$  do ar e produzem  $CO_2$ . Entretanto, essa ideia não tem fundamentação lógica nem científica.

Em termos gerais, cada quilograma de biomassa vegetal consome cerca de 0,2 L de oxigênio por hora. O ser humano consome cerca de 25 L de oxigênio no mesmo

intervalo de tempo, em condições de repouso (cerca de 30 respirações completas por minuto). Se considerarmos oito horas de sono, teremos o consumo de 200 L ( $25 \times 8$ ) de oxigênio por pessoa em um quarto (uma planta de 1 kg consumiria, nessas oito horas, apenas 1,6 L). Assim, mesmo que o quarto seja hermeticamente fechado (mas não é, pois existem pontos de entrada e saída de ar, como frestas de janelas, fechaduras, etc.), o consumo de gás oxigênio pela planta é muito menor do que o do ser humano.

## Ciclo das pentoses

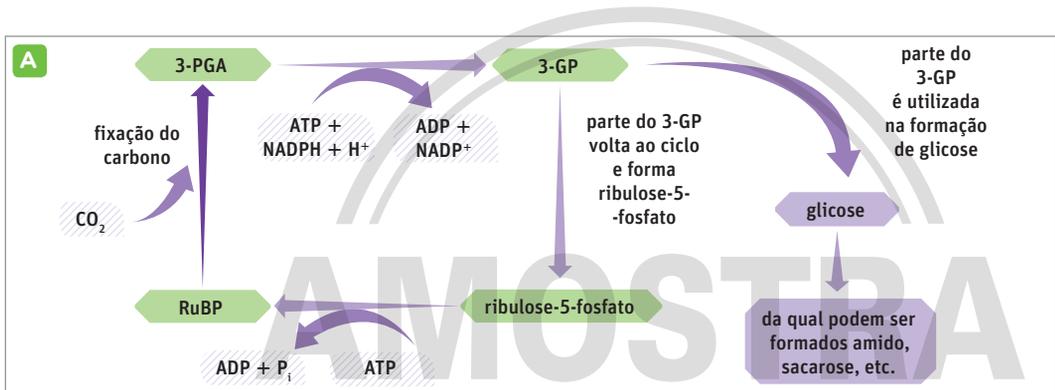
Na etapa química da fotossíntese ocorre a formação de compostos orgânicos. Esse mecanismo envolve uma sequência cíclica de reações, conhecida como **ciclo das pentoses** ou **ciclo de Calvin-Benson**, que se dá no estroma dos cloroplastos. A denominação ciclo das pentoses deve-se ao carboidrato de cinco carbonos, a ribulose-1,5-bifosfato, que está presente no início do processo.

Embora esse ciclo ocorra sem a presença de luz, ele depende das reações envolvidas na etapa fotoquímica, já que são necessários ATP e  $\text{NADPH} + \text{H}^+$ , que são formados naquela etapa.

## Fixação de carbono

Na primeira metade do século XX, Melvin Calvin (1911-1997) e colaboradores elucidaram o mecanismo de fixação do carbono na fotossíntese e da formação de carboidratos. Assim como acontece no ciclo de Krebs (abordado no capítulo 7), o composto inicial se regenera a cada volta do ciclo.

Observe a imagem A. O ciclo das pentoses tem início com a fixação do carbono do  $\text{CO}_2$  a uma molécula denominada **ribulose-1,5-bifosfato**, ou RuBP, que tem cinco átomos de carbono. Uma enzima, a **ribulose-bifosfato-carboxilase** (conhecida como rubisco), catalisa essa reação. Com a fixação do carbono do  $\text{CO}_2$ , formam-se duas moléculas de **3-fosfoglicerato** (3-PGA), cada uma com três átomos de carbono.

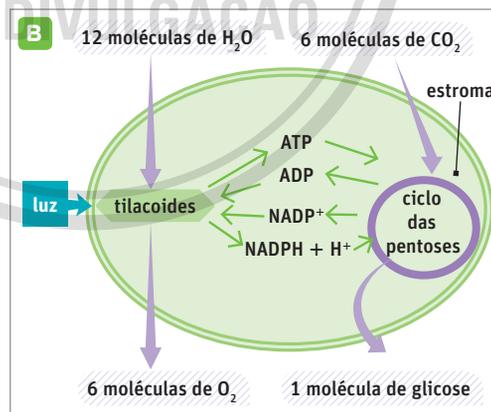


Ilustrações: Reinaldo Vignatti/D/BR

Esquema simplificado do ciclo das pentoses.

Com consumo de ATP e  $\text{NADPH} + \text{H}^+$ , o 3-PGA é convertido em **gliceraldeído-3-fosfato** (3-GP); parte dele continua no ciclo, formando moléculas de ribulose-5-fosfato, que serão convertidas em novas moléculas de RuBP (com consumo de ATP). Outra parte é utilizada na formação de compostos orgânicos, particularmente a glicose, que tem seis átomos de carbono. Para cada molécula de glicose produzida, ocorrem seis voltas no ciclo e são necessárias seis moléculas de dióxido de carbono, como representado na imagem B.

O 3-GP é a base para a formação de glicose e outros carboidratos.



Esquema mostrando a relação entre o ciclo das pentoses e a etapa fotoquímica.

## Balanco energético e resultados do ciclo das pentoses

O ciclo das pentoses é uma atividade bioquímica com gasto energético alto. Para fixar três moléculas de dióxido de carbono a gliceraldeído-3-fosfato, são consumidas 9 moléculas de ATP e 6 de  $\text{NADPH} + \text{H}^+$ .

Em um balanço geral nota-se que, para a conversão de 6 moléculas de  $\text{CO}_2$  em uma molécula de glicose e a regeneração da RuBP, são necessárias 12 moléculas de  $\text{NADPH} + \text{H}^+$  e 18 moléculas de ATP. Assim, teríamos a seguinte reação geral da etapa química da fotossíntese:



## Quimiossíntese

A quimiossíntese é um fenômeno biológico por meio do qual certas bactérias e arqueas sintetizam substâncias mais complexas a partir de substâncias simples, com o envolvimento de energia de fonte externa.

Esses seres, denominados quimiossintetizantes, obtêm energia química por meio da oxidação de compostos inorgânicos (amônia, nitrito, etc.). Com a oxidação, que pode acontecer com a participação do gás oxigênio ou de outros agentes oxidantes (nas bactérias anaeróbias), ocorre a liberação de energia química, posteriormente utilizada na formação dos compostos orgânicos.

### As bactérias quimiossintetizantes

Na natureza, vários compostos inorgânicos são utilizados pelas bactérias quimiossintetizantes, destacando-se os íons de ferro(II) ( $\text{Fe}^{2+}$ ), o ácido sulfídrico ( $\text{H}_2\text{S}$ ), o íon amônio ( $\text{NH}_4^+$ ) e o nitrito ( $\text{NO}_2^-$ ).

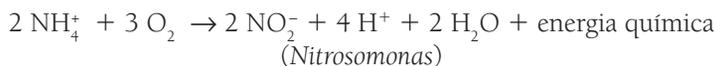
As bactérias que conseguem oxidar compostos de ferro, como certas espécies de *Thiobacillus* (imagem A), são comuns em águas ácidas residuais de minas e jazidas de ferro. Essas bactérias são denominadas ferrobactérias.

As sulfobactérias podem ser encontradas em fontes termais, em águas minerais com enxofre e nas profundezas oceânicas (em locais próximos a fontes termais). Algumas espécies, também do gênero *Thiobacillus* (porém espécies diferentes das ferrobactérias), oxidam o ácido sulfídrico e liberam enxofre, como se vê na primeira etapa da quimiossíntese dessas bactérias:



Essas bactérias, que proliferam muito rapidamente na ausência de luz, sustentam cadeias alimentares de que participam outros habitantes das fontes termais, como camarões, mexilhões e poliquetos.

As nitrobactérias, amplamente encontradas no solo, conseguem utilizar compostos nitrogenados como fonte de energia. Elas são de vital importância para a sobrevivência das plantas, pois fornecem-lhes compostos importantes para o metabolismo e o desenvolvimento. Destacam-se os gêneros *Nitrosomonas* e *Nitrobacter* (imagem B). No primeiro caso, o íon amônio é oxidado a nitrito; no segundo, o nitrito é oxidado a nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ). A primeira etapa da quimiossíntese desses dois gêneros de nitrobactérias é representada abaixo:



A quimiossíntese também é importante para as cadeias alimentares de ambientes aquáticos pobres em gás oxigênio, como lagos profundos, ou com alta taxa de decomposição.

Bactérias quimiossintetizantes *Nitrobacter* sp. (Foto ao microscópio eletrônico de transmissão; imagem colorizada; aumento de cerca de 6 000 vezes.)

## ATIVIDADES

5. Para sobreviver, um organismo autótrofo precisa de cinco requisitos básicos:
- I. uma fonte ambiental de carbono;
  - II. uma fonte ambiental de hidrogênio;
  - III. uma fonte primária de energia;
  - IV. um aceptor final de elétrons para a liberação de energia e a síntese de biomoléculas;
  - V. um suporte adicional de água, sais minerais e outros compostos para formar proteínas e outras substâncias celulares.
- a) Considerando um organismo autótrofo que realiza a fotossíntese, cite um componente envolvido em cada um dos requisitos I a IV citados.
- b) Em qual(is) item(ns) haverá componente(s) diferente(s) caso o organismo seja uma bactéria quimiossintetizante? Que componente(s) seria(m) esse(s)?



Bactérias quimiossintetizantes *Thiobacillus ferrooxidans*. (Foto ao microscópio eletrônico de varredura; imagem colorizada; aumento de cerca de 3 600 vezes.)



### Microalgas transgênicas são mais eficientes na fotossíntese, indica estudo

As microalgas são apontadas por especialistas como potenciais matérias-primas para a produção de biodiesel e outros produtos químicos, uma vez que apresentam grandes taxas de acúmulo de biomassa e de óleo e crescem de duas a dez vezes mais rápido do que plantas terrestres.

Um dos desafios para tornar esses organismos uma alternativa comercialmente viável para a produção de biodiesel é aumentar sua eficiência fotossintética, que é duas a três vezes inferior ao potencial do vegetal.

“O aumento da taxa de fotossíntese de microalgas para a produção de biodiesel tornou-se uma questão crucial na pesquisa em biocombustível”, disse Angela Pedroso Tonon, pesquisadora da divisão de Biociências do Los Alamos National Laboratory, dos Estados Unidos [...]

“Ao aumentar a capacidade de absorção de energia solar por esses organismos é possível elevar a fixação de CO<sub>2</sub> e produzir maior quantidade de moléculas orgânicas, como carboidratos. Esses carboidratos podem ser transformados em proteínas, aminoácidos e, principalmente, óleos”, explicou a pesquisadora [...]

Um grupo de pesquisadores [...] desenvolveu e está cultivando cepas de microalgas geneticamente modificadas capazes de realizar fotossíntese com maior eficiência do que organismos selvagens (que não sofreram mudanças genéticas). [...]

De acordo com a pesquisadora, para realizar a fotossíntese as plantas e as microalgas utilizam centros de captação de luz solar – chamados de “antenas” –, compostos por pigmentos como clorofila. Esses pigmentos absorvem a energia luminosa e a transferem para o fotossistema da planta a fim de produzir moléculas energeticamente ativas que ajudam na fixação de CO<sub>2</sub> e, conseqüentemente, na produção de carboidratos. Ao serem expostos a uma grande quantidade de luz, como no verão, por exemplo, esses centros de captação de luz solar ficam muito saturados e não realizam de forma eficientemente coordenada a captura de fótons e a transferência de elétrons para fixar carbono. Por essa razão, as plantas perdem uma quantidade significativa de energia da luz captada na forma de calor

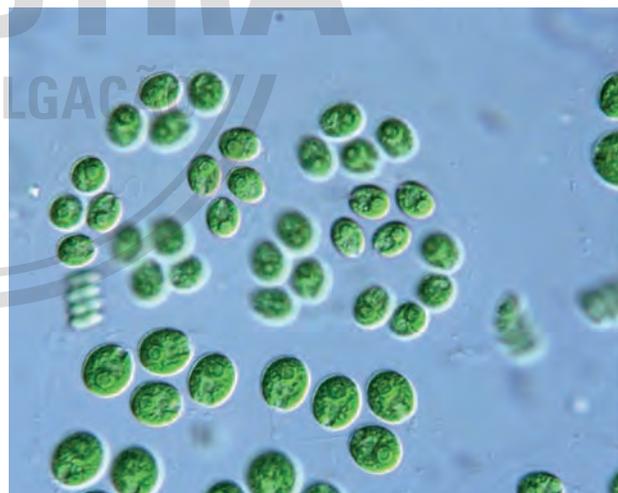
ou de fluorescência que poderia ser utilizada para aumentar a fixação de CO<sub>2</sub> e a produção de carboidratos, como açúcares, entre outras moléculas. [...]

“Não adianta a planta ter uma grande quantidade de pigmentos se, quando absorve a luz, não a transfere e converte toda a energia física da luz capturada em energia química porque o fotossistema satura”, avaliou Tonon.

Para aumentar a eficiência da fotossíntese desses organismos, reduzindo o desperdício de energia solar e levando as microalgas da superfície e das camadas mais profundas a absorver todos os fótons, os pesquisadores do laboratório norte-americano começaram a modular o tamanho das antenas de captação de luz de microalgas das espécies *Chlamydomonas reinhardtii* e *Chlorella sorokiniana*, entre outras.

Com isso, o processo de fotossíntese é realizado de forma mais uniforme por diversas microalgas cultivadas em tanque, por exemplo.

“A ideia é modular o tamanho da antena das microalgas, diminuindo ou aumentando a quantidade de pigmentos, de acordo com a estação do ano”, disse Tonon [...]



Algas da espécie *Chlamydomonas reinhardtii*. (Foto ao microscópio de luz; aumento de cerca de 640 vezes.)

AUSSON, E. Agência Fapesp. Disponível em: <[http://agencia.fapesp.br/microalgas\\_transgenicas\\_sao\\_mais\\_eficientes\\_na\\_fotossintese\\_indica\\_estudo/20031/](http://agencia.fapesp.br/microalgas_transgenicas_sao_mais_eficientes_na_fotossintese_indica_estudo/20031/)>. Acesso em: 25 set. 2015.

#### PARA DISCUTIR

1. Qual a sua opinião sobre o uso de organismos geneticamente modificados (como o exemplo do texto) para maximizar ganhos econômicos?
2. Há, no texto acima, alguma descrição de processos relacionados à fotossíntese estudados neste capítulo? Aponte esses processos em seu caderno, de forma resumida.
3. Além das vantagens das algas transgênicas citadas no texto, você apontaria outras? Quais?

# O núcleo celular

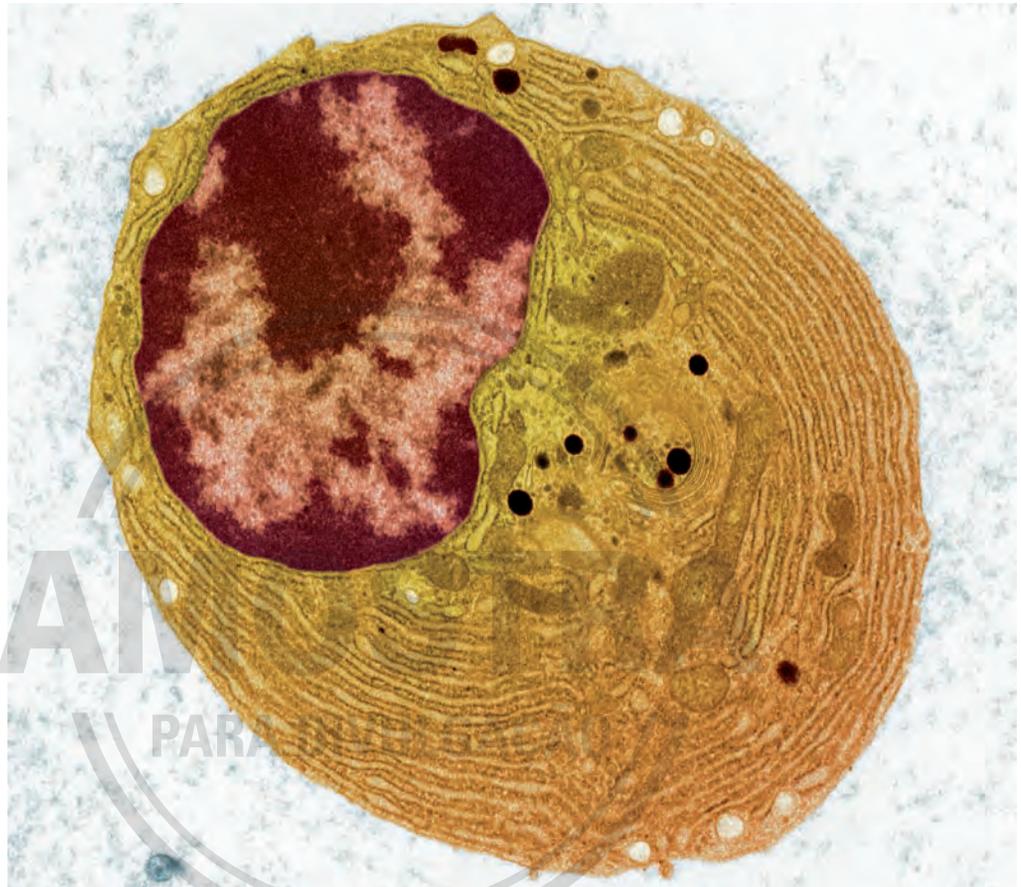
## O QUE VOCÊ VAI ESTUDAR

Como foi descoberto o papel do núcleo celular.

A estrutura e a composição química do núcleo celular.

O que é cromatina e o que são cromossomos.

Os cromossomos humanos.



Steve Gschmeissner/Science Photo Library/Latinstock

Linfócito B, célula do sangue que participa da defesa corporal. O núcleo da célula apresenta-se em vermelho, e o citoplasma, em laranja. (Foto ao microscópio eletrônico de transmissão; imagem colorizada; aumento de cerca de 5 200 vezes.)

No interior do núcleo celular, estrutura presente apenas em células eucarióticas, encontram-se o material genético e proteínas específicas, como as histonas, que têm função estrutural e regulatória, e outras com função de síntese e transporte de substâncias diversas e de regulação.

A membrana do núcleo é dupla e separa seu conteúdo do citoplasma. Entretanto, a membrana nuclear não isola completamente os dois meios, pois conta com poros e canais que permitem a comunicação e a troca de substâncias entre o núcleo e o citoplasma.

Alguns organismos, como o *Paramecium* sp. (protozoário ciliado), apresentam mais de um núcleo. Esse organismo unicelular possui um macronúcleo, semelhante ao das células de outros organismos eucariontes, e um micronúcleo, bem menor, relacionado à reprodução sexuada.

Outras células, como as fibras musculares estriadas, contêm vários núcleos, enquanto alguns glóbulos brancos do sangue têm um núcleo grande com formas diversas e, eventualmente, alguns estreitamentos. Também existem células que perdem seu núcleo ao amadurecer, como as hemácias humanas.

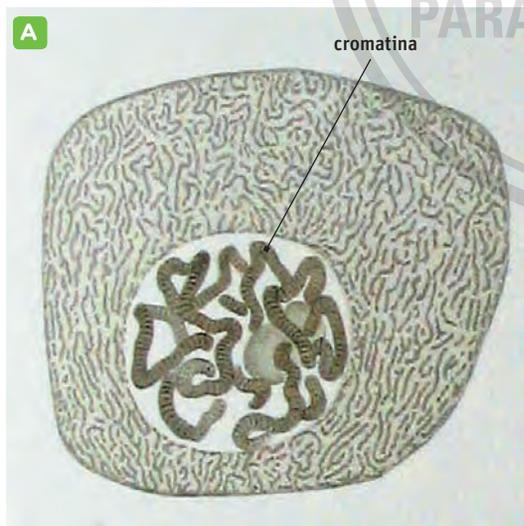
## Desvendando o papel do núcleo

Em ciência, uma descoberta costuma ser fruto da combinação de resultados, por vezes contraditórios, de inúmeros trabalhos realizados por diferentes cientistas ao longo de muitos anos de estudo. A descoberta da importância do núcleo celular, por exemplo, foi consequência de um extenso caminho que levou alguns séculos para ser percorrido e foi marcado pelos trabalhos de vários pesquisadores.

### A descoberta do núcleo celular

Em 1682, o núcleo das células foi observado por Antonie van Leeuwenhoek (1632-1723) e, mais tarde, por outros estudiosos. Porém, só em 1831 o botânico escocês Robert Brown (1773-1858) reconheceu a estrutura como algo presente em praticamente todas as células. Ao comparar as células com os frutos e atribuir à estrutura o papel de “semente” da célula, Brown a chamou de **núcleo** (do latim *nux*, “noz”).

Na segunda metade do século XIX, o biólogo alemão Walther Flemming (1843-1905), estudando a divisão celular, notou que o núcleo continha um material que se corava intensamente com corantes básicos (imagem A). Ele deu a esse material o nome de **cromatina** (do grego *chroma*, “cor”). Flemming também percebeu que, quando uma célula se dividia, esse material era “repartido” entre as células-filhas, e concluiu que todo núcleo se originava de um núcleo preexistente.



Desenho original de Walther Flemming, feito em 1882, mostrando o material nuclear.

### A importância do núcleo

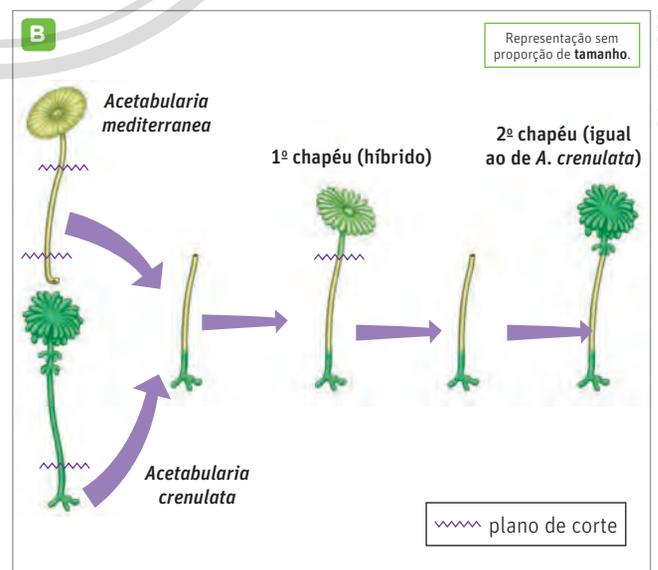
No final do século XIX (por volta de 1875), o citologista francês Edouard-Gérard Balbiani (1823-1899) realizou experimentos de merotomia (do grego *meros*, “parte”, e *tomia*, “corte”), que produziram fortes

indícios de que o núcleo era essencial para a sobrevivência das células. Ele dividiu amebas em duas partes, deixando o núcleo em uma delas, e observou que a parte sem núcleo definhava e morria, enquanto a outra, com o núcleo, permanecia viva. Quando enxertava um núcleo na metade anucleada, ela regenerava e sobrevivia.

Na década de 1940, o biólogo holandês Joachim Hammerling (1901-1980) conduziu um experimento simples com algas do gênero *Acetabularia* (imagem B) que ajudou a esclarecer o papel do núcleo na manifestação das características de um ser vivo.

Essas algas têm um “pé” ou base – onde está o núcleo da célula –, uma haste vertical e um “chapéu” circular, principal responsável pela fotossíntese. Na espécie *Acetabularia mediterranea*, o chapéu tem formato de disco, e, na espécie *A. crenulata*, ele tem formato ramificado. Hammerling removeu o chapéu e a haste de uma *A. crenulata* e, sobre a base com o núcleo, enxertou uma haste de *A. mediterranea*. Observou, então, que se formava um novo chapéu com aspecto intermediário: um disco com aspecto ramificado. Em seguida, removeu o chapéu recém-formado e observou que o chapéu formado em seguida era idêntico ao de *A. crenulata*, cujo núcleo, com as informações genéticas da espécie, estava na base.

Com esse experimento, ele concluiu que o núcleo contém informações importantes para a manifestação das características do organismo e contribui para o desenvolvimento deste. No caso das algas estudadas, algum tipo de **mensagem nuclear** passava à outra extremidade através da haste.



Esquema do experimento realizado por Hammerling com a alga *Acetabularia* sp. Embora unicelular, essa alga atinge até 6 cm de altura. Cores-fantasia.

## A composição do núcleo

O núcleo não tem sempre o mesmo aspecto ao longo do período de vida de uma célula. Quando se aproxima o momento da divisão celular, o material nuclear modifica-se e o núcleo se desorganiza por completo, o que permite a distribuição adequada de seu conteúdo entre cada uma das células-filhas. Concluída a divisão celular, um novo núcleo reorganiza-se em cada uma das novas células e reassume suas funções.

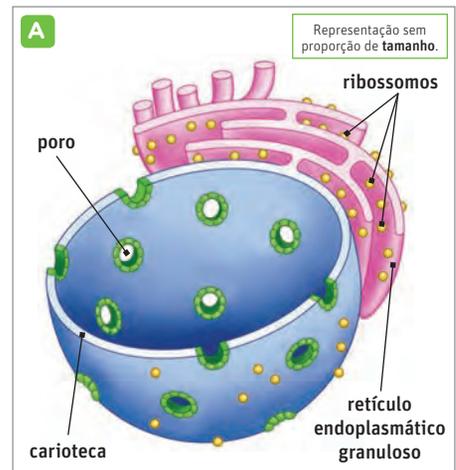
O núcleo é constituído por um envoltório (a **carioteca**), pelo **nucleoplasma** (onde se encontra mergulhada a **cromatina**) e por um **nucléolo**.

### Carioteca

Uma das hipóteses para explicar a origem da carioteca (do grego *karyon*, “núcleo”, e *theke*, “caixa”, “invólucro”) nos organismos eucarióticos sugere que ocorreram invaginações (dobramentos) da membrana plasmática em células procarióticas primitivas. Esses dobramentos teriam originado canais que, mais tarde, se transformariam no retículo endoplasmático e em outras organelas membranosas do citoplasma, além de delimitar uma porção do citoplasma com o material nuclear (o citoplasma e suas organelas são tratados no capítulo 3).

Qualquer que tenha sido sua origem, a carioteca é uma membrana dupla. A membrana externa, voltada para o citosol, está ligada ao retículo endoplasmático, como se fosse sua continuação (imagem **A**). Podem existir ribossomos aderidos a ela, como no retículo endoplasmático granuloso. De acordo com essa arquitetura, portanto, o espaço entre as membranas interna e externa da carioteca é a continuação do espaço interno do retículo endoplasmático. Já a membrana interna possui proteínas especiais que auxiliam no ancoramento da cromatina e na manutenção da estrutura e da forma do núcleo.

Em vários pontos da carioteca, as duas membranas unem-se e formam **poros**, que permitem a comunicação do núcleo com o citoplasma. Cada poro é uma estrutura complexa, constituída por proteínas que controlam a entrada e a saída de substâncias (imagens **B**, **C** e **D**). O número de poros na carioteca depende da função desempenhada pela célula. Por exemplo, células secretoras, com intensa síntese proteica, geralmente apresentam núcleo com muitos poros.



Esquema mostrando a carioteca e sua relação com o retículo endoplasmático. Cores-fantasia.

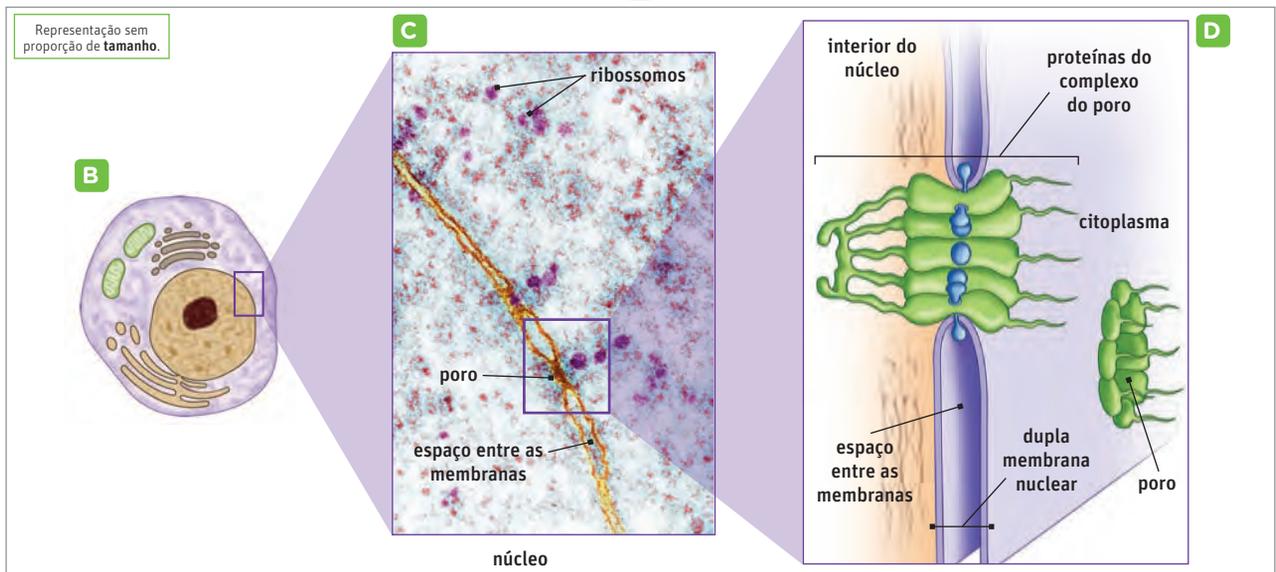
Fonte de pesquisa: REECE, J. B. et al. *Campbell Biology*. 10. ed. [S. l.]: Pearson, 2014. p. 105.

### ATIVIDADES

1. Analise a origem da palavra “carioteca” (etimologia apresentada nesta página) e explique a relação entre o núcleo e o material genético de uma célula eucariótica.

Fonte de pesquisa: ALBERTS, B. et al. *Fundamentos da biologia celular*. 3. ed. Porto Alegre: Artmed, 2011. p. 503.

(**B**) Esquema de uma célula (em cores-fantasia). O retângulo indica a região ampliada em (**C**), que evidencia o espaço entre a dupla membrana. Observe que alguns ribossomos (em rosa) estão atravessando o poro e passando ao citosol. (Foto ao microscópio eletrônico de transmissão; imagem colorizada; aumento de cerca de 50 mil vezes.) (**D**) Esquema de um poro da carioteca mostrando as proteínas que formam o poro e controlam a passagem de substâncias. Cores-fantasia.



## Cromatina

As observações do material nuclear exigem o uso de corantes para facilitar a visualização (veja o capítulo 4). Por essa razão, boa parte da nomenclatura relacionada ao núcleo emprega o prefixo *cromo* (“cor”).

A **cromatina** é composta de um emaranhado de filamentos muito finos chamados **cromossomos**. Durante o período em que a célula não está se dividindo (interfase), a cromatina apresenta-se dispersa no núcleo. Ao tratar a cromatina com corantes, algumas regiões, denominadas regiões **heterocromáticas** (do grego *hetero*, “diferente”), coram-se mais intensamente; outras, de coloração mais suave, são denominadas regiões **eucromáticas** (do grego *eu*, “verdadeiro”) (imagem A). Na região heterocromática, os filamentos encontram-se espiralados e condensados; por isso, concentram mais o corante.

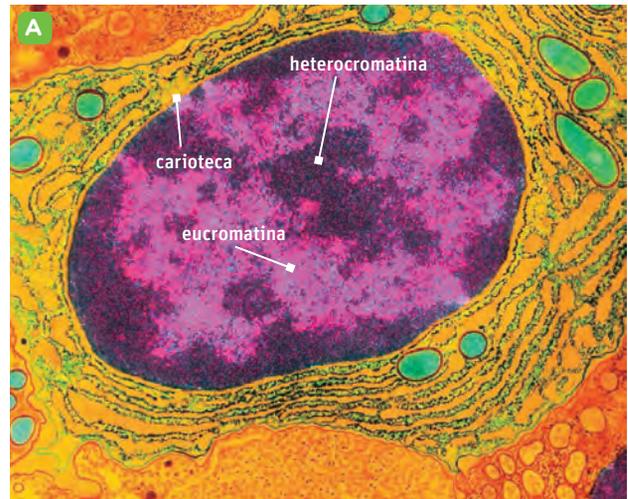
O filamento de cromatina ou cromossomo é uma única e longa **molécula de DNA** (ácido desoxirribonucleico) com 2 nm de diâmetro, enrolada em proteínas chamadas histonas, formando estruturas globulares, os nucleossomos (imagem B). Cada filamento dobra-se sobre si mesmo, o que aumenta sua espessura.

Quando a divisão celular tem início, os cromossomos se dobram até atingir seu maior grau de compactação. Esses filamentos condensados possuem espessura aproximada de 700 nm – ou seja, cerca de 350 vezes mais espesso que uma molécula de DNA –, podendo ser visualizados ao microscópio de luz, cuja resolução está entre 100 nm e 100  $\mu$ m (veja boxe que trata sobre os tipos de microscópios no capítulo 4).

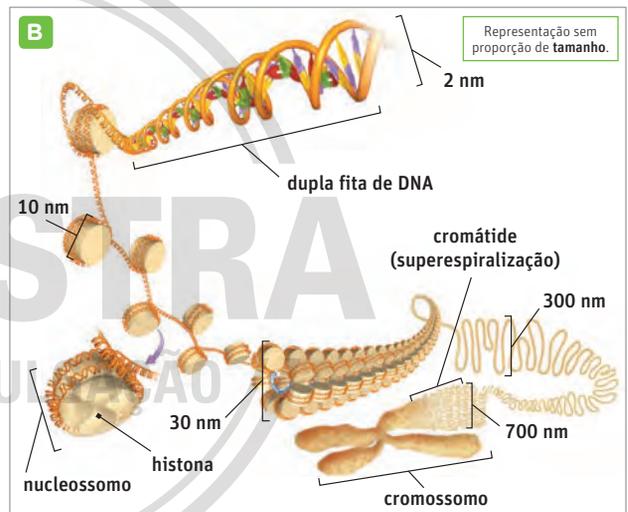
## Nucléolo e nucleoplasma

No interior do núcleo encontra-se o **nucléolo**, uma região mais corada e não limitada por membrana (imagem C). Formado por **RNA** (ácido ribonucleico) e algumas proteínas, ele aparece bastante desenvolvido em células que apresentam intensa síntese proteica. Em alguns cromossomos encontram-se as chamadas **regiões organizadoras do nucléolo**, locais onde ocorre a síntese de um tipo de RNA que forma os ribossomos, as organelas envolvidas na síntese de proteínas. Durante o período em que a célula se divide, o nucléolo se desorganiza, reaparecendo após a divisão.

O ambiente interno do núcleo, onde estão mergulhados os filamentos da cromatina e as estruturas que constituem o nucléolo, é chamado de **nucleoplasma**. Em 2003, pesquisadores brasileiros e estadunidenses identificaram uma nova organela em meio ao nucleoplasma, o **retículo nucleoplasmático**, responsável pelo transporte de íons cálcio. No núcleo, o cálcio é essencial para o processo de multiplicação celular, para a ativação de genes e no controle da chamada **apoptose** ou morte celular programada (tema abordado no capítulo 10).

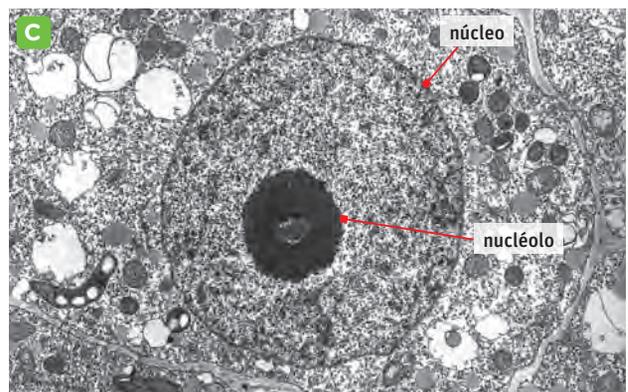


Detalhe do núcleo destacando a eucromatina e a heterocromatina (corada mais intensamente). (Foto ao microscópio eletrônico de transmissão; imagem colorizada; aumento de cerca de 11 mil vezes.)



Esquema da cromatina. A molécula de DNA associa-se às histonas, e o filamento resultante enrola-se e condensa, formando o cromossomo como é visto durante a divisão celular. Cores-fantasia.

Fonte de pesquisa: REECE, J. B. et al. *Campbell Biology*. 10. ed. [S. l.]: Pearson, 2014. p. 328.



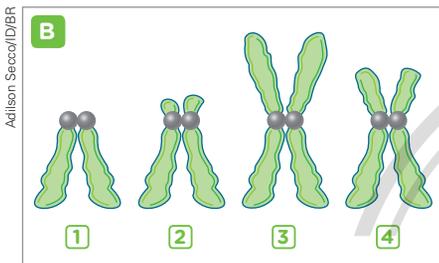
Núcleo de uma célula, com destaque para o nucléolo em seu interior. (Foto ao microscópio eletrônico de transmissão; aumento de cerca de 10 500 vezes.)

## Os cromossomos

Os **cromossomos**, filamentos de DNA associados a histonas, são visíveis mais facilmente durante a divisão celular, quando estão espiralados e condensados. Seu comprimento fica cerca de 50 mil vezes menor do que a molécula de DNA estendida, e aproximadamente 350 vezes mais espesso. Durante a condensação, os cromossomos estão **duplicados**, e sua aparência ao microscópio se assemelha a um X (imagem A). Isso acontece porque os dois braços, chamados de **cromátides**, ainda estão parcialmente unidos. No cromossomo duplicado, os braços idênticos são chamados de cromátides-irmãs porque resultam de uma duplicação do DNA. Elas se unem pelo **centrômero**, uma região em que as cromátides-irmãs se encontram em íntimo contato, unidas por um complexo de proteínas especiais chamadas coesinas. Cada cromossomo tem o centrômero em um local diferente, e sua posição é uma das características usadas para classificar os tipos cromossômicos (imagem B).



Conjunto de cromossomos duplicados e altamente condensados. Note que, embora todos sejam formados por duas cromátides, a posição do centrômero é variável. (Foto ao microscópio eletrônico de varredura; imagem colorizada; aumento de cerca de 3 760 vezes.)



Representação dos diferentes tipos de cromossomos, de acordo com a posição dos centrômeros: (1) telocêntricos; (2) acrocêntricos; (3) metacêntricos; (4) submetacêntricos. Cores-fantasia.

Ao longo de um cromossomo encontram-se os **genes**. De modo simplificado, pode-se dizer que os genes codificam a produção de moléculas de RNA, relacionadas à produção de proteínas.

## Cromossomos homólogos

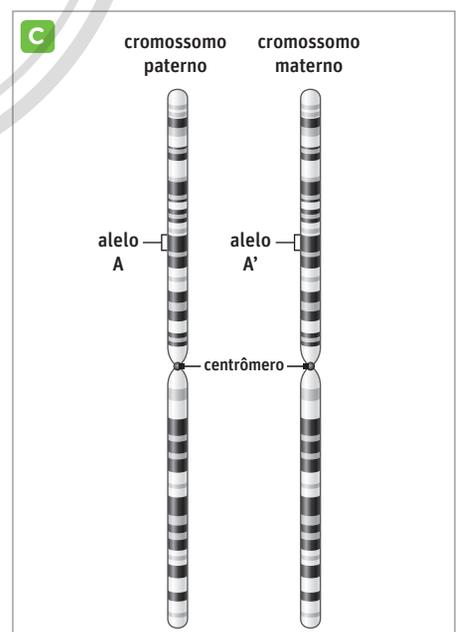
Cada cromossomo tem uma sequência própria de genes que codifica RNAs específicos, necessários ao metabolismo celular. Em conjunto, os cromossomos de uma célula contêm a codificação para a síntese de todas as moléculas de RNA – e, conseqüentemente, de todos os tipos de proteína de um organismo. Da atuação dos genes, em complexa interação com vários outros fatores, resulta a expressão das características do organismo.

Além de portar genes diferentes, os cromossomos apresentam formas e comprimentos distintos. No núcleo das células humanas, por exemplo, encontram-se 46 cromossomos. A espécie humana tem reprodução sexuada e, durante a fecundação, cada uma das células reprodutivas, os gametas, contribui com um lote completo de 23 cromossomos. A célula que resulta da fecundação (chamada zigoto, ou célula-ovo), a primeira do organismo, dará origem, por divisões sucessivas, a todas as demais células. O zigoto tem, então, 23 pares de cromossomos, ou seja, dois conjuntos completos de 23 tipos cromossômicos, perfazendo 46. O número total de cromossomos é característico de cada espécie.

Os dois cromossomos que formam um par do mesmo tipo são denominados **homólogos** (do grego *homo*, “igual”). Nos cromossomos homólogos, os genes para uma mesma sequência de aminoácidos encontram-se na mesma posição relativa, chamada de **locus gênico** (do latim *locus*, “lugar”; no plural, *loci*). Além disso, cromossomos homólogos apresentam forma, tamanho e posição do centrômero iguais (imagem C). Os genes podem ter uma ou mais variantes, chamadas **alelos**. Assim, os alelos de um gene ocupam a mesma posição em cromossomos homólogos.

**ATIVIDADES**

2. Determinado animal tem, no núcleo de suas células, um número “n” de cromossomos. Quantas cromátides devem existir em uma célula somática desse animal, já pronta para iniciar a divisão celular? Justifique sua resposta.



Representação de um par de cromossomos homólogos. Note que o gene A possui dois alelos, A e A', que ocupam o mesmo locus no cromossomo paterno e no materno. Cores-fantasia.

## Ploidia

As células que têm pares de cromossomos homólogos são denominadas **diploides** (do grego *diplo*, “duplo”), e seu número total de cromossomos é representado por **2n**. Células que têm apenas um lote de cromossomos, sendo um de cada tipo, são ditas **haploides** (do grego *haplos*, “simples”), e seu número cromossômico é representado por **n**.

Em animais, a maioria das células que compõem o corpo é diploide (2n) (ver tabela abaixo). Essas células recebem o nome de **somáticas** (do grego *soma*, “corpo”). As células **reprodutoras** (ou gametas) são haploides (n). Após a fecundação, quando ocorre a fusão dos **núcleos** do óvulo e do espermatozoide (assunto do capítulo 12), num processo chamado de **cariogamia** (do grego *karyon*, “núcleo”, e *gamia*, “união”), o número cromossômico típico da espécie se mantém.

O conjunto de todos os cromossomos presentes no núcleo constitui o **cariótipo** do indivíduo. No cariótipo humano, encontram-se 22 pares de cromossomos somáticos (os **autossomos**) e um único par de **cromossomos sexuais**.

Espécie	Número (2n)	Espécie	Número (2n)
cavalo	64	milho	20
chimpanzé	48	ser humano	46
drosófila	8	tomate	24
feijão	22	trigo	42

Número diploide de cromossomos de alguns seres vivos. Note que não há relação entre o número de cromossomos e o tamanho do organismo.

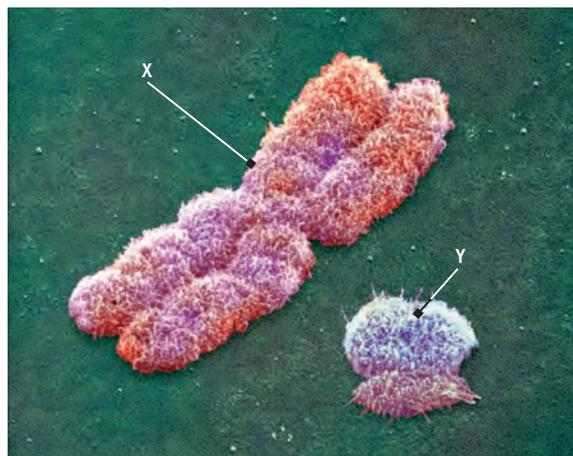
## Os cromossomos sexuais

Embora homens e mulheres sem alterações cromossômicas apresentem sempre 23 pares de cromossomos homólogos, um dos pares é formado por cromossomos que têm homologia apenas parcial. São os cromossomos sexuais **X** e **Y**. Diferentemente dos demais, designados por números, os cromossomos sexuais são denominados por letras. Em mulheres, o par é formado por dois cromossomos **X**. Nos homens, por um cromossomo **X** e por outro, chamado de **Y**. Para indicar os cariótipos masculino e feminino, usa-se a seguinte representação:

- cariótipo feminino: 46, XX;
- cariótipo masculino: 46, XY.

O cromossomo **Y** é bem menor que o **X** (imagem ao lado). Eles apresentam homologia apenas em uma pequena região. Tal fato é, em parte, responsável por certas características genéticas que só são herdadas do pai ou da mãe, ou aparecem com maior frequência em um dos sexos, como o **daltonismo** e a **hemofilia** (tema abordado no volume 3 desta coleção).

Cromossomos humanos **X** e **Y**.  
(Foto ao microscópio eletrônico de varredura; imagem colorizada; aumento de cerca de 7 100 vezes.)



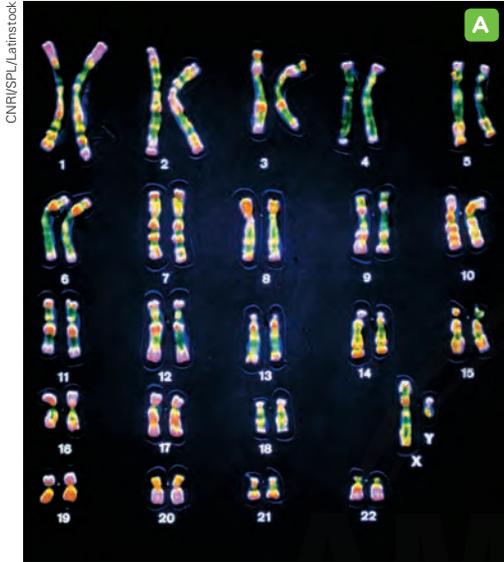
Cheryl Power/SPL/Latinstock

## ATIVIDADES

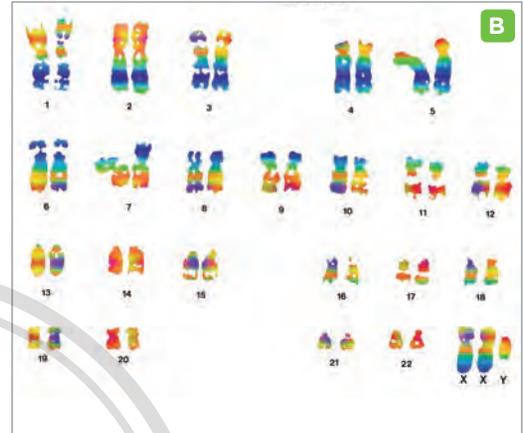
3. Se um animal apresenta no núcleo de suas células somáticas um total de 62 cromossomos, quantos cromossomos devem existir em um gameta normal dessa espécie? Justifique.
4. O que aconteceria com o número de cromossomos de uma espécie se suas células reprodutoras fossem diploides?

## Cariótipo normal

A contagem e a análise morfológica (do grego *morfos*, “forma”, “aspecto”) do cariótipo humano (imagens **A** e **B**) permitem observar se há alguma alteração de número ou tamanho dos cromossomos que possa indicar alguma doença ou malformação. Em geral, as anomalias observadas no cariótipo resultam de problemas na separação das cromátides-irmãs durante a divisão celular que forma os gametas. Se o zigoto, a célula inicial, apresentar um cariótipo alterado, todas as células originadas a partir dele – e que vão constituir todos os tecidos do novo organismo – também apresentarão o mesmo problema.



Cariótipo de pessoa do sexo masculino. Observe a presença de 22 pares de cromossomos autossomos e um par sexual (XY). Imagem colorizada por computador. Aumento de cerca de 200 vezes.



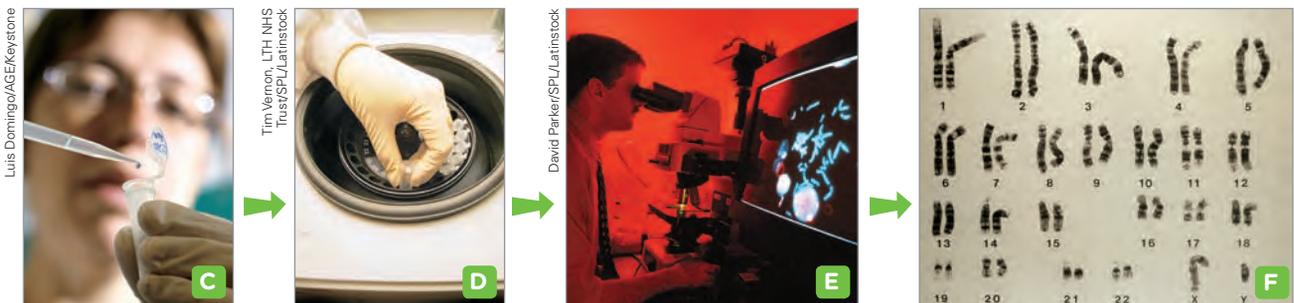
Cariótipo humano masculino com um Cromossomo a mais no par sexual (XXY). Essa anomalia origina uma síndrome com diversos sintomas no indivíduo. Imagem colorizada.

## Preparação de cariótipos

A citogenética é o ramo da Biologia que estuda essencialmente os cromossomos. Investigar o cariótipo humano – o conjunto dos cromossomos presentes no núcleo da célula de determinada espécie – é uma das abordagens mais utilizadas pela citogenética. O DNA é obtido frequentemente de leucócitos retirados de uma amostra de sangue. O cariótipo é constante para todas as células somáticas dos organismos.

Para observar cromossomos com maior facilidade, é necessário que as células estejam em divisão. Por isso, após serem separados de uma amostra de sangue, os leucócitos são transferidos para um meio de cultura contendo **fito-hemaglutinina**, substância que induz a divisão celular. Depois de alguns dias, aparece um grande número de células em divisão. Nessa etapa, adiciona-se uma substância, a **colchicina** (imagem **C**), que paralisa a divisão na fase em que os cromossomos estão no grau máximo de condensação e, portanto, bem visíveis. Em seguida, as células são mergulhadas em solução hipotônica para aumentar de volume, facilitando a separação e visualização dos cromossomos. O material é então centrifugado (imagem **D**) e as células são coradas sobre uma lâmina. É feita uma micrografia de luz (imagem **E**), que pode ser impressa ou digitalizada. A imagem de cada cromossomo é “recortada” e “colada” em ordem, formando pares de acordo com as semelhanças de tamanho, forma e posição do centrômero (imagem **F**).

Algumas etapas da preparação de cariótipos.



## Cientistas criam droga que “altera” DNA e inibe evolução do câncer

Cientistas da Universidade de Brasília desenvolveram uma droga capaz de alterar a estrutura do DNA e assim evitar a multiplicação de células com câncer. A pesquisa começou há quatro anos, e o grupo aguarda atualmente a liberação de R\$ 170 mil para prosseguir com o estudo. A expectativa é de que o remédio já esteja no mercado daqui a 12 anos.

De acordo com os pesquisadores, a descoberta partiu da ideia de enxergar o nucleossomo – unidade da cromatina, que compacta o DNA dentro da célula – como alvo terapêutico. O medicamento atua conectado a ele, modulando a abertura e fechamento das fitas de informação genética. Assim, ele interfere na interação entre o DNA e proteínas, podendo “barrar” o que não é desejado, como o câncer.

A tecnologia não impede o surgimento da doença, mas evita que células com informações genéticas não desejadas se reproduzam. “No câncer, por exemplo, temos uma alta proliferação celular, e isso acontece porque a expressão de vários genes está desregulada na célula. Se regulamos essa disfunção, tratamos o câncer”, explica a biomédica e doutoranda em patologia molecular Isabel Torres.

“Não esperamos que esta nova classe de drogas cure a doença, mas, sem dúvida, ela representa uma esperança aos pacientes que não respondem a terapias tradicionais. A ideia é associar estas novas moléculas a outras drogas disponíveis no mercado para obtenção de uma melhor resposta clínica”, completa.

Orientador da pesquisa, o professor e médico Guilherme Santos afirma acreditar que o procedimento possa ser utilizado contra vários tipos de câncer, como o glioblastoma (no cérebro), o melanoma (na pele), além de doenças hormonais e obesidade. Os primeiros resultados do trabalho foram publicados na revista *Trends in Pharmacological Sciences – Cell* [...].

A próxima etapa envolve testes em camundongos e ainda não tem data para acontecer por falta de recursos. Para recrutar investidores enquanto esperam dinheiro de fundos de pesquisa, os cientistas criaram a *startup* Nucleosantos Therapeutics. A ideia é que ela

MORAIS, Raquel. Cientistas criam droga que “altera” DNA e inibe evolução do câncer. G1 – Distrito Federal. Disponível em: <<http://g1.globo.com/distrito-federal/noticia/2015/08/cientistas-criam-droga-que-altera-dna-e-inibe-evolucao-do-cancer.html>>. Acesso em: 21 mar. 2016.



Estudantes que participam do projeto da Universidade de Brasília.

descubra e desenvolva mais moléculas que possam se ligar a nucleossomos.

Isabel afirma que a nova tecnologia surge como alternativa para pacientes que perderam as esperanças nos tratamentos convencionais. “Como cientista, acreditamos que esta estratégia inovadora terá um grande impacto na forma de observar o funcionamento celular e com isto poder intervir precisamente em distúrbios celulares. É incrível observar que poderemos modular diretamente a expressão gênica e, conseqüentemente, o conteúdo proteico das células.”

### Etapas

A pesquisa foi dividida basicamente em quatro etapas: desenho e simulações das potenciais drogas; experimentos que demonstrem a interferência nas interações feitas pelo DNA; experimentos em animais; e testes em seres humanos. Os cientistas já gastaram R\$ 70 mil, de financiamento do governo federal, além de aproveitar parte do material usado na pesquisa de Santos no pós-doutorado na Inglaterra – avaliado em R\$ 60 mil.

Ainda não há definição sobre o formato do novo medicamento, mas a equipe estuda testá-la tanto via oral quanto injetável. “Precisamos de financiamento para podermos avançar nesta pesquisa. Seria ótimo podermos contar com dinheiro de doações de empresas e pessoas ricas – milionários com ações filantrópicas –, a exemplo do que ocorre em outras grandes universidades, como Harvard e Cambridge”, diz a biomédica.

### PARA DISCUTIR

1. De acordo com o texto, como a técnica criada pelos cientistas da Universidade de Brasília poderia tratar casos de câncer?
2. A próxima etapa do projeto é fazer testes em camundongos. Qual a sua opinião sobre o uso de animais em pesquisas sobre medicamentos para tratamento de doenças que acometem o ser humano?
3. Para conseguir investidores, os cientistas criaram uma *startup*. Você sabe o que é uma *startup* e como esse tipo de empresa pode colaborar para conseguir investidores?

## 10

## Divisão celular

O QUE VOCÊ  
VAI ESTUDAR

O ciclo de vida da célula.

A divisão celular por mitose e por meiose.

Morte celular.



SP/Latinstock

Célula da planta *Endymion* sp., em que pode ser observada uma etapa da divisão celular: a anáfase da mitose, assunto abordado neste capítulo. (Foto ao microscópio de luz; uso de corantes; aumento de cerca de 1 300 vezes.)

Em 1858, o médico polonês Rudolf Virchow, apoiando-se na teoria celular e na teoria da biogênese, afirmou que todas as células existentes em dado momento provêm de outras. Isso significa que as células possuem a capacidade de se dividir, isto é, de dar origem a outras células.

No processo mais comum de divisão celular, denominado mitose, a célula original, ou célula-mãe, gera duas células-filhas, cada uma delas com uma cópia idêntica do material genético da célula original. Ou seja, as células originadas por mitose têm a mesma ploidia da célula-mãe: células diploides ( $2n$ ) originam células diploides, e células haploides ( $n$ ) originam células haploides. Entretanto, uma célula também pode se dividir por meiose, um tipo de divisão no qual as células-filhas têm metade do material genético da célula-mãe. Ou seja, na divisão por meiose, células diploides ( $2n$ ) dão origem a células haploides ( $n$ ).

Nos seres unicelulares, a divisão celular é responsável pela reprodução assexuada do organismo. Nos multicelulares, entretanto, a divisão celular está associada também a outras funções, tais como o crescimento corporal, a reposição de células mortas e a produção de gametas. Um ser humano adulto pode, por exemplo, ser constituído por  $10^{12}$  células, todas originadas da divisão de uma única célula original, o zigoto. Além disso, cópias do material genético do zigoto estarão presentes nas células do organismo adulto.

Talvez mais impressionante que o número em si seja o controle que os seres vivos têm sobre a quantidade de células proveniente dessas divisões. A divisão celular ocorre de maneira regulada; do contrário, o crescimento corporal e a reposição de tecidos seriam desordenados, colocando em risco a sobrevivência do organismo.

# O ciclo celular

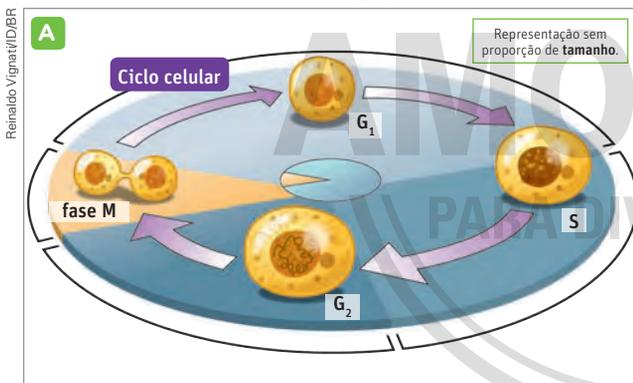
A célula possui um ciclo de vida denominado **ciclo celular**, que compreende sua origem, seu crescimento e seu desenvolvimento, até a reprodução.

O ciclo celular completo pode durar algumas horas ou muitos anos, dependendo do tipo de célula e de suas características fisiológicas. Em um embrião em desenvolvimento, as mitoses ocorrem sucessivamente, enquanto no adulto há grande variação: células do revestimento do esôfago, por exemplo, completam seu ciclo celular em aproximadamente uma semana, mas, no revestimento estomacal e intestinal, o ciclo pode ser de 24 horas.

Algumas células, após a divisão, entram em um período denominado **quiescência** e raramente voltam a se dividir. É o caso de células que sofreram um processo de especialização ou diferenciação muito acentuado, como os neurônios e as fibras musculares estriadas.

## As fases do ciclo

Qualquer que seja sua duração, o ciclo celular é dividido em duas etapas: a interfase, ou fase de crescimento, e a fase M, em que ocorre a divisão celular (imagem A).



Esquema das etapas do ciclo celular. As etapas em fundo azul representam os períodos da interfase. A etapa em fundo laranja representa a fase M. Cores-fantasia.

## Interfase

**Interfase** é o período entre duas divisões sucessivas. Trata-se da fase de maior duração do ciclo celular. Nessa fase, a célula aumenta de tamanho e produz todas as substâncias necessárias para o processo de divisão e manutenção das demais atividades. É também na interfase que as células cumprem suas funções orgânicas.

O núcleo da célula interfásica mostra contornos nítidos devido à presença da carioteca (imagem B). Os cromossomos, porém, não são visíveis, pois se encontram descondensados, o que permite processos como a síntese de ácidos nucleicos e proteínas. A interfase pode ser subdividida em três subfases, ou períodos.

- **Período G<sub>1</sub>**: essa denominação vem de *gap*, palavra inglesa que significa “intervalo”. Nesse período ocorre

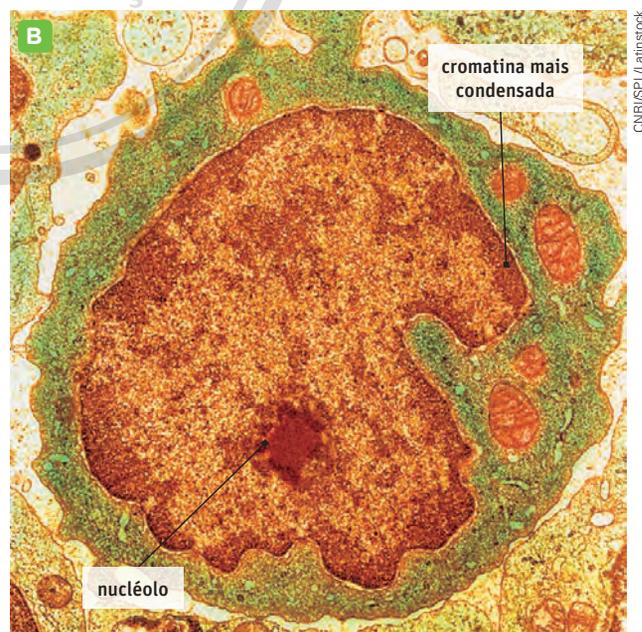
intensa síntese de proteínas, necessárias não só para o aumento de tamanho da célula, mas também para a realização de suas funções orgânicas. Nas células quiescentes, esse período torna-se predominante e recebe o nome de G<sub>0</sub>.

- **Período S**: do inglês *synthesis*, que significa “síntese”. É nesse período que ocorrem a síntese do DNA para a duplicação dos cromossomos e também a duplicação dos centrômeros. Ao final dessa fase, cada cromossomo está formado por duas cromátides-irmãs, que permanecem unidas pelo centrômero. Devido à duplicação dos cromossomos, a quantidade de DNA no núcleo celular dobra.
- **Período G<sub>2</sub>**: a síntese de proteína continua nesse período, mais curto que o G<sub>1</sub>. O início da condensação dos cromossomos marca o fim da fase G<sub>2</sub> e o início da fase M.

## Fase M

A fase M (de “mitose”) ocupa relativamente pouco tempo do ciclo celular. A duplicação do material genético na interfase resulta na formação de cromossomos constituídos, cada um, por duas **cromátides**. Durante a fase M, essas cromátides se separam e cada uma se destina a uma das células-filhas.

Ainda que raramente, podem ocorrer erros na fase M que se refletem em diferenças na quantidade de material genético recebido pelas células-filhas.



Núcleo de linfócito humano em interfase. Note que os cromossomos não são visíveis individualmente. A cromatina aparece mais condensada na periferia do núcleo celular e intensamente corada na região do nucléolo. (Foto ao microscópio eletrônico de transmissão; imagem colorizada; aumento de cerca de 8 600 vezes.)

## Mitose

Nesse processo de divisão celular, uma célula – frequentemente denominada célula-mãe – se divide, originando duas células-filhas com a mesma quantidade de DNA presente na célula-mãe.

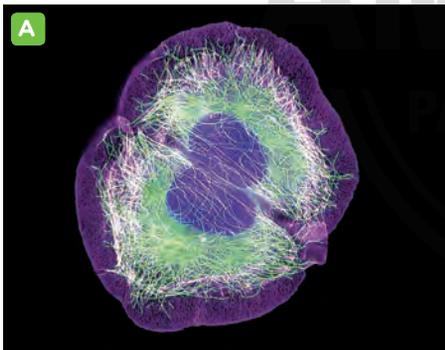
Uma vez que a principal característica da mitose é a manutenção da quantidade de DNA e da informação genética original, ela é chamada também de **divisão equacional**, sendo representada pelo símbolo **E!**.

Todas as células que compõem o corpo de um organismo multicelular surgem das sucessivas divisões a partir de uma célula original – o zigoto, nos organismos diploides, ou o esporo, nos haploides. A mitose é, portanto, responsável pelo crescimento corporal desses organismos. Isso não significa que na fase adulta, quando o crescimento é interrompido ou desacelerado, as mitoses cessem. A multiplicação contínua de células garante a reposição de tecidos que envelhecem naturalmente ou a regeneração de partes do corpo eventualmente lesadas.

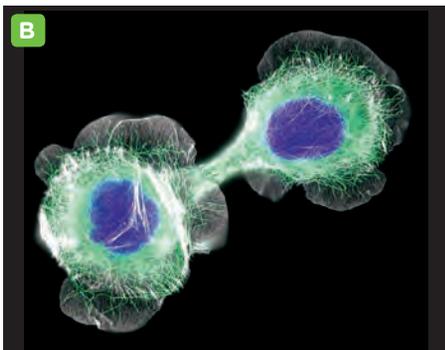
### As fases da mitose

A divisão celular é um processo contínuo que envolve inúmeras transformações no núcleo celular e no citoplasma. Para facilitar sua descrição e estudo, ela é separada em duas etapas, cada uma delas caracterizada por eventos significativos.

A **cariocinese** (do grego *karyon*, “núcleo”, e *kinetos*, “movimento”), ou mitose propriamente dita, corresponde à divisão do núcleo celular em dois núcleos-filhos (imagem A). Em seguida, ocorre a **citocinese**, ou separação do citoplasma, com a consequente formação das células-filhas (imagem B).



Célula de pele em divisão celular. A região em azul corresponde ao núcleo celular e os fios verdes são microtúbulos, estruturas envolvidas na divisão celular. (Foto ao microscópio de fluorescência; imagem colorizada; aumento de cerca de 580 vezes.)



Célula de pele humana ao final da divisão celular (citocinese). As regiões em azul correspondem ao núcleo celular, e os fios verdes são os microtúbulos. (Foto ao microscópio de fluorescência; imagem colorizada; aumento de cerca de 490 vezes.)

### Cariocinese

Devido à complexidade dos fenômenos envolvidos na separação das cromátides-irmãs e à migração destas para os núcleos-filhos, divide-se a cariocinese em quatro fases: **prófase**, **metáfase**, **anáfase** e **telófase**.

### SAIBA MAIS

#### Tumores benignos e tumores malignos

As células normais do corpo vivem, dividem-se e morrem de forma controlada. Entretanto, em certas circunstâncias, algumas células se dividem de modo descontrolado e anormal, originando células-filhas que se agrupam e formam um tumor.

Os tumores benignos quase sempre são envolvidos por uma camada que impede que as células tumorais se espalhem e invadam tecidos vizinhos. Esse tipo de tumor pode ou não causar problemas ao organismo. O tratamento é muito variável, dependendo da natureza do tumor, dos prejuízos que causa e da análise entre benefícios e riscos que uma intervenção representa para o paciente.

As células que compõem os tumores malignos perdem as características próprias do tecido ao qual pertencem, tornando-se indiferenciadas. Tais células se dividem rapidamente e possuem a capacidade de invadir órgãos próximos e espalhar-se para outras regiões do corpo através da corrente sanguínea, processo conhecido como metástase. Tumores malignos recebem o nome de “câncer”.

Ao todo, existem mais de 100 tipos diferentes de câncer. Os tratamentos são variados e incluem cirurgias, aplicação de doses de radiação ou administração de medicamentos específicos para combater as células tumorais.

### ATIVIDADES

1. É possível afirmar que a mitose foi o processo de reprodução realizado pelos seres vivos primitivos? Justifique.

## Prófase

Durante a interfase (imagem A), os cromossomos estão desespiralizados e dispersos no interior do núcleo celular, formando a cromatina.

A prófase (do grego *pro*, “antes de”; imagens B e C) é caracterizada por três eventos: condensação dos cromossomos e início da formação do fuso mitótico; migração dos centríolos, cada um com dois centríolos; e desintegração da carioteca.

Cada cromossomo duplicado é formado por duas cromátides, que resultam da duplicação do DNA ocorrida na fase S da interfase. Como efeito do processo de condensação, os filamentos cromossômicos diminuem em comprimento e aumentam em diâmetro, tornando-se individualizados e visíveis ao microscópio de luz. Nessa etapa, a síntese de proteínas é interrompida e os nucléolos não são mais visíveis.

As cromátides permanecem unidas pelo centrômero, onde se formam os **cinetócoros**, estruturas proteicas em forma de calota que desempenham importante papel no deslocamento dos cromossomos. O cinetócoro de cada cromátide está orientado para a direção oposta à do cinetócoro da cromátide-irmã (imagem D).

Os centríolos (abordados no capítulo 6), que se duplicaram na fase S da interfase, começam a se separar e migram para polos opostos da célula. Os centríolos, quando presentes, acompanham esse movimento.

Nas células animais, ao redor de cada centríolo forma-se o **âster**, um sistema de microtúbulos que se propagam em todas as direções.

À medida que os âsteres se afastam, as fibras mais longas dos microtúbulos se estendem de um polo a outro da célula, formando o **fuso mitótico** (imagem B). A função do fuso mitótico é orientar e tracionar os cromossomos em direção aos polos da célula.

O final da prófase é marcado pelo total desaparecimento da carioteca: o nucleoplasma se mistura ao citosol, e os cromossomos, agora, permanecem dispersos no citoplasma.

## Metáfase

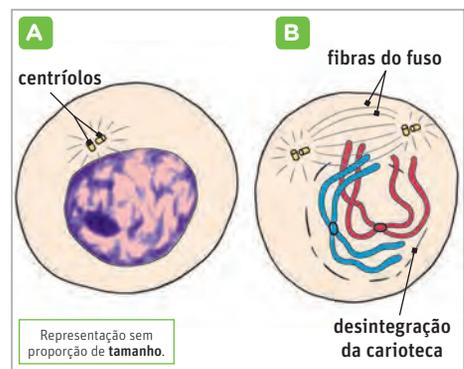
Na metáfase (do grego *meta*, “meio”), os cromossomos posicionam-se na região intermediária entre os dois centríolos, ou seja, no “equador” da célula (imagens E e F).

O fuso mitótico está formado e se estende entre os dois polos da célula. Alguns microtúbulos se estendem de um polo a outro da célula; outros unem-se aos microtúbulos dos cinetócoros e empurram os cromossomos lentamente até o plano mediano entre os dois centríolos (região equatorial da célula). Os cromossomos assim alinhados formam um plano imaginário chamado de **placa metafásica**.

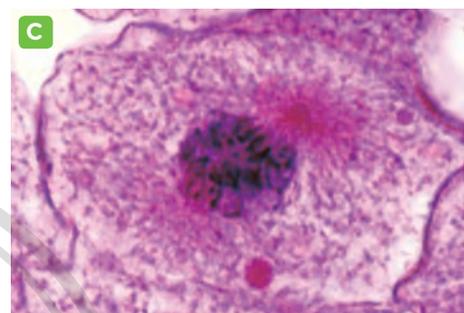
Os cromossomos orientam-se de modo que cada cromátide fique voltada para um dos polos da célula. O final da metáfase é caracterizado pela duplicação e separação dos centrômeros, que mantinham unidas as cromátides-irmãs.

(E) Esquema representando uma célula em metáfase. Cores-fantasia. (F) Célula de peixe durante a metáfase. (Foto ao microscópio de luz; uso de corantes; aumento de cerca de 900 vezes.)

Fonte de pesquisa das imagens desta página:  
REECE, J. B. et al. *Campbell Biology*. 10. ed. [S.l.]: Pearson, 2014. p. 236-238.

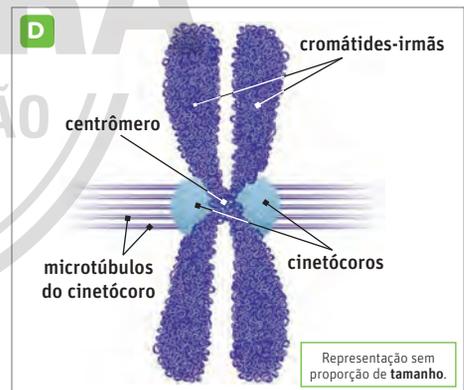


Roberto Higer/D/BR



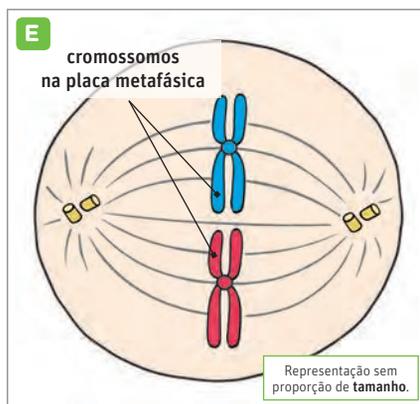
Michael Abbey/Photo researchers/Latinstock

(A) Esquema de célula em interfase. (B) Esquema de célula em prófase. Cores-fantasia. (C) Célula de peixe em prófase. (Foto ao microscópio de luz; uso de corantes; aumento de cerca de 225 vezes.)

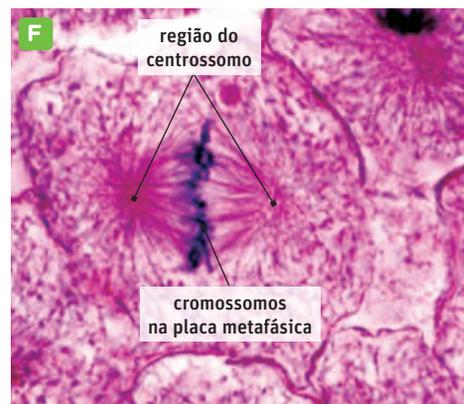


Paulo César Pereira/D/BR

Esquema de um cromossomo metafásico. Cores-fantasia.



Roberto Higer/D/BR



Michael Abbey/Photo researchers/Latinstock

## Anáfase

Na anáfase (do grego *ana*, “de novo”), ocorre a separação das cromátides-irmãs e a migração destas para os polos opostos da célula. Cada novo núcleo receberá uma das cromátides-irmãs, formando um conjunto de cromossomos igual ao existente na célula-mãe.

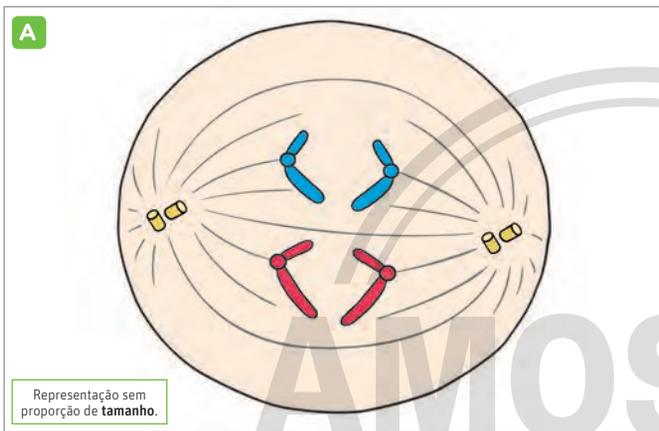
O movimento de separação das cromátides-irmãs inicia-se pelo centrômero. Esse processo ocorre em todos os cromossomos da placa metafásica (imagens **A** e **B**).

Uma vez que as fibras do fuso mitótico estão unidas às do cinetócoro, os cromossomos arrastados formam uma figura característica em forma de **V** (ou **L**, caso o cromossomo seja submetacêntrico), com o vértice voltado para o polo celular.

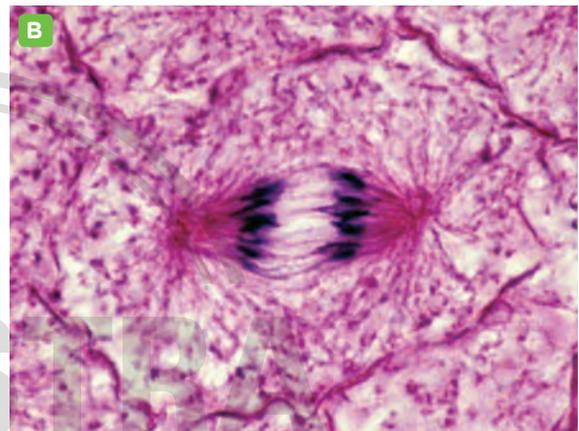
A anáfase chega ao final quando os cromossomos se posicionam nos polos da célula.

## ATIVIDADES

2. Esquematize em seu caderno uma célula  $2n = 6$  em anáfase na qual, em um dos pares de cromossomos, não ocorreu a duplicação do centrômero.



Roberto Higa/ID/BR



Michael Abbey/Photo researchers/Latinstock

## Telófase

A **telófase** (do grego *telos*, “fim”), que marca o final da mitose, é caracterizada pela descondensação dos cromossomos e formação dos novos envoltórios nucleares (imagens **C** e **D**).

Os cromossomos se desenrolam em um processo que se assemelha ao inverso da prófase. Com a descondensação, os cromossomos deixam de ser visíveis ao microscópio de luz, e os nucléolos reaparecem.

A cromatina em descondensação agrupa-se nas proximidades das cisternas do retículo endoplasmático. Em cada polo da célula, as membranas dessas cisternas se fundem, originando a carioteca ao redor da cromatina. A reorganização dos nucléolos ocorre ao final da telófase.

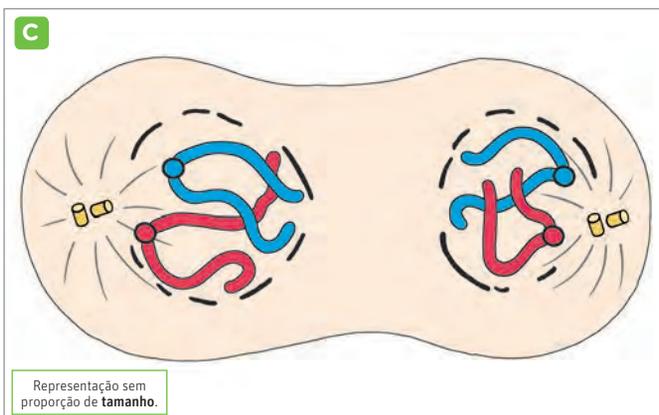
(A) Esquema da anáfase. Cores-fantasia.

(B) Célula de peixe durante a anáfase. (Foto ao microscópio de luz; uso de corantes; aumento de cerca de 225 vezes.)

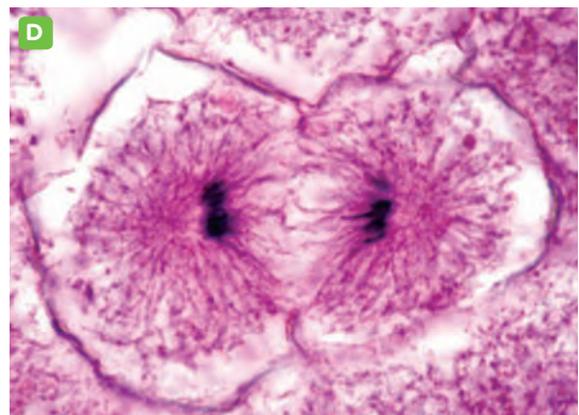
Fonte de pesquisa das imagens das páginas 144 e 145: REECE, J. B. et al. *Campbell Biology*. 10. ed. [S.l.]: Pearson, 2014. p. 237 e 240.

(C) Esquema da telófase. Cores-fantasia.

(D) Célula de peixe durante a telófase. (Foto ao microscópio de luz; uso de corantes; aumento de cerca de 225 vezes.)



Roberto Higa/ID/BR



Michael Abbey/Photo researchers/Latinstock

## Citocinese

Após a separação do material genético (cariorinese), tem lugar a **citocinese**, a separação do material citoplasmático, para que haja, efetivamente, a formação de duas células-filhas. A citocinese divide tanto o citosol quanto as organelas celulares, em partes aproximadamente iguais, entre as células recém-formadas.

Devido às diferenças estruturais entre as células animais e as células vegetais, a citocinese apresenta variações nas células desses dois tipos de organismo.

### Citocinese em células animais

As células animais são desprovidas de parede celular; portanto, seus envoltórios são dotados de maior flexibilidade. Nessas células, a citocinese ocorre a partir de um estrangulamento que se forma na região equatorial da célula. Na altura da placa metafásica, internamente à membrana plasmática e contornando todo o perímetro celular, surge um anel formado por filamentos de proteínas contráteis – a actina e a miosina – denominado **anel contrátil** (imagens A e B).

Durante a citocinese, os filamentos encurtam e o anel contrátil diminui progressivamente de diâmetro até haver a separação completa das duas células-filhas.

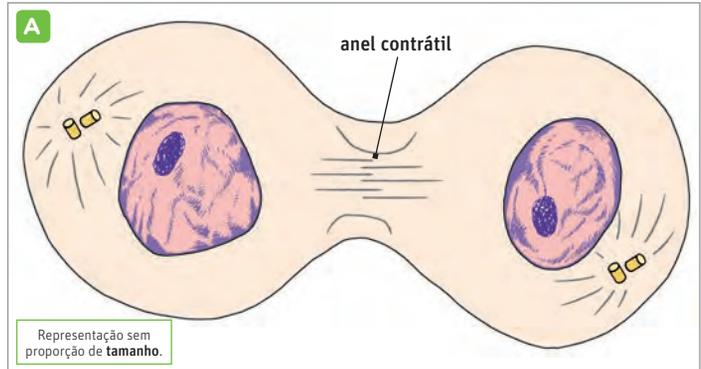
Como o movimento de separação do citoplasma se faz da região periférica da célula em direção ao seu interior, esse mecanismo de clivagem é também chamado de **citocinese centrípeta**.

### Citocinese em células vegetais

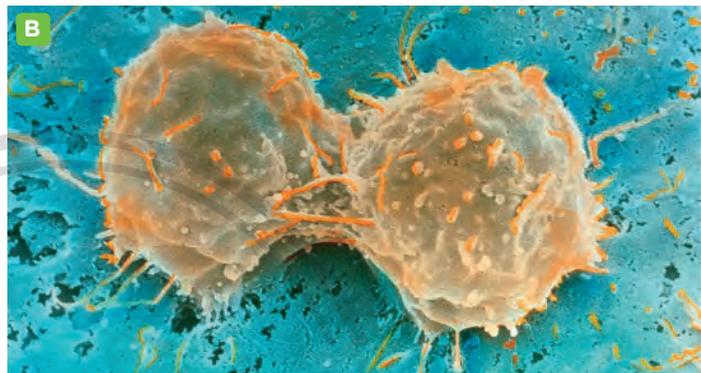
As células vegetais são dotadas de parede celular, um envoltório que confere certa rigidez à célula. Nelas, portanto, não ocorre o estrangulamento no citoplasma. Em vez disso, na região da placa metafásica surge um septo denominado **placa celular**, formado da fusão de vesículas do complexo golgiense (imagens C e D).

A placa celular contém as substâncias que formam a **lamela média**, um tipo de base para a formação da parede celular. Essa parede é criada pelas células-filhas a partir da deposição de novas camadas de celulose e pectina em ambos os lados da lamela. A placa celular não forma uma parede contínua, pois ela é transpassada por delgadas pontes citoplasmáticas, os **plasmodesmos**, que permitem o trânsito de substâncias entre as células vizinhas.

Como o movimento de separação do citoplasma se faz do interior da célula em direção à região periférica, esse mecanismo de clivagem é também chamado de **citocinese centrífuga**.

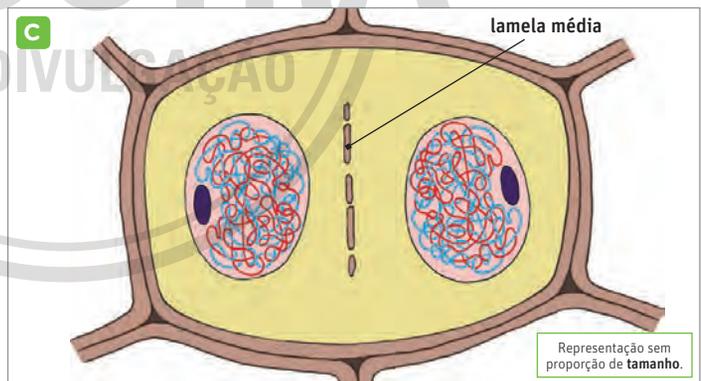


Roberto Higa/ID/BR



Prof. P. Motta & D. Palermo/SPL/Latinstock

(A) Esquema da citocinese mostrando a formação do anel contrátil. Cores-fantasia. (B) Micrografia mostrando a citocinese em célula animal. (Foto ao microscópio eletrônico de varredura; imagem colorizada; aumento de cerca de 1 900 vezes.)



Roberto Higa/ID/BR



Kent Wood/PR/Latinstock

(C) Esquema representando a formação da placa celular em célula vegetal. Cores-fantasia. (D) Formação da placa celular (seta) em célula vegetal. (Foto ao microscópio de luz; uso de corantes; aumento de cerca de 2 mil vezes.)

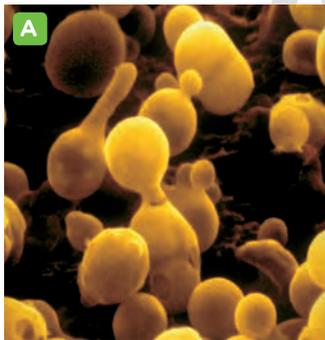
## A diversidade da mitose

Em certos organismos, a mitose apresenta peculiaridades e algumas variações em relação ao processo geral até agora estudado. Elas podem representar adaptações que possibilitam a formação de um grande número de descendentes a partir de uma única célula ou ocorrem em função de diferenças na estrutura da célula, como nas plantas, que possuem a parede celular. Vejamos algumas dessas peculiaridades.

### Gemulação

Nesse processo, a repartição do citoplasma entre as células-filhas ocorre de maneira desigual, originando células de tamanhos diferentes. A célula-filha menor pode separar-se ou permanecer aderida à célula maior e dividir-se novamente, originando uma série de células pequenas. Assim, desse processo resulta um maior número de células-filhas.

A gemulação é um processo de multiplicação comum em alguns fungos unicelulares, como as leveduras utilizadas para fermentar o pão (*Saccharomyces cerevisiae*; imagem A).



Kenneth Eward/BioGrafx/PPRI/Lainstock

O fungo unicelular *Saccharomyces cerevisiae* multiplica-se por gemulação. (Foto ao microscópio eletrônico de varredura; imagem colorizada; aumento de cerca de 3 300 vezes.)

### Divisão múltipla

Na divisão múltipla, também conhecida como **esporulação**, o núcleo da célula divide-se várias vezes (cariocinese) sem que ocorra a divisão do citoplasma (citocinese). O resultado é a formação de uma célula multinucleada. Após determinado número de divisões, forma-se, em volta de cada núcleo, uma membrana plasmática que delimita certa porção de citoplasma. A membrana plasmática da célula-mãe se rompe, liberando uma grande quantidade de células-filhas.

Esse processo é frequente em fungos, que em algum momento de seus ciclos vitais se reproduzem por intermédio de células denominadas **esporos**. Leves e

resistentes, os esporos facilitam a dispersão desses organismos.

A divisão múltipla pode ser também uma especialização de parasitas que se multiplicam no interior de células hospedeiras. É o caso do *Plasmodium* sp., o protozoário causador da malária.

### Mitose em células vegetais

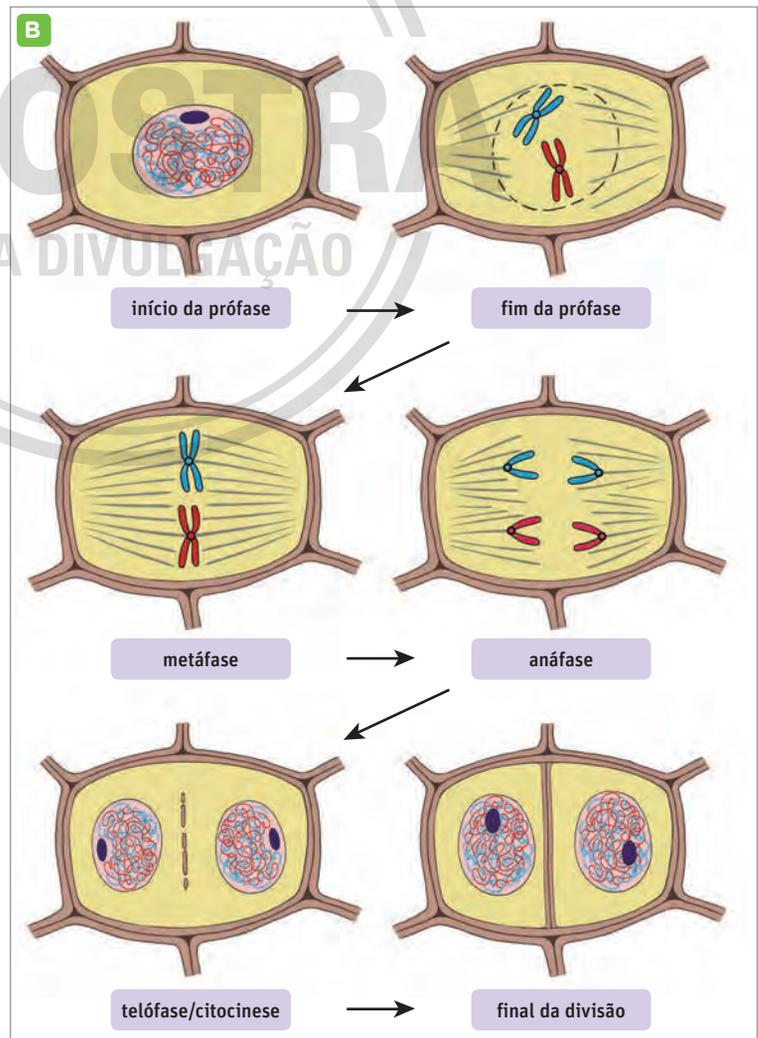
Em linhas gerais, a mitose nas células vegetais segue o mesmo padrão descrito para as células animais.

Uma diferença importante é a **ausência de centríolos** nas células da maioria das espécies vegetais. Nessas células, as fibras do fuso mitótico se organizam a partir do material amorfo do centrossomo. Também não ocorre formação do âster. Diz-se, portanto, que a mitose nas células vegetais é **anastral e acêntrica** (imagem B).

Representação sem proporção de tamanho.

Fonte de pesquisa: REECE, J. B. et al. *Campbell Biology*. 10. ed. [S.l.]: Pearson, 2014. p. 241.

Esquema de mitose em célula vegetal. Cores-fantasia.

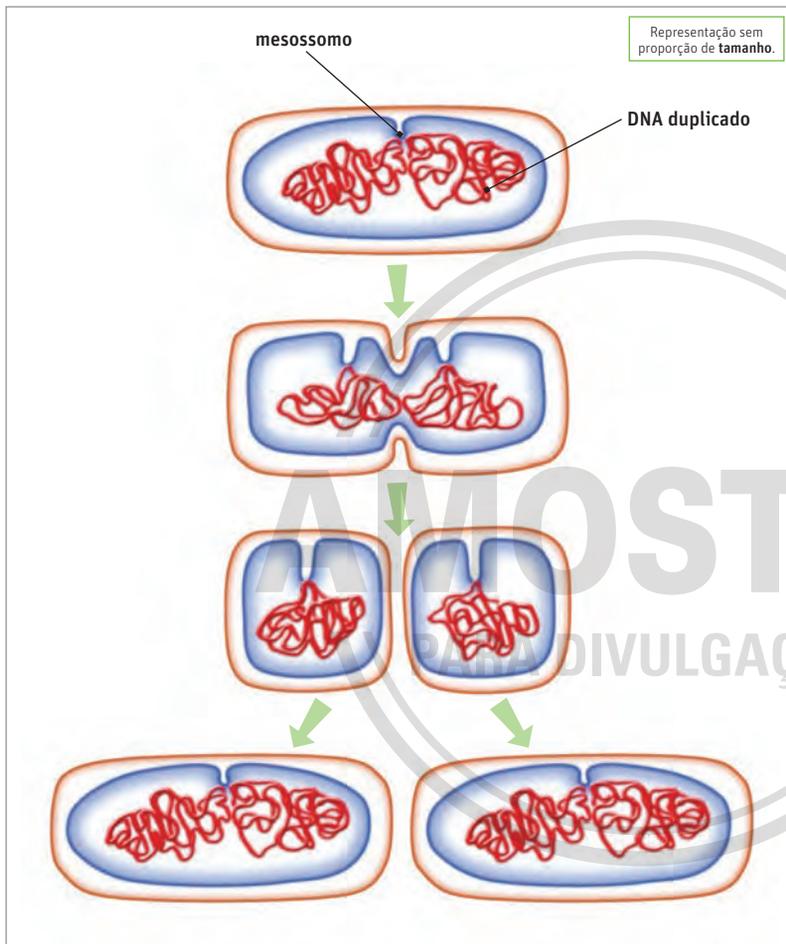


Roberto Higa/DBR

## Divisão celular em bactérias

A divisão celular em bactérias (seres unicelulares com um único cromossomo) é muito rápida. Em condições ideais, o ciclo celular bacteriano pode levar cerca de apenas 20 minutos.

Nesse processo, após a duplicação do DNA, os dois cromossomos se separam e, na região correspondente ao mesossomo (conceito apresentado no capítulo 6), inicia-se a formação de um estrangulamento, que divide a célula em duas partes iguais, cada uma com um cromossomo. Veja a imagem a seguir.



Esquema que representa uma bactéria em divisão. Cores-fantasia.

Fonte de pesquisa: REECE, J. B. et al. *Campbell Biology*. 10. ed. [S.l.]: Pearson, 2014. p. 241.

A divisão celular bacteriana é distinta da mitose e ocorre sem a participação das fibras do fuso e sem o deslocamento dos cromossomos, não formando as figuras típicas das fases da mitose eucariótica. Em seres unicelulares, a divisão celular leva à reprodução do organismo e é frequentemente chamada de **cissiparidade**, ou bipartição.

Além do DNA cromossômico, as bactérias apresentam material genético nos plasmídios – anéis circulares de DNA, de tamanho variável. Os plasmídios sofrem duplicação utilizando-se das mesmas enzimas que promovem a duplicação do DNA cromossômico, mas de maneira independente. Assim, podem existir inúmeras cópias de um único plasmídio. Quando a bactéria se divide, cada célula-filha recebe ao menos uma cópia de cada plasmídio.

Não escreva no livro.

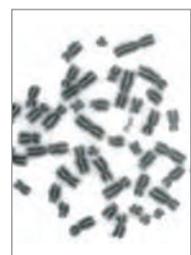
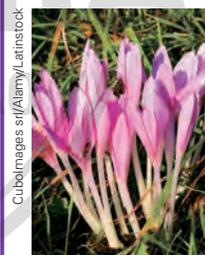
## FERRAMENTAS DA CIÊNCIA

### A colchicina como bloqueadora da mitose

A colchicina é uma substância altamente tóxica extraída de plantas do gênero *Colchicum*, nativas da Europa e conhecidas popularmente como cólquico, açafraão-do-prado ou narciso-de-outono.

Há mais de 2 mil anos, a colchicina é usada em quantidades mínimas no tratamento de crises agudas de gota e em alguns tipos de artrite. Sua ação inibe a inflamação nas articulações, reduzindo a dor.

A colchicina é um potente antimitótico que inibe a divisão celular. Ela se liga aos microtúbulos e impede a formação do fuso mitótico (veja o item “Prófase”, na página seguinte). Por esse motivo, é largamente utilizada no estudo de cromossomos e de atividades celulares. Na presença de colchicina, o processo da divisão celular é interrompido durante a metáfase, a fase de maior condensação cromossômica, facilitando muito a visualização e o estudo dos cromossomos.



À esquerda, flores de *Colchicum autumnale* (cerca de 30 cm de altura). À direita, aspecto dos cromossomos de uma célula exposta a colchicina. Os cromossomos, altamente condensados, são facilmente observados na metáfase. (Foto ao microscópio de luz; uso de corantes.)

## ATIVIDADES

3. Tanto células procarióticas quanto células eucarióticas passam por processos de divisão celular. No entanto, esse processo recebe denominações diferentes caso o organismo seja pluricelular, unicelular eucariótico ou unicelular procariótico. Como se justificam essas diferentes denominações?

## Meiose

Em determinadas situações, a célula-mãe, ao se dividir, forma novas células com metade do número original de cromossomos (imagem A). Esse tipo de divisão é denominado **meiose** (do grego *meiōsis*, “diminuição”). Por originar células com metade do número de cromossomos da célula-mãe, a meiose é também denominada **divisão reducional** e representada pelo símbolo **R!**.

A redução no número de cromossomos é obtida por duas divisões celulares sucessivas, sem que entre elas ocorra nova duplicação do material genético da célula. Portanto, o resultado da meiose é a formação de quatro células haploides ( $n$ ) a partir de uma célula diploide ( $2n$ ).

Além da redução do número de cromossomos, durante a meiose pode ocorrer o fenômeno da **permutação**, ou troca de material hereditário, entre as cromátides-irmãs de cromossomos homólogos. Dessa troca resulta a **recombinação**, ou seja, os cromossomos formados apresentam um conjunto de alelos diferente do conjunto de alelos da célula-mãe.

Em resumo, a meiose origina células que diferem na quantidade e, muitas vezes, na composição do material genético, quando comparadas à célula-mãe.

## Meiose e fecundação

Na reprodução sexuada ocorre a **fecundação**, ou seja, a fusão dos gametas masculino e feminino, com a consequente produção de um zigoto. O zigoto contém cromossomos paternos e maternos e, portanto, possui o dobro do número de cromossomos que existe nos gametas.

Caso o indivíduo formado a partir desse zigoto produzisse gametas por meio de divisão celular equacional (mitose), a geração seguinte teria o dobro do número de cromossomos dos pais.

Exemplificando: se um organismo diploide ( $2n$ ) produzisse gametas diploides ( $2n$ ), a fecundação produziria um indivíduo tetraploide (gameta ♀  $2n$  + gameta ♂  $2n$  = zigoto  $4n$ ). Desse modo, a meiose garante a manutenção, ao longo das gerações, do número de cromossomos característico da espécie nos seres vivos que apresentam reprodução sexuada.

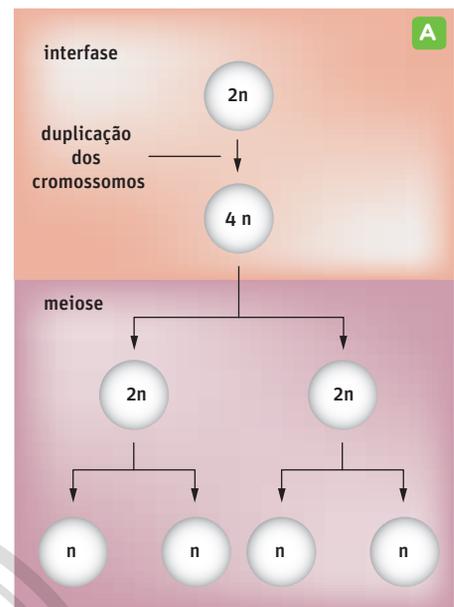
## Meiose e ciclos biológicos

A meiose pode ocorrer em diferentes momentos, dependendo do ciclo de vida do organismo.

Nos animais e em algumas algas, a meiose ocorre na formação dos gametas, que, ao se unirem, formam um zigoto diploide. Este se desenvolve e origina um indivíduo adulto também diploide. Os seres humanos pertencem a essa categoria de organismos.

Muitos fungos e alguns protozoários e algas são haploides na fase adulta. Nesses organismos, as células reprodutoras formam-se por mitose, e a fecundação produz um zigoto diploide. Logo após a fecundação, ele sofre meiose, originando quatro células haploides que se desenvolvem, cada uma, em organismos adultos haploides.

Alguns seres vivos, como as plantas, apresentam uma geração haploide alternada com uma geração diploide. O organismo diploide origina células reprodutoras haploides, os **esporos** (imagem B). Estes se desenvolvem em indivíduos haploides que produzem gametas por mitose. A união dos gametas origina o zigoto, que se desenvolve formando um novo organismo diploide.

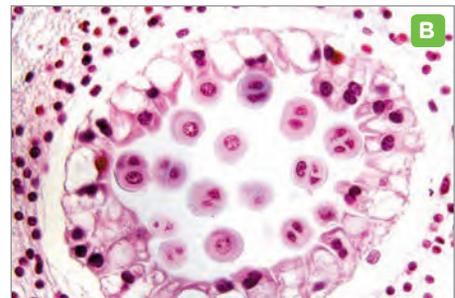


Esquema da meiose: duas divisões celulares consecutivas resultam em quatro células com metade do número de cromossomos da célula-mãe. Cores-fantasia.

### ATIVIDADES

4. A meiose é um dos processos que proporcionam a variabilidade genética, ou seja, que os descendentes sejam diferentes de seus pais.

Em sua opinião, é importante que essa variabilidade exista? Justifique sua resposta.



Antera de um lírio em corte mostrando, no centro da imagem, algumas células diploides em processo de divisão por meiose. (Foto ao microscópio de luz; uso de corantes; aumento de cerca de 40 vezes.)

## Etapas da meiose

Para facilitar o estudo, a meiose é dividida em etapas marcadas por eventos característicos. Em linhas gerais, ela consiste em duas divisões celulares consecutivas, a **meiose I** e a **meiose II**, cada uma subdividida em etapas similares às da mitose. Na interfase que precede a meiose I, há a duplicação dos cromossomos. Ao final da interfase, cada cromossomo é formado por duas cromátides-irmãs, unidas pelo centrômero.

### Meiose I

Nessa primeira divisão meiótica, os cromossomos homólogos duplicados formam pares e pode ocorrer a **permutação**, isto é, a troca de pedaços entre as cromátides de cromossomos homólogos (imagem D). Esses fenômenos ocorrem durante a **prófase I**. Ao final da meiose I, ocorre a separação dos cromossomos homólogos (veja esse conceito na página 136).

#### Prófase I

Devido à complexidade e importância dos fenômenos envolvidos na permutação, a prófase I é subdividida em cinco subfases: **leptóteno**, **zigoteno**, **paquíteno**, **diplóteno** e **diacinese**. As imagens A, B e C mostram, esquematicamente, a movimentação dos cromossomos de uma célula  $2n = 2$ .

#### Leptóteno

O nome origina-se do grego *leptos*, que significa “fino” ou “estreito”. Nessa etapa, os cromossomos se condensam e tornam-se visíveis ao microscópio de luz, apresentando o aspecto de fios alongados e delgados. Cada cromossomo, embora formado por duas cromátides-irmãs, aparece como um único filamento, pois as duas cromátides encontram-se estreitamente unidas (imagem A).

#### Zigoteno

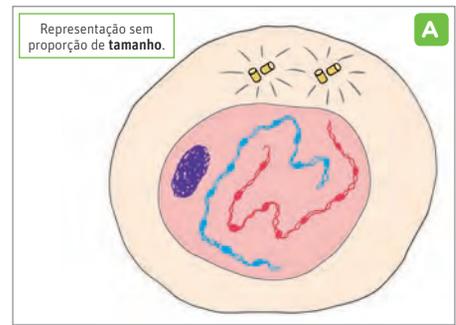
Nesta subfase, os cromossomos homólogos se aproximam uns dos outros até ficarem perfeitamente alinhados no sentido do comprimento. Esse emparelhamento é denominado sinapse e se mantém devido a uma estrutura proteica que surge entre os cromossomos. O nome dessa fase origina-se do grego *zugon*, que significa “o que une dois objetos” (imagem B).

#### Paquíteno

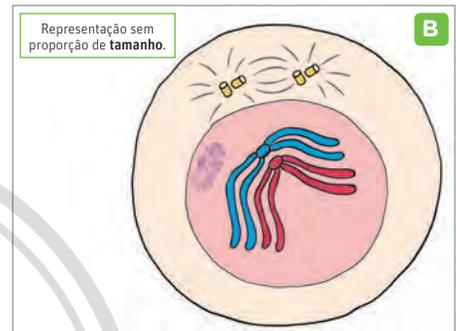
O nome deriva do grego *pakhus*, que significa “espesso”. O emparelhamento dos homólogos resulta na formação de uma figura constituída por quatro cromátides, denominadas **tétrades**, ou **bivalentes** (imagem C). É nessa etapa que podem ocorrer quebras e trocas de pedaços entre as cromátides de um mesmo par de homólogos. Esse processo, chamado **permutação** ou **crossing over** (imagem D), resulta na troca de segmentos entre os cromossomos homólogos de origem materna e paterna, o que aumenta a variabilidade genética das células-filhas. Os cromossomos que sofreram permutação são denominados **recombinantes** (imagem D).

Esquema de permutação durante a meiose. As letras representam genes. Cores-fantasia.

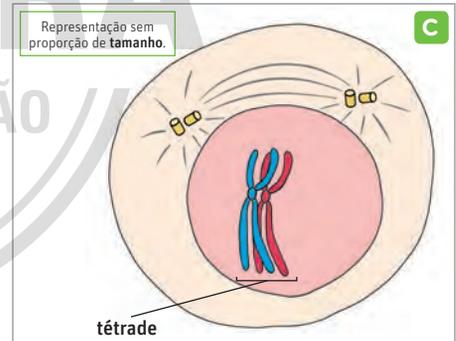
Fonte de pesquisa das imagens desta página: GRIFFITHS, A. J. F. et al. *Introdução à genética*. 9. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2011. p. 114.



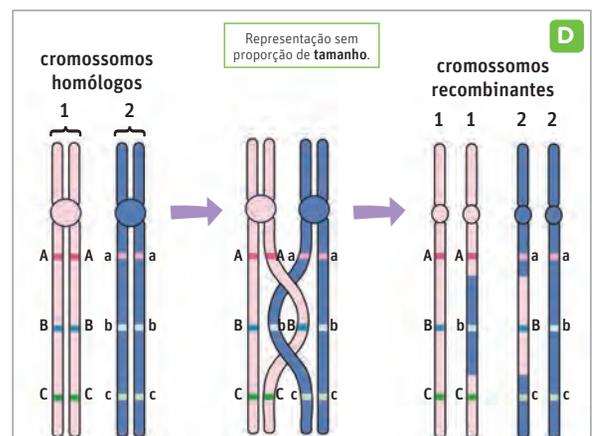
Esquema do leptóteno. Os cromossomos são vistos como filamentos longos e estreitos. Cores-fantasia.



Esquema do zigoteno. Nessa etapa, os cromossomos homólogos permanecem estreitamente alinhados. Cores-fantasia.



Esquema do paquíteno, quando ocorre a permutação. Cores-fantasia.



## Diplóteno

O nome deriva do grego *diplos*, que significa “duplo”. A sinapse formada durante o zigoteno se desfaz e os cromossomos homólogos iniciam sua separação. As cromátides, ainda bastante condensadas, tornam-se visíveis individualmente, mas permanecem unidas onde houve a permuta. Essas uniões, denominadas **quiasmas**, podem ocorrer em um ou vários pontos em um mesmo par de cromossomos (imagem A).

O diplóteno costuma ser uma fase muito longa, chegando a durar anos em algumas espécies. Em seres humanos, por exemplo, a formação dos óvulos tem início durante o desenvolvimento embrionário, no quinto mês de gestação. A meiose, porém, é interrompida no diplóteno e retomada muitos anos mais tarde, quando a mulher inicia a ovulação.

## Diacinese

O termo “diacinese” origina-se do grego *dia*, que significa “ao longo de”, e *kinesis*, “movimento”. O nome faz referência ao deslizamento que os quiasmas sofrem em direção às extremidades das cromátides. Esse fenômeno e a desintegração da carioteca marcam o final dessa fase (imagem B). Na sequência, ocorre a formação do fuso mitótico, e os pares de homólogos se dispersam pelo citoplasma.

## Metáfase I

A metáfase I meiótica é similar à que ocorre na mitose. Os cromossomos atingem seu grau máximo de condensação e se alinham na região equatorial da célula, formando a **placa metafásica**.

A diferença em relação à mitose é que, na metáfase meiótica, a placa equatorial é composta das **tétrades**, que permanecem unidas pelos quiasmas (imagem C). Os centrômeros de cada par de homólogos se dispõem em lados opostos da placa, e as fibras do fuso mitótico unem-se aos cinetocoros.

## Anáfase I

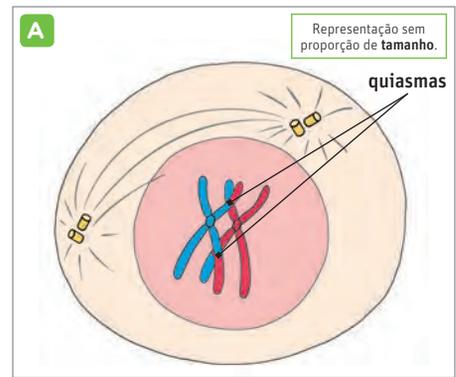
Os pares de cromossomos homólogos começam a se separar, presos pelas fibras do fuso mitótico, em direção aos polos opostos da célula.

Cada cromossomo, formado por duas cromátides-irmãs recombinantes e unidas pelo centrômero, dirige-se a um polo da célula (esquema D).

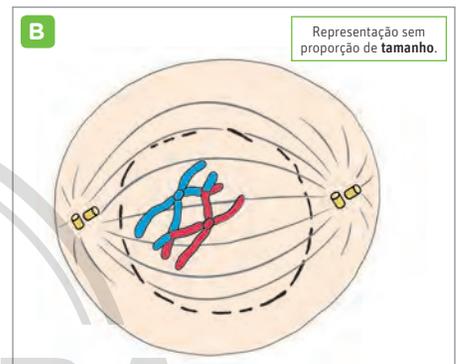
## Telófase I

Essa etapa é caracterizada pelo desaparecimento do fuso mitótico e pela reorganização do núcleo. A carioteca se refaz e o nucléolo reaparece. Os cromossomos, formados por duas cromátides-irmãs, podem sofrer descondensação.

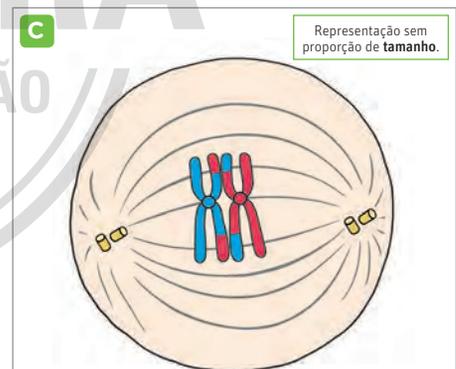
Formam-se, portanto, dois núcleos em polos opostos da célula (esquema E).



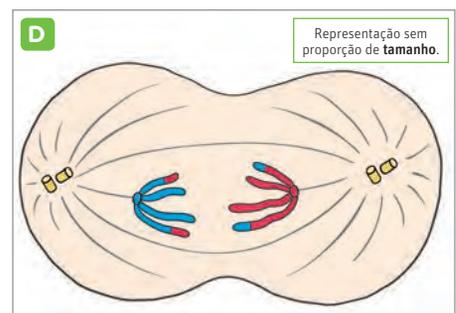
Esquema do diplóteno. Cores-fantasia.



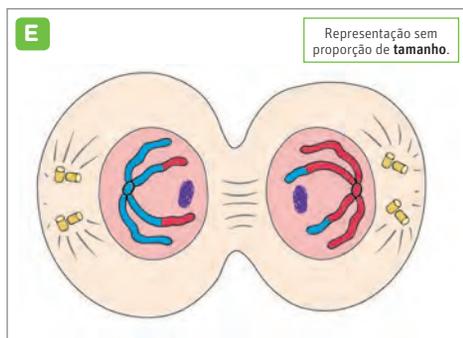
Esquema da diacinese. Cores-fantasia.



Esquema da metáfase I. As tétrades alinham-se na placa equatorial. Cores-fantasia.



Esquema da anáfase I. Os pares de cromossomos homólogos se deslocam para polos opostos da célula. Cores-fantasia.



Esquema da telófase I. Nessa etapa ocorre a formação de dois núcleos haploides. Cores-fantasia.

Fonte de pesquisa das imagens das páginas 150 e 151: GRIFFITHS, A. J. F. et al. *Introdução à genética*. 9. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2011. p. 42-43.

## Citocinese I

Nessa etapa, ocorre a separação do citoplasma e a formação de duas células-filhas, cada uma com a metade do número de cromossomos da célula-mãe.

Simultaneamente, há a duplicação dos centrôssomos. Cada uma das células-filhas inicia uma nova divisão, a **segunda divisão meiótica**.

A citocinese I, entretanto, nem sempre ocorre. Na formação dos grãos de pólen, por exemplo, é comum que a divisão do citoplasma só ocorra após a formação de quatro núcleos haploides.

## Meiose II

A meiose II, ou segunda divisão meiótica, segue os mesmos passos já descritos para a mitose e é simultânea nas duas células formadas ao final da meiose I.

### Prófase II

Na prófase II, há a condensação dos cromossomos e a desagregação dos nucléolos. O fuso mitótico começa a se reorganizar, e os centrôssomos iniciam a migração em direção aos polos das células. Ao final dessa etapa, ocorrem a desintegração da carioteca e a dispersão dos cromossomos pelo citoplasma (esquema A).

### Metáfase II

Na metáfase II, os cromossomos se unem às fibras do fuso mitótico deslocando-se até a placa equatorial. Cada cromossomo é formado por duas cromátides unidas pelo centrômero (esquema B).

### Anáfase II

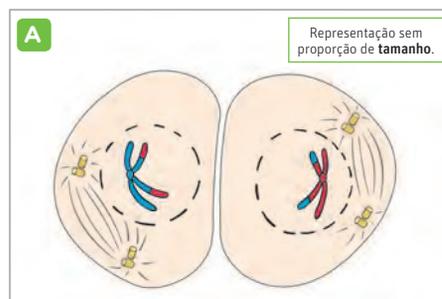
Na anáfase II ocorrem a separação dos centrômeros e a migração das cromátides-irmãs para polos opostos da célula. Esse movimento resulta do encurtamento das fibras do fuso (esquema C).

### Telófase II e citocinese II

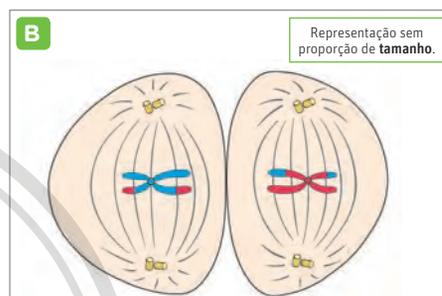
Na telófase II, ocorrem a descondensação dos cromossomos, a reorganização da carioteca e o reaparecimento dos nucléolos.

A citocinese II marca o final do processo, com a separação do citoplasma e a formação de quatro células-filhas, cada uma com metade do número de cromossomos da célula-mãe – são, portanto, células haploides.

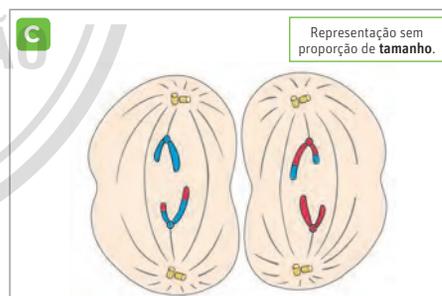
Em decorrência da redução no número de cromossomos e da troca de segmentos entre os cromossomos de origem materna e paterna, as células-filhas são geneticamente diferentes entre si e também em relação aos genitores (esquema D).



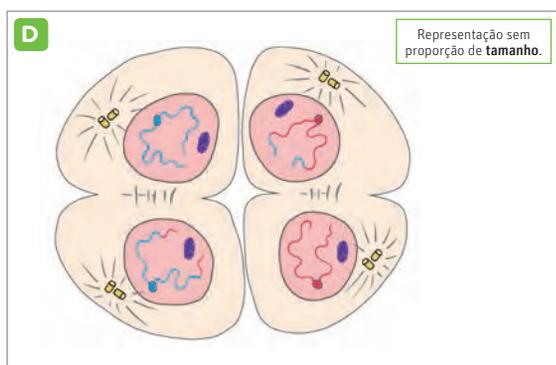
Esquema da prófase II, caracterizada pela migração dos centrôssomos e fragmentação da carioteca. Cores-fantasia.



Esquema da metáfase II. Essa fase é caracterizada pela formação da placa equatorial. Cores-fantasia.



Esquema da anáfase II. Observe a separação e a migração das cromátides-irmãs (agora cromossomos) para polos opostos das células. Cores-fantasia.



Esquema da telófase II e da citocinese II. Ao final da telófase II, inicia-se a citocinese II, com a separação do citoplasma e a formação de quatro células-filhas. Cores-fantasia.

## ATIVIDADES

5. A célula, uma unidade viva, possui um ciclo vital, ou ciclo celular. Faça um diagrama no caderno representando o ciclo celular, indicando:
- as etapas nas quais esse ciclo pode ser dividido;
  - os principais eventos que caracterizam cada fase do ciclo.

## Morte celular: necrose e apoptose

Ao se dividir, a célula-mãe produz cópias idênticas de si mesma, deixando de existir e dando lugar a duas células-filhas. Teoricamente, esse processo poderia ocorrer infinitas vezes.

Entretanto, em condições naturais, ocorrem a morte do organismo como um todo e também a eliminação e substituição de células que morreram de modo acidental ou durante o processo de crescimento do organismo.

A **necrose** (do grego *nekros*, “morto”, “cadáver”) é a morte não programada de células ou tecidos. Ocorre devido a algum dano causado por fatores como falta de oxigenação ou de hidratação. A célula que sofre necrose apresenta certas características, como alterações na membrana plasmática e nas organelas celulares, aumento do volume celular e alterações na aparência do núcleo.

Já o termo **apoptose** (do grego *apo*, “separado de”, e *ptoses*, “queda”) corresponde à **morte celular programada**. O nome é uma referência à queda das folhas das árvores no outono, um fenômeno de morte programada que resulta em renovação. A apoptose é um processo natural em que as células se autodestroem, segundo uma programação fisiológica.

Morfologicamente, a célula em apoptose se apresenta retraída, com a cromatina condensada e fragmentada. No final do processo, surgem bolhas na superfície celular, e então a célula se rompe em inúmeros fragmentos (imagem ao lado). Em seres humanos e outros

mamíferos, esses fragmentos são normalmente fagocitados pelos macrófagos (células sanguíneas de defesa).

A apoptose pode ser desencadeada por fatores internos ou externos à célula, relacionados a vários processos orgânicos, tais como:

- **reciclagem de células** em tecidos com alta taxa de renovação celular, como em alguns epitélios de revestimento;
- **reabsorção de tecidos** durante o desenvolvimento do organismo, como acontece com a cauda do girino;
- **atrofia do endométrio** na menopausa devido à diminuição dos hormônios femininos circulantes no sangue;
- **eliminação de glóbulos brancos** que se tornaram inativos após atuar na defesa do organismo.



Stem Jems/PR/Latinstock

Linfócitos-T. As duas células que perderam a forma esférica estão em apoptose. (Foto ao microscópio eletrônico de varredura; imagem colorizada; aumento de cerca de 4 200 vezes.)

### BIOLOGIA NO COTIDIANO

#### Alterações no número de cromossomos

A partir da fecundação e formação da célula-ovo, ocorrem bilhões de eventos de divisão celular ao longo da vida de um ser humano. Na maior parte das vezes, as divisões celulares são bem-sucedidas e originam células normais, sejam elas diploides (se originadas por mitose) ou haploides (se originadas por meiose).

No entanto, pode haver a repartição incorreta de um ou mais cromossomos entre as células-filhas. Essa ocorrência é denominada não disjunção cromossômica e, se ocorrer durante a meiose, pode originar gametas com número anormal de cromossomos.

Ocorrendo durante a meiose I, a não disjunção faz com que uma das células-filhas receba dois cromossomos homólogos que não se separaram. Ocorrendo durante a meiose II, uma das células-filhas recebe dois cromossomos-irmãos que não se separaram. Consequentemente, haverá formação de gametas com cromossomos a mais ou a menos. Tais gametas podem ser funcionais e, caso ocorra a fecundação com a participação de outro gameta (mesmo que este seja normal),

poderão originar um zigoto com número cromossômico diferente do padrão humano.

Na maioria dos casos, o embrião não completa seu desenvolvimento. Porém, algumas alterações no número de cromossomos geram indivíduos que se desenvolvem e nascem. Esses indivíduos têm características que são, em conjunto, denominadas síndromes. Uma das mais comuns é a síndrome de Down, que ocorre quando a pessoa apresenta três cópias do cromossomo do tipo 21.

Embora tanto óvulos quanto espermatozoides possam ser portadores do cromossomo extra, sabe-se que, em mulheres com mais de 35 anos de idade, o número de não disjunções aumenta consideravelmente. Isso pode estar relacionado ao fato de, nas mulheres, a meiose se iniciar ainda na fase embrionária e se completar anos depois, na idade adulta, quando um certo número de ovócitos amadurece durante um ciclo menstrual.

É recomendável, então, que mulheres com idade superior a 35 anos e que desejem engravidar procurem orientação em serviços de aconselhamento genético, para conhecimento dos riscos envolvidos.

# Práticas de Biologia

## Um modelo para o estudo da divisão celular

### Objetivo

Construir modelos das modificações cromossômicas durante as diversas etapas da mitose e da meiose.

### Material

- 3 folhas de cartolina ou papel-cartão
- cola branca, tesoura, canetas hidrográficas, régua, fita adesiva
- duas meadas de lã de cores diferentes

### Procedimento

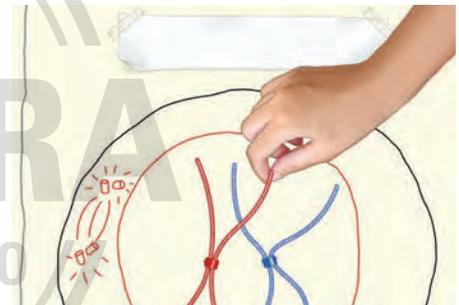
1. Forme um grupo de quatro ou cinco integrantes. Prepare a cartolina para representar as fases da mitose: delimite uma faixa na parte superior da cartolina para o título (mitose) e divida o restante em seis espaços equivalentes, escrevendo em sequência: interfase, prófase, metáfase, anáfase, telófase, citocinese. No interior de cada espaço, desenhe um círculo para representar a célula.
2. Cada grupo vai representar uma célula  $2n = 2$ . As “cromátides” serão representadas por um pedaço de fio de lã. Corte pedaços de fios de cores diferentes – uma cor para representar as cromátides de origem materna, e outra para as de origem paterna. Durante a montagem, os fios deverão ser posicionados adequadamente e fixados à cartolina usando a cola branca.
3. No espaço referente à interfase, represente os pares de cromossomos homólogos antes da duplicação do DNA. Desenhe o centríolo e o contorno da carioteca.
4. A seguir, represente a prófase, com os cromossomos duplicados. Faça um desenho dos centríolos, já duplicados, e das fibras do fuso. Represente a desintegração da carioteca. Use um pedaço de fita adesiva para representar os centrômeros.
5. Em seguida, represente as imagens típicas de cada fase, nos espaços correspondentes.
6. Nas duas outras cartolinas, delimite uma faixa para o título (meiose) e divida o restante em seis espaços equivalentes. Em uma dessas cartolinas, represente as cinco subfases da prófase I (leptóteno, zigóteno, paquíteno, diplóteno e diacinese) e a metáfase I da meiose. Suponha que uma das células-filhas do cartaz da mitose entrará em meiose.
7. Repita os procedimentos necessários para representar as imagens de cada fase. No paquíteno, cruze um fio sobre o outro para representar um evento de permutação em cada cromossomo.
8. Após o paquíteno, não se esqueça de representar os cromossomos recombinantes, cortando pedaços de lã das duas cores e unindo-os com fita adesiva.
9. Na última folha de cartolina, represente as duas etapas subsequentes da meiose I: anáfase I e telófase I. Indique, nos quatro espaços remanescentes, as fases da meiose II, considerando apenas uma das células-filhas da meiose I.

### Resultado

1. Ao final da atividade, os grupos podem expor para a classe os modelos construídos.



Exemplo de material necessário para esta atividade.



A permutação pode ser representada pelo cruzamento dos fios de lã.

### Discussão

1. Com base no comportamento dos cromossomos durante a mitose e a meiose, justifique as denominações “divisão equacional” e “divisão reducional”, respectivamente.
2. Quais eventos ou estruturas não estão representados no modelo?

# Síntese de proteínas e ação gênica

## O QUE VOCÊ VAI ESTUDAR

A estrutura e composição da molécula de DNA.

O processo de duplicação do DNA.

A transcrição do DNA em RNA.

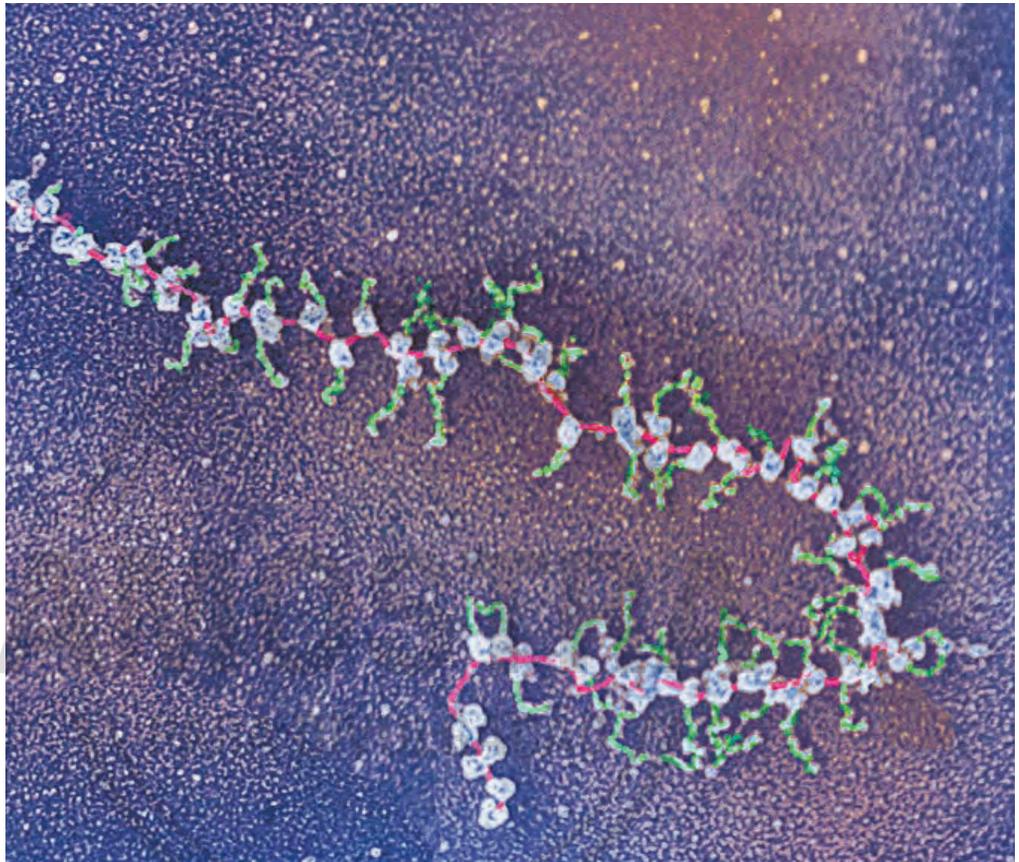
Os tipos de RNA.

A tradução do RNA em proteínas.

O código genético.

Mutações gênicas.

O conceito de gene e os mecanismos de regulação.



Dr. Elena Kiseleva/Science Photo Library/Latinstock

Síntese de proteína em célula de glândula salivar de um mosquito. Observa-se na imagem um polirribossomo – isto é, vários ribossomos (em azul) ligados a uma fita de RNA mensageiro (em rosa) – e as proteínas que estão sendo produzidas (em verde). (Foto ao microscópio eletrônico de transmissão; imagem colorizada; aumento de cerca de 94 mil vezes.)

Como pode ser visto no capítulo 2, as proteínas são um importante constituinte celular. Elas são fundamentais para a estrutura e o metabolismo da célula, pois participam de praticamente todas as reações químicas vitais. Há uma enorme variedade de tipos de proteínas, que realizam diferentes funções no organismo vivo.

As proteínas são sintetizadas pelas próprias células por meio de processos que envolvem informações contidas no DNA, diferentes tipos de RNA, aminoácidos e várias outras moléculas presentes na célula.

Uma vez que todas as células de um organismo possuem moléculas praticamente idênticas de DNA, elas poderiam, portanto, produzir o mesmo conjunto de proteínas.

Existem, porém, mecanismos de regulação que possibilitam que cada célula acesse as informações do DNA de acordo com suas próprias necessidades metabólicas. Assim, cada uma delas produz proteínas relacionadas a suas funções no organismo.

A compreensão desses mecanismos de regulação é motivo de diversas pesquisas científicas realizadas atualmente no mundo todo. Neste capítulo serão estudados os conceitos básicos nos quais essas pesquisas se baseiam.

## O DNA

O DNA é o ácido nucleico constituinte dos cromossomos em todos os seres vivos, sejam eles procariontes ou eucariontes, unicelulares ou multicelulares. Apenas certos vírus possuem somente RNA como material genético (lembre-se de que vírus não têm todas as características dos seres vivos). Como será visto a seguir, a elucidação da estrutura molecular do DNA foi um passo importante para a compreensão do processo de duplicação cromossômica na divisão celular (mitose e meiose) e da síntese de proteínas.

Em 1865, o monge austríaco Gregor Mendel (1822-1884) publicou os resultados de seus experimentos com plantas de ervilhas, mostrando que algumas características dessas plantas, como a cor das flores e a textura da casca das sementes, eram transmitidas aos descendentes em forma de “unidades”. Mendel chamou essas unidades de “fatores hereditários”. Naquela época, porém, não se tinha ideia da natureza química desses fatores.

### Elucidando a estrutura da molécula de DNA

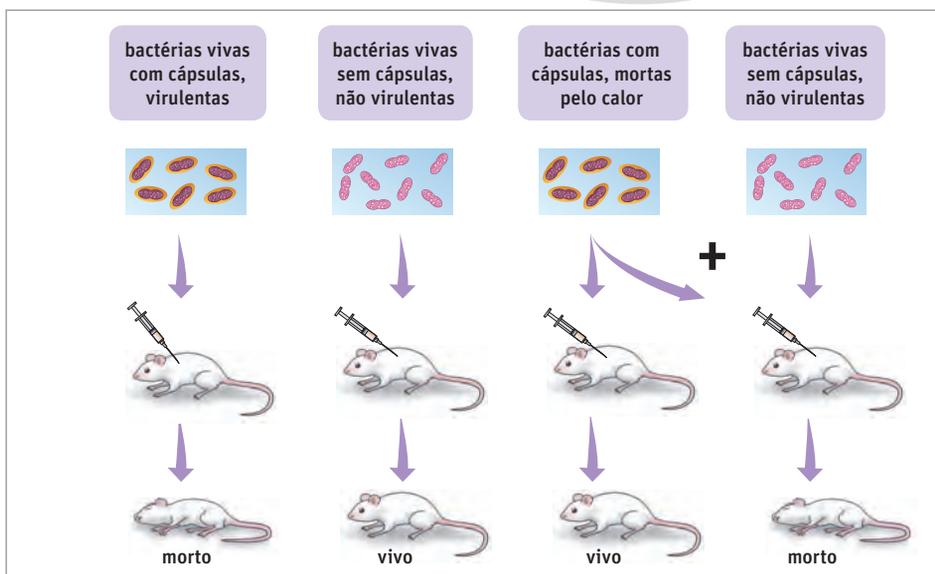
A primeira evidência de que o DNA (sigla do inglês *deoxyribonucleic acid*) seria o material hereditário foi obtida em 1928 por Frederick Griffith (1879-1941), um médico militar britânico especializado em microbiologia. Ele buscava uma vacina contra a pneumonia provocada pela bactéria *Streptococcus pneumoniae*, uma doença comum na época.

Embora na maioria das vezes essa doença fosse letal, as diferentes linhagens dessa bactéria não apresentavam a mesma virulência, ou seja, a mesma capacidade de causar doença ou morte. Griffith trabalhou com duas linhagens: uma virulenta, cujas células são envolvidas por uma cápsula gelatinosa, e outra não virulenta,

constituída por bactérias sem essa cápsula. Ele ferveu e matou uma certa quantidade de bactérias virulentas, injetando-as depois em ratos. Esses animais sobreviveram, mostrando que bactérias mortas não causavam a doença. Morreram, porém, os ratos que receberam uma mistura de bactérias virulentas mortas pelo calor com bactérias não virulentas vivas. Mais surpreendente ainda, bactérias vivas que foram recuperadas a partir dos ratos mortos formaram novas colônias virulentas. De alguma forma, os restos das bactérias virulentas mortas converteram as bactérias não virulentas vivas em virulentas. Griffith chamou esse processo de **transformação** (imagem abaixo).

Em 1944, o bacteriologista Oswald Avery (1877-1955) e seus colaboradores mostraram que o DNA era o componente que promovia a transformação nas bactérias estudadas por Griffith. Muitos cientistas se interessaram, então, em compreender melhor o DNA, mas somente em 1953 o estadunidense James Watson (1928-) e o inglês Francis Crick (1916-2004) elaboraram um modelo tridimensional que elucidava a estrutura química e as propriedades físicas da molécula de DNA, com base em trabalhos realizados pela cientista Rosalind Franklin (1920-1958) e por Maurice Wilkins (1916-2004). Em um pequeno artigo publicado na revista científica *Nature* (EUA), eles também sugeriram que o DNA seria uma molécula capaz de duplicar-se, ou seja, produzir réplicas de si mesma. Tanto o modelo tridimensional da molécula de DNA quanto a hipótese da duplicação continuam válidos atualmente.

A descrição da estrutura molecular do DNA permitiu a compreensão de vários mecanismos moleculares envolvidos na genética e o desenvolvimento de diversas tecnologias ligadas à engenharia genética.



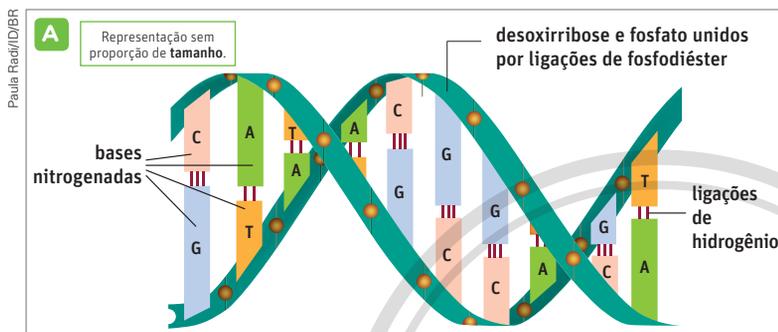
Reinaldo Vignatti/DBR

Esquema do experimento realizado por Griffith, em 1928. Cores-fantasia.

## A constituição química do DNA

O DNA é constituído por duas cadeias de moléculas mais simples, chamadas de **nucleotídeos**. Em cada cadeia os nucleotídeos unem-se a partir da ligação entre o fosfato de um deles com a pentose de outro (ver capítulo 2).

As duas cadeias estão unidas por meio de ligações de hidrogênio entre suas bases nitrogenadas. A configuração molecular das diferentes bases nitrogenadas determina a ligação entre elas: a adenina une-se somente à timina, por meio de duas ligações de hidrogênio, enquanto a guanina e a citosina se unem por meio de três ligações de hidrogênio. As cadeias pareadas dispõem-se em espiral, formando uma **dupla-hélice** (imagem A).



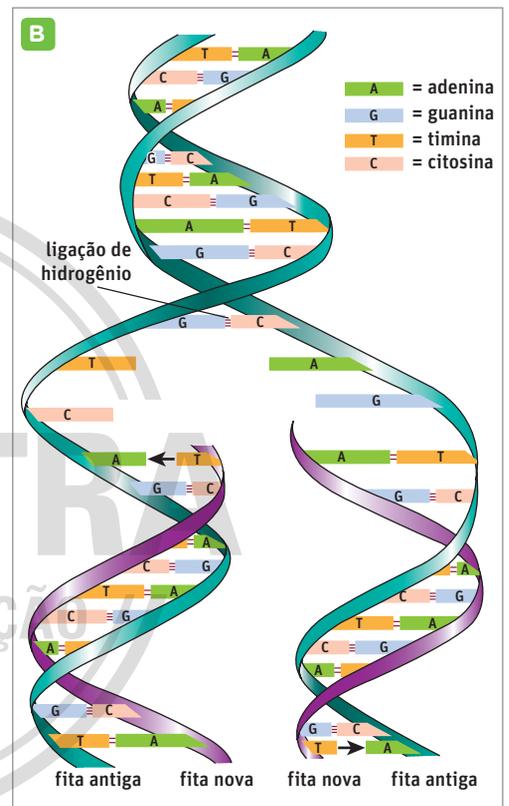
Esquema da estrutura da molécula de DNA, em que G = guanina, C = citosina, T = timina, A = adenina. Observe as ligações entre as bases nitrogenadas. Cores-fantasia.

Fonte de pesquisa das ilustrações desta página: REECE, J. B. et al. *Campbell Biology*. 10. ed. [S.l.]: Pearson, 2014. p. 317-321.

## A duplicação do DNA

O DNA é capaz de duplicar-se, ou seja, fazer cópias de si mesmo. O processo de duplicação, também denominado **replicação** do DNA, ocorre antes da divisão celular. Ele inicia com a quebra das ligações de hidrogênio e a abertura da dupla-hélice (imagem B).

Cada cadeia de nucleotídeos funciona como molde para a produção de uma nova cadeia. Portanto, as duas novas moléculas de DNA conservam uma das cadeias de nucleotídeos da molécula-mãe e apresentam uma nova, complementar àquela que lhe serviu de molde. Esse processo é chamado de **duplicação semiconservativa**. A complementaridade das bases nitrogenadas faz com que as duas moléculas formadas sejam idênticas entre si e à molécula original.



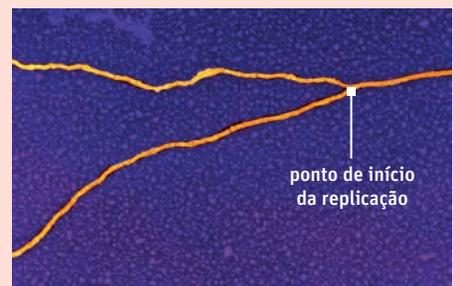
Esquema da duplicação semiconservativa do DNA, mostrando a formação das novas cadeias (em roxo). Cores-fantasia.

### BIOLOGIA TEM HISTÓRIA

#### Desvendando a duplicação do DNA

Watson e Crick haviam sugerido, em 1953, que a duplicação da dupla-hélice deveria ocorrer de forma semiconservativa. Essa hipótese foi confirmada pelos geneticistas Matthew Meselson (1930-) e Franklin Stahl (1929-) em 1957, a partir de experimentos com a bactéria *Escherichia coli*. Mas restavam muitas dúvidas sobre como ocorria a replicação.

No início da década de 1960, o médico inglês John Cairns (1922-) conseguiu observar pela primeira vez o DNA bacteriano em duplicação. Com base em seu trabalho, foi esclarecido que a replicação é um processo altamente coordenado, em que as fitas são desenroladas e copiadas simultaneamente. Os cromossomos bacterianos possuem um único ponto onde se inicia a replicação; já as células eucarióticas possuem vários, que são acionados em conjunto simultaneamente.



Molécula de DNA (em laranja) em processo de duplicação. (Foto ao microscópio eletrônico de transmissão; imagem colorizada; aumento de cerca de 4 800 vezes.)

## Síntese de proteínas

A molécula de DNA é, também, o molde para a síntese de proteínas. Nesse processo, pequenos trechos da molécula de DNA são, inicialmente, “transcritos” para uma molécula de RNA. A molécula de RNA é, então, “traduzida” em uma sequência de aminoácidos que, por sua vez, corresponde à estrutura primária da proteína (veja capítulo 2).

### Transcrição do RNA

A transcrição é um processo que resulta na síntese de uma molécula de RNA, composta de uma cadeia de nucleotídeos. Ela é realizada por um complexo de enzimas, sendo a **RNA-polimerase** a mais importante.

Acompanhe no esquema abaixo. Inicialmente, a enzima RNA-polimerase, com o auxílio de outras proteínas, reconhece no DNA a **região promotora**, uma determinada sequência de nucleotídeos que indica o início da transcrição. Existem diferentes sequências com essa função. Ao reconhecer a região promotora, a RNA-polimerase liga-se a ela. Ocorre, então, a abertura da dupla-hélice com o auxílio de enzimas, e a RNA-polimerase reconhece qual cadeia deve ser transcrita; a outra permanece inativa.

Em seguida, a RNA-polimerase orienta o emparelhamento das bases dos **ribonucleotídeos** (nucleotídeos de RNA, contendo ribose) às bases da fita de DNA: ribonucleotídeos cuja base é a uracila emparelham-se às adeninas da fita molde do DNA (U-A); da mesma forma, os ribonucleotídeos com adenina emparelham-se às timinas do DNA (A-T); os com citosina emparelham-se às guaninas do DNA (C-G), e as guaninas emparelham-se às citosinas do DNA (G-C).

À medida que ocorre o emparelhamento, os ribonucleotídeos ligam-se entre si por meio de ligações entre as suas moléculas de ribose e as de fosfato. Forma-se, assim, uma cadeia de ribonucleotídeos cuja sequência de bases nitrogenadas é complementar à da fita molde de DNA. Se, por exemplo, um trecho da fita molde de DNA tem a sequência CGTAA, o trecho correspondente no RNA terá a sequência GCAUU.

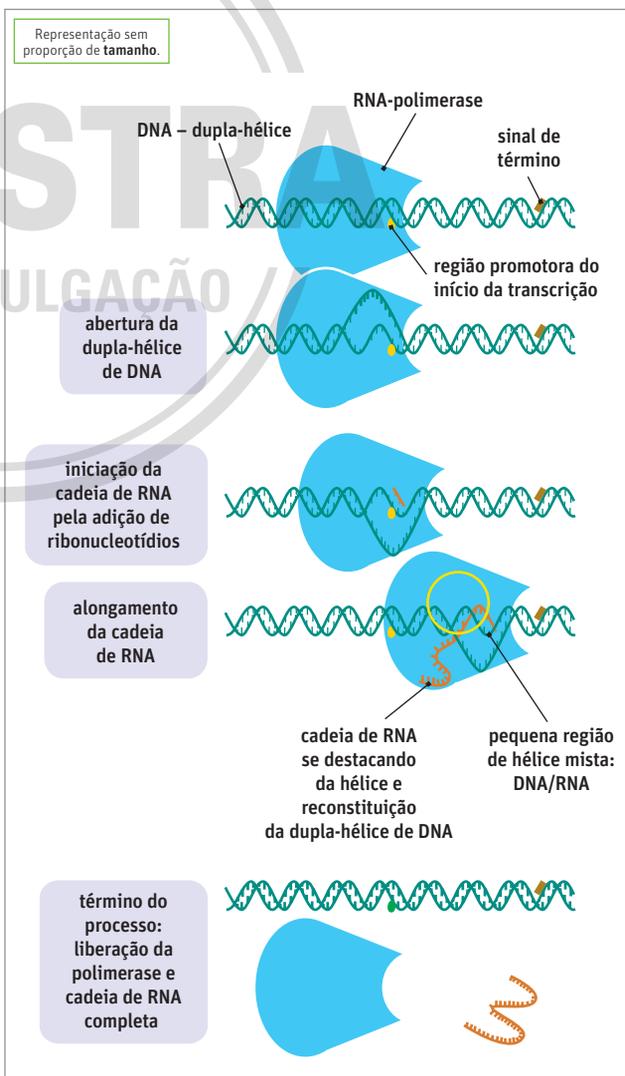
Conforme vai sendo transcrita, a molécula de RNA vai se destacando da fita molde de DNA, que, por sua vez, volta a se unir à fita inativa, restabelecendo a integridade da molécula de DNA. A transcrição continua até que a RNA-polimerase reconheça o  **sinal de término** – uma sequência de nucleotídeos na fita molde de DNA que sinaliza o fim do processo. A RNA-polimerase libera a molécula de RNA recém-formada, chamada de **transcrito primário**; a dupla-hélice do DNA é restaurada completamente, e a RNA-polimerase se solta da molécula de DNA.

Esquema das principais etapas da transcrição. Cores-fantasia.

Fonte de pesquisa: SANTOS, F. P.; CASTRO, C. S. *Síntese e processamento de RNA*. Disponível em: <<http://www2.bioqmed.ufrj.br/prosdocimi/RNA/index.htm>>. Acesso em: 19 mar. 2016.

### ATIVIDADES

1. Todas as células de um organismo multicelular possuem exatamente o mesmo material genético, que por sua vez é idêntico ao conjunto de genes encontrado na formação do zigoto. Como se explica o fato de apenas as células musculares do nosso corpo produzirem uma proteína chamada miosina?



## Principais tipos de RNA

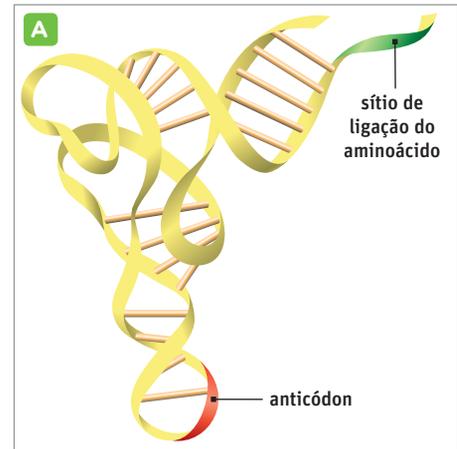
Há três tipos principais de moléculas de RNA, cuja função em conjunto consiste em permitir a expressão da informação genética presente no DNA na forma de proteínas: RNA ribossômico, RNA mensageiro e RNA transportador.

O **RNA ribossômico** (RNAr), molécula de grande peso molecular, encontra-se associado a proteínas. Juntos, atuam na montagem e composição dos **ribossomos**, estruturas relacionadas à síntese de proteínas na célula.

O **RNA mensageiro** (RNAm) atua conjuntamente com os ribossomos na síntese proteica. Ele é formado por um longo filamento simples de ribonucleotídeos. Cada trinca de nucleotídeos em sequência é chamado de **códon**. A sequência de códons determina a sequência de aminoácidos que devem ser unidos para formar a cadeia polipeptídica das proteínas.

O **RNA transportador** (RNAt) é o menor dos três tipos de RNA. Sua função é transportar os aminoácidos que se encontram livres no citosol até os ribossomos, onde serão unidos para formar as proteínas, de acordo com o indicado na sequência do RNAm. Ele se apresenta enroscado sobre si mesmo, com algumas regiões pareadas entre si (imagem A). Uma das extremidades livres da molécula do RNAt possui sempre a sequência de bases CCA. Esse é o local onde o aminoácido vai se unir ao RNAt. Em outra parte da molécula existe outra sequência de três bases chamada de **anticódon**, que reconhece a posição que o aminoácido vai ocupar no polipeptídeo. O anticódon do RNAt interage com o códon do RNAm, ao qual é complementar (imagem B). Existem vários tipos de RNAt, que variam quanto à sequência de bases do anticódon. Cada um deles é específico para o aminoácido que transporta.

O transcrito primário de cada tipo de RNA adquire a forma e as características da molécula madura (descritas acima) apenas depois de passar por uma etapa denominada processamento do RNA.

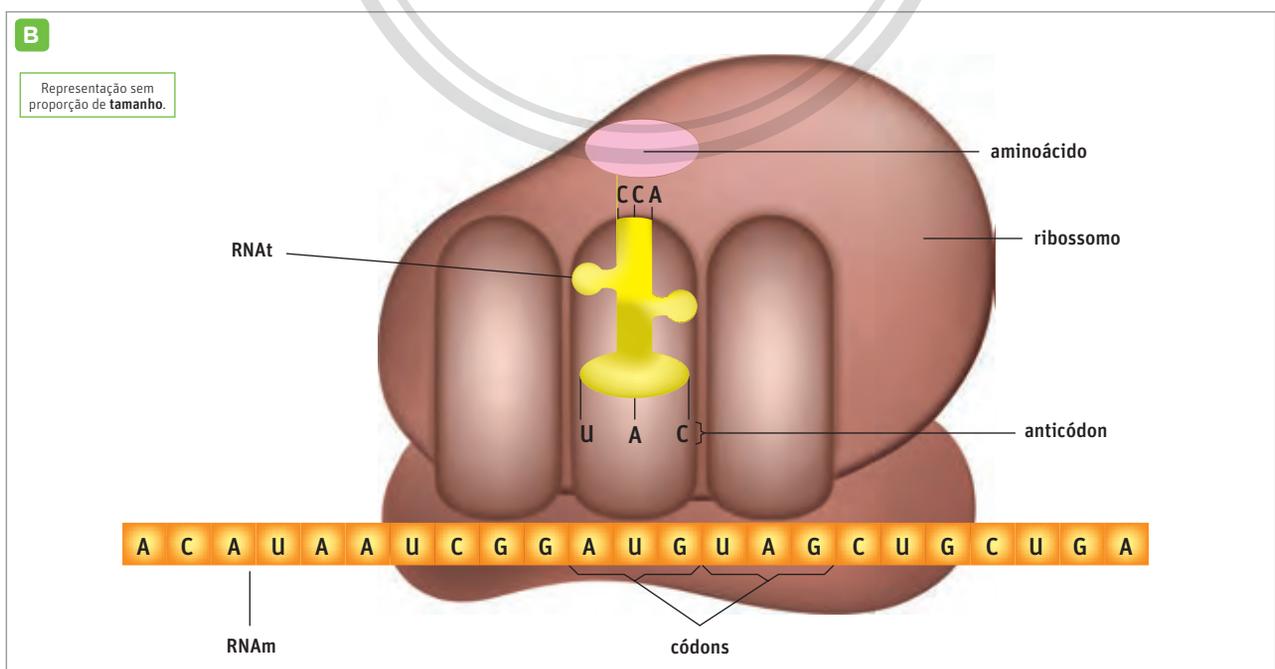


Esquema da estrutura tridimensional de um RNAt. Cores-fantasia.

Fonte de pesquisa: REECE, J. B. et al. *Campbell Biology*. 10. ed. [S.l.]: Pearson, 2014. p. 346

### ATIVIDADES

2. “Uma das diferenças entre as moléculas de DNA e RNA é que apenas as de DNA apresentam pareamento de bases.” Você concorda com essa afirmação? Justifique.



Esquema da associação entre RNA transportador, RNA mensageiro e ribossomo. Cores-fantasia.

Fonte de pesquisa: ALBERTS, B. et al. *Fundamentos da biologia celular*. 3. ed. Porto Alegre: Artmed, 2011. p. 251-256.

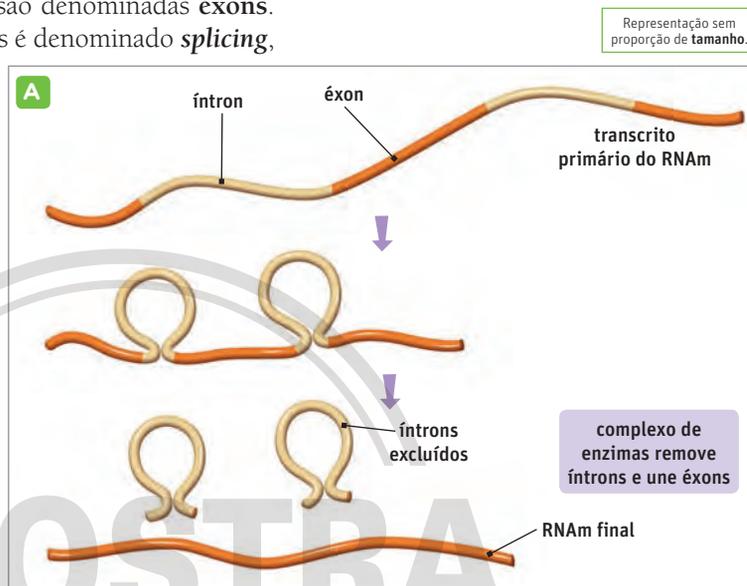
## Processamento do RNA

Assim que o processo de transcrição é finalizado, o transcrito primário passa por várias transformações até se tornar funcional. Elas conferem à molécula a forma final que a caracteriza como RNA ribossômico, transportador ou mensageiro e garantem a ela maior estabilidade.

No caso do RNAm, o transcrito primário contém toda a sequência complementar dos nucleotídeos do DNA-molde que o originou, mas, durante o processamento, alguns trechos são cortados e estão ausentes na molécula final do RNAm. As sequências retiradas do transcrito são chamadas de **íntrons**, e as que permanecem são denominadas **éxons**. O processo que retira os íntrons e une os éxons é denominado **splicing**, termo em inglês que pode ser entendido como “fazer uma emenda” (imagem A).

O **splicing** ocorre pela ação de um complexo de enzimas e é uma operação muito precisa. Caso um único nucleotídeo seja retirado por erro, ao se excluir um íntron, a molécula de RNAm pode produzir uma proteína completamente diferente da original. A existência de íntrons é comum em eucariontes e rara em procariontes.

Em alguns tecidos, transcritos primários de RNAm idênticos podem sofrer exclusão de diferentes íntrons, formando RNAm maduros diferentes e que, por consequência, produzem diferentes tipos de polipeptídios no processo de tradução. Observe que esse tipo de processamento, chamado de **splicing alternativo**, aumenta muito a variedade de proteínas produzidas por uma mesma sequência de nucleotídeos do DNA.



Esquema do processamento do tipo *splicing* em transcrito primário de RNA mensageiro (RNAm). Cores-fantasia.

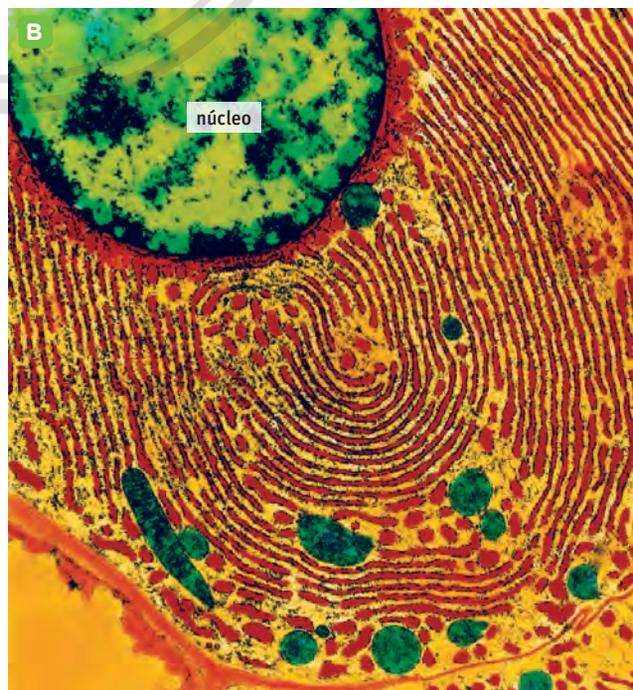
Fonte de pesquisa: GRIFFITHS, A. J. et al. *Introdução à Genética*. 9. ed. Rio de Janeiro; Guanabara Koogan, 2011. p. 267.

## Tradução do RNAm em eucariontes

Uma vez realizados a transcrição e o processamento, o RNA mensageiro sai do núcleo. A informação está codificada sob a forma de trincas de nucleotídeos, e a sequência de bases do RNA mensageiro determina a ordem em que os aminoácidos se unem na proteína.

A tradução, processo de formação de proteínas, acontece nos ribossomos, que se encontram dispersos no citosol ou aderidos ao retículo endoplasmático granuloso (imagem B).

Os ribossomos são formados por duas subunidades, constituídas por RNA ribossômico e proteínas, que se associam no momento da tradução. O RNA mensageiro encaixa-se na subunidade pequena, enquanto na interface das duas subunidades se encaixam dois RNAs transportadores conduzindo seus respectivos aminoácidos.



Retículo endoplasmático granuloso, em vermelho. Parte da síntese proteica ocorre nos ribossomos associados ao retículo. (Foto ao microscópio eletrônico de transmissão; imagem colorizada; aumento de cerca de 5 800 vezes.)

## Ativação dos aminoácidos

A ativação consiste na união do RNAt com seu aminoácido correspondente. Essa reação, mediada por enzimas, requer energia, fornecida por moléculas de ATP.

## Fase de iniciação

A síntese da cadeia polipeptídica começa quando a subunidade pequena do ribossomo e o RNAm se unem em um ponto localizado perto do códon de iniciação AUG (imagem A). A seguir, entra no ribossomo um primeiro RNAt, cujo anticódon deve ser necessariamente formado pelos nucleotídeos UAC, complementares aos do códon de iniciação.

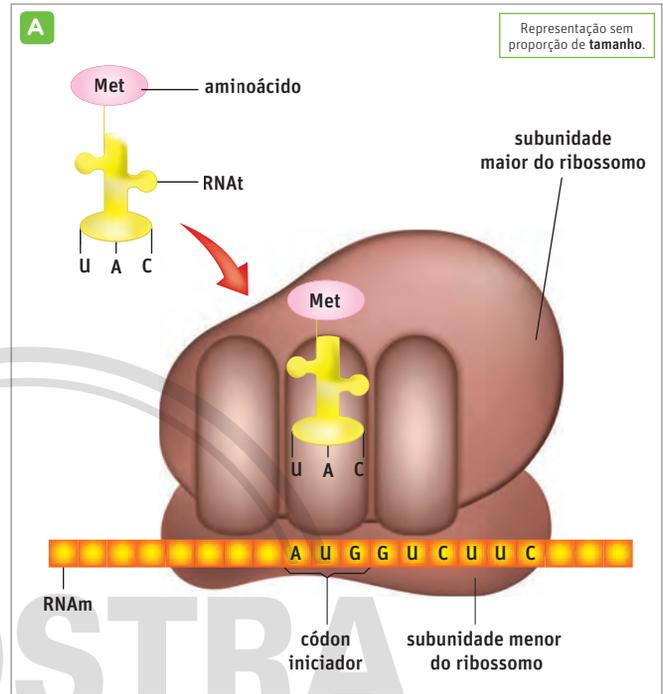
Nos eucariontes, esse primeiro RNAt carrega o aminoácido **metionina** (Met). Assim, toda síntese de proteínas inicia-se com esse aminoácido.

A subunidade pequena do ribossomo, o RNAm e o primeiro RNAt carregado com o aminoácido formam o **complexo de iniciação**, ao qual se une a subunidade grande.

## Fase de alongamento

O alongamento consiste no crescimento da cadeia proteica. Um segundo RNAt carregado, cujo anticódon é complementar ao códon situado logo após o de iniciação, prende-se ao ribossomo, e uma ligação peptídica une os dois aminoácidos.

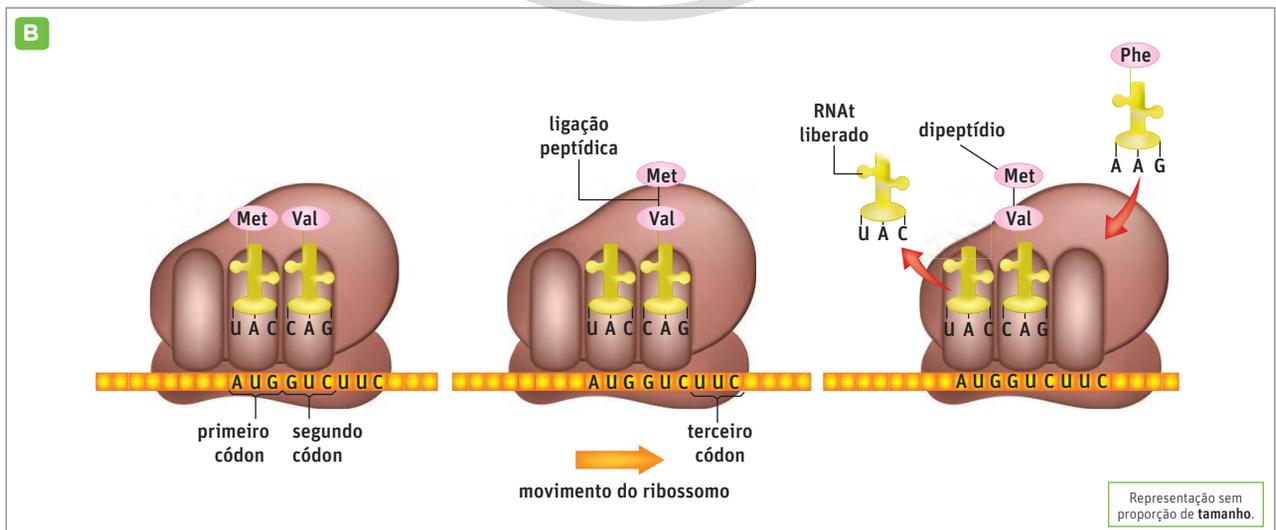
Após essa reação, o ribossomo se desloca ao longo do RNAm. Como esse deslocamento é de exatamente três nucleotídeos, o RNAt da metionina se desliga do ribossomo, ficando livre no citosol, e um terceiro RNAt carregado com um aminoácido ocupa o lugar disponível no ribossomo, dando continuidade à tradução e promovendo o alongamento da cadeia polipeptídica (imagem B).



Esquema simplificado da fase de iniciação da tradução do RNAm. Cores-fantasia.

Fonte de pesquisa: ALBERTS, B. et al. *Fundamentos da biologia celular*. 3. ed. Porto Alegre: Artmed, 2011. p. 251-256.

Ilustrações: Paula Raci/DIBR



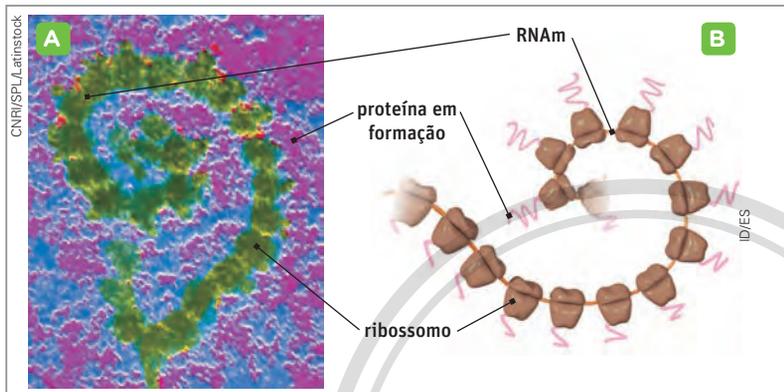
Esquema simplificado da fase de alongamento. Cores-fantasia.

Fonte de pesquisa: ALBERTS, B. et al. *Fundamentos da biologia celular*. 3. ed. Porto Alegre: Artmed, 2011. p. 251-256.

## Polirribossomos

Tanto em seres procariontes quanto em eucariontes, se o RNAm for suficientemente longo, ele pode ser traduzido por mais de um ribossomo ao mesmo tempo, desde que seja mantida certa distância entre eles. Assim, vários ribossomos podem ir se encaixando sucessivamente no início de uma molécula do RNAm, cada um sintetizando exatamente a mesma sequência de polipeptídios (imagem A). Desse modo, grandes quantidades da mesma proteína podem ser produzidas simultaneamente.

Essa associação de vários ribossomos a uma mesma molécula de RNAm é chamada de **polirribossomo** ou **polissomo**.



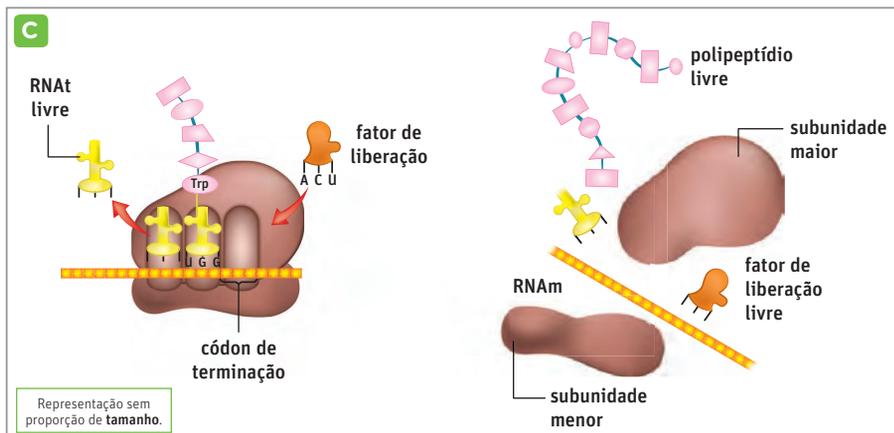
(A) Um polirribossomo. (Foto ao microscópio eletrônico de transmissão; imagem colorizada; aumento de cerca de 120 mil vezes.) (B) Esquema feito com base na foto ao lado. Cores-fantasia.

Fonte de pesquisa: ALBERTS, B. et al. *Fundamentos da biologia celular*. 3. ed. Porto Alegre: Artmed, 2011. p. 251-256.

## Fase de terminação

A síntese da cadeia proteica é finalizada quando o ribossomo atinge um dos códons de terminação (UAA, UAG ou UGA) do RNAm. Estes não são reconhecidos por nenhum RNAt, mas sim por **fatores de liberação** de natureza proteica (imagem C). Uma vez completada a tradução, a proteína formada, bem como o RNAm e o RNAt, abandonam o ribossomo. Suas duas subunidades também se dissociam, até o momento em que se inicia uma nova síntese. O RNAm livre pode, então, ser lido novamente. A tradução de uma proteína leva de 20 a 60 segundos.

À medida que vão sendo sintetizadas, as cadeias de polipeptídios adquirem suas estruturas secundária e terciária mediante a formação de ligações entre os aminoácidos – como, por exemplo, ligações de hidrogênio – e também em função da participação de outras proteínas, o que faz com que a estrutura tridimensional de muitas proteínas não seja determinada apenas pela sequência de aminoácidos.



Paula Radi/D/BR

Esquema simplificado da fase de terminação da tradução do RNAm em uma proteína. Cores-fantasia.

Fonte de pesquisa: ALBERTS, B. et al. *Fundamentos da biologia celular*. 3. ed. Porto Alegre: Artmed, 2011. p. 251-256.

## O código genético

O **código genético** é a correspondência entre os códons (trincas) de nucleotídeos do RNAm e os aminoácidos.

As mesmas sequências de nucleotídeos especificam os mesmos aminoácidos em praticamente todos os seres vivos. Assim, podemos afirmar que o código genético é **universal**, indicando uma provável origem evolutiva comum a todas as espécies.

Há quatro tipos de nucleotídeos de RNA, cada um deles com um tipo diferente de base nitrogenada: adenina, citosina, guanina e uracila. A associação dos quatro tipos de nucleotídeos em trincas resulta em 64 combinações possíveis. Porém, apenas 20 tipos de aminoácidos são utilizados na síntese de proteínas. Assim, códons diferentes podem codificar o mesmo aminoácido e, por isso, diz-se que o código genético é **degenerado**. Como vimos, há códons que estabelecem o início (AUG) ou o término (UAA, UAG e UGA) de um polipeptídeo.

O fato de o código ser degenerado traz uma vantagem, pois, caso ocorram trocas em algum nucleotídeo, isto é, se houver mutações, há uma probabilidade de que a sequência dos aminoácidos que formam determinada proteína não seja alterada.

Também o fato de cada códon codificar somente um aminoácido impede que ocorra síntese de proteínas diferentes a partir de uma mesma sequência de nucleotídeos de DNA.

	UUU	Phe	UCU	Ser	UAU	Tyr	UGU	Cys	U
	UUC	Phe	UCC	Ser	UAC	Tyr	UGC	Cys	C
	UUA	Leu	UCA	Ser	UAA	para	UGA	para	A
	UUG	Leu	UCG	Ser	UAG	para	UGG	Trp	G
C	CUU	Leu	CCU	Pro	CAU	His	CGU	Arg	U
	CUC	Leu	CCC	Pro	CAC	His	CGC	Arg	C
	CUA	Leu	CCA	Pro	CAA	Gln	CGA	Arg	A
	CUG	Leu	CCG	Pro	CAG	Gln	CGG	Arg	G
A	AUU	Ile	ACU	Thr	AAU	Asn	AGU	Ser	U
	AUC	Ile	ACC	Thr	AAC	Asn	AGC	Ser	C
	AUA	Ile	ACA	Thr	AAA	Lys	AGA	Arg	A
	AUG	Met	ACG	Thr	AAG	Lys	AGG	Arg	G
G	GUU	Val	GCU	Ala	GAU	Asp	GGU	Gly	U
	GUC	Val	GCC	Ala	GAC	Asp	GGC	Gly	C
	GUA	Val	GCA	Ala	GAA	Glu	GGA	Gly	A
	GUG	Val	GCG	Ala	GAG	Glu	GGG	Gly	G

Códon de iniciação

Códon de terminação

Abreviações dos aminoácidos

Ala – alanina	Gly – glicina	Pro – prolina
Arg – arginina	His – histidina	Ser – serina
Asn – asparagina	Ile – isoleucina	Thr – treonina
Asp – ác. aspártico	Leu – leucina	Trp – triptofano
Cys – cisteína	Lys – lisina	Tyr – tirosina
Gln – glutamina	Met – metionina	Val – valina
Glu – ác. glutâmico	Phe – fenilalanina	

Fonte de pesquisa: ALBERTS, B. et al. *Fundamentos da biologia celular*. 3. ed. Porto Alegre: Artmed, 2011. p. 247.

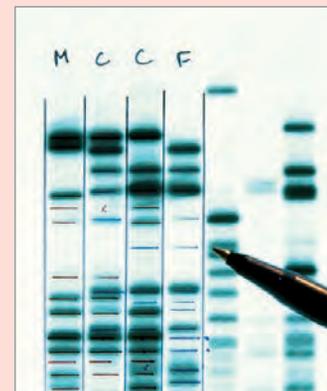
## LOGO BIOLÓGIA NO COTIDIANO

### O exame forense de DNA

A genética forense utiliza conhecimentos e técnicas de genética e de Biologia no auxílio à justiça. Esse ramo da ciência baseia-se no fato de que as pessoas podem ser identificadas pelo teste de tipagem de DNA, pois a sequência de nucleotídeos nessa molécula é única para cada indivíduo, funcionando como impressão digital genética.

A fase moderna da genética forense teve início na década de 1980, quando pesquisadores descobriram regiões altamente variáveis do DNA, capazes de individualizar uma pessoa. A tipagem de DNA foi criada em 1983 pelo inglês Alec Jeffreys. Ela utiliza células, das quais se extrai o DNA, posteriormente quebrado por enzimas e submetido a um campo elétrico (eletroforese). Atraídos pelo polo positivo (pois têm carga negativa), os pedaços de DNA migram e se depositam em diversos pontos, de acordo com seu tamanho. Dessa forma, origina-se um padrão de bandas ou faixas.

Uma vez que o padrão de bandas é estável e transmitido aos descendentes, ao se compararem faixas de DNA é possível identificar quem é o pai e/ou a mãe de um indivíduo. Além disso, o exame é utilizado como ferramenta segura para a identificação de pessoas mortas e em investigações policiais para auxiliar a identificar o autor de um crime.



Análise de DNA em quatro amostras.

David Parker/SPL/Lainstock

## Mutação gênica

Ao contrário de outras substâncias, continuamente substituídas nas células, o DNA se mantém relativamente estável devido à ação de sistemas especializados em realizar reparos aos danos nessa molécula. Graças a essa estabilidade, são possíveis a conservação das informações genéticas e sua transmissão de uma geração de células a outra. Entretanto, a molécula de DNA pode sofrer algumas alterações.

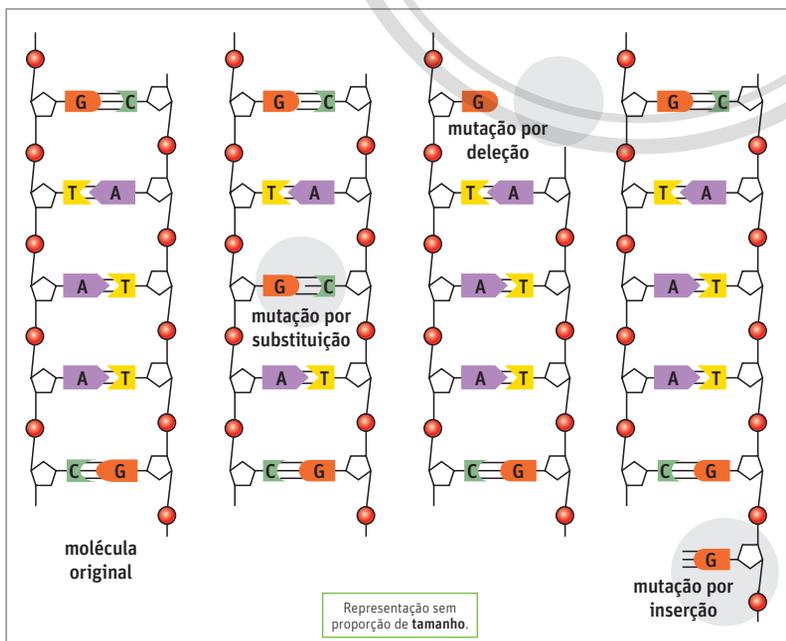
**Mutação gênica** é qualquer modificação que afeta a sequência de nucleotídeos do DNA. As mutações podem afetar diretamente o DNA dos gametas ou o das células que lhes dão origem e, dessa maneira, poderão ser transmitidas aos descendentes. Quando as mutações atingem as células somáticas (veja capítulo 9), elas não são herdáveis.

Grande parte das mutações ocorre de forma espontânea, a partir de erros nos emparelhamentos das bases ao longo do processo de duplicação. Embora inicialmente a quantidade de erros nos emparelhamentos seja considerável, poucos permanecem devido à ação dos mecanismos de reparo.

Além das mutações espontâneas, alguns agentes físicos, como certas radiações, e químicos, como certos **farmacos**, também podem provocar modificações no DNA. Essas mutações são chamadas de induzidas, e as causas que as desencadeiam são denominadas **agentes mutagênicos**.

Uma alteração na sequência de nucleotídeos pode ou não ter reflexos na proteína a ser produzida e ocasionar diferentes efeitos em relação às chances de sobrevivência e reprodução do organismo. Caso essas chances aumentem, diz-se que a mutação é **benéfica**. Se a mutação diminui as chances de sobrevivência, ela é dita **desfavorável**. Mutações **neutras** não têm impacto sobre as chances de sobrevivência e reprodução do organismo.

A mutação gênica pode ocorrer por **substituição**, quando há a troca de um ou mais nucleotídeos; por **deleção**, quando um ou mais nucleotídeos são eliminados; ou por **inserção**, quando há adição de um ou mais nucleotídeos (imagem abaixo).



Esquema dos diferentes tipos de mutações gênicas. Cores-fantasia.

Fonte de pesquisa: GRIFFITHS, A. J. F. et al. *Introdução à genética*. 9. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2011. p. 491.

**Fármaco:** medicamento; remédio.

### ATIVIDADES

4. Suponha uma molécula de DNA com a seguinte sequência de bases nitrogenadas, que determina a síntese de uma cadeia polipeptídica contendo sete aminoácidos (aa), como ilustrado na tabela abaixo:

TAC	aa1	metionina
CAC	aa2	valina
TCG	aa3	serina
TCA	aa4	serina
CAG	aa5	valina
TCG	aa6	serina
ACG	aa7	cisteína

A partir dessas informações, responda:

- Suponha que essa molécula foi submetida à ação de uma substância mutagênica, o que provocou uma alteração na 15<sup>a</sup> base nitrogenada dessa sequência, passando a ser citosina (C), e a eliminação da 18<sup>a</sup> base. Usando as informações da tabela da página 162, escreva qual é a nova sequência de aminoácidos.
- Quais devem ser os anticódons correspondentes após a mutação?
- Essa mutação pode ser considerada neutra? Justifique sua resposta.

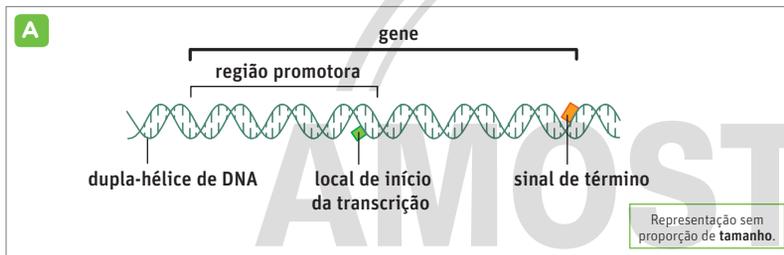
## O que é um gene?

Até a década de 1960, o gene era definido como uma unidade responsável pela hereditariedade, localizada na molécula de DNA, e constituída por uma sequência específica de nucleotídeos capaz de determinar a produção de um polipeptídeo. Naquela época dizia-se: “um gene – um polipeptídeo”.

Estudos posteriores mostraram, no entanto, que nem todas as sequências de nucleotídeos do DNA resultam em polipeptídeos. Como visto neste capítulo, os íntrons, por exemplo, são eliminados da molécula de RNAm na etapa de processamento do RNA e, conseqüentemente, não passam pelo processo de tradução.

Uma nova definição de gene foi proposta, e o gene passou a ser considerado um segmento de DNA capaz de gerar uma molécula de RNA, que pode ou não resultar na produção de um polipeptídeo. Passou-se, então, a dizer: “um gene – um RNA”.

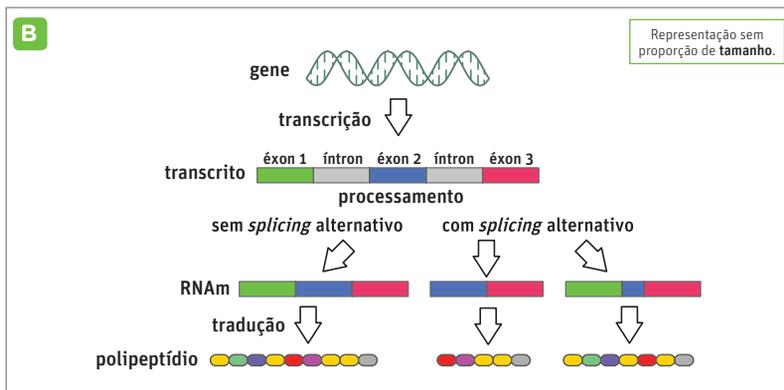
Na molécula de DNA, o gene começa na região promotora da transcrição e termina na sequência de término da transcrição (imagem A). Assim, foram incluídas no conceito de gene as sequências de nucleotídeos que codificam os íntrons e os éxons e, por exemplo, aquelas que codificam o RNAt e o RNAr, que não são traduzidos em proteínas.



Ilustrações: Paula Raetz/ID/BR

Esquema da extensão física de um gene. Cores-fantasia.

Mas novos conhecimentos tornaram a desafiar a definição de gene. Estudos com seres eucariontes revelaram mecanismos por meio dos quais uma mesma sequência de nucleotídeos de DNA pode dar origem a diferentes tipos de RNAm. Um exemplo é o **splicing alternativo** (imagem B), um tipo de processamento do RNA em que transcritos idênticos de RNAm podem sofrer exclusão de diferentes éxons, ou de parte deles, formando RNAm maduros completamente diferentes. Ainda não estão totalmente esclarecidos os mecanismos que orientam a produção de um ou outro tipo de RNAm por esse tipo de processamento, mas ele é muito comum nas células eucarióticas. Nas células humanas, cerca de 40% dos genes produzem mais de um tipo de RNAm. Portanto, já não se pode dizer: “um gene – um RNA”.



Esquema do processo de *splicing* alternativo, um mecanismo que ocorre na produção do RNAm, no qual um mesmo gene produz tipos diferentes de polipeptídeos. Cores-fantasia.

Fonte de pesquisa: ALBERTS, B. et al. *Fundamentos da biologia celular*. 3. ed. Porto Alegre: Artmed, 2011. p. 322.

5. Elabore uma explicação que permita a uma pessoa que nunca estudou Biologia entender o que é um gene.

## O papel do DNA

Hoje se sabe que grande parte do DNA dos seres eucariontes não codifica a produção de RNA. No genoma humano – conjunto completo de genes e sequências não codificantes contidos em todos os cromossomos de um indivíduo –, por exemplo, calcula-se que apenas 3% do DNA, denominado **DNA codificante**, tenha instruções para codificar moléculas de RNA. Ainda não se conhecem completamente as funções dos 97% restantes, que foram, inicialmente, considerados inativos e denominados “DNA-lixo”. Atualmente se reconhece que parte desse DNA desempenha funções importantes na estrutura e no funcionamento dos cromossomos e no processo de transcrição gênica. Por isso, essa parte do DNA passou a ser chamada **DNA não codificante**.

Conhecem-se, também, vários **mecanismos de regulação** da atividade do DNA. Um exemplo são as moléculas de RNA com função regulatória, produzidas por parte do DNA codificante. Essas moléculas controlam a expressão gênica, podendo ampliar, reduzir ou silenciar a ação de genes, e sua ação depende em grande medida das condições do meio interno da célula.

Entre os cientistas, há quem considere que o modelo de gene como uma unidade responsável pela hereditariedade já não pode mais ser sustentado. Segundo eles, o conhecimento disponível mostra que a síntese de proteínas não é controlada apenas pelo DNA, embora ele tenha participação fundamental. Essa é uma abordagem que altera a compreensão do papel do DNA na constituição das características dos seres vivos, assunto tratado no volume 3 desta coleção e ainda em discussão.

### ATIVIDADES

6. As técnicas de manipulação de DNA são aprimoradas constantemente. Esse avanço tecnológico gera questionamentos filosóficos e éticos. Uma das discussões envolve a possibilidade de, um dia, pais poderem solicitar a alteração do material genético nos embriões de seus futuros filhos, de forma a escolherem características físicas como a cor dos olhos, por exemplo.

Qual sua opinião a respeito dessa controvérsia? Você acha que pais deveriam ser autorizados a escolher as características físicas de seus filhos?

### AÇÃO E CIDADANIA

#### A fenilcetonúria

A fenilcetonúria é uma doença causada por mutações no gene relacionado à produção da proteína fenilalanina-hidroxilase. Essa proteína, produzida pelo fígado, é uma enzima que catalisa a conversão do aminoácido fenilalanina em outro aminoácido, a tirosina.

As mutações que alteram esse gene fazem com que a fenilalanina-hidroxilase não funcione de maneira adequada, provocando o acúmulo da fenilalanina no sangue e nos tecidos corporais. Esse acúmulo pode provocar alterações como atraso no desenvolvimento mental e físico, convulsões, problemas de pele e agressividade.

É possível fazer um diagnóstico precoce por meio do “teste do pezinho”, que consiste em recolher uma gota de sangue do recém-nascido para análise. Esse teste é realizado de forma obrigatória no Brasil, e é oferecido pelo Sistema Único de Saúde (SUS).

O tratamento da fenilcetonúria é feito por meio de uma dieta com alimentos pobres em fenilalanina. Isso significa que a pessoa deve evitar alimentos ricos em proteína. Porém, a fenilalanina é um aminoácido essencial e, por isso, a dieta deve ser elaborada por um especialista, de forma a diminuir os riscos de uma deficiência nesse aminoácido.

Existem produtos conhecidos como “fórmulas para dietas com restrição de fenilalanina”, que são compostos por diversos aminoácidos. Essas fórmulas costumam ser a principal fonte de aminoácidos para os fenilcetonúricos.

Por lei, as empresas alimentícias são obrigadas a fornecer à Anvisa (Agência Nacional de Vigilância Sanitária) a quantidade de fenilalanina presente em seus produtos. Algumas dessas empresas incluem no rótulo dos alimentos a informação da presença de fenilalanina.

# Práticas de Biologia

## Extração de DNA

### Objetivo

Extrair DNA de uma cebola.

### Material

- 1 cebola média
- filme plástico
- copos de vidro, béqueres ou garrafas tipo PET cortadas ao meio
- água aquecida a aproximadamente 70 °C
- água filtrada e gelo
- sal de cozinha
- detergente líquido incolor
- álcool de uso doméstico a cerca de -5 °C
- algodão ou coador de papel
- vasilhas e colheres de sopa e chá
- funil ou garrafa tipo PET cortada ao meio sem tampa

### Procedimento

1. Coloque água até 3/4 do volume do copo. Adicione duas colheres (sopa) de detergente líquido e uma colher (chá) cheia de sal de cozinha. Mexa lentamente (para não produzir bolhas) até que os componentes se dissolvam por completo.
2. Retire as camadas externas secas da cebola. Peça ao professor que pique a cebola em pedaços do menor tamanho possível. Coloque os pedaços diretamente na solução de água, detergente e sal. Cubra o copo com filme plástico (etapa A).
3. Coloque o copo coberto em uma bacia com água quente, a aproximadamente 70 °C, por 20 minutos (etapa B). **Atenção: Cuidado para não se queimar!**
4. Retire o copo da água aquecida, filtre o material utilizando o funil com algodão ou coador de papel e recolha o filtrado em outro copo (etapa C). Pode ser utilizada a garrafa PET cortada sem tampa.
5. Coloque o copo com o material filtrado em uma segunda bacia com gelo por 5 minutos (etapa D).
6. Retire o copo do gelo e adicione álcool gelado, fazendo com que ele escorra vagarosamente pela parede do copo. O volume de álcool deve ser equivalente ao do material filtrado (etapa E). **Cuidado: O álcool é altamente inflamável.**
7. Dessa forma, aparecerão duas fases: embaixo, a aquosa, e, em cima, a alcoólica (etapa F). Deixe em repouso por 5 minutos.
8. Observe o que aparece entre as duas fases e descreva em seu caderno.

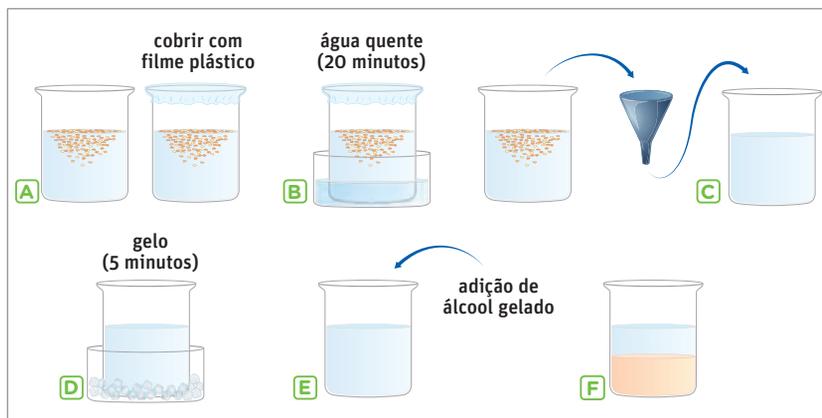


Sérgio Donat/DJBR

Aspecto da etapa F, com uma fase aquosa (parte inferior) e uma fase alcoólica (parte superior).

### Discussão

1. O que pode ser observado a olho nu entre as duas fases?
2. É possível observar a dupla-hélice de DNA? Por quê?
3. Sabendo que as membranas são lipoproteicas, explique por que o detergente foi utilizado.
4. Por que a mistura é colocada em água quente e depois o filtrado é colocado em água gelada?



Reinaldo Vignati/DJBR

Etapas da extração de DNA.

## Pesquisadores anunciam sequenciamento completo do genoma do vírus zika

Um artigo recém-publicado por pesquisadores do Instituto Oswaldo Cruz (IOC/Fiocruz) na revista científica internacional *The Lancet Infectious Diseases* apresenta o primeiro sequenciamento genético completo de um vírus zika ligado a um caso de microcefalia no Brasil. O vírus sequenciado foi isolado em novembro de 2015 a partir do líquido amniótico de uma gestante da Paraíba cujo bebê foi diagnosticado com a malformação por meio de exame de ultrassom. Na ocasião, a evidência de que o vírus poderia ultrapassar a barreira placentária e atingir o feto foi informada ao Ministério da Saúde (MS), contribuindo para direcionar as investigações sobre o crescente número de casos de microcefalia no país e sua potencial relação com o vírus zika. O achado também foi citado pela Organização Pan-Americana de Saúde (Opas) em um alerta sobre a possível associação entre o vírus e a malformação emitido em 1º de dezembro de 2015. Através da metagenômica, os pesquisadores obtiveram o sequenciamento completo do genoma do vírus zika presente na amostra. [...]

“Decidimos utilizar a metagenômica para investigar não apenas o vírus zika mas também se outros possíveis agentes infecciosos, como vírus e bactérias, poderiam estar presentes no líquido amniótico. Os resultados das análises revelaram que as únicas sequências obtidas em número altamente relevante se ‘alinhavam’ com o genoma do vírus zika [...]”, afirma a virologista Ana Bispo, chefe do Laboratório de Flavivírus do IOC e uma das coordenadoras do estudo, ao lado do pesquisador Amílcar Tanuri, da Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ). A pesquisa também contou com a participação de cientistas do Instituto Nacional de Infectologia Evandro Chagas (INI/Fiocruz) e do Instituto Nacional de Controle e Qualidade (INCCQ/Fiocruz), no Rio de Janeiro, e do Instituto de Pesquisa Professor Joaquim Amorim Neto (Ipesq), na Paraíba.

### Sobre o estudo

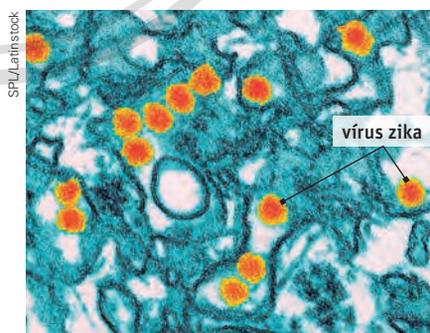
O artigo descreve as análises que foram realizadas, em novembro de 2015, em amostras de líquido amniótico de duas gestantes paraibanas cujos fetos foram diagnosticados com microcefalia por exames de ultrassom. Nos dois

MENEZES, Maíra. Zika em líquido amniótico é similar ao da Polinésia Francesa. Agência Fiocruz de Notícias, 19 fev. 2016. Disponível em: <<https://agencia.fiocruz.br/zika-em-liquido-amniotico-e-similar-ao-da-polinesia-francesa>>. Acesso em: 7 abr. 2016.

casos, testes moleculares detectaram a presença do material genético do vírus zika nas amostras. As pacientes apresentaram os sintomas da zika entre a 10ª e a 18ª semana de gestação, mais de dois meses antes da coleta do líquido amniótico, que ocorreu na 28ª semana. Para os cientistas, a presença do material genético do vírus no ambiente intrauterino tanto tempo depois da fase aguda da doença sugere persistência da replicação viral, o que poderia em parte ser explicado pela imunidade imatura do feto. “Embora o vírus zika tenha sido o único agente encontrado no líquido amniótico, ainda assim, estudos complementares são necessários para confirmar que este vírus é a única causa da microcefalia nestes casos, mesmo que até o momento seja a mais forte evidência. Precisamos de estudos urgentes para compreender os mecanismos biológicos envolvidos na infecção e na sua possível ligação com as malformações fetais”, ressalta Ana Bispo.

[...]

Uma comparação com genomas de outros vírus que pertencem ao gênero Flavivírus mostrou que, do ponto de vista genético, os vírus zika, incluindo a cepa recém-sequenciada, são mais próximos dos vírus da encefalite japonesa e da febre amarela do que do vírus da dengue. A análise não encontrou nenhuma evidência de mutação no vírus isolado a partir do líquido amniótico. “O vírus zika desafia a comunidade científica com uma série de perguntas. Nosso objetivo é contribuir para o esforço global de investigação e gerar conhecimento relevante sobre o tema”, sintetiza a virologista.

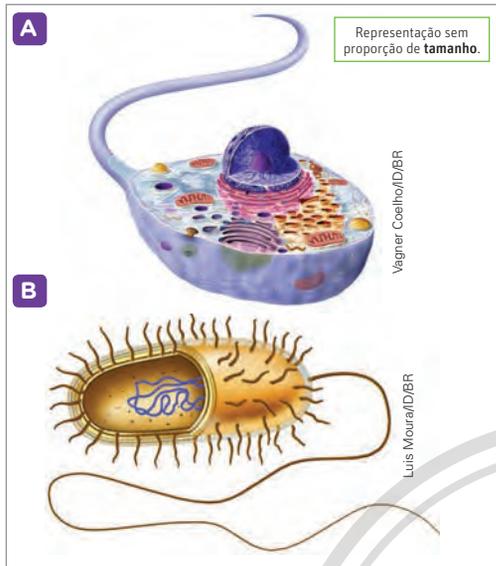


Vírus zika vistos ao microscópio eletrônico de transmissão (imagem colorizada; aumento de cerca de 80 000 vezes).

### PARA DISCUTIR

1. De acordo com o texto, a presença do vírus zika no líquido amniótico é uma forte evidência de que esse microrganismo pode estar ligado ao desenvolvimento de microcefalia em bebês. O que deve ser feito para se confirmar a relação entre esse vírus e a microcefalia?
2. Qual é a forma mais comum de transmissão do vírus zika? O que pode ser feito para diminuir as chances de contaminação?

1. Nos esquemas a seguir, identifique a célula procariótica e a célula eucariótica. Justifique sua resposta.



Cores-fantasia.

2. A tabela a seguir traz informações sobre células de três organismos diferentes.

Estrutura celular	X	Y	Z
membrana celular	presente	presente	presente
núcleo organizado	presente	ausente	presente
centríolo	presente	ausente	ausente
vacúolo central	ausente	ausente	presente
cloroplasto	ausente	ausente	presente
parede celulósica	ausente	ausente	presente

a) De acordo com as informações da tabela, a qual das colunas X, Y e Z corresponde cada um dos seguintes seres vivos?

jabuticabeira • jacaré • bactéria do leite

b) As informações da tabela devem ter sido obtidas por meio de microscópios de luz ou eletrônicos? Justifique sua resposta.

3. Leia as alternativas a seguir. Identifique as afirmações incorretas e reescreva-as em seu caderno, corrigindo-as.

- As bactérias são procarióticas e, como tais, não apresentam núcleo nem membrana celular.
- Robert Hooke observou células animais mortas ao colocar uma fatia fina de cortiça em seu microscópio.

- Os seres eucarióticos se distinguem dos procarióticos porque têm organelas no citoplasma.
- O núcleo das células só pode ser observado quando se dispõe de um microscópio eletrônico.
- A presença de cloroplastos é um dos aspectos que diferenciam células vegetais de células animais.
- Paredes celulares são estruturas encontradas exclusivamente em células animais.

4. Sobre a membrana celular ou plasmática, responda:

- Qual é sua composição química?
- De acordo com o modelo do mosaico fluido, como os componentes da membrana celular estão organizados?

5. Um grupo de células foi submetido a um experimento, e os teores de alguns compostos foram monitorados. Outro grupo foi mantido em condições normais, como controle. Os resultados obtidos estão descritos no quadro a seguir.

	Grupo experimental	Grupo controle
Teor de íons $\text{Na}^+$ intracelular	Inicialmente menor, igualou com o meio externo.	Inicialmente menor, manteve a diferença.
Teor de íons $\text{K}^+$ intracelular	Inicialmente maior, igualou com o meio externo.	Inicialmente maior, manteve a diferença.
Teor de oxigênio intracelular	Manteve os mesmos níveis do início do experimento, sendo menor que o do meio externo.	Manteve os mesmos níveis do início do experimento, sendo menor que o do meio externo.

a) Existem evidências de que o experimento alterou o funcionamento da bomba de sódio e potássio? Explique.

b) Se o experimento se prolongar por muito tempo, as células de ambos os grupos permanecerão funcionais?

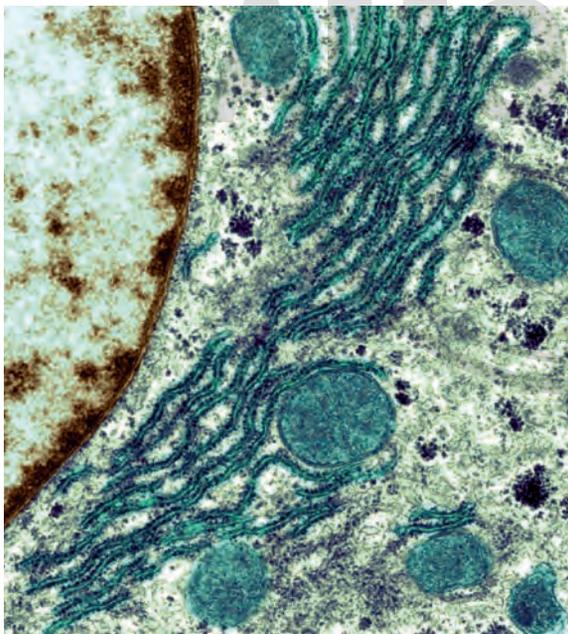
6. A figura abaixo mostra hemácias que foram mergulhadas em soro fisiológico por 20 minutos (cores-fantasia).



Reinaldo Vignatti/D&B

a) Em relação ao citoplasma celular, o soro fisiológico é isotônico, hipertônico ou hipotônico? Explique.

- b) Quando necessário, o soro fisiológico pode ser administrado diretamente na veia de um paciente. Em sua opinião, o mesmo pode ser feito com água destilada, isto é, água pura, sem substâncias dissolvidas? Por quê?
7. A diapedese consiste na migração de glóbulos brancos (leucócitos) do sangue através de poros das paredes capilares para os tecidos circundantes. Esse fenômeno está associado, geralmente, a processos inflamatórios ou infecciosos, nos quais os leucócitos fagocitam bactérias invasoras.
- a) A capacidade do leucócito realizar os movimentos de diapedese e fagocitose se relacionam a quais componentes celulares?
- b) Após a fagocitose, as vesículas formadas podem se fundir aos lisossomos. Qual a importância desse processo?
8. É correto afirmar que as células procarióticas não possuem DNA? Explique.
9. Observe a fotografia abaixo, que mostra uma célula pancreática secretora de enzimas digestivas, e responda às questões propostas.



Retículo endoplasmático rugoso. (Foto ao microscópio eletrônico; imagem colorizada; aumento de cerca de 18 mil vezes.)

- a) Qual a relação entre a atividade secretora desta célula e a presença de um retículo endoplasmático granuloso bem desenvolvido?
- b) Descreva o caminho percorrido por um aminoácido no interior desta célula, desde a sua absorção até a sua eliminação como parte de uma proteína secretada.

10. As mitocôndrias são organelas de membrana dupla encontradas em quase todas as células eucarióticas, sendo mais numerosas em células com intensa atividade metabólica. Muitos estudiosos admitem que essa organela foi incorporada às células primitivas há mais de 1 bilhão de anos, por meio de um processo chamado de endossimbiose.

- a) Que evidências sustentam a hipótese da endossimbiose?
- b) Por que mitocôndrias são mais numerosas em células com atividade metabólica intensa?

11. Explique o que são metabolismo, anabolismo e catabolismo. Dê dois exemplos de processos catabólicos e dois exemplos de processos anabólicos.

12. Sabe-se que, no processo de respiração celular aeróbica, cada molécula de glicose degradada gera um certo número de moléculas de ATP.

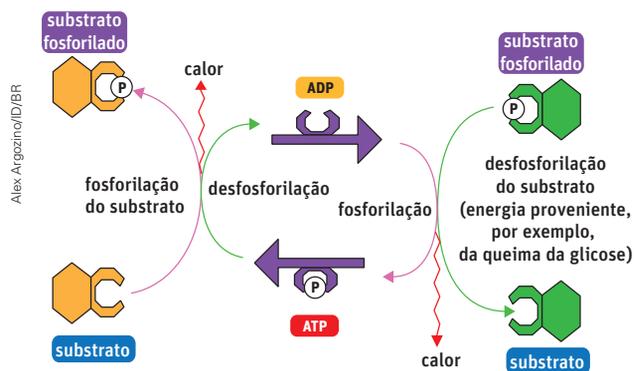
- a) Como se formam as moléculas de ATP originadas nesse processo?
- b) Quantas moléculas de ATP são formadas a partir de cada molécula de glicose degradada?

13. Durante ou após a realização de esforço físico intenso, pode ocorrer acúmulo de uma certa substância nas células musculares. Depois de algum tempo, essa substância é degradada.

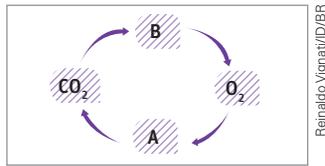
- a) Que substância é essa? Por que ela se acumula nas células musculares?
- b) Em que outra situação e/ou outros tipos de células pode-se observar a ocorrência desse mesmo processo?

14. Cite pelo menos duas outras substâncias, além da glicose, que também podem ser usadas pelas células como fontes de energia.

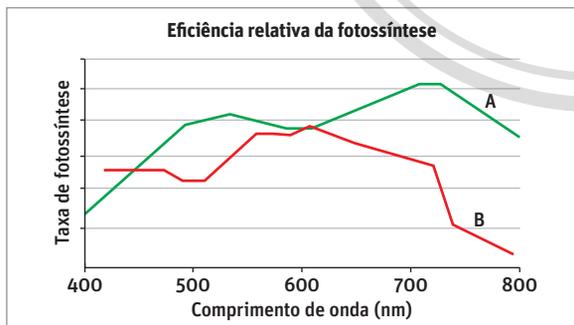
15. O sistema ADP-ATP envolve uma série de reações, conhecidas como “reações acopladas”, mostradas na figura abaixo. Explique de que forma esse mecanismo de acoplamento é utilizado nas reações metabólicas da célula.



16. Considere o esquema abaixo, que representa resumidamente certos processos que ocorrem em seres vivos. Identifique corretamente os processos A e B e cite exemplos de seres em que eles ocorrem.



17. Reescreva estas frases em seu caderno, substituindo corretamente os algarismos I a IV: “Os (I) são pequenas vesículas achatadas do cloroplasto, originadas da (II) da organela. O conjunto de todos os (I) do cloroplasto chama-se grana. O espaço entre os (I) e a (II) é preenchido pelo (III), local onde ocorre a etapa (IV) da fotossíntese”.
18. Em alguns ambientes oceânicos muito profundos, próximos a fontes termais, a vida prolifera, embora a luz solar não chegue até lá.
- Como se chama o processo que permite a sustentação da vida nesses ambientes?
  - Que organismos o realizam?
  - Qual a principal diferença entre a fotossíntese e o processo que permite a manutenção da vida nesses ambientes?
19. O gráfico abaixo representa o espectro de eficiência relativa da fotossíntese de uma alga verde (A) e de uma alga vermelha (B). Observando o gráfico, responda:



- As duas algas, quando expostas à mesma fonte de luz, absorvem os mesmos comprimentos de onda luminosa, com o mesmo grau de eficiência? Justifique.
  - Qual é o comprimento de onda que produz aproximadamente a mesma eficiência na fotossíntese?
20. Cite as quatro estruturas básicas presentes em um núcleo interfásico e explique suas funções.
21. Quais são as duas substâncias fundamentais que compõem um cromossomo?

22. Que relação pode ser estabelecida entre o DNA existente no núcleo, o RNA ali sintetizado e as proteínas que são produzidas no citoplasma?
23. Uma das técnicas de coloração usadas em citologia é a reação de Feulgen, que cora especificamente o DNA. Se uma célula for submetida a essa técnica de coloração, quais das estruturas nucleares deverão aparecer coradas?
24. A imagem abaixo mostra cromossomos humanos durante a fase de divisão celular. Como se explica esse aspecto em “X”, se os cromossomos são formados por um único filamento de DNA?



Foto ao microscópio eletrônico de varredura; imagem colorizada; aumento de cerca de 3 500 vezes.

25. Observe as duas imagens abaixo, obtidas com microscópios eletrônicos de transmissão. Qual delas mostra um nucleóide? Qual delas mostra um núcleo? Em que aspecto você se baseou para fazer sua escolha?

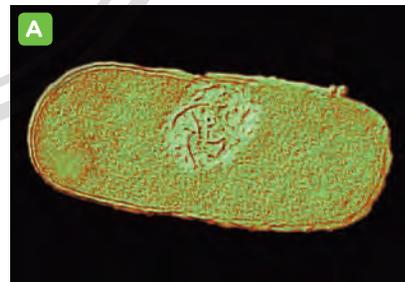


Imagem colorizada; aumento de cerca de 10 mil vezes.

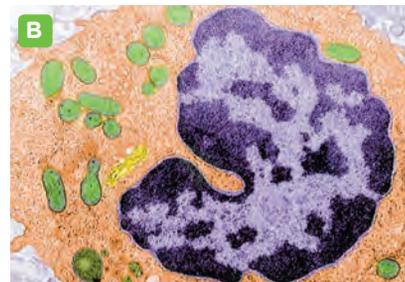
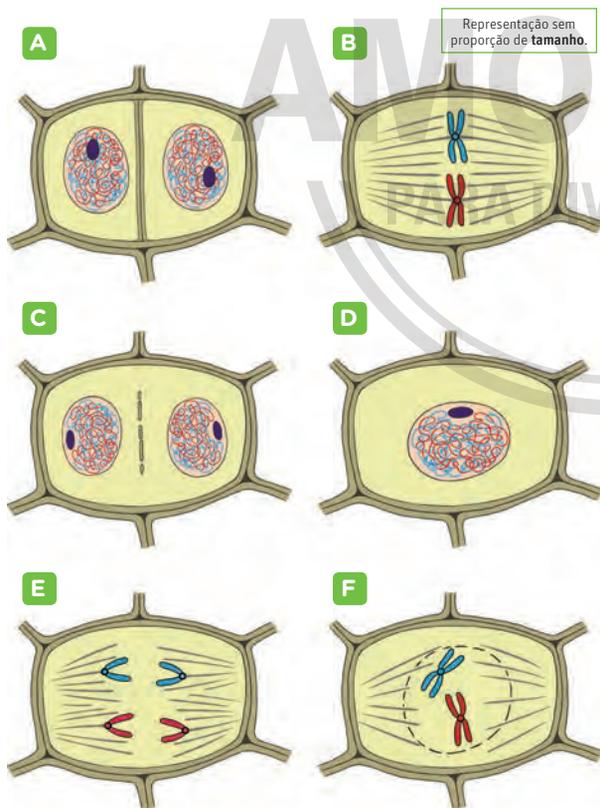


Imagem colorizada; aumento de cerca de 12 700 vezes.

26. Mitose e meiose são dois processos distintos de divisão celular. Para comparar as características desses dois processos, copie a tabela a seguir em seu caderno e preencha as lacunas. Você pode acrescentar mais linhas com outras características que julgar relevantes.

Características	Mitose	Meiose
ploidia da célula-mãe		
número de células originadas		
ploidia das células-filhas		
semelhança entre o material genético da célula-mãe e das células-filhas		
órgãos/células do corpo nos quais ocorrem		
função biológica		
destino da célula após a divisão		

27. O esquema abaixo representa várias etapas do processo de divisão celular (cores-fantasia).



- a) Ordene cronologicamente as figuras, de acordo com as etapas da divisão celular.  
 b) Identifique cada etapa, justificando.  
 c) O processo representado é mitótico ou meiótico? Justifique.

d) A célula representada é vegetal ou animal? Justifique.

28. Por que o processo de duplicação do DNA é considerado semiconservativo? Para o organismo, qual é a vantagem de o processo de replicação ocorrer dessa maneira?

29. A partir da análise de uma proteína e sua sequência de aminoácidos, é possível determinar a sequência de códons do DNA que a gerou? Justifique sua resposta.

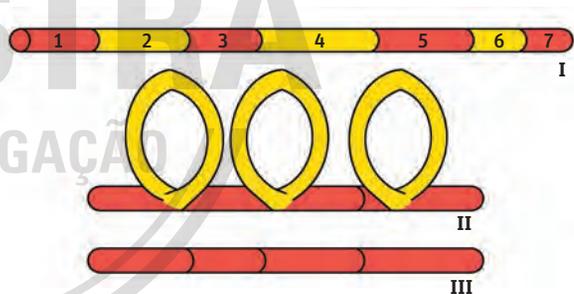
30. Considere a seguinte sequência de bases presentes em uma fita ativa de DNA: AACGCTGATTCGCATGGT.

a) Escreva a sequência de bases complementar à sequência apresentada.

b) Escreva a sequência de bases que uma molécula de RNAm apresentaria caso fosse produzida a partir da fita ativa de DNA apresentada no enunciado.

c) Caso o RNAm do item b passasse por um processo de tradução, qual seria a sequência de aminoácidos do polipeptídeo formado?

31. Observe a figura abaixo e responda às questões propostas:

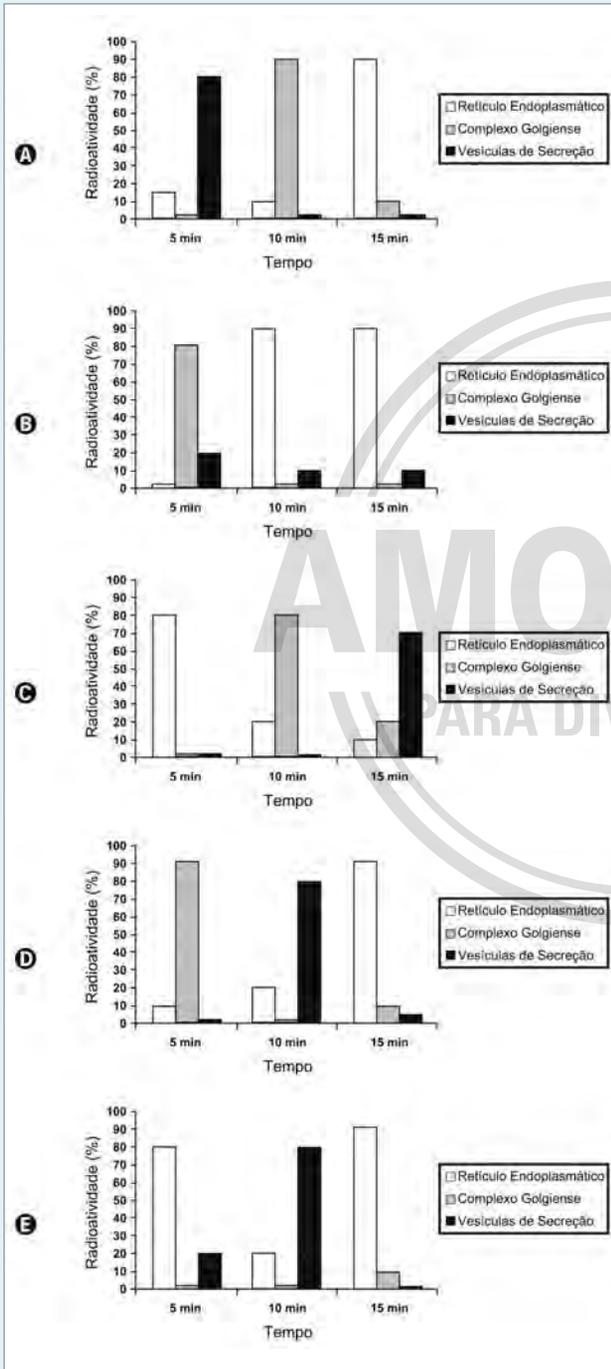


a) Das três fitas representadas na figura, qual delas corresponde ao RNA em *splicing*, ao RNA mensageiro e ao transcrito primário de RNAm?

b) Das sete regiões identificadas por números de 1 a 7, quais delas correspondem aos íntrons? Justifique.

32. Em um artigo publicado na revista científica inglesa *Nature*, em 1953, Watson e Crick propuseram um modelo para a estrutura molecular do DNA, inclusive o pareamento obrigatório entre a adenina e a timina, e entre a guanina e a citosina, e afirmaram: “Não escapou da nossa atenção que o pareamento específico que nós postulamos sugere imediatamente um possível mecanismo de cópia do material genético”. Mais tarde verificou-se que eles tinham razão, e o mecanismo de cópia foi denominado duplicação semiconservativa. Em sua opinião, por que os autores vislumbraram um mecanismo de cópia da molécula a partir do pareamento específico das bases?

1. (Enem) Muitos estudos de síntese e endereçamento de proteínas utilizam aminoácidos marcados radioativamente para acompanhar as proteínas, desde fases iniciais de sua produção até seu destino final. Esses ensaios foram muito empregados para estudo e caracterização de células secretoras.



Após esses ensaios de radioatividade, qual gráfico representa a evolução temporal da produção de proteínas e sua localização em uma célula secretora?

2. (UEL-PR) Na tabela, a seguir, estão assinaladas a presença (+) ou a ausência (-) de alguns componentes encontrados em quatro diferentes tipos celulares (A, B, C e D).

Componentes	Tipos celulares			
	A	B	C	D
envoltório nuclear	+	-	+	-
ribossomos	+	+	+	+
mitocôndrias	+	-	+	-
clorofila	-	+	+	-
retículo endoplasmático	+	-	+	-

Os tipos celulares A, B, C e D pertencem, respectivamente, a organismos:

- procarioto heterótrofo, eucarioto heterótrofo, procarioto autótrofo e eucarioto autótrofo.
- procarioto autótrofo, eucarioto autótrofo, eucarioto heterótrofo e procarioto heterótrofo.
- eucarioto heterótrofo, procarioto heterótrofo, procarioto autótrofo e eucarioto autótrofo.
- eucarioto autótrofo, procarioto autótrofo, eucarioto heterótrofo e procarioto heterótrofo.
- eucarioto heterótrofo, procarioto autótrofo, eucarioto autótrofo e procarioto heterótrofo.

3. (Enem) Segundo a teoria evolutiva mais aceita hoje, as mitocôndrias, organelas celulares responsáveis pela produção de ATP em células eucariotas, assim como os cloroplastos, teriam sido originados de procariontes ancestrais que foram incorporados por células mais complexas.

Uma característica da mitocôndria que sustenta essa teoria é a

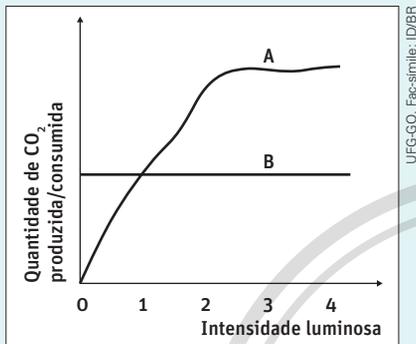
- capacidade de produzir moléculas de ATP.
- presença de parede celular semelhante à de procariontes.
- presença de membranas envolvendo e separando a matriz mitocondrial do citoplasma.
- capacidade de autoduplicação dada por DNA circular próprio semelhante ao bacteriano.
- presença de um sistema enzimático eficiente às reações químicas do metabolismo aeróbio.

4. (UFRGS) A rota metabólica da respiração celular responsável pela maior produção de ATP é

- a glicólise, que ocorre no citoplasma.
- a fermentação, que ocorre na membrana externa da mitocôndria.
- a oxidação do piruvato, que ocorre na membrana externa da mitocôndria.

- d) a cadeia de transporte de elétrons, que ocorre na membrana interna da mitocôndria.
- e) o ciclo do ácido cítrico, que ocorre na matriz da mitocôndria.

5. (UFG-GO) O gráfico a seguir representa as taxas de fotossíntese (A) e de respiração (B), medidas pela quantidade de  $\text{CO}_2$  consumida ou produzida, de uma planta submetida a diferentes intensidades luminosas.



- a) Com base na análise do gráfico, o que ocorrerá a essa planta caso a intensidade luminosa permaneça entre os pontos 0 e 1?
- b) Explique a variação desses processos, considerando um ciclo natural de 24 horas, com dia e noite, e mantendo-se os demais fatores ambientais constantes ( $\text{CO}_2$ , temperatura, umidade e nutrientes).
6. (Ufam) Quando os pesquisadores começaram a desconfiar que as informações para a síntese de proteínas estavam contidas no DNA, eles foram confrontados com um problema: reconheciam a existência de quatro bases (A, T, C e G) nos nucleotídeos e, ao mesmo tempo, reconheciam a existência de 20 aminoácidos. Como apenas quatro bases poderiam codificar 20 aminoácidos diferentes? Matematicamente, se um aminoácido fosse determinado por uma única base, teríamos a possibilidade de formação de apenas 4 aminoácidos (4). Em se tratando desse código universal, analise as seguintes afirmações:
- I. A trinca de bases como código genético permite 22 possíveis arranjos, os quais são suficientes para especificar todos os aminoácidos conhecidos. Assim, codificam-se os 20 aminoácidos, além dos códons de “parada” e de “início”.
- II. A conversão da informação genética contida no DNA para uma molécula de RNA mensageiro (mRNA) é chamada de transcrição e ocorre no núcleo.
- III. O termo “código universal” refere-se à constância da sequência de bases nitrogenadas na molécula de DNA em todos os seres vivos, mantida ao longo do processo evolutivo.

IV. Uma sequência 5'-UGAUUAGGACCUCUA-3' do mRNA permite a codificação de cinco aminoácidos na cadeia polipeptídica.

- a) Somente as afirmativas I e II estão corretas.
- b) Somente as afirmativas I e IV estão corretas.
- c) Somente as afirmativas II e III estão corretas.
- d) Somente as afirmativas II e IV estão corretas.
- e) Somente as afirmativas III e IV estão corretas.

7. (Enem) O formato das células de organismos pluricelulares é extremamente variado. Existem células discóides, como é o caso das hemácias, as que lembram uma estrela, como os neurônios, e ainda algumas alongadas, como as musculares.

Em um mesmo organismo, a diferenciação dessas células ocorre por

- a) produzirem mutações específicas.
- b) possuírem DNA mitocondrial diferentes.
- c) apresentarem conjunto de genes distintos.
- d) expressarem porções distintas do genoma.
- e) terem um número distinto de cromossomos.

#### Para explorar

##### Leia

**O DNA**, de Marcelo Leite. São Paulo: PubliFolha, 2003 (Série Folha Explica – Biologia).

Uma interessante retrospectiva das pesquisas com DNA: sua identificação como constituinte químico dos genes, a proposição de um modelo de sua estrutura por Watson e Crick, o estabelecimento de sua participação na síntese de proteínas e os princípios da engenharia genética, incluindo aplicações e questões éticas.

##### Navegue

###### Fundação Oswaldo Cruz

Traz muitas imagens e faz um apanhado da história da microscopia, mostrando a evolução da concepção de célula e comparando a organização dos diferentes tipos celulares. Disponível em: <<http://linkte.me/dz6e5>>. Acesso em: 7 abr. 2016.

###### O ciclo celular

Página desenvolvida pelo grupo de Pós-Graduação em Biologia Funcional e Molecular da Unicamp. Apresenta informações sobre o ciclo celular e sobre os tipos de divisão celular, bem como temas relacionados. Disponível em: <<http://linkte.me/x8bf5>>. Acesso em: 7 abr. 2016.

##### Assista

**Gattaca: a experiência genética**. Ano: 1997. Dir.: Andrew Niccol. Produção: Sony Pictures.

O filme se passa no futuro, e a sociedade é dividida de acordo com as potencialidades estabelecidas pela análise de DNA. Um dos últimos seres “naturais”, fadado à mediocridade, assume a identidade de uma pessoa geneticamente concebida para ser “superior”. O filme antecipa uma discussão ética: até que ponto a manipulação genética pode ser tolerada em uma sociedade sadia?

### Câncer: conhecer para prevenir

No ano de 2015, só no Brasil, mais de 500 mil novos casos de câncer foram diagnosticados. Desses, apenas 10% são de origem genética. A grande maioria dos casos diagnosticados tem relação direta com fatores ambientais e hábitos prejudiciais à saúde, como tabagismo, alcoolismo, sedentarismo e exposição exagerada ao sol.

#### Objetivo

- Compreender a relação entre os fatores ambientais e as células do corpo humano que pode levar ao desenvolvimento de câncer.
- Refletir sobre a importância da mudança de hábitos como forma de prevenção do câncer.
- Ressaltar que o diagnóstico precoce aumenta as chances de sucesso do tratamento contra o câncer.

#### O que você vai fazer

Você e seus colegas vão elaborar uma campanha de prevenção ao câncer para esclarecer dúvidas a respeito dos principais tipos de câncer que atingem a população brasileira e alertar sobre a importância da prevenção.

O modo como a campanha será veiculada é livre. Pode ser feita por meio de cartazes, propagandas de TV, rádio, folhetos, etc.

Cada grupo vai elaborar e entregar para o professor um relatório completo com as informações sobre a doença pesquisada e com o plano de campanha, que deve apresentar o público-alvo, a escolha do modo de veiculação e o objetivo da campanha.

#### Pesquisa de conteúdo

Formem grupos de quatro a cinco alunos. Cada grupo ficará responsável por estudar um dos principais tipos de câncer que atingem a população brasileira. São eles:

- câncer de pele, do tipo não melanoma;
- câncer de próstata;
- câncer de cólon e reto;
- câncer de pulmão;
- câncer de mama;
- câncer de estômago.

A equipe deve pesquisar as características do tipo de câncer escolhido, o(s) tecido(s) afetado(s), os principais fatores de risco para desenvolver a doença, os tipos de tratamento e as formas de prevenção.

Para auxiliar a pesquisa, pode-se consultar livros especializados, revistas de saúde e de divulgação científica, realizar entrevistas com profissionais da área e pesquisar *sites* na internet – *sites* de hospitais especializados em tratamento de câncer e de centros de pesquisa geralmente possuem informações confiáveis e atualizadas.

#### Desenvolvimento da campanha

Cada equipe será responsável por todo o processo de criação da campanha, desde a definição do público-alvo e a forma como a campanha será veiculada até a produção do material informativo.

Caso o material a ser produzido seja um cartaz, o texto que acompanha a parte visual deve ser curto.

As propagandas de rádio ou TV não devem ultrapassar 30 s. Assim, o roteiro deve prever um texto informativo não muito longo.

Por fim, se o material escolhido for um fôlder ou um folheto simples, o texto deve ser mais extenso, porém de fácil compreensão. As imagens devem ilustrar os dois lados do material.

O relatório que acompanhará o material produzido deverá ser dividido em introdução, desenvolvimento e conclusão. A introdução deve conter todas as informações pesquisadas sobre a doença. No desenvolvimento será descrito o processo de produção da campanha, deixando claro seu objetivo. Na conclusão, deve-se avaliar o processo de pesquisa e elaboração da campanha, bem como a própria ideia do projeto e em que ele contribuiu para ampliar seu conhecimento sobre a doença estudada.



Fabio Eugenio/ID/BR

## Avaliação do projeto

Após a conclusão do projeto, reúna-se com os colegas de turma e discutam o processo de elaboração e o resultado final obtido pelos grupos:

- Você já conhecia o tipo de câncer sobre o qual pesquisou?
- Quais foram as principais dificuldades durante o processo de elaboração da campanha?
- Você compartilhou com seus familiares os conhecimentos adquiridos durante o desenvolvimento desse projeto?
- O conhecimento obtido nesse projeto provocou alguma mudança de hábito em você ou em seus familiares?
- Qual sua avaliação geral do projeto?

Cada grupo poderá avaliar seu próprio trabalho e discutir o material produzido pelos outros grupos.

## 3

# Biologia do desenvolvimento

**NESTA UNIDADE**

- 12 Reprodução dos seres vivos
- 13 Desenvolvimento embrionário
- 14 Desenvolvimento embrionário dos mamíferos

Muitas das atuais espécies existentes no planeta são multicelulares. Isso significa que esses organismos são formados por agregados de células, em geral de vários tipos, formando os diversos tecidos e órgãos que compõem o corpo de cada indivíduo.

Os processos de reprodução e desenvolvimento inicial dos seres multicelulares vem sendo objeto de estudo de naturalistas e cientistas ao longo do tempo. Observe a ilustração da página ao lado, pertencente à obra *Atlas de anatomia e cirurgia humana*, publicada na França no século XIX. Ela mostra uma sequência (que se inicia no canto superior esquerdo) do desenvolvimento inicial de um vertebrado.

**QUESTÕES PARA REFLETIR**

1. A sequência de ilustrações sugere que o número de células aumenta com o passar do tempo. Como esse aumento é possível?
2. Apesar de o número de células aumentar, o volume que elas ocupam permanece o mesmo, ou seja, as células vão ficando cada vez menores. Você acredita que há uma razão para isso? Qual?
3. É possível saber qual espécie de vertebrado está representada na sequência de desenhos?

Imagem da página ao lado:

Ilustração do desenvolvimento embrionário de um vertebrado presente no livro *Atlas de Anatomia e cirurgia humana*, de J. M. Bourgerie (1797-1849) e N. H. Jacob (1782-1871), publicado no séc. XIX.



# Reprodução dos seres vivos

## O QUE VOCÊ VAI ESTUDAR

Tipos de reprodução.

Sistemas genitais feminino e masculino em seres humanos.

Gametogênese e fecundação.

Métodos contraceptivos.

Doenças sexualmente transmissíveis.



Um casal de rãs (*Rana temporaria*), em abraço nupcial para acasalamento. O macho, que se posiciona sobre a fêmea, permanece nessa posição até que ela realize a postura dos ovos na água.

Reprodução é o processo biológico pelo qual os seres vivos geram descendentes e perpetuam a existência das espécies. Por meio da reprodução, informações genéticas são transmitidas de uma geração a outra.

Neste capítulo, serão estudados alguns modos de reprodução dos seres vivos, com ênfase para a reprodução humana.

Para o ser humano, entretanto, o sexo não está associado apenas à função reprodutiva. O exercício da sexualidade humana envolve papéis afetivos, psicológicos e sociais. Esse aspecto mais amplo traz consigo o problema das doenças transmitidas por via sexual – denominadas doenças sexualmente transmissíveis (ou DST) –, além da possibilidade de gravidez indesejada.

Assim, entre os temas deste capítulo estão também as principais DST e métodos de prevenção, além de alguns mecanismos de contracepção.

## Reprodução

As formas conhecidas de reprodução podem ser classificadas em **assexuada** ou **sexuada**.

### Reprodução assexuada

Nos seres vivos que se reproduzem assexuadamente, um único indivíduo dá origem a **clones**, isto é, cópias de si mesmo sem alteração genética. A variabilidade genética pode haver quando, por exemplo, ocorrem mutações. Os mecanismos conhecidos de reprodução assexuada são bastante diversos, como mostrado a seguir.

#### Cissiparidade

Também chamado **divisão binária**, esse tipo de reprodução assexuada é exclusiva de seres unicelulares, como bactérias e protozoários. Nesse processo, o organismo duplica seu material genético e, em seguida, divide-se em duas partes, que dão origem a dois novos organismos (imagem A).

#### Fragmentação

Alguns seres vivos podem se fragmentar e dar origem a novos indivíduos por meio da regeneração desses fragmentos. A fragmentação, ou **regeneração**, é realizada por algumas algas multicelulares e também por certos animais, como planárias (tipo de verme) e estrelas-do-mar (imagem B).

#### Brotamento

Nesse modo de reprodução, novos indivíduos desenvolvem-se de dilatações do corpo (os brotos ou gemas) que podem se desprender do organismo genitor e se desenvolver independentemente. O brotamento, ou **gemulação**, é observado em alguns seres unicelulares, como bactérias e leveduras (fungos), e também em seres multicelulares, como esponjas e hidras (imagem C), animais aparentados às águas-vivas.

#### Esporulação

Os fungos e as algas, por exemplo, produzem células reprodutoras especializadas chamadas **esporos**. Ao alcançar um local com condições ideais (umidade, luz, etc.), um esporo pode originar um novo indivíduo (imagem D).

#### Multiplicação vegetativa

Muitas plantas produzem descendentes a partir de suas folhas, caules ou raízes, ou seja, a partir das estruturas vegetativas. A folha-da-fortuna, por exemplo, é uma planta que produz diversos clones de si mesma a partir das bordas das folhas. Outro exemplo são os estolões do morangueiro e do clorofito (imagem E) e os rizomas da bananeira, caules modificados que permitem a multiplicação vegetativa da planta.



Clorofito se reproduzindo por multiplicação vegetativa a partir do estolão. Estes crescem na horizontal e tocam o solo em certos pontos, podendo enraizar-se e originar novas plantas.



(A) Protozoário ciliado (gênero *Oxytricha*) se reproduzindo por cissiparidade; as células-filhas são geneticamente iguais à original. (Foto ao microscópio de luz; aumento de cerca de 430 vezes.). (B) Uma estrela-do-mar pode originar novos indivíduos pela regeneração de fragmentos de seu corpo, como no caso de um braço destacado que contenha parte do disco central. (C) Hidra-de-água-doce gerando broto em sua lateral esquerda. (D) Esporos de fungos germinando. (Foto ao microscópio eletrônico de varredura; imagem colorizada; aumento de cerca de 1 100 vezes.)

## Reprodução sexuada

A principal característica da reprodução sexuada é a produção de **gametas** – células haploides ( $n$ ), que contêm metade do número de cromossomos típico da espécie. O zigoto, diploide ( $2n$ ), é formado pela fecundação, isto é, pela união de dois gametas.

Ao produzir gametas e misturar seu material genético, a reprodução sexuada contribui para a variabilidade genética das espécies. Esse modo de reprodução é realizado por muitos seres vivos, como algas, fungos, plantas e animais.

## Reprodução sexuada nos animais

Na maioria dos animais, os gametas são formados por meiose em órgãos denominados **gônadas**. As gônadas masculinas, ou testículos, produzem espermatozoides. As femininas, denominadas ovários, produzem os óvulos.

Nos animais **monoicos** ou bissexuados, também chamados de hermafroditas, as gônadas masculinas e as femininas estão presentes em um mesmo indivíduo. Nesse caso, é comum que ocorra a **fecundação cruzada**: dois indivíduos trocam espermatozoides durante a cópula e ambos têm seus óvulos fecundados (imagem A). Algumas espécies, porém, realizam a autofecundação, como a tênia, um verme parasita.

Nos animais **dioicos** ou unissexuados, as gônadas estão em indivíduos diferentes: testículos, nos machos, e ovários, nas fêmeas. Os machos e as fêmeas podem apresentar **dimorfismo sexual**, isto é, ser diferentes em tamanho, coloração, etc. (imagem B). Durante a cópula, o macho libera espermatozoides que fecundam os óvulos da fêmea. A fecundação pode ser interna ou externa. A **partenogênese** – em que um embrião se desenvolve de um óvulo não fecundado – ocorre apenas em poucas espécies, como nas abelhas.

Quanto ao desenvolvimento embrionário, os animais podem ser classificados em ovíparos, vivíparos ou ovovivíparos. Animais **ovíparos** são aqueles cujo embrião se desenvolve dentro de ovos, sejam eles sem casca ou com casca. Invertebrados, peixes, anfíbios, aves, répteis (imagem C) e até alguns mamíferos, como o ornitorrinco, colocam ovos.

A maior parte dos mamíferos, alguns peixes (como tubarões) e certos répteis são **vivíparos**, isto é, produzem embriões que se desenvolvem dentro do corpo da mãe. No caso dos mamíferos vivíparos, os embriões se desenvolvem no útero, órgão feminino que providencia toda a nutrição embrionária por meio da placenta (tema abordado no capítulo 14).

Já os animais **ovovivíparos** são aqueles em que os embriões se desenvolvem dentro de ovos, que permanecem no interior do corpo da mãe até eclodirem. É o caso de alguns peixes e répteis.

### ATIVIDADES

1. Identifique, em cada definição abaixo, o tipo de reprodução: assexuada ou sexuada.
  - a) São necessários dois progenitores.
  - b) Não há troca de material genético.
  - c) Ocorre a formação de gametas masculinos e femininos.
  - d) Em algum momento da reprodução ocorre meiose.
  - e) É um processo rápido, do qual surgem duas células-filhas a partir de uma célula-mãe.



Caracóis (gênero *Helix*) em cópula. Esses animais são monoicos e realizam fecundação cruzada.



O tordo-sargento é uma ave que apresenta dimorfismo sexual. Os machos são pretos, e as fêmeas são marrons.



A cobra-de-água-de-colar é um exemplo de espécie de serpente ovípara.

## Reprodução humana

Na espécie humana, a reprodução é mais do que um fenômeno biológico para a geração de descendentes. A sexualidade manifestada nesse processo representa, também, necessidades afetivas e psicológicas, envolvendo fatores culturais, ambientais, religiosos, etc. O contato íntimo entre seres humanos é ao mesmo tempo instintivo e social.

A **puberdade** é o período que marca o início da fase reprodutiva do ser humano. Isso acontece geralmente entre 9 e 13 anos de idade, mas pode variar bastante de pessoa para pessoa. Nessa fase, ocorrem profundas modificações nos órgãos sexuais, decorrentes de alterações hormonais. Os meninos começam a produzir sêmen (um líquido com espermatozoides), e as meninas iniciam seus ciclos menstruais. Para entender a puberdade e os fenômenos dela decorrentes, é necessário conhecer os órgãos genitais femininos e masculinos.

### Sistema genital feminino

Formado por ovários, tubas uterinas, útero, vagina e pudendo feminino, o sistema genital feminino permite o desenvolvimento do embrião em caso de gravidez. Todos esses órgãos estão localizados na cavidade abdominal, exceto o pudendo feminino (imagens abaixo e à direita).

### Ovários

As gônadas femininas são os ovários, dois órgãos que produzem, além de gametas, os hormônios sexuais femininos. Durante o período fértil da mulher, os ovários liberam os **ovócitos**, células precursoras dos óvulos, os gametas femininos (leia sobre “ovulogênese” na página seguinte). Produzem também os hormônios sexuais femininos, como os **estrogênios**, responsáveis pelos caracteres sexuais secundários da mulher (o desenvolvimento dos seios, o timbre de voz, o aumento do quadril, etc.), e a **progesterona**, responsável pela preparação do corpo para uma possível gravidez. Esses hormônios apresentam ainda outros efeitos no corpo feminino.

### Tubas uterinas

São os dois canais laterais que ligam os ovários ao útero. Internamente, as tubas uterinas são revestidas por células ciliadas,

cujas função é empurrar o ovócito em direção ao útero. Normalmente, é nas tubas uterinas que ocorre a fecundação do ovócito, durante seu movimento rumo ao útero.

### Útero

Considerado o maior órgão do sistema genital feminino, o útero é um órgão oco, em forma de pera invertida, que está situado atrás da bexiga urinária e mantém contato direto com a vagina. Além de abrigar o embrião em desenvolvimento durante a gravidez, o útero permite a passagem de gametas, tanto dos espermatozoides em direção às tubas uterinas como dos ovócitos não fecundados em direção à vagina.

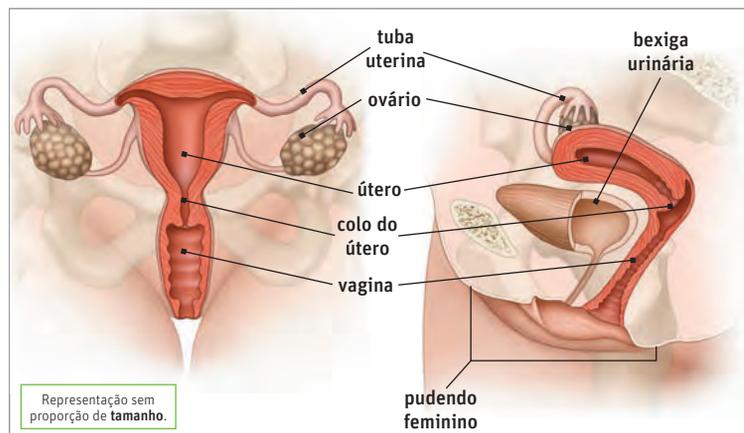
As paredes do útero possuem diversas camadas; a mais interna delas é o **endométrio**, onde o embrião se fixa após a fecundação. Há também uma camada muscular, que se contrai para expulsar o bebê na hora do parto. Durante a gravidez, o útero vai se expandindo gradualmente devido ao crescimento do feto.

### Vagina

É um tubo muscular que conecta o útero ao pudendo feminino, parte externa dos órgãos genitais femininos. Durante o ato sexual, os espermatozoides são depositados na vagina. A penetração do pênis é facilitada por uma substância lubrificante secretada por glândulas da vagina. Também é pela vagina que o **fluxo menstrual** – sangue com ovócitos não fecundados – é eliminado do corpo. Além de musculosa, a vagina é um órgão bastante elástico, o que permite a passagem do bebê durante o parto natural.

Fonte de pesquisa: PUTZ, R.; PABST, R. (Ed.). *Sobotta: atlas de anatomia humana*. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2008. p. 200 e 203.

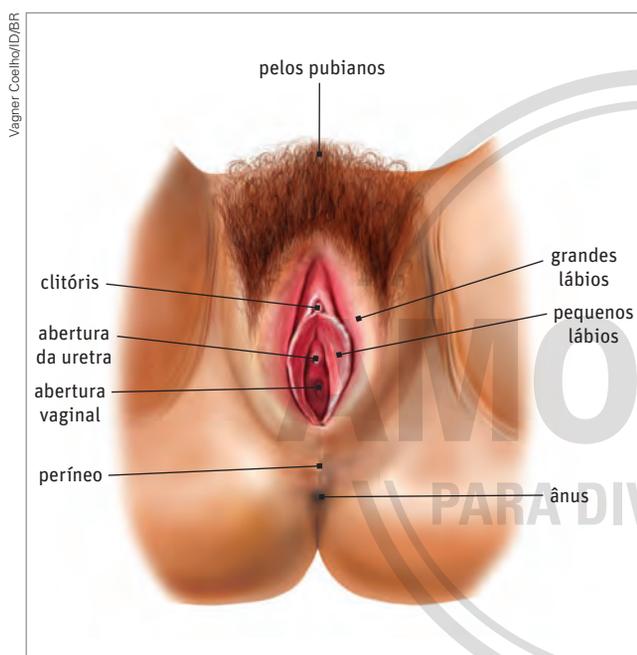
Sistema genital feminino em visão frontal (à esquerda) e lateral (à direita). O pudendo corresponde à parte externa dos órgãos genitais femininos. Cores-fantasia.



## Pudendo feminino

Antes chamado de vulva, o pudendo feminino é a região externa do sistema genital feminino (imagem a seguir). É nele que aparecem os pelos pubianos durante a puberdade.

O pudendo é formado por várias estruturas, dentre elas, um par de pregas de pele e tecido gorduroso, os **grandes lábios**, que recobrem um segundo par de pregas menores e mais finas, os **pequenos lábios**. O **clitóris**, órgão relacionado à excitação sexual feminina, está situado sobre os pequenos lábios. A abertura da vagina é separada da abertura da uretra, que faz parte do sistema urinário. A região entre o ânus e a parte inferior dos grandes lábios é denominada **períneo**.



## Ovulogênese

Também denominada **ovogênese**, a ovulogênese é o processo de formação dos gametas femininos, ou óvulos, que se inicia quando a mulher ainda é só um embrião. Tal processo pode ser dividido em três períodos, como descrito a seguir (acompanhe na imagem A da página ao lado).

### Período de germinação

No ovário do embrião de sexo feminino, há células germinativas primordiais diploides que se diferenciam em **ovogônias**, células igualmente diploides. Ainda no estágio fetal, as ovogônias migram para a periferia do ovário, onde se multiplicam continuamente por mitose. Entre o quarto e o quinto mês de desenvolvimento do feto, há cerca de 7 milhões dessas células, mas somente 1 milhão delas estará presente no bebê completamente formado.

### Período de crescimento

A partir do terceiro mês de gestação, algumas ovogônias do embrião feminino iniciam a meiose, que não é concluída: permanecem na prófase I. Nessa fase, recebem o nome de **ovócitos primários** ou **ovócitos I**, e são diploides, já que não concluíram a primeira divisão meiótica (meiose I).

Ao nascer, as meninas possuem cerca de 400 mil ovócitos primários em cada ovário, em estruturas que posteriormente formarão os **foliculos ovarianos**. Depois do nascimento, contudo, muitos deles degeneram e morrem antes de a ovulogênese prosseguir.

Representação do pudendo feminino. Os pequenos e grandes lábios foram afastados para mostrar suas estruturas.

Fonte de pesquisa: PUTZ, R.; PABST, R. (Ed.). *Sobotta: atlas de anatomia humana*. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2008. p. 235.

## AÇÃO E CIDADANIA

### Orientação sexual e identidade de gênero

A sexualidade não se restringe ao sexo biológico, que é aquele definido pela presença de órgãos sexuais femininos ou masculinos. Ela envolve sentimentos e atitudes relacionadas à vida sexual e afetiva das pessoas.

A **orientação sexual** está ligada aos desejos afetivos e sexuais e se expressa de maneiras múltiplas, como: homossexualidade (entre pessoas do mesmo sexo), heterossexualidade (entre pessoas de sexos opostos) e bissexualidade (quando o desejo é direcionado para ambos os sexos). As diferentes orientações sexuais são expressões da sexualidade humana e nenhuma dessas orientações pode ser considerada um padrão de normalidade.

O **gênero** define a construção social da identidade. A percepção que cada pessoa tem de si mesma como

pertencente ao gênero masculino, feminino, ou a uma combinação de ambos, é chamada de **identidade de gênero**. Ela pode ou não corresponder ao sexo biológico. Quando a percepção pessoal do corpo está em desacordo com o corpo físico, a pessoa pode, voluntariamente, modificar sua aparência. É o caso dos travestis, pessoas que se vestem e se comportam de acordo com o gênero ao qual se sentem identificadas, independentemente de seu sexo biológico. E também o caso dos transexuais, pessoas que se submetem a procedimentos hormonais e/ou cirúrgicos para adequar seu corpo à sua identidade de gênero. A cirurgia de transgenitalização (mudança de órgão genital) pode ser feita pelo SUS (Sistema Único de Saúde).

## Período de maturação

Desde a puberdade até uma idade aproximada de 50 anos, ocorrem os **ciclos ovarianos** ou **menstruais**, que duram, em média, 28 dias. Em cada um desses ciclos, em geral apenas um ovócito primário entra no período de maturação.

Nesse período, o ovócito primário finaliza a primeira etapa da meiose, interrompida desde o período de crescimento, e dá origem a duas células haploides com cromossomos duplicados. Uma das células recebe o nome de **ovócito secundário** ou **ovócito II**; e a outra, bem menor, é chamada de **primeiro corpúsculo polar** ou **glóbulo polar**, que em geral se degenera.

O ovócito secundário inicia, então, a segunda divisão meiótica (meiose II), que fica estacionada na metáfase II ao sair do folículo ovariano. A meiose será concluída apenas nos ovócitos secundários que forem fecundados, os quais se transformam em **óvulos**.

## Ovulação

A **ovulação** consiste no rompimento do folículo ovariano e na consequente liberação do ovócito secundário na tuba uterina.

Ao sair do ovário, o ovócito secundário (ainda em metáfase II) chega ao interior da tuba uterina, onde será empurrado em direção ao útero pelos movimentos musculares e pelas células ciliadas da tuba uterina. Caso o ovócito secundário seja fecundado pelo espermatozoide, a meiose tem prosseguimento, e o ovócito secundário passa a se chamar **óvulo**.

Após eliminar o ovócito secundário, o folículo ovariano transforma-se em **corpo lúteo** (antes chamado de corpo amarelo), uma estrutura situada na parede do ovário que posteriormente regride.

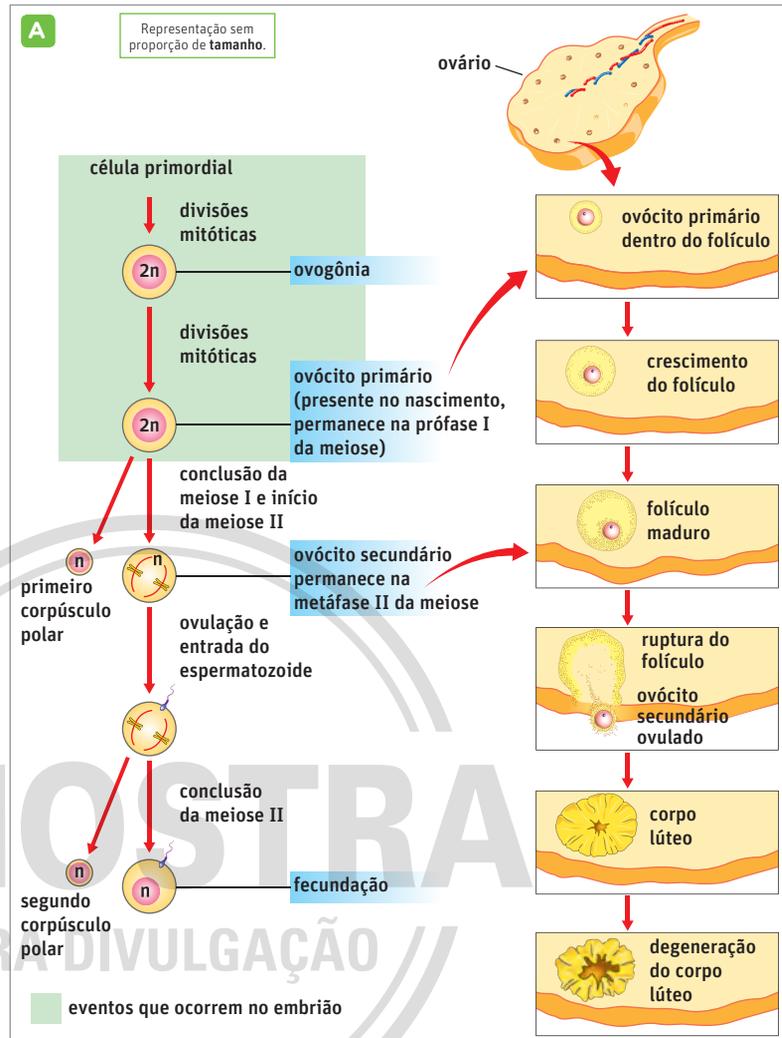
## O óvulo

O óvulo humano é uma célula esférica, haploide, que contém certa reserva de nutrientes, o **vitelo**, que nutre o embrião no início de seu desenvolvimento.

Externamente, o óvulo está associado a uma ou mais camadas de células, que formam a **coroa radiada**. Abaixo desta encontra-se uma camada gelatinosa chamada **zona pelúcida** (imagem B).

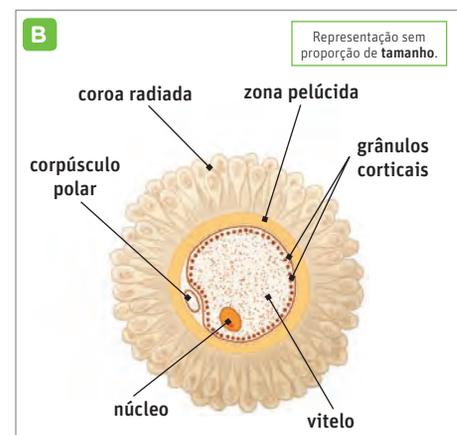
Na periferia do óvulo existem grânulos corticais, cuja função é formar uma **membrana de fecundação**, que impede a passagem de outros espermatozoides após a entrada de um deles no ovócito.

Ainda que não seja fecundado, o ovócito secundário percorre a tuba uterina em direção ao útero. Nesse caso, como não há formação de embrião, ocorre sangramento e desprendimento do endométrio. Esse fenômeno é denominado **menstruação**.



Esquema da ovogênese humana. Cada divisão mitótica origina mais de uma célula.

Fonte de pesquisa: REECE, J. B. et al. *Campbell Biology*. 10. ed. [S.l.]: Pearson, 2014. p. 1023.



Representação do óvulo humano. Cores-fantasia.

Fonte de pesquisa: JUNQUEIRA, L. C.; CARNEIRO, J. *Histologia básica*. 12. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2013. p. 431.

## Sistema genital masculino

Formado por pênis, testículos, escroto, vias seminais e glândulas acessórias, o sistema genital masculino (imagem A) tem grande parte de seus órgãos localizada fora da cavidade abdominal do homem.

### Testículos

As gônadas masculinas são os testículos, dois órgãos que contêm em seu interior tubos muito finos e enovelados, os **túbulos seminíferos**, onde ocorre a formação dos espermatozoides. Estes são conduzidos até o **epidídimo** (outro conjunto de tubos), onde permanecem armazenados até estarem maduros (leia sobre a espermatogênese na página ao lado).

Tanto os testículos como o epidídimo localizam-se no **escroto** (imagem B), uma bolsa que se projeta para fora do abdome e mantém sua temperatura entre 34,5 °C e 35 °C, pouco abaixo da corporal, o que permite a produção e a sobrevivência dos espermatozoides. Na puberdade, a pele do escroto fica escura e coberta por pelos.

Os testículos também produzem **testosterona**, hormônio sexual masculino que atua, por exemplo, na diferenciação dos caracteres sexuais secundários do homem (ganho de massa muscular e óssea, crescimento de pelos, etc.) na puberdade.

### Vias seminais

São tubos que permitem a saída dos espermatozoides durante a ejaculação. As vias seminais são formadas pelos **ductos deferentes**, tubos que partem de cada epidídimo e que terminam no **ducto ejaculatório**, tubo único que desemboca na **uretra**, dentro do pênis.

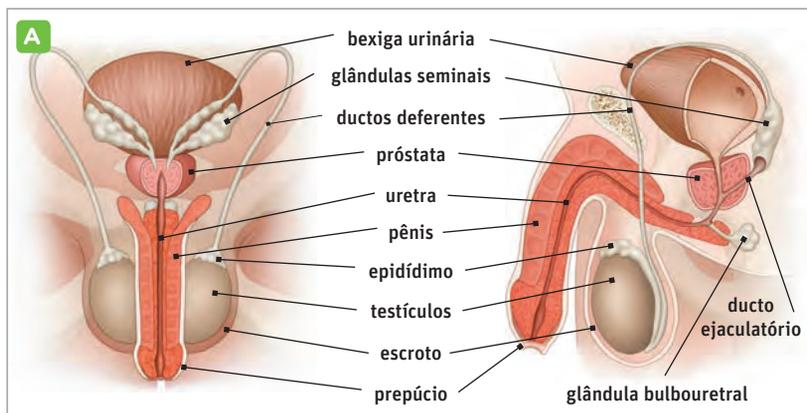
### Glândulas acessórias

As **glândulas seminais**, localizadas uma de cada lado da bexiga urinária, produzem o **fluido seminal**, um líquido que nutre os espermatozoides. Esse fluido é lançado no ducto ejaculatório e forma cerca de 75% do volume do sêmen. Já a **próstata**, maior glândula acessória do sistema genital masculino, localiza-se abaixo da bexiga urinária. Ela produz uma secreção leitosa e alcalina que se junta ao fluido seminal e tem a função de neutralizar a acidez dos resíduos de urina encontrados na uretra do homem e na vagina. Há também um par de **glândulas bulbouretrais**, situadas abaixo da próstata, que secretam um líquido lubrificante na uretra.

### Pênis

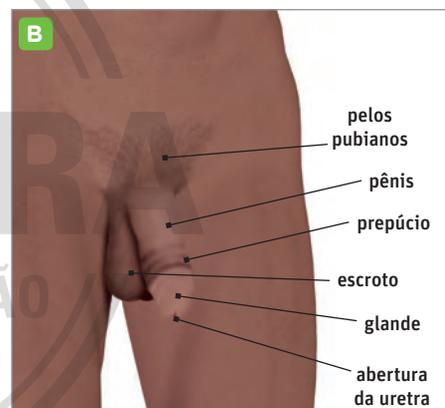
É o órgão masculino que realiza a **cópula**, ou o coito, ao penetrar na vagina durante o ato sexual. O pênis possui cavidades internas, denominadas **corpos cavernosos**, que se enchem de sangue durante a excitação sexual, o que provoca a **ereção**, isto é, seu aumento de tamanho. Além disso, existe também a uretra, um canal comum aos sistemas genital e urinário, que elimina urina ou sêmen. A parte terminal do pênis, onde se abre a uretra, é a **glande**, região mais alargada que é revestida por uma pele chamada **prepúcio** (imagem B). Durante a ereção, o prepúcio geralmente se retrai e expõe a glande.

Representação sem proporção de tamanho.



Representação do sistema genital masculino em visão frontal (à esquerda) e lateral (à direita). Cores-fantasia.

Fonte de pesquisa: PUTZ, R.; PABST, R. (Ed.). *Sobotta: atlas de anatomia humana*. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2008. p. 192 e 196.



Representação de parte do sistema genital masculino. O prepúcio foi retraído para expor a glande.

Fonte de pesquisa: PUTZ, R.; PABST, R. (Ed.). *Sobotta: atlas de anatomia humana*. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2008. p. 197.

## ATIVIDADES

2. Os testículos dos meninos se desenvolvem dentro da cavidade abdominal e só se alojam no escroto quando a criança está para nascer (ou, em alguns casos, até os quatro meses de idade). Se a migração dos testículos para o escroto não ocorrer, o menino poderá se tornar um adulto não fértil? Explique por quê.

## Espermatogênese

Também chamada de gametogênese masculina, a espermatogênese é o processo de formação de **espermatozoides** no interior dos túbulos seminíferos (imagem A). Esse processo é ativado na puberdade pelos hormônios liberados pela glândula hipófise e pelos testículos. Em geral, reconhecem-se quatro períodos, um a mais do que na ovulogênese.

### Período de germinação

Nos testículos, as células germinativas primordiais ( $2n$ ) se diferenciam em **espermatogônias** ( $2n$ ), que se dividem por mitose durante toda a vida do homem, formando espermatogônias idênticas. Na infância, a formação das espermatogônias é um processo pouco eficiente, intensificando-se na puberdade e prosseguindo até a vida adulta. Durante a velhice, o processo tende a ser mais lento.

### Período de crescimento

Nesse período, cada espermatogônia aumenta de volume e origina **espermatócitos primários** ou **espermatócitos I** ( $2n$ ).

### Período de maturação

Os espermatócitos primários realizam a primeira divisão meiótica (meiose I), originando duas células haploides chamadas **espermatócitos secundários** ou **espermatócitos II**. Essas células entrarão em meiose II, originando quatro células haploides, denominadas **espermátides**.

### Período de diferenciação

Nessa fase, as espermátides sofrem alterações morfológicas, convertendo-se em **espermatozoides**. Esse período não tem equivalente na ovulogênese. A espermatogênese gera quatro células-filhas haploides (espermatozoides) a partir de uma célula diploide (espermatogônia).

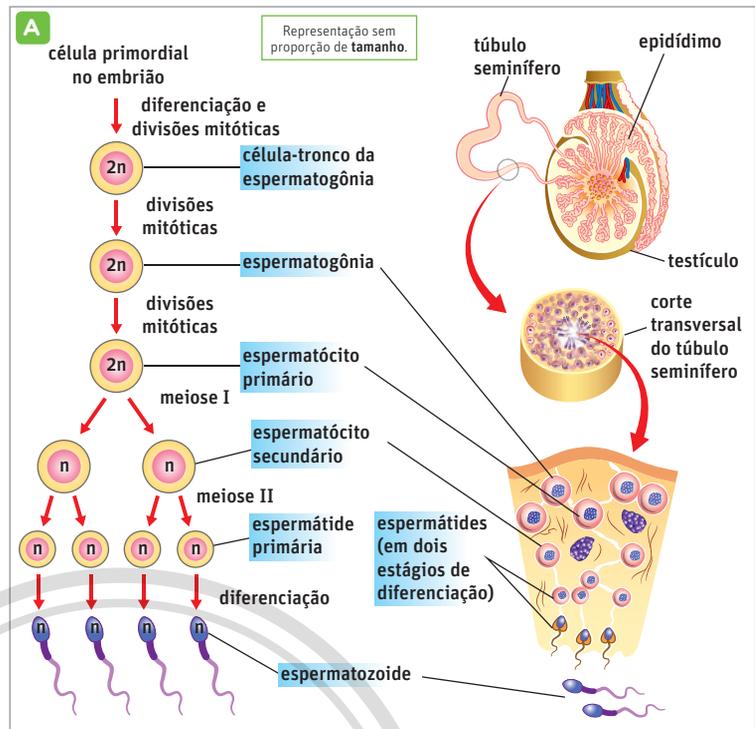
### O espermatozoide

O espermatozoide é uma célula móvel que possui três estruturas principais: cabeça, peça intermediária e cauda (imagem B).

Ao se diferenciarem durante a espermatogênese, as espermátides alongam-se e há um estreitamento de seu citoplasma. O complexo golgiense concentra-se ao redor do núcleo, formando, no espermatozoide, o **acrossomo**, estrutura com enzimas que auxiliam o espermatozoide a penetrar no ovócito. Além do acrossomo, a cabeça do espermatozoide possui o núcleo, onde se localizam as informações genéticas paternas.

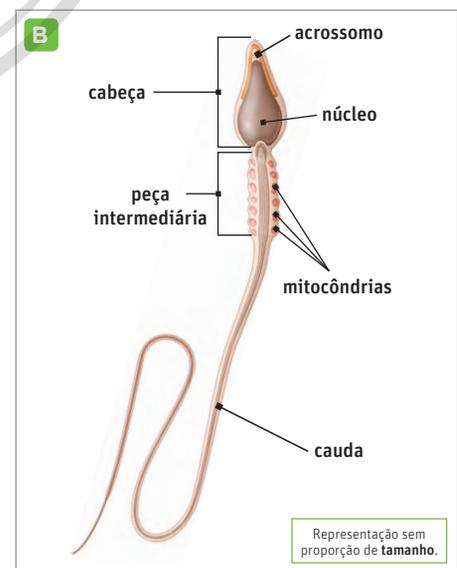
A **peça intermediária** é formada por um pequeno volume de citoplasma onde se concentram as mitocôndrias que estavam na espermátide. As mitocôndrias fornecem energia ao espermatozoide durante sua migração em direção ao ovócito.

A **cauda** do espermatozoide é um longo flagelo originado a partir do centríolo. Durante a diferenciação da espermátide, pode ocorrer a formação de espermatozoides com duas cabeças, com duas caudas, sem cauda, etc. Esses espermatozoides dificilmente conseguirão fecundar o ovócito.



Esquema da espermatogênese humana. Cada divisão mitótica origina mais de uma célula. Cores-fantasia.

Fonte de pesquisa: REECE, J. B. et al. *Campbell Biology*. 10. ed. [S.l.]: Pearson, 2014. p. 1022.



Representação de um espermatozoide. Cores-fantasia.

Fonte de pesquisa: JUNQUEIRA, L. C.; CARNEIRO, J. *Histologia básica*. 12. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2013. p. 417.

## Charles Bonnet e a descoberta da reprodução sem acasalamento

Estudos sobre a geração – isto é, a formação de novos indivíduos (processo que durante o século XIX passou a ser chamado de **reprodução**) e de novas partes orgânicas em um indivíduo por processos regenerativos – são realizados desde a Antiguidade.

O filósofo grego Aristóteles realizou muitos estudos morfológicos e anatômicos de seres vivos, incluindo alguns experimentos simples. Com base na observação de um grande número de organismos, ele reconhecia a existência de três tipos de geração: a) espontânea (em enguias, ostras e alguns insetos); b) a partir de um único progenitor (em alguns animais e principalmente em plantas, por meio de brotos); e c) a partir de dois progenitores (na maior parte dos animais, mas também em algumas plantas). A teoria da **geração espontânea** deixou de ser aceita no início do século XX, enquanto as outras duas modalidades passaram a se chamar, respectivamente, **reprodução assexuada** e **sexuada**.

Muitos séculos depois, o médico inglês William Harvey (1578-1657) defendia que todos os animais derivavam, sem exceção, de um primórdio ou “ovo”, produzido pela fêmea, que se desenvolve ao receber a influência do sêmen do macho. Essa ideia da universalidade do “ovo” nos animais foi aceita pela maioria dos estudiosos da época.

Mais tarde, seguindo pesquisas de outros botânicos, Carl Linné (1707-1778) difundiu a ideia de que todas as plantas possuem órgãos femininos (pistilos com ovos) e masculinos (anteras com pólen). A ideia de que as plantas podem ter reprodução sexuada, como os animais, causou bastante impacto na sociedade de vários lugares da Europa, onde muitos estudiosos se interessavam por temas das ciências naturais.

No século XVIII, portanto, a reprodução sexuada em animais e plantas era considerada um fenômeno universal. Nesse contexto, houve um grande impacto quando foram descobertas, em alguns tipos de animais, formas de reprodução que não envolviam indivíduos dos dois sexos.

Uma dessas descobertas foi realizada em 1740 pelo genebrês Charles Bonnet (1720-1793), um jovem de 20 anos de idade atraído pelas sugestões de experimentos apresentadas em um livro do naturalista francês René Ferchault de Réaumur (1683-1757). Bonnet realizou experimentos que evidenciavam que a fêmea de um pequeno inseto, o pulgão-da-fava, gerava uma cria sem ter sido fertilizada pelo macho da espécie. Ou seja, uma fêmea capaz de procriar sozinha!

A novidade dessa reprodução, hoje conhecida como **partenogênese**, foi apresentada por Bonnet na Academia de Ciências da França. A importância dessa descoberta e o meticuloso trabalho experimental desenvolvido por Bonnet fizeram com que ele fosse nomeado o mais jovem membro da Academia.

Poucos anos mais tarde, em 1744, Bonnet assim descreveu seus experimentos:

Há vários meios de se criar um pulgão isolado. Eis o que escolhi. Em um vaso de flores [...], preenchido com terra comum, eu enterrei, até o seu gargalo, uma garrafa de vidro [...] cheia d'água. Eu inseri nessa garrafa um pequeno ramo de evônimo [...], contendo não mais que cinco ou seis folhas, depois de examiná-las de todos os lados com a maior atenção. Em seguida, eu depusitei sobre uma dessas folhas um pulgão cuja mãe, desprovida de asas, acabara de dar à luz sob meus olhos. Eu cobri o pequeno ramo com um pote de vidro [...], cujas bordas encostavam perfeitamente sobre a superfície da terra do vaso de flores, estando certo de que meu prisioneiro estava tão seguro quanto Dânae, que por ordem de Acrísio fora trancada em uma torre de bronze.

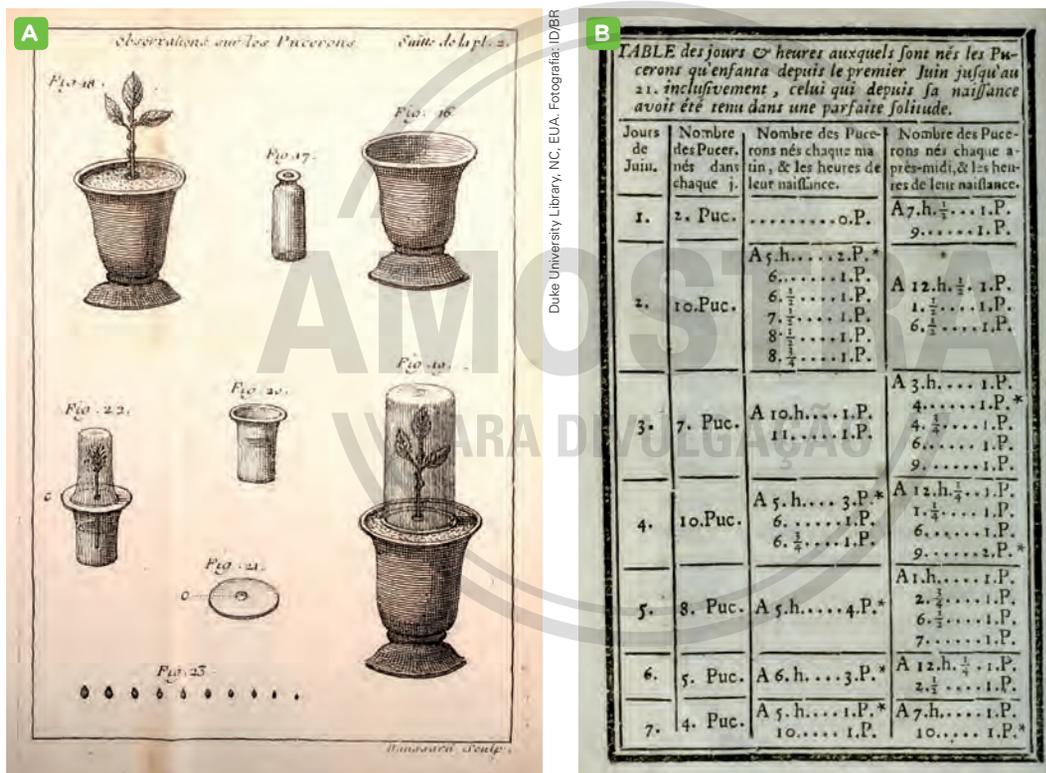
Isso ocorreu no dia 20 de maio, às 5h da tarde, quando coloquei o pulgão que havia acabado de nascer na solidão que acabo de descrever. Eu tive o cuidado de escrever um diário exato de sua vida. Eu notei até os seus menores movimentos, nenhuma de suas ações me passaram despercebidas. Eu o observei todos os dias, de hora em hora, começando, em geral, entre 4h e 5h horas da manhã, sem interrupção, até 9h e 10h da noite; eu também o observei diversas vezes numa mesma hora e sempre com uma lupa para tornar a observação mais exata e me instruir

das ações mais secretas numa mesma hora e sempre com uma lupa para tornar a observação mais exata e me instruir das ações mais secretas de nosso pequeno solitário. [...] Estudando com zelo um só pulgão eu pude esclarecer as faculdades da maior parte desses insetos. Entre eles não se observam diferenças consideráveis, como eu havia aprendido com a leitura das excelentes *Memoírias* do sr. Réaumur.

[...]

No dia 1º de junho, cerca de 7h da manhã, com grande contentamento, eu vi o nascimento; e desde logo eu julguei que devia chamá-lo de pulgãozinho. A partir desse dia, e durante os 21 dias seguintes, nasceram 95 filhotes, todos bem vivos e a maior parte nascendo diante dos meus olhos. Eis uma tabela [imagem B] em que assinalai, com a maior exatidão que me foi possível, o dia e a hora do nascimento de cada um desses pulgões. O asterisco indica os nascimentos que ocorreram em momentos em que eu não estava observando.

BONNET, Charles. *Traité d'insectologie* [Tratado de insectologia]. Paris, v. 1, p. 27-29 e p. 39, 1744. (Tradução dos autores.)



(A) Prancha do livro *Traité d'insectologie* de Charles Bonnet. As figuras presentes na prancha são mencionadas na transcrição acima e ilustram os materiais utilizados na estratégia experimental de isolamento do pulgão sob observação. (B) Tabela presente no *Traité d'insectologie* contendo o registro de dia, hora e número de pulgões nascidos entre os dias 1º e 7 de junho de 1740.

### PARA DISCUTIR

1. Hoje a partenogênese é identificada em diversos grupos de animais. Pesquise em livros e na internet e indique alguns exemplos.
2. Existem diversas formas de reprodução assexuada, em diferentes organismos. Faça uma pesquisa sobre o tema, em livros e sites, e dê exemplos.
3. Os experimentos de Bonnet apresentam procedimentos inovadores das ciências naturais dos séculos XVII e XVIII e que são utilizados até hoje. Procure identificar alguns deles nos trechos do livro de Bonnet citados nesta seção.

## Fecundação

O período fértil da mulher corresponde ao período em que o ovócito secundário, ou ovócito II, está na tuba uterina e é possível ocorrer a **fecundação**, isto é, seu encontro e fusão com um espermatozoide.

Na relação sexual com penetração vaginal e ejaculação, espermatozoides penetram o corpo feminino. Da vagina, eles passam para o útero e deslocam-se por esse órgão até as tubas uterinas. Embora milhões de espermatozoides sejam ejaculados, poucos conseguem chegar ao ovócito II (imagem A). A maioria morre devido à acidez da vagina ou se perde no caminho até o ovócito. (É importante lembrar que o ovário costuma liberar um único ovócito II a cada ciclo menstrual.)

Ao alcançar o ovócito II, os espermatozoides passam pela coroa radiada e aderem à zona pelúcida (imagem B). O primeiro espermatozoide que digere a zona pelúcida com as enzimas liberadas pelo seu acrosomo, e, assim, atravessar a membrana plasmática do ovócito II, irá desencadear dois processos simultâneos: a transformação do ovócito II em óvulo e a formação de uma membrana de fecundação.

O ovócito II, que estava com a meiose II suspensa desde sua saída do ovário, termina de se dividir e dá origem a duas células: o óvulo e um corpúsculo polar, que se degenera posteriormente. Ao mesmo tempo, os grânulos corticais presentes no citoplasma do óvulo secretam substâncias que transformam a zona pelúcida em uma **membrana de fecundação**, que impede a entrada de outros espermatozoides (imagem B).

Ocorre, então, a **cariogamia**, isto é, a fusão dos núcleos do espermatozoide e do óvulo, originando um núcleo diploide. O óvulo fecundado, denominado agora **célula-ovo** ou **zigoto**, é impelido da tuba uterina até o útero. Nesse trajeto, o zigoto se transforma em embrião e se fixa no endométrio (a gestação humana é tratada no capítulo 14).

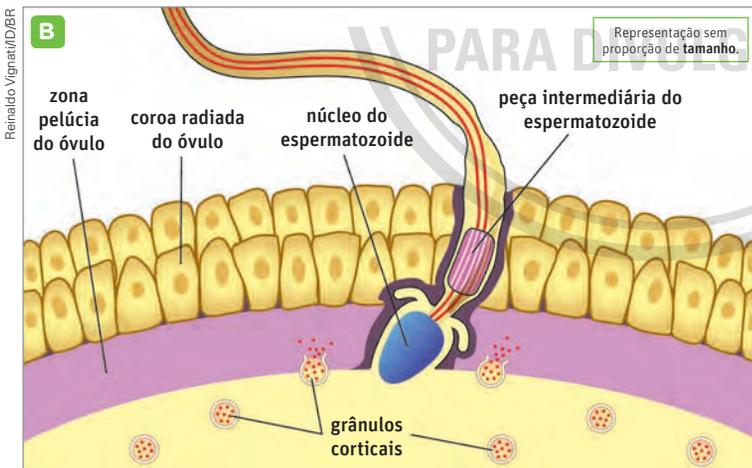


Ovócito secundário humano circundado por espermatozoides. Apenas um desses espermatozoides irá fecundar o óvulo. (Foto ao microscópio eletrônico de varredura; imagem colorizada; aumento de cerca de 670 vezes.)

David M. Phillips/Photo Researchers/Lainstock

### ATIVIDADES

3. Explique as semelhanças e as diferenças entre os gametas humanos masculino e feminino.
4. Quantas ovulações uma mulher poderia ter em um período fértil compreendido entre 12 e 45 anos de idade, supondo-se que ela possua um ciclo menstrual regular de 28 dias?



Reinaldo Vignatti/D/BR

A secreção dos grânulos corticais do óvulo transformam a zona pelúcida em uma membrana de fecundação, que impede a entrada de outros espermatozoides. Cores-fantasia.

Fonte de pesquisa: REECE, J. B. et al. *Campbell Biology*. 10. ed. [S.l.]: Pearson, 2014. p. 1039.

## Menopausa e andropausa

O período fértil da mulher se inicia na puberdade, com a primeira menstruação, e pode durar entre 30 e 40 anos. Ele se encerra na **menopausa**, quando os hormônios sexuais femininos deixam de ser produzidos. A partir daí, a mulher para de ovular e menstruar e não consegue mais engravidar.

No homem, a produção de espermatozoides começa na puberdade e perdura por toda a vida. No entanto, principalmente a partir dos 50 anos acontece uma diminuição gradual do hormônio testosterona, o que afeta a **libido** masculina. Fala-se, então, em **andropausa**.

**Libido:** desejo sexual.

## Métodos contraceptivos

Os mecanismos para evitar a fecundação são denominados **métodos contraceptivos** ou **anticoncepcionais**. Ao se tornarem opções para evitar a gravidez indesejada, esses métodos permitiram à sexualidade humana se desvincular da reprodução. Assim, auxiliaram o aumento do interesse pelo prazer, tanto masculino quanto feminino, propiciado pelas relações sexuais.

Cada um dos métodos contraceptivos age de uma maneira diferente e oferece vantagens e desvantagens em seu uso, como será visto a seguir. A escolha de um deles depende da realidade de cada casal.

### Dispositivos de barreira

São dispositivos confeccionados em material sintético que funcionam como uma barreira aos espermatozoides, impedindo sua chegada à tuba uterina, onde está o ovócito. O preservativo e o diafragma são exemplos desse tipo de método contraceptivo.

O **preservativo**, também denominado **camisinha** ou camisa de vênus, é uma capa alongada de látex que possui em uma de suas extremidades um reservatório para armazenar o sêmen, o que impede que ele seja depositado na vagina. A camisinha masculina (imagem A) deve ser colocada sobre o pênis ereto antes do coito e retirada imediatamente após a ejaculação. Existe também um modelo de camisinha feminina (imagem B), que deve ser colocada no canal vaginal antes do início da relação sexual. Ele traz os mesmos benefícios que a camisinha masculina, mas os dois preservativos não devem ser usados simultaneamente, pois o atrito entre eles faz com que saiam da posição correta.

Além de ser um método contraceptivo bastante eficaz, o uso correto da camisinha (imagem C) previne a transmissão de doenças sexualmente transmissíveis (DST), como a aids (tema abordado nas páginas 192 e 193).



Kondor83/Stock/ Getty Images

Camisinha masculina, com reservatório na ponta, para o sêmen.



Ian Miles-Flashpoint Pictures/Alamy/Latinstock

Camisinha feminina, que é colocada no canal vaginal.



Esquema mostrando como o preservativo masculino deve ser colocado antes da relação sexual. Cores-fantasia.

Já o **diafragma** é uma membrana flexível de borracha ou silicone (imagem D) que deve ser colocada dentro da vagina, sobre o colo do útero, antes do início da relação sexual. Assim, o diafragma evita que os espermatozoides passem da vagina para o útero. Para saber como colocá-lo corretamente, a mulher deve consultar um **ginecologista**.

**Ginecologista:** médico especializado na saúde do sistema genital feminino.



Siti Biomed Comm/ Custom Medical Stock Photo/Science Photo Library/ Latinstock

Diafragma, que é colocado sobre o colo do útero.

## Métodos naturais

Trata-se de métodos que não incluem o uso de dispositivo (barreira física) ou substância, e que exigem do homem e da mulher conhecer bem seus próprios corpos. Além de não evitar as DST, esses métodos costumam ser pouco confiáveis como contraceptivos.

No **coito interrompido**, o homem remove o pênis da vagina antes que ocorra a ejaculação, interrompendo o ato sexual. É um método arriscado, uma vez que pode ser difícil ao homem precisar o momento exato da ejaculação. Além disso, gotas de líquido seminal com espermatozoides podem sair do pênis antes mesmo da ejaculação e, assim, engravidar a mulher.

No método da **abstinência**, a mulher evita relações sexuais no período em que supostamente está fértil (quando o ovócito sai do ovário). Existem várias maneiras de se prever quando ocorrerá a ovulação, mas todas elas exigem que a mulher conheça bem seu ciclo menstrual e, acima de tudo, que tenha um ciclo regular (com duração mais ou menos constante).

Na **tabelinha** (imagem ao lado), a mulher calcula o dia em que estará ovulando com base em estimativas da próxima data de menstruação. Assim, se ela sabe que seu ciclo menstrual costuma ser de 28 dias, ela estima a data do início do próximo ciclo e, então, subtrai 14 dias para obter o dia provável da ovulação. A relação sexual deve ser evitada no período fértil, que compreende os cinco dias anteriores e os cinco dias seguintes ao dia da ovulação. Mesmo em mulheres com ciclos regulares, esse método pode falhar em até 40% das vezes.

Além da tabelinha, a mulher pode avaliar se está próxima ao dia da ovulação monitorando o **muco vaginal** (secreção da vagina). Nos dias em que está fértil, a mulher produz um muco mais abundante, viscoso e transparente, que pode ser recolhido e examinado com os dedos. É possível monitorar ainda a **temperatura basal** (temperatura do metabolismo logo ao acordar): durante a ovulação, a temperatura corpórea costuma se elevar entre 0,4 °C e 1 °C.

## Métodos hormonais

Envolvem a administração de **hormônios femininos**, que, adequadamente dosados, impedem a ovulação. Devem ser receitados por um médico e podem ser administrados na forma de pílulas, em injeções ou como adesivos. Os métodos hormonais podem provocar efeitos colaterais, por isso é importante o acompanhamento médico.

Em casos de emergência, é possível tomar a **pílula do dia seguinte**, cuja dosagem hormonal é capaz de evitar a gravidez quando administrada no máximo até três dias após a relação sexual desprotegida (a eficácia diminui nos dias seguintes à relação). Existem evidências de que esse tipo de pílula não impede a implantação do embrião no útero nem provoca aborto, mas sim bloqueia a ovulação. O uso frequente da pílula do dia seguinte, contudo, pode afetar a saúde da mulher.



Muitas pílulas anticoncepcionais são administradas via oral diariamente.

Junho							2017
D	S	T	Q	Q	S	S	
				1	2	3	
				primeiro dia da menstruação			
4	5	6	7	8	9	10	
					dia provável da ovulação		
11	12	13	14	15	16	17	
		evitar relações sexuais nestes dias					
18	19	20	21	22	23	24	
evitar relações sexuais nestes dias					contam-se 14 dias		
25	26	27	28	29	30		
				estimativa do início da próxima menstruação			

Alex Argazino/D/BR

Calendário com anotações acerca do método da "tabelinha". Esse exemplo considera um ciclo menstrual de 28 dias.

### ATIVIDADES

5. Em uma enquete de opinião pública, 50 jovens responderam à pergunta: "Você acha que na primeira relação sexual a menina tem chance de engravidar? Por quê?". Do total, 45% dos entrevistados afirmaram que a menina não poderia engravidar, uma vez que era virgem, e 15% afirmaram que a garota não poderia engravidar porque ela somente menstruariá após a primeira relação. Com base nisso, responda em seu caderno:
- Você concorda com a justificativa dos 45%, de que a menina não engravidaria por ser virgem? Justifique.
  - Qual sua opinião sobre a justificativa dada por 15% dos entrevistados, sobre as meninas só menstruem após a primeira relação sexual?
  - Se você participasse da enquete, que resposta daria? Por quê?

## Espermicidas

São substâncias que destroem espermatozoides e costumam ser administradas na forma de cremes, géis ou *sprays*, que devem ser aplicadas dentro da vagina pouco antes da relação sexual. Em geral, o uso dos espermicidas é associado ao de preservativos ou do diafragma, uma vez que a eficácia dessas substâncias como método contraceptivo é menor em relação aos demais e não evita as DST.

## Dispositivo intrauterino (DIU)

É um objeto metálico ou de plástico que é introduzido pelo ginecologista no útero da mulher (imagem A). O DIU impede a fecundação ao provocar a morte do ovócito e dos espermatozoides ou interferir na migração dos gametas pela tuba uterina.

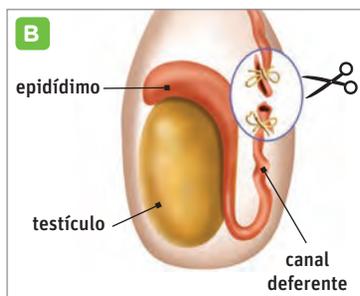
Existem DIUs que liberam hormônios femininos, o que reforça os efeitos contraceptivos e diminui possíveis efeitos colaterais do método, como o aumento do fluxo menstrual e das cólicas.

## Métodos definitivos

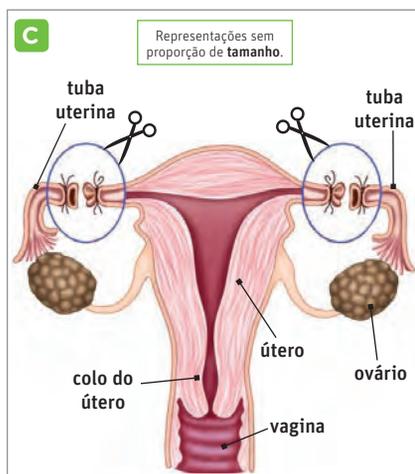
São métodos cirúrgicos que esterilizam o homem ou a mulher de modo a evitar de maneira definitiva a fecundação. Embora a cirurgia possa ser revertida em muitos casos, são métodos recomendados a pessoas mais velhas, que já têm família constituída e não desejam ter mais filhos.

A **vasectomia** é o procedimento cirúrgico realizado no homem: cortam-se os dois canais deferentes e amarram-se suas extremidades com fio cirúrgico (imagem B). Assim, o sêmen liberado na ejaculação deixa de conter espermatozoides e consiste apenas de líquido seminal, portanto sem capacidade de fecundar o ovócito. A vasectomia não afeta a capacidade de ereção e nem o funcionamento dos testículos, que continuam a produzir espermatozoides (que morrem e são reabsorvidos) e testosterona, o hormônio sexual masculino.

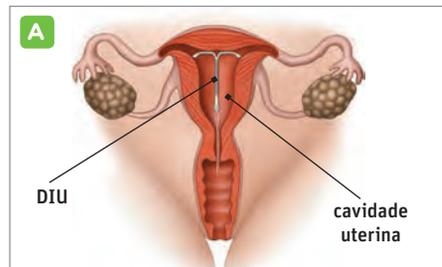
A **ligadura tubária** é semelhante à vasectomia, porém realizada na mulher. Na cirurgia, o médico corta as duas tubas uterinas e amarra as extremidades com fio cirúrgico (imagem C), o que impede que os ovócitos liberados pelos ovários cheguem ao útero. O procedimento não altera o ciclo menstrual nem as funções hormonais da mulher. Segundo a Organização Mundial da Saúde (OMS), no primeiro ano após o procedimento, a taxa de gravidez é de apenas uma em cada 200 mulheres esterilizadas.



Representação dos procedimentos cirúrgicos realizados como métodos contraceptivos. (B) Na vasectomia, é feito um corte em cada canal deferente do homem. (C) Na ligadura tubária, é feito um corte nas tubas uterinas da mulher. Cores-fantasia.



Fonte de pesquisa: Ministério da Saúde. *Direitos sexuais, direitos reprodutivos e métodos anticoncepcionais*. 2006. Disponível em: <[http://bvsm.s.saude.gov.br/bvs/publicacoes/direitos\\_sexuais\\_reprodutivos\\_metodos\\_anticoncepcionais.pdf](http://bvsm.s.saude.gov.br/bvs/publicacoes/direitos_sexuais_reprodutivos_metodos_anticoncepcionais.pdf)>. Acesso em: 8 abr. 2016.



O DIU, um inibidor da fecundação, só pode ser colocado por médicos. Cores-fantasia.

Fonte de pesquisa: Ministério da Saúde. *Direitos sexuais, direitos reprodutivos e métodos anticoncepcionais*. 2006. Disponível em: <[http://bvsm.s.saude.gov.br/bvs/publicacoes/direitos\\_sexuais\\_reprodutivos\\_metodos\\_anticoncepcionais.pdf](http://bvsm.s.saude.gov.br/bvs/publicacoes/direitos_sexuais_reprodutivos_metodos_anticoncepcionais.pdf)>. Acesso em: 8 abr. 2016.

## AÇÃO E CIDADANIA

### Planejamento familiar

Todo cidadão tem o direito de decidir se quer ou não ter filhos, e o governo tem o dever de oferecer informação e métodos anticoncepcionais para ajudar as famílias a planejar a chegada de seus filhos.

Na maior parte dos países, não há imposições sobre o planejamento familiar, cabendo a cada pessoa a iniciativa de fazê-lo ou não. A China, porém, mantinha até recentemente uma política de controle de natalidade conhecida como “política do filho único”, no qual o governo impunha um único filho por casal. Abortos e esterilizações forçadas foram algumas das consequências de tal política, que foi alterada em 2015 e entrou em vigor em 1<sup>o</sup> de janeiro de 2016, quando o governo passou a permitir que cada casal pudesse ter até dois filhos.

No Brasil, a decisão sobre ter ou não filhos é um direito legal assegurado pela Constituição Federal e pela lei n. 9 263/1996, que regulamenta o planejamento familiar.

## Doenças sexualmente transmissíveis (DST)

As doenças transmitidas ao ser humano por meio do contato sexual são denominadas **doenças sexualmente transmissíveis** (DST). Antigamente, tais enfermidades eram conhecidas como doenças venéreas (em alusão à deusa da mitologia grega Vênus, símbolo da feminilidade e da sexualidade). Essas doenças podem ser provocadas por diversos organismos, como bactérias, fungos, protozoários, vírus e até insetos.

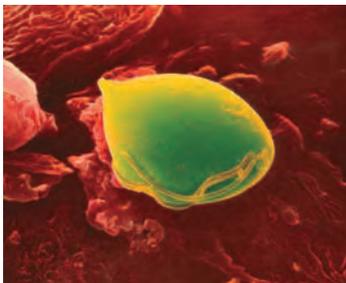
Embora muitas DST possam ser transmitidas de outras formas, seu principal modo de transmissão é a via sexual. Por essa razão, a melhor estratégia para a prevenção dessas doenças é o uso de preservativos (camisinha). As principais DST conhecidas são descritas a seguir.

### Gonorreia

Causada pela bactéria *Neisseria gonorrhoea*, a gonorreia é a DST mais comum. A bactéria pode atingir o pênis, o colo do útero e o reto, além de outros órgãos, como boca, olhos e garganta. Embora a maioria das mulheres não apresente sintomas, os homens costumam sentir ardência ao urinar e apresentar um corrimento de odor desagradável logo após alguns dias do contágio. A doença é tratada com antibióticos e geralmente não deixa sequelas graves.

### Tricomoníase

Essa doença é causada pelo protozoário *Trichomonas vaginalis*, que com frequência infecta a vagina (imagem abaixo). Entretanto, o homem também pode contrair o microrganismo nas relações sexuais desprotegidas. Os sintomas da tricomoníase incluem coceira nos órgãos genitais e corrimento vaginal ou uretral. O tratamento é feito com medicamentos específicos para eliminar o protozoário e combater os sintomas.



Protozoário *Trichomonas vaginalis*. (Foto ao microscópio eletrônico de varredura; imagem colorizada; aumento de cerca de 3 200 vezes.)

### Sífilis

Causada pela bactéria *Treponema pallidum*, é uma enfermidade grave, com três períodos de evolução: sífilis primária, quando surgem os cancrs duros (lesões indolores nos órgãos genitais que desaparecem espontaneamente); sífilis secundária, quando surgem lesões pequenas e avermelhadas principalmente na palma das mãos e dos pés, após dois ou três meses da sífilis primária; e sífilis terciária, que pode acometer cérebro, vísceras, olhos e ossos. Se não

tratada a tempo, a sífilis pode levar à demência, cegueira ou mesmo à morte. O tratamento é feito com antibióticos.

### Aids

A aids (sigla da expressão em inglês *acquired immune deficiency syndrome* – síndrome da imunodeficiência adquirida) é uma enfermidade grave, provocada pelo HIV (sigla da expressão em inglês *human immunodeficiency virus* – vírus da imunodeficiência humana). Além da via sexual, o vírus pode contaminar uma pessoa por transfusão sanguínea, no momento do parto e durante a amamentação. O contato com a saliva, o suor e a lágrima de pessoas portadoras do HIV não oferece risco de contaminação. É importante desmistificar as maneiras como a aids pode ser transmitida a fim de evitar o preconceito contra a doença. Veja o quadro a seguir.

Aids: como se pega	
Assim pega	Assim não pega
<ul style="list-style-type: none"><li>• Sexo vaginal sem camisinha</li><li>• Sexo anal sem camisinha</li><li>• Sexo oral sem camisinha</li><li>• Uso de mesma seringa ou agulha por mais de uma pessoa</li><li>• Transfusão de sangue contaminado</li><li>• Mãe infectada pode passar o HIV para o filho durante a gravidez, o parto e a amamentação</li><li>• Uso de instrumentos que furam ou cortam, não esterilizados</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Sexo, desde que se use corretamente a camisinha</li><li>• Masturbação a dois</li><li>• Beijo no rosto ou na boca</li><li>• Suor e lágrima</li><li>• Picada de inseto</li><li>• Aperto de mão ou abraço</li><li>• Talheres/copos</li><li>• Assento de ônibus</li><li>• Piscina, banheiros, pelo ar</li><li>• Doação de sangue</li><li>• Sabonete/toalha/lençóis</li></ul>

Fonte de pesquisa: Ministério da Saúde. Aids: assim pega, assim não pega! Disponível em: <[http://bvsms.saude.gov.br/bvs/publicacoes/164manual\\_dst\\_aids\\_mira.pdf](http://bvsms.saude.gov.br/bvs/publicacoes/164manual_dst_aids_mira.pdf)>. Acesso em: 8 abr. 2016.

No passado, pensava-se que somente homossexuais estariam no grupo de risco de contágio da doença. Hoje, sabe-se que qualquer pessoa, independentemente de idade, sexo ou orientação sexual, pode contaminar-se com o HIV. Ainda não há cura para a doença, que ataca as células de defesa do organismo (especificamente os glóbulos brancos chamados linfócitos T). Com a destruição das células de defesa, o organismo entra em uma situação de imunodeficiência, ficando vulnerável a várias doenças oportunistas, como infecções, tuberculose, gripe, etc., que podem levar à morte. Embora ainda não exista cura, diversos medicamentos têm permitido uma melhor qualidade de vida aos portadores do vírus.

#### ATIVIDADES

6. O surgimento de drogas eficazes no controle do vírus HIV, causador da aids, tem levado muitas pessoas a abandonar precauções como o uso de preservativo para a prática sexual. Quais riscos essa atitude oferece? Explique.

## Cancro mole

Essa doença, causada pela bactéria *Haemophilus ducreyi*, também é conhecida como **cancro venéreo** ou **cavalo**. Após dois a cinco dias da entrada dos microrganismos por relação sexual desprotegida, aparecem feridas dolorosas com base mole nos órgãos genitais, daí o nome da doença. O tratamento é feito com antibióticos. Se a doença não for tratada a tempo, as feridas podem evoluir para úlceras purulentas, isto é, com pus, e complicações na área afetada.

## Herpes genital

Todos os tipos de herpes são causados por vírus. No caso do herpes genital, o vírus manifesta seus sintomas geralmente na virilha, no pênis, nos grandes e pequenos lábios e no períneo. Os sintomas incluem o surgimento de bolhas pequenas e amareladas que eventualmente estouram, gerando feridas que saram entre duas a quatro semanas. Os vírus ficam alojados indefinidamente no corpo humano, o que pode fazer com que os sintomas reapareçam de tempos em tempos. Não há cura para a doença, embora haja medicamentos específicos para aliviar a dor e acelerar a cicatrização das lesões.

## HPV

Essa enfermidade, também conhecida como **condiloma acuminado**, **crista-de-galo** ou **verruga genital**, é causada por certos tipos de papilomavírus humano (HPV). Após o contágio, surgem geralmente verrugas ou pápulas com aspecto de couve-flor na região genital e no ânus. O tratamento do condiloma acuminado consiste na remoção dessas verrugas através da aplicação de ácidos ou cirurgia, ambas realizadas por um médico. Porém, o tratamento do condiloma não elimina o HPV.

Certos tipos de HPV podem levar ao desenvolvimento de câncer do colo do útero, ânus e pênis. Para prevenir essas doenças, a realização de exames preventivos é de alta importância. Recentemente, foram desenvolvidas duas vacinas para alguns tipos de HPV. Em 2014, o Ministério da Saúde incorporou a vacina contra HPV ao calendário de vacinação de meninas adolescentes. Além da vacina, as formas conhecidas de prevenção, como o uso de preservativos, ainda são muito importantes.

## Pediculose pubiana

Essa enfermidade é causada por um pequeno inseto semelhante ao piolho: o chato ou piolho pubiano (imagem ao lado), que se instala geralmente na região da virilha, no escroto e na região dos grandes lábios. Durante a relação sexual, os parasitas podem passar de uma pessoa para outra. Os sintomas incluem intensa coceira, alergia no local da picada e vermelhidão. O tratamento consiste na remoção química ou manual dos parasitas, boa higiene do local e, eventualmente, raspagem dos pelos pubianos.

## Linfogranuloma venéreo

Essa DST é causada pela bactéria *Chlamydia trachomatis*. Após o contágio, forma-se no local de entrada dos microrganismos uma pequena lesão que muitas vezes passa despercebida. Se não tratada, a doença evolui para um segundo estágio, quando os gânglios linfáticos da virilha ficam inchados e dolorosos, situação conhecida como **bubão inguinal**. O tratamento é feito com antibióticos.

### ATIVIDADES

7. Em um debate promovido pela direção de certa escola, um palestrante foi convidado a fazer parte de uma mesa-redonda sobre o tema “DST e jovens: desafios atuais”. Em determinado momento, o palestrante dá a seguinte opinião: “Eu creio que as DST têm uma relação direta com o acesso à informação e com as práticas sociais”. Você concorda com a afirmação do palestrante? Justifique sua resposta.



E. Gray/SPL/Latinstock

Piolho pubiano, ou chato (*Phthirus pubis*) sobre pelos pubianos. (Foto ao microscópio eletrônico de varredura; imagem colorizada; aumento de cerca de 28 vezes.)

# Desenvolvimento embrionário

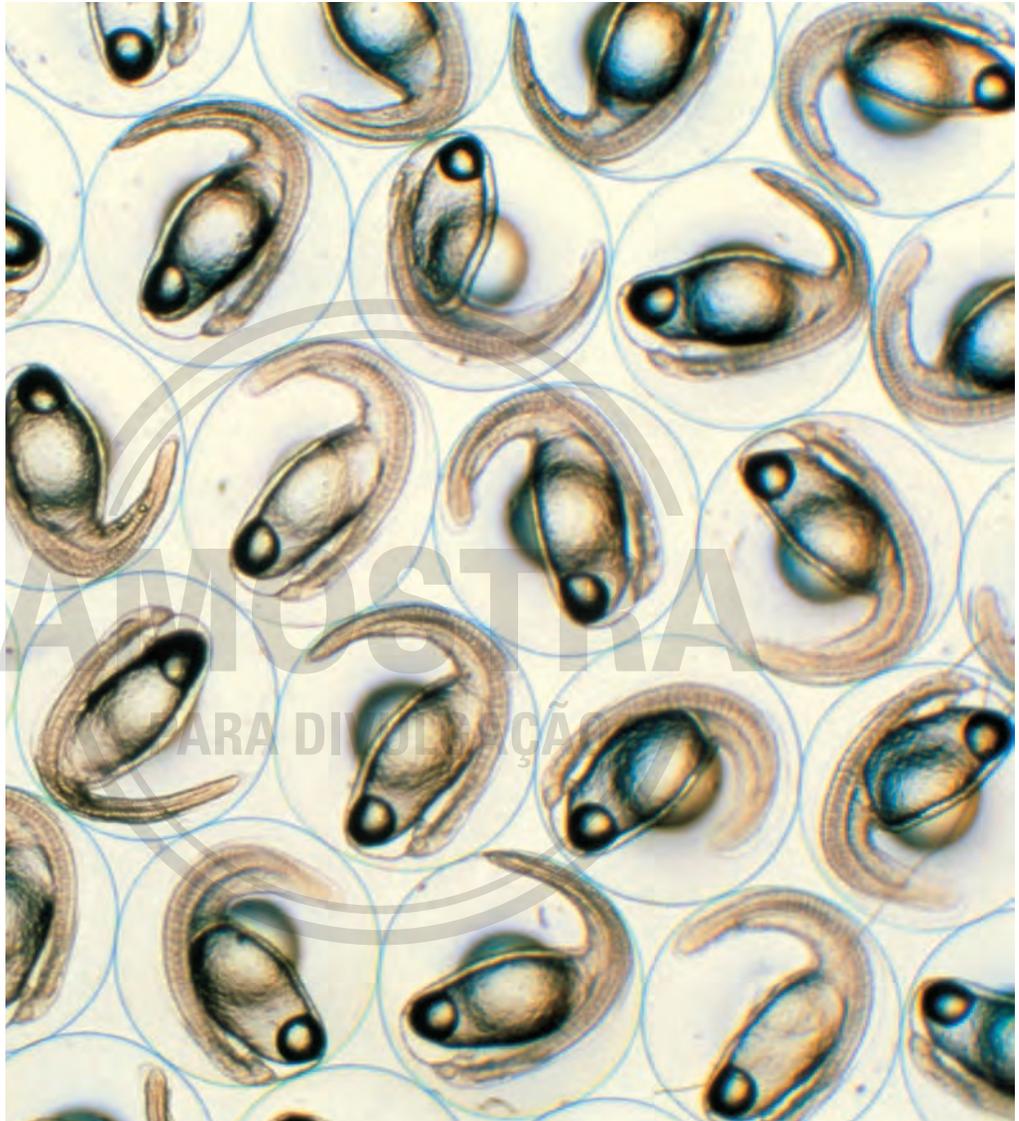
## O QUE VOCÊ VAI ESTUDAR

Os tipos de ovos.

Os tipos de clivagem do zigoto.

As primeiras etapas do desenvolvimento embrionário.

Os folhetos e anexos embrionários.



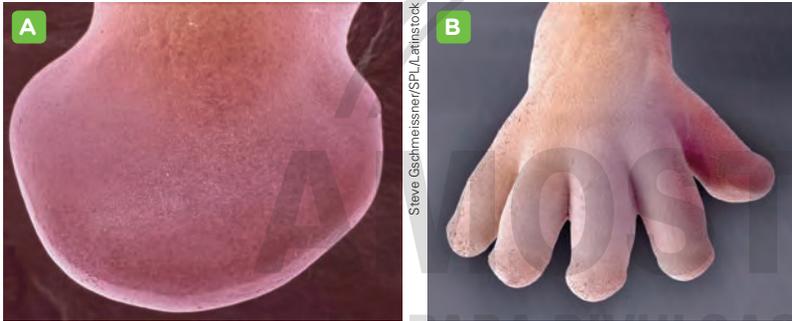
Embriões de peixe em desenvolvimento. As estruturas em forma de esfera contêm reservas de alimento, que são progressivamente consumidas por cada embrião até a eclosão dos ovos. (Foto ao microscópio de luz; aumento de cerca de 35 vezes.)

Após a fecundação, com a formação do zigoto, tem início o período de maiores transformações pelas quais passa um ser vivo. Em toda a sua vida, jamais haverá outra ocasião com tantas multiplicações celulares e mudanças em um intervalo de tempo tão curto. De uma simples célula não diferenciada, com potencial para se tornar qualquer outra, desenvolve-se uma grande variedade de tecidos e órgãos, formados por células altamente especializadas. Logo nas etapas iniciais do desenvolvimento embrionário, por exemplo, fica definido o plano corporal do adulto. Assim, um embrião é a fascinante promessa de um indivíduo completo, com todas as características de sua espécie.

## Aspectos gerais do desenvolvimento embrionário

Um ser humano adulto é pelo menos 10 mil vezes maior do que o zigoto que lhe deu origem. O crescimento corporal é consequência de quatro fenômenos celulares fundamentais ao desenvolvimento embrionário, que se iniciam logo depois da formação do zigoto e continuam por toda a vida: a multiplicação, a diferenciação, a migração e a morte celular.

Após a fecundação, o zigoto começa a sofrer divisões celulares. A **multiplicação celular** ocorre até que o indivíduo esteja completamente formado e continua por toda a vida para repor as células velhas do organismo. Conforme aumenta o número de células no embrião, ocorre a **diferenciação celular**: as células se diferenciam e se especializam, originando os diferentes tecidos e órgãos que constituem o corpo. Durante a formação do embrião, as células também se deslocam e se redistribuem pelo corpo, o que é conhecido como **migração celular**. Além disso, ocorre a **morte celular programada** (assunto tratado no capítulo 10) para a formação de certas estruturas, como no caso dos dedos nos embriões humanos (imagens A e B).



(A) Mão de embrião humano (aumento de cerca de 110 vezes) no primeiro mês de desenvolvimento, ainda sem os dedos formados. (B) Mão de feto humano (aumento de cerca de 55 vezes), a partir da oitava semana, já com os cinco dedos formados. Para que isso ocorra, a morte celular programada é essencial.

Entre os vertebrados, apesar das diferenças entre as espécies, o início do desenvolvimento embrionário se mostra muito semelhante, fato que evidencia o parentesco evolutivo entre esses animais.

Durante a fase inicial desse desenvolvimento, as novas células dependem do **vitelo** para sua nutrição. O vitelo é formado por grânulos de substâncias nutritivas, principalmente proteínas e lipídios, que são acumulados no citoplasma do óvulo durante sua formação. Por essa razão, o óvulo costuma ser bem maior do que os espermatozoides.

Após o desenvolvimento inicial, a nutrição do embrião pode continuar sendo feita por meio do vitelo, como ocorre com os embriões de aves e répteis, que se desenvolvem dentro de um ovo com casca. Nesse caso, existe uma **reserva de vitelo** suficiente para todo o desenvolvimento, representado pela gema do ovo. Em muitas espécies aquáticas, o embrião nutre-se por **difusão**, absorvendo nutrientes dissolvidos na água. Mais tarde, após o desenvolvimento embrionário, animais como os ouriços-do-mar, por exemplo, entram em uma fase de **larva** na qual são capazes de se alimentar de microrganismos. Já a **nutrição parenteral** é observada na maioria dos mamíferos, cujos embriões se desenvolvem dentro do organismo materno. A ligação com o corpo da mãe garante não só a nutrição como também as demais condições necessárias à formação do novo indivíduo.

### BIOLOGIA TEM HISTÓRIA

#### Um ser dentro de outro?

A formação de um ser vivo a partir de um ovo ou semente sempre foi objeto da curiosidade humana. No século IV a.C., o filósofo grego Aristóteles, ao estudar o desenvolvimento das aves, propôs que o novo ser surgiria a partir de substâncias presentes no próprio ovo, e não de alguma força externa, como muitos julgavam.

Entre os séculos XVII e XVIII, a explicação mais aceita para o desenvolvimento era a pré-formação, ou **pré-formismo**. De acordo com os estudiosos da época, dentro dos espermatozoides existiam “miniaturas” de organismos, os homúnculos ou animáculos, que já estavam completamente formados e precisariam apenas crescer. Tais ideias, contudo, não resistiram ao aprimoramento dos microscópios e às novas descobertas feitas a partir do século XIX.

Um dos principais opositores do pré-formismo, o médico alemão Caspar Wolff (1733-1794), defendia uma teoria conhecida como **epigênese** (do grego *epi*, “sobre”, “por cima”, e *gênesis*, “origem”). Ao estudar ovos de galinha, Wolff não encontrou uma miniatura do adulto dentro dos ovos incubados, como previa a teoria do pré-formismo, mas sim uma massa de células em desenvolvimento. Essas observações ajudaram na construção da

teoria da epigênese, que é a base da **embriologia** atualmente: o desenvolvimento dos seres vivos é gradual, com órgãos e tecidos organizando-se de maneira progressiva a partir de uma célula-ovo.

National Library of Medicine/SPL/Latinstock



Desenho de homúnculo dentro de um espermatozoide (1694). Representação atribuída ao matemático holandês Nicholas Hartsoeker (1656-1725).

## Tipos de ovos

O zigoto, também chamado de célula-ovo ou simplesmente ovo, é formado pela fecundação de um espermatozoide com um óvulo. De acordo com a quantidade e a localização do vitelo em seu interior, os ovos podem ser classificados em vários tipos (quadro abaixo).

Ilustrações: Reinaldo Vignati/D/BR

Representação sem proporção de tamanho.	Tipo de ovo
	oligolécito
	heterolécito
	telolécito
	centrolécito

■ pouco vitelo      ■ muito vitelo

Principais tipos de ovos. Cores-fantasia.

Fonte de pesquisa: BRUSCA, R. C.; BRUSCA, G. G. *Invertebrados*. 2. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2007. p. 97.

Os ovos **oligolécitos** possuem pouco vitelo, geralmente distribuído de forma homogênea. É encontrado, por exemplo, em ouriços-do-mar e na maioria dos mamíferos. Nos mamíferos placentários, o ovo tem tão pouco vitelo que é chamado de **alécito**.

Já os ovos **heterolécitos** possuem uma quantidade maior de vitelo do que os ovos oligolécitos, em geral concentrada em um dos polos da célula, que recebe o nome de **polo vegetativo**. O polo oposto, que contém

menos vitelo e onde se situa o núcleo da célula, é denominado **polo animal**. Esse tipo de ovo é encontrado em espécies com estágios larvais, como alguns moluscos e anfíbios.

Os ovos **telolécitos**, por sua vez, possuem muito vitelo, o que deixa o embrião restrito a uma pequena região do polo animal. Está presente em animais cujo embrião depende exclusivamente dos nutrientes do vitelo, como lulas, peixes, répteis, aves e mamíferos ovíparos.

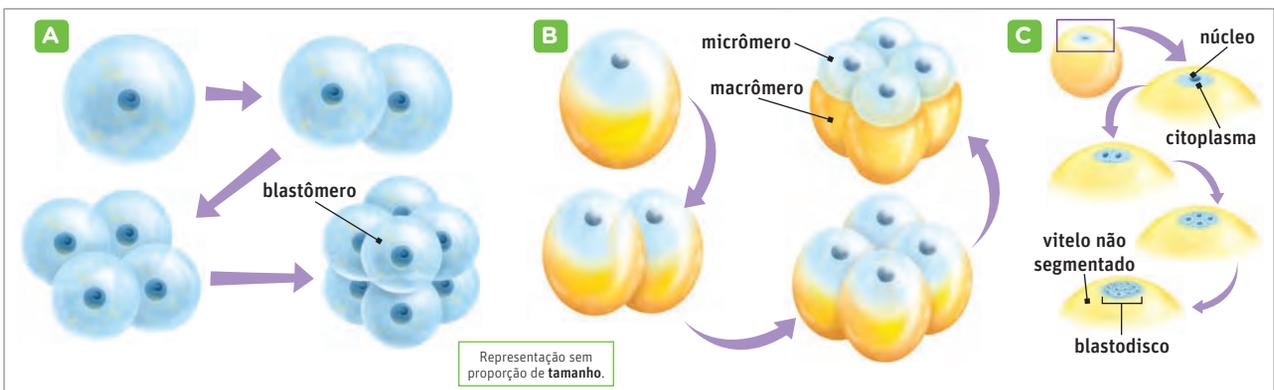
Os ovos **centrolécitos** também possuem muito vitelo, mas este fica localizado na região central, ao redor do núcleo. São encontrados em crustáceos e insetos.

## Clivagem

Também chamada de **segmentação**, a clivagem é o processo que envolve as primeiras divisões celulares do zigoto, dando origem às células-filhas, ou **blastômeros**, que tornam-se menores a cada divisão. Como o vitelo é muito denso e não se divide, sua quantidade e distribuição no ovo determina o tipo de clivagem.

Nos ovos oligolécitos e heterolécitos, a divisão é completa e a segmentação é chamada **holoblástica**. Nos oligolécitos, a segmentação é **igual**, com o plano de clivagem passando no meio dos blastômeros e produzindo novos blastômeros de mesmo tamanho (imagem A). Nos ovos heterolécitos, a segmentação é **desigual**, pois a massa de vitelo desloca o plano da clivagem, produzindo blastômeros de tamanho bem diferente – uns bem maiores, chamados **macrômeros**, e outros bem menores, chamados **micrômeros** (imagem B).

Em ovos telolécitos e centrolécitos, onde há grande quantidade de vitelo, a clivagem é parcial e recebe o nome de **meroblástica**. Nos telolécitos, como os ovos de galinha, a clivagem é discoidal, isto é, fica restrita ao pequeno disco do polo animal. Aos poucos, forma-se um pequeno “disco” de células nessa região, o **blastodisco** (imagem C). Nos ovos centrolécitos, a clivagem é superficial e ocorre somente depois que o núcleo se dividiu em vários núcleos, que migram para a periferia do ovo.



Tipos de clivagem. (A) clivagem holoblástica igual, em ovo oligolécito; (B) clivagem holoblástica desigual, em ovo heterolécito; (C) clivagem meroblástica discoidal, em ovo telolécito. Cores-fantasia.

Fonte de pesquisa: HILDEBRAND, M.; GOSLOW, G. *Análise da estrutura dos vertebrados*. 2. ed. São Paulo: Atheneu, 2006. p. 74.

# Os estágios iniciais do desenvolvimento embrionário

O desenvolvimento embrionário dos organismos foi estudado principalmente em animais como o anfioxo (imagem A).



Anfioxo (*Branchiostoma lanceolatum*).

No ovo oligolécito, como o desses animais, a clivagem é do tipo holoblástica. Entretanto, como o processo é muito rápido, as células resultantes das primeiras divisões não têm tempo para crescer e ficam cada vez menores. Assim, a massa de células resultante, chamada **mórula**, tem praticamente o mesmo tamanho do zigoto (imagem B).

## Formação da blástula

As células da mórula continuam a sofrer divisões e começam a migrar para a periferia do embrião, formando uma esfera com uma cavidade cheia de líquido. Nesse estágio do desenvolvimento, a esfera de células é chamada de **blástula**. Por sua vez, a cavidade da blástula é denominada **blastocèle**, e a camada de células que a delimita é chamada de **blastoderme**.

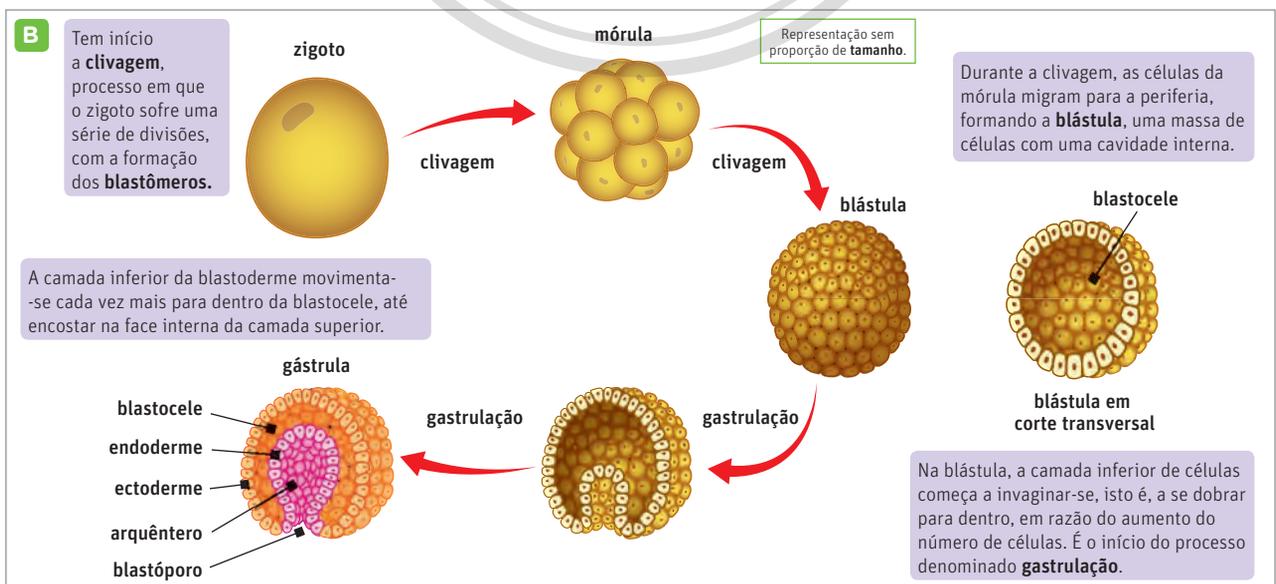
A forma da blástula e da blastocèle varia nos diferentes grupos animais, em função da quantidade e distribuição do vitelo. Nos animais de ovos oligolécitos, a blastocèle ocupa todo o centro da esfera. Já em animais de ovos heterolécitos, ela é bem menor e está deslocada para o polo animal. Animais de ovos telolécitos, por sua vez, têm a blástula restrita ao blastodisco.

## Gastrulação

À medida que as células da blástula se dividem, tem início uma nova etapa do desenvolvimento embrionário, a **gastrulação** (do grego *gastros*, “cavidade digestiva”). A gastrulação faz surgir uma nova cavidade, o **arquêntero**, espécie de tubo digestório primordial que se comunica com o exterior por uma abertura, o **blastóporo**.

Em muitos invertebrados, o blastóporo dá origem à boca do animal; por isso, esses animais são chamados de **protostômios** (do grego *proto*, “primitivo”, e *stoma*, “boca”). Nos vertebrados, e em invertebrados como o anfioxo e os equinodermos (estrelas-do-mar, ouriços-do-mar, etc.), o blastóporo dá origem ao ânus, enquanto a boca se forma posteriormente, motivo pelo qual são chamados de **deuterostômios** (do grego *deutero*, “secundário”).

A gastrulação é marcada por uma intensa reorganização celular, que estabelece os **folhetos embrionários**, camadas de células precursoras de todos os tecidos. Na gástrula, a camada celular mais externa constitui a **ectoderme** (do grego *ecto*, “fora”), ao passo que a camada mais interna forma a **endoderme** (do grego *endo*, “dentro”) e, quando presente, a **mesoderme** (do grego *meso*, “do meio”).



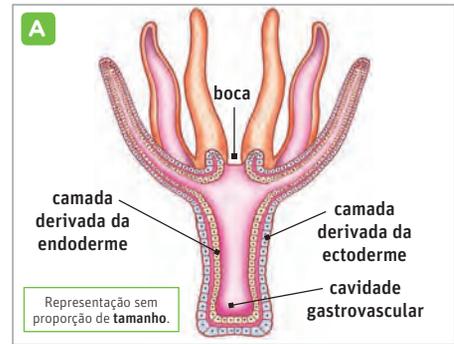
Esquema do desenvolvimento embrionário de um ovo oligolécito. Cores-fantasia.

Fonte de pesquisa: REECE, J. B. et al. *Campbell Biology*. 10. ed. [S.l.]: Pearson, 2014. p. 1044.

## Os folhetos embrionários

Durante a gastrulação, a migração e a multiplicação celular empurram certas camadas da blástula umas contra as outras, dando início a uma série de dobramentos que, em conjunto, são denominados **movimentos morfogenéticos**. Esses movimentos originam novas camadas de células na gástrula, os **folhetos embrionários**, que, por sua vez, diferenciam-se em conjuntos de órgãos e tecidos bem definidos (veja quadro abaixo).

Alguns animais, como as esponjas-do-mar, não formam folhetos embrionários e, conseqüentemente, não possuem tecidos ou órgãos diferenciados quando adultos. Outros animais, como os cnidários (águas-vivas, anêmonas-do-mar e hidras), possuem apenas dois folhetos embrionários: a ectoderme e a endoderme. Por isso, são chamados de **diblásticos** (imagem A). A maioria dos animais, contudo, apresenta um terceiro folheto embrionário, a **mesoderme**, que fica posicionada entre os outros dois folhetos. Por isso, esses animais são considerados **triblásticos**.



Esquema de uma hidra adulta, animal diblástico, em corte. Observe que a estrutura do animal lembra uma gástrula: a boca corresponde ao blastóporo, e a cavidade gastrovascular, ao arquêntero. Cores-fantasia.

Fonte de pesquisa: REECE, J. B. et al. *Campbell Biology*. 10. ed. [S.l.]: Pearson, 2014. p. 685.

### Correspondência entre folhetos embrionários e órgãos no animal adulto

Endoderme	Mesoderme	Ectoderme
<ul style="list-style-type: none"> <li>• revestimento interno do tubo digestório (exceto boca e ânus)</li> <li>• fígado, pâncreas</li> <li>• sistema respiratório</li> <li>• revestimento interno da bexiga urinária</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• derme (camada profunda da pele)</li> <li>• musculatura esquelética</li> <li>• cartilagem, ossos</li> <li>• medula óssea, sangue e linfonodos</li> <li>• sistema urinário</li> <li>• sistema genital</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• epiderme da pele e anexos (unhas, pelos)</li> <li>• esmalte dos dentes</li> <li>• encéfalo (que inclui o cérebro)</li> <li>• medula e nervos</li> <li>• revestimento da boca e do ânus</li> </ul>

Fonte de pesquisa: REECE, J. B. et al. *Campbell Biology*. 10. ed. [S.l.]: Pearson, 2014. p. 1045.

## O celoma

Em animais triblásticos, pode-se formar o celoma, que é uma cavidade revestida por mesoderme e preenchida pelo líquido celomático. O celoma tem como função acomodar e proteger os órgãos internos do animal contra choques e movimentos bruscos.

Animais diblásticos, como os cnidários, não formam mesoderme, e assim não surge nenhum espaço entre a endoderme e a ectoderme. Já os animais triblásticos podem ou não ter um celoma, que por sua vez pode ser total ou parcialmente revestido de mesoderme.

Animais triblásticos que não possuem celoma, como os vermes plattelmintos (por exemplo, a tênia), são chamados de **acelomados** (imagem B). Nesses animais, o espaço entre os dois folhetos está totalmente preenchido por uma mesoderme maciça, sem cavidade.

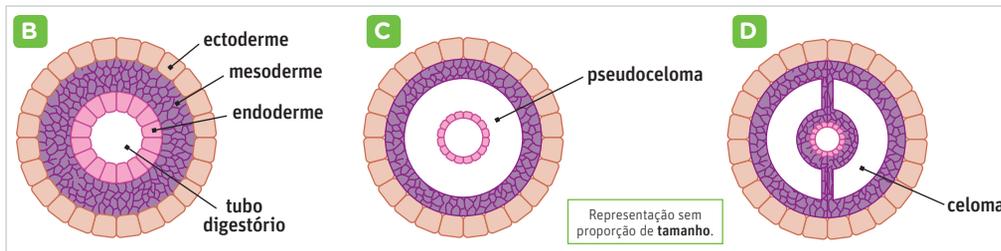
Já aqueles que possuem uma cavidade parcialmente revestida por mesoderme – cavidade conhecida como pseudoceloma – são chamados de **pseudocelomados** (imagem C). É o caso dos vermes nematoides (como a lombriga), animais em que a mesoderme se descola da endoderme e adere à face interna da ectoderme. O restante dos animais triblásticos desenvolvem celoma verdadeiro e são chamados de **celomados** (imagem D).

### ATIVIDADES

1. O exemplo de animal acelomado citado ao lado é a tênia. Você já ouviu falar desse animal? Faça uma pesquisa em livros e na internet e explique porque a tênia pode ser considerada um problema de saúde pública.

Esquema de corte transversal de animal acelomado (B), pseudocelomado (C) e celomado verdadeiro (D). Cores-fantasia.

Fonte de pesquisa: HICKMAN, C. P. et al. *Princípios integrados de Zoologia*. 15. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2013. p. 196.



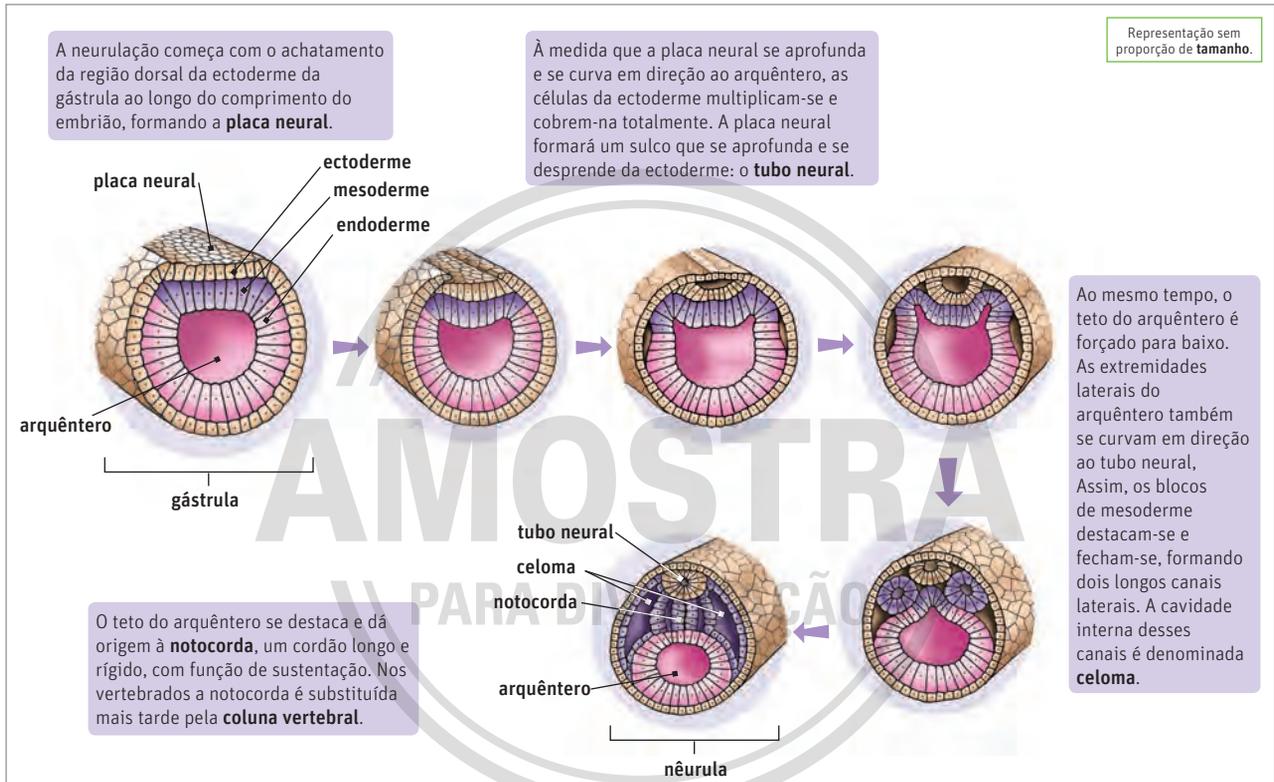
## Organogênese

Ao término da gastrulação, começa a fase denominada **organogênese**, na qual os folhetos embrionários vão se diferenciar até formar todos os órgãos do indivíduo. A etapa inicial da organogênese é a **neurulação** (imagem abaixo). Nessa etapa, forma-se o tubo neural, do qual derivam as estruturas do futuro sistema nervoso; ao final da neurulação, a gástrula atinge o estágio de **nêurula**.

Na nêurula, o celoma já está formado e as células de cada folheto embrionário já estão diferenciadas. O plano corporal do futuro animal, com suas regiões dorsal e ventral, cranial e caudal, também se encontra definido nesse estágio do desenvolvimento embrionário.

### ATIVIDADES

- Imagine que as células superficiais de um embrião em fase final de gastrulação sejam submetidas a uma pequena dose de radiação de baixo poder de penetração. Caso elas apresentem alguma anomalia, que órgãos do indivíduo seriam afetados na fase adulta?



Esquema de neurulação em animais de ovo oligolécito. A gástrula e a nêurula são mostradas em corte transversal. Cores-fantasia.

Fonte de pesquisa: REECE, J. B. et al. *Campbell Biology*. 10. ed. [S.l.]: Pearson, 2014. p. 1048-1050.

### SAIBA MAIS

#### Ácido fólico e o desenvolvimento embrionário

Em seres humanos, nos primeiros 30 dias de gestação, podem ocorrer defeitos no fechamento do tubo neural e, com isso, serem geradas malformações no embrião. Algumas das mais comuns são: anencefalia (não formação do cérebro) e espinha bífida (formação incompleta da coluna vertebral e das estruturas que a protegem).

Bebês com anencefalia nascem sem a parte frontal do cérebro. O tecido cerebral remanescente geralmente fica exposto, sem cobertura de ossos ou pele. A maioria dos bebês anencefálicos não sobrevive ao nascimento. Já no tipo mais grave de espinha bífida (bífida significa “dividida”), anormalidades no desenvolvimento das

vértebras forçam o tecido nervoso para fora, formando uma saliência mole nas costas. Nesse caso, a medula espinhal fica exposta, com o conseqüente comprometimento das funções neurológicas abaixo da lesão.

Os defeitos no fechamento do tubo neural podem ser prevenidos pela ingestão de ácido fólico (vitamina B9) pelas mulheres, tanto antes da concepção como durante a gravidez. O ácido fólico é encontrado em vegetais de folhas verdes, como brócolis e espinafre, no suco de laranja e em grãos (como feijão, lentilha e grão-de-bico). A farinha de trigo é enriquecida também com ácido fólico, o que ajuda a prevenir essas malformações do sistema nervoso.

## Anexos embrionários

Sair da água e passar a viver em ambiente terrestre foi um dos maiores desafios enfrentados pelos vertebrados ao longo de sua história evolutiva.

Alguns dos principais problemas para sobreviver e se reproduzir fora da água são: o risco de desidratação, a inexistência de um meio líquido onde os espermatozoides possam se locomover durante a fecundação, a dificuldade de regular adequadamente a temperatura durante o desenvolvimento do embrião e a obtenção de gás oxigênio.

Os répteis foram os primeiros vertebrados a apresentar adaptações que permitiram uma maior independência da água. Dentre elas, aquelas relacionadas à reprodução são a fecundação interna e o desenvolvimento do ovo com casca. Tais adaptações foram depois herdadas pelas aves.

A casca do ovo é calcária e porosa, por isso permite a troca de gases com o meio externo, enquanto protege o embrião contra a perda de água e pequenos impactos. Ela trouxe, porém, dois novos problemas para o embrião: como obter alimento e eliminar as excretas?

Tais funções ficaram a cargo dos **anexos embrionários**, estruturas que derivam dos tecidos embrionários, mas não fazem parte do corpo do embrião propriamente dito.

### Vesícula vitelínica

O anexo embrionário mais simples e primitivo é a **vesícula vitelínica**, presente em peixes, répteis, aves e mamíferos. A massa de vitelo, correspondente à gema do ovo, é envolvida por projeções da mesoderme e da endoderme que partem do tubo digestório, mas permanecem ligadas ao intestino do embrião.

O tecido da vesícula vitelínica produz enzimas que digerem o **vitelo** (reserva nutritiva). Além disso, ele possui vasos sanguíneos que transferem os nutrientes para o embrião (imagens A e B).

Durante o crescimento, à medida que o embrião consome as reservas de vitelo, a vesícula vitelínica fica cada vez menor e a gema vai desaparecendo.

Nos mamíferos vivíparos, cujo desenvolvimento embrionário ocorre no interior do corpo materno, a vesícula vitelínica é apenas vestigial, sem importância para a nutrição.

### Alantoide

Das mesmas membranas que compõem a vesícula vitelínica, uma dobra do intestino posterior dá origem ao **alantoide**, uma estrutura em forma de saco cuja função primária é armazenar as excretas nitrogenadas produzidas pelo embrião.

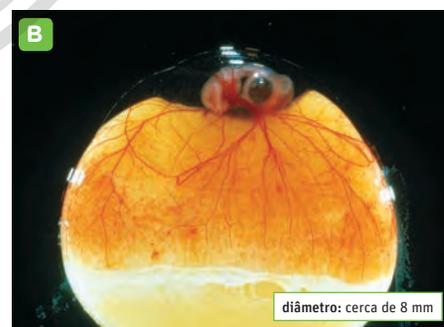
O alantoide é muito desenvolvido em répteis e aves, cujo principal produto excretado é o ácido úrico, excreta de baixa toxicidade que é armazenada na forma de cristais. Em mamíferos vivíparos, o alantoide é muito pequeno e não cumpre essa função, uma vez que as excretas do embrião são eliminadas pela placenta.

O alantoide assume também outras funções importantes nas aves e nos répteis, como transferir para o embrião proteínas presentes na clara, permitir as trocas gasosas (fornecendo gás oxigênio ao embrião e eliminando gás carbônico) e retirar o cálcio da casca. A descalcificação enfraquece a casca e facilita sua ruptura no momento da eclosão; o cálcio removido é destinado à formação dos ossos do embrião.

## ATIVIDADES

- Assim como os animais, os ancestrais das plantas também surgiram no ambiente aquático. Para conquistar o ambiente terrestre, as plantas também tiveram que solucionar problemas como a perda de água por parte do embrião.

Você conhece alguma estrutura produzida por plantas que possa ser comparada ao ovo com casca?



(A) Vesícula vitelínica em larva de salmão. Note um ovo da mesma espécie à esquerda na fotografia.  
(B) Vesícula vitelínica em embrião de galinha com cinco dias. Note a rede de vasos sanguíneos.

## Âmnio e cório

O **âmnio** e o **cório** são duas membranas que se formam a partir de dobras da parede do corpo do embrião e o envolvem por completo. Ambas são adaptações que surgiram nos ovos dos ancestrais dos répteis e que permitiram ao embrião se desenvolver fora do meio aquático. Elas persistiram também em grupos de animais evolutivamente relacionados aos répteis, como aves e mamíferos.

A membrana interna é o âmnio. Ela delimita ao redor do embrião um espaço denominado **cavidade amniótica**, que é preenchida pelo **líquido amniótico**. Mergulhado nesse ambiente aquoso, o embrião está protegido contra dessecação e impactos.

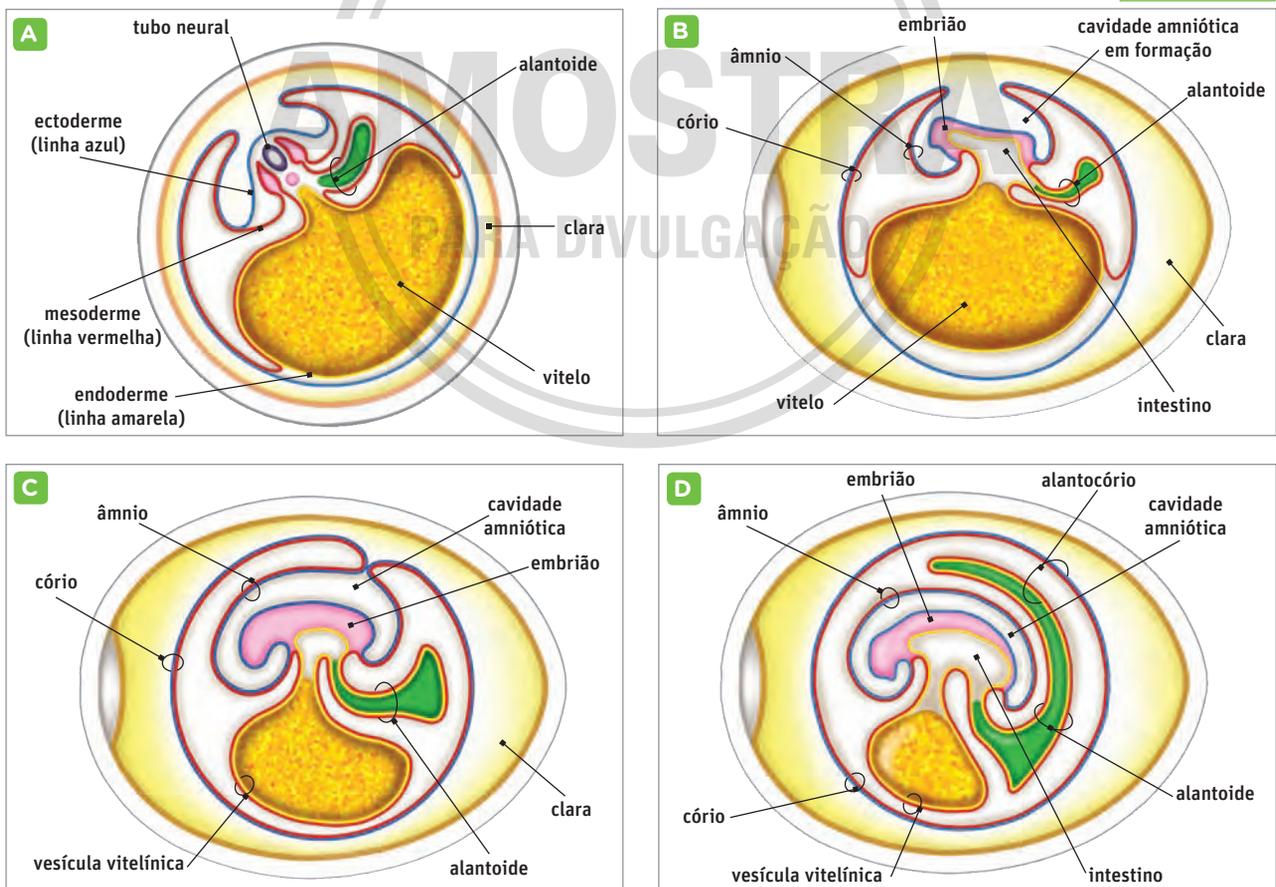
O cório é a membrana mais externa e envolve todo o conjunto formado pela vesícula vitelínica, o alantoide, o embrião e o âmnio. Nos répteis e nas aves, o cório adere à parte interna da casca, unindo-se também ao alantoide em expansão. Juntos, formam o **alantocório**, anexo bastante vascularizado que realiza as trocas gasosas entre o sangue do embrião e o meio externo (imagens abaixo).

Nos mamíferos, o cório fica em contato com a parede interna do útero e forma pequenas dobras, as **vilosidades coriônicas**, que penetram profundamente nos tecidos do útero. Essa região, na qual o cório interage com os tecidos maternos, originará a porção fetal da **placenta**, órgão responsável pelas trocas entre mãe e feto.

### ATIVIDADES

- O rompimento da bolsa é um dos eventos que ocorre durante alguma fase do trabalho de parto nos seres humanos. Esse evento é marcado pelo extravasamento de um líquido, geralmente incolor, pela vagina da parturiente. Considerando os anexos embrionários presentes nos mamíferos, responda: O que é esse líquido e qual é a sua função durante a gestação?
- Observe o esquema **D** desta página, que retrata o ovo de uma ave. Descreva as diferenças entre os anexos embrionários presentes nas aves e aqueles presentes nos mamíferos.

Representações sem proporção de tamanho.



Ilustrações: Roberto Higa/DBR

Esquema de ovo de ave com seus anexos embrionários em diferentes estágios do desenvolvimento embrionário. (A) Corte transversal de um embrião com aproximadamente três dias. (B) Corte longitudinal de embrião com cinco dias. (C) Corte longitudinal de embrião com cerca de sete dias. (D) Corte longitudinal de embrião com nove dias. Note a progressiva redução da vesícula vitelínica e o correspondente aumento do alantoide. Cores-fantasia.

Fonte de pesquisa: KARDONG, K. V. *Vertebrados*. 5. ed. São Paulo: Roca, 2011. p. 231.

## Placenta e cordão umbilical

Antes do aparecimento dos mamíferos, o ovo reptiliano já era dotado de quatro anexos embrionários (vesícula vitelínica, alantoide, âmnio e cório), além de apresentar abundante quantidade de vitelo.

No início de sua história evolutiva, os mamíferos apresentaram modificações que conduziram à viviparidade, condição em que o embrião se desenvolve dentro do corpo da mãe. Nessa condição, nutrição, respiração e eliminação de excretas se dão por meio de trocas de substâncias entre o embrião e o corpo materno. A viviparidade envolveu, portanto, modificações na forma e na função dos anexos embrionários. Surgiram estruturas que não existiam nos reptilianos, como a **placenta** e o **cordão umbilical**. Ao mesmo tempo, a vesícula vitelínica e o alantoide regrediram, tornando-se vestigiais. (Anexos embrionários dos mamíferos são abordados no capítulo 14.)

## Desenvolvimento pós-embrionário

A fase embrionária tem grande influência nas etapas seguintes de desenvolvimento dos organismos. Em muitos grupos animais, os indivíduos nascem como **larvas**, uma forma diferente do organismo adulto (imagem A). Após um período de desenvolvimento, a larva passa por uma transformação extrema, a **metamorfose**, e só então adquire a forma corporal definitiva.

Rene Kzelels/NIS/Minden Pictures/Fotoreana



Girino de rã da espécie *Rana temporaria* no início de seu desenvolvimento. Somente depois da metamorfose o girino adquire a forma do adulto.

Em geral, as larvas não dependem de vitelo para sua nutrição. A maioria das larvas obtém alimento por meios próprios. Animais que apresentam fase larval costumam produzir uma grande quantidade de ovos de tamanho reduzido e com pouco vitelo. As larvas podem variar bastante de uma espécie para outra. Em alguns casos, elas têm grande mobilidade. As larvas aquáticas, por exemplo, podem ser carregadas por correntes de água e se deslocar por grandes distâncias.

O desenvolvimento pós-embrionário que inclui fase larval é denominado **indireto**. Ele ocorre em muitos invertebrados (por exemplo, cnidários, moluscos, artrópodes e equinodermos) e vertebrados, como peixes e anfíbios, sendo bastante comum nos grupos aquáticos. A principal desvantagem do desenvolvimento indireto é a predação de grande número de ovos, embriões e larvas. As vantagens incluem o baixo investimento no cuidado com os filhotes.

Um ciclo de vida que não apresenta fase larval é chamado **direto**. Nesse caso, o desenvolvimento pós-embrionário se dá dentro do ovo ou no interior do corpo do adulto, e o indivíduo jovem já nasce parecido com o adulto, embora menor e ainda imaturo (imagem B). Alguns grupos que apresentam desenvolvimento direto são répteis, aves e mamíferos. Tais animais produzem em geral poucos ovos e com muito vitelo, o que garante a nutrição dos embriões. No caso dos mamíferos placentários, é o corpo da mãe que nutre os embriões em seu interior. A produção de um menor número de descendentes é compensada por sua maior possibilidade de sobrevivência, graças à proteção materna.

## ATIVIDADES

6. Sabe-se que mariscos em geral produzem grande quantidade de gametas, que são liberados na água. Após a fecundação e um curto período de desenvolvimento embrionário, nascem inúmeras larvas, mas a maioria não sobrevive até a fase adulta.

As aves, por outro lado, realizam fecundação interna, e a fêmea deposita um número variável de ovos (dificilmente superior a dez em cada estação reprodutiva). Esses ovos, cuidadosamente incubados, originam filhotes semelhantes aos adultos, mas geralmente sem penas e incapazes de voar. Na maioria das espécies, os pais cuidam dos filhotes até que eles consigam voar e sobreviver por conta própria.

Com base nessas informações, responda:

- Qual animal apresenta desenvolvimento direto e qual apresenta desenvolvimento indireto? Justifique.
- Qual dos dois animais deve apresentar ovos com maior quantidade de vitelo? Explique.
- De acordo com o texto, em qual caso um único zigoto apresenta maior chance de chegar à idade adulta? Justifique.



Filhotes de periquito-australiano (*Melopsittacus undulatus*) recém-eclodidos do ovo.

Tony Hamblin/FLPA/Corbis/Fotoreana

### Técnicas de reprodução assistida

De relações sexuais com data marcada a análise genética de embriões gerados em laboratório, existem diversas técnicas de reprodução assistidas, com o objetivo de ajudar, não apenas pessoas inférteis, mas também casais homoafetivos a realizarem o sonho de ter filhos, sem recorrer à adoção. [...]

#### Inseminação artificial

Quando os espermatozoides têm dificuldade de locomoção ou o muco que protege a cavidade vaginal de invasores está em uma concentração acima do comum, as células masculinas morrem antes de chegar ao óvulo. Nesta situação, é recomendável o uso da inseminação artificial.

O espermatozoide é recolhido e passa por um tratamento. “No tratamento, fazemos uma filtragem, com os espermatozoides com formato e movimentação normal”, conta Bruno Scheffer, diretor clínico do Instituto Brasileiro de Reprodução Assistida. Eles são injetados no útero através de um cateter. [...]

#### Fertilização *in vitro*

Durante um período de sete a dez dias, a mulher recebe doses de FSH [hormônio folículo estimulante] e LH [hormônio luteinizante], para estimular a ovulação. Quando os folículos [ovarianos] chegam a um tamanho desejado de 19 mm, uma agulha especial é inserida através da cavidade vaginal e realiza a aspiração dos óvulos\*.

Os óvulos são colocados em placas de vidro, junto de espermatozoides coletados uma hora antes e selecionados de acordo com seu formato e mobilidade. Um espermatozoide entra no óvulo, como aconteceria no corpo da mãe. Entre dois e cinco dias depois, os embriões são injetados no corpo da mãe.

Dependendo da idade da mulher, a quantidade de óvulos injetados varia. Até 35 anos, são inseridos dois embriões. O número sobe para três quando a idade varia entre 35 e 40 anos e para quatro quando varia dos 40 aos 50. [...]

#### Fertilização *in vitro* com injeção de espermatozoide

Quando a taxa de espermatozoides está abaixo de 1 milhão (quando o normal é de, pelo menos, 5 milhões), apenas 35% apresentam mobilidade normal ou apenas 5% de células tem o formato esperado, é recomendada a injeção intracitoplasmática de espermatozoide (ICSI, na sigla em inglês).

Acontece uma seleção de espermatozoides. Quando o médico encontra um que tenha mobilidade e formato normais, o absorve com uma agulha muito fina. Logo depois, injeta o espermatozoide dentro do óvulo. O embrião é inserido no corpo da mãe da mesma forma que acontece na fertilização *in vitro* clássica [...]



Embrião sendo selecionado para implantação no útero em técnica de fertilização *in vitro*. (Foto ao microscópio de luz; aumento de cerca de 400 vezes.)



A imagem mostra, à direita, um médico durante o procedimento de injetar, com uma agulha, espermatozoide dentro de um óvulo. Observe que, para isso, o médico está usando um microscópio de luz. À esquerda, imagem ampliada do procedimento. (Foto ao microscópio de luz; aumento de cerca de 350 vezes.)

#### Diagnóstico pré-implantacional (PGD)

Quando o casal tem uma doença genética, os cientistas podem fazer um exame, procurando os embriões saudáveis. Bruno conta que acontece a fertilização de todos os embriões e que é retirada uma célula de cada um, para uma análise de seus genes. Se estiver tudo bem, o embrião é injetado no corpo da mãe. Os embriões que apresentarem problemas genéticos não podem ser descartados. Eles são congelados e poderão ser usados no futuro para pesquisas. [...]

\* O termo óvulo, usado com o significado de ovócito secundário, foi mantido de acordo com o texto original.

Veja como funcionam as diferentes técnicas de reprodução assistida. *Globo Ciência*, 11 maio 2013. Disponível em: <<http://redeglobo.globo.com/globociencia/noticia/2013/05/veja-como-funcionam-diferentes-tecnicas-de-reproducao-assistida.html>>. Acesso em: 18 mar. 2016.

# Desenvolvimento embrionário dos mamíferos

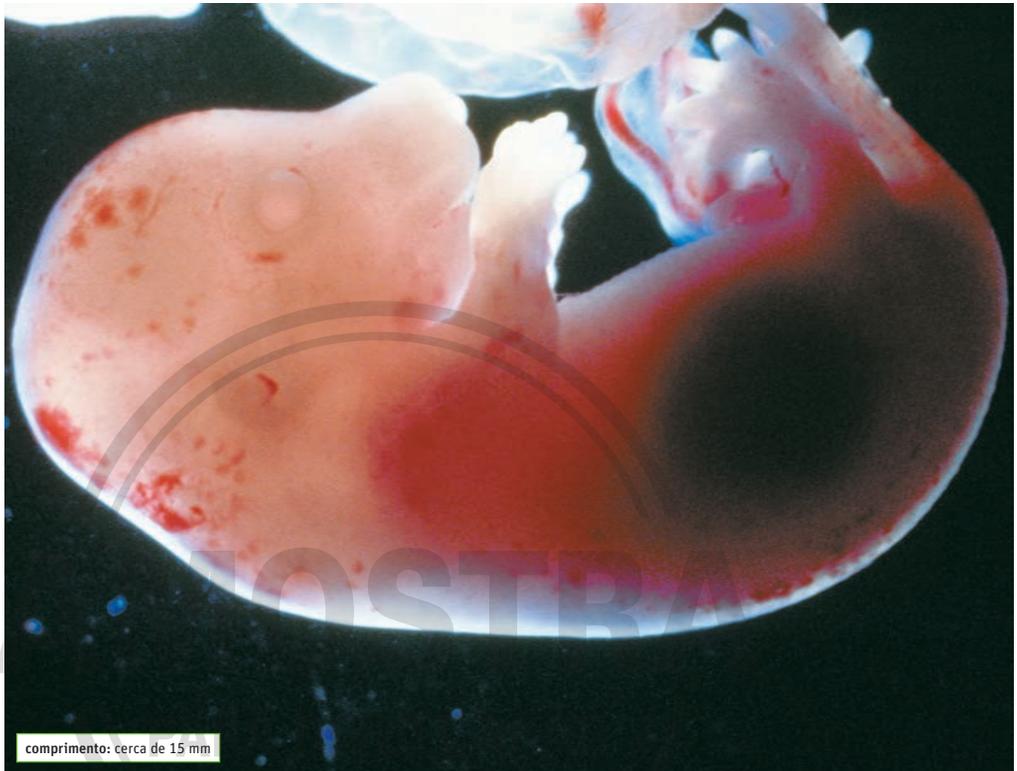
## O QUE VOCÊ VAI ESTUDAR

Reprodução nos diferentes grupos de mamíferos.

O desenvolvimento embrionário humano.

As etapas da gestação humana.

O trabalho de parto.



David Spears/Corbis/Fotorena

Embrião de rato após aproximadamente 17 dias de gestação. As semelhanças com embriões de outros mamíferos indicam um parentesco próximo entre eles.

Algumas das características mais notáveis dos mamíferos se referem ao seu modo de reprodução. Na maioria das espécies desse grupo, o desenvolvimento embrionário ocorre no interior do útero, um órgão exclusivo das fêmeas de quase todos esses animais. O útero oferece proteção contra predadores e nutrição constante ao embrião, além de condições favoráveis aos estágios iniciais da vida.

A placenta é outro órgão exclusivo dos mamíferos, e está relacionada ao desenvolvimento embrionário da maioria desses animais. É ela que permite a troca de gases e nutrientes entre a mãe e o feto durante a gestação.

Chama a atenção também o cuidado parental realizado pelos mamíferos, isto é, a dedicação dos pais com os seus filhotes após o nascimento. De modo geral, os filhotes dos mamíferos são bastante frágeis, o que exige dos pais um grande investimento de tempo e energia com o seu cuidado. Se por um lado o cuidado parental implica um número pequeno de filhotes a cada gestação, por outro lado ele aumenta as chances de sobrevivência de cada filhote até que consiga ficar independente dos pais e chegar à fase adulta, quando poderá procriar. Mesmo no caso das poucas espécies de mamíferos ovíparos, o cuidado parental é observado desde a postura dos ovos.

A lactação talvez seja um dos aspectos mais interessantes do cuidado parental realizado pelos mamíferos. Além de nutrientes, o leite fornece anticorpos ao filhote que o protege contra muitas doenças. A lactação também estreita os laços entre a mãe e o filhote.

## Ciclos reprodutivos dos mamíferos

A reprodução dos mamíferos inicia-se com o acasalamento, que, na maioria das espécies do grupo, ocorre quando a fêmea está em condição fértil, isto é, ovulando.

O período fértil de uma fêmea é denominado **estro** ou **cio**. As fêmeas no cio têm comportamentos característicos e produzem certas substâncias, os **feromônios**, que sinalizam sua disponibilidade para acasalar e atraem os machos. Embora em muitos mamíferos os machos produzam espermatozoides o ano todo, a cópula não costuma ocorrer fora do período fértil das fêmeas.

Na maioria das espécies de mamíferos, existe uma estação reprodutiva bem definida, em que cio, cópula, gestação, parto e amamentação estão sincronizados. A época de reprodução costuma coincidir com a estação do ano de clima mais favorável e alimento mais farto.

Em muitos mamíferos, as fêmeas só têm um ciclo estral por ano, isto é, só ovulam uma vez anualmente. Tais espécies são chamadas **monoestrals** e incluem, por exemplo, os lobos e o cão doméstico. Em outras espécies, denominadas **poliestrais**, cada fêmea pode ter vários ciclos estrais ao longo do ano, como o cavalo e o gato. Os primatas também são poliestrais. Parte desse grupo, formado por macacos e pelo ser humano, não apresenta uma estação reprodutiva definida. Nesse caso, os ciclos estrais, denominados ciclos menstruais, sucedem-se ao longo do ano.

### Padrões de desenvolvimento

O padrão de desenvolvimento embrionário é um dos critérios utilizados para a classificação dos mamíferos. Dessa forma, são reconhecidos três subgrupos: os **prototérios** (monotremados), os **metatérios** (marsupiais) e os **eutérios** (placentários).

### Mamíferos prototérios

Os mamíferos pertencentes à subclasse *Prototheria* (do grego *prôtos*, “primeiro”, e *therion*, “animal selvagem”) são **ovíparos**, ou seja, as fêmeas botam ovos com casca, no interior dos quais se desenvolve o embrião. A maioria desses mamíferos está extinta; subsiste atualmente apenas um grupo, o dos **monotremados**, com cinco espécies: quatro de equidna (imagem A) e uma de ornitorrinco (imagem B).

No ornitorrinco, o sistema reprodutor feminino apresenta dois ovários (imagem C), mas apenas um deles é funcional. As fêmeas são monoestrals e produzem dois ou três óvulos por vez, que são fecundados no oviduto. Conforme o embrião percorre o oviduto, diversas glândulas acrescentam a clara, substância rica em uma proteína chamada **albumina**. Ao final do trajeto, uma fina casca **coriácea** também é adicionada aos ovos, que permanecem no útero por quase um mês até serem liberados pela **cloaca**, abertura comum aos sistemas digestório, excretor e reprodutor.

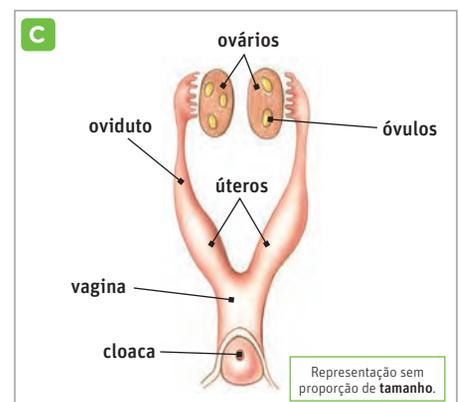
O ovo (célula-ovo ou zigoto) dos monotremados é telolécito, isto é, com muito vitelo para nutrir o embrião em desenvolvimento. Semelhante ao ovo dos répteis e das aves, ele apresenta os respectivos anexos embrionários: vesícula vitelínica, âmnio, alantoide e cório, todos envolvidos pela casca (veja o capítulo 13).

As fêmeas dos ornitorrincos escavam uma toca onde é feita a postura dos ovos, que são chocados por 12 dias, aproximadamente. Ao eclodir, os filhotes, que medem menos de 3 cm de comprimento, são alimentados com o leite que escorre entre os pelos da mãe, uma vez que os monotremados não possuem mamilos. O período de amamentação dura até quatro meses e, no desmame, os filhotes podem alcançar até 30 cm de comprimento.



Representantes atuais dos mamíferos monotremados: (A) equidna (*Tachyglossus aculeatus*) e (B) ornitorrinco (*Ornithorhynchus anatinus*), ambos da Oceania.

**Coriácea:** que é semelhante ao couro.

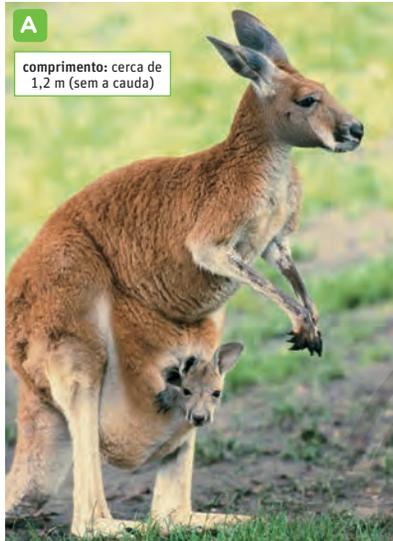


Esquema do sistema reprodutor feminino de um mamífero monotremado. A cloaca é a abertura onde desembocam os sistemas digestório, excretor e reprodutor. Cores-fantasia.

Fonte de pesquisa: POUGH, F. H. et al. *A vida dos vertebrados*. 2. ed. São Paulo: Atheneu, 1993. p. 717.

## Mamíferos metatérios

Os mamíferos da subclasse *Metatheria* (do grego *meta*, “o que vem depois”) são **vivíparos**, isto é, os filhotes se desenvolvem no interior do corpo da mãe. São também denominados **marsupiais**, em referência ao **marsúpio**, uma bolsa situada externamente ao abdome da fêmea que abriga os filhotes ainda imaturos. Entretanto, há espécies que não têm marsúpio. Seus atuais representantes incluem os cangurus, os coalas, os gambás, as cuícas e os diabos-da-tasmânia (imagens A a C).



Exemplos de mamíferos marsupiais: (A) canguru-vermelho (*Macropus rufus*), da Austrália Central; (B) coala (*Phascolarctos cinereus*), do sudeste da Austrália; (C) gambá-de-orelha-branca (*Didelphis albiventris*), da América do Sul, incluindo o Brasil.

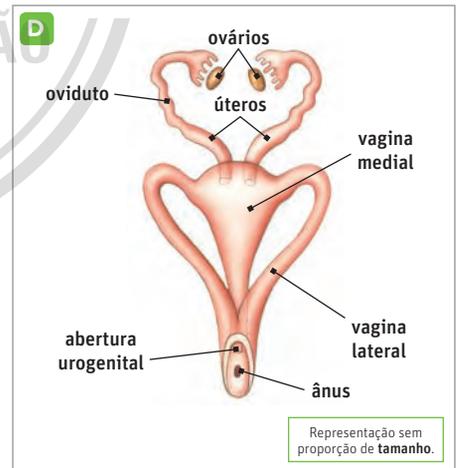
De modo geral, as fêmeas dos marsupiais possuem um par de ovários (imagem D) e seus óvulos são fecundados nos ovidutos, mas ocorre nos monotremados. Contudo, os embriões não se desenvolvem no interior de ovos com casca, mas sim aderidos à parede uterina. Os marsupiais também não possuem cloaca: o ânus encontra-se separado da abertura urogenital, por onde sai o filhote ao final da gestação.

Embora o ovo dos marsupiais seja oligolécito, o vitelo é suficiente para nutrir o embrião por alguns dias até que ele se fixe a um dos úteros. Também se desenvolvem os seguintes anexos embrionários: âmnio, cório e alantoide (veja o capítulo 13). Ao percorrer o oviduto, o embrião se encontra envolvido por uma membrana, ou casca, que se rompe apenas com sua chegada a um dos úteros. As células embrionárias secretam, então, enzimas que facilitam a fixação do embrião na parede uterina, onde ele absorve nutrientes por meio da membrana da vesícula vitelínica. Forma-se, portanto, uma **placenta rudimentar**, originada dos tecidos embrionários.

Os marsupiais caracterizam-se por uma gestação curta, que varia de 13 dias, no gambá, a 35 dias, no canguru. Consequentemente, os filhotes nascem muito imaturos. Depois do parto, os filhotes rastejam para o marsúpio, onde completam seu desenvolvimento. Nas espécies sem marsúpio, eles também migram para a região ventral da mãe, onde ficam os mamilos. Em ambos os casos, os filhotes se alimentam do leite produzido pelas glândulas mamárias. O período de vida no marsúpio costuma ser mais extenso do que a gestação intrauterina, podendo chegar a mais de sete meses no caso do canguru australiano.

## ATIVIDADES

1. A Oceania é conhecida por sua fauna peculiar, como as várias espécies de marsupiais. Faça uma pesquisa sobre o tema e explique por que esse continente apresenta essa particularidade.



Esquema do sistema reprodutor feminino de um mamífero marsupial. A abertura urogenital é onde desembocam os ductos dos sistemas excretor e reprodutor. Cores-fantasia.

Fonte de pesquisa: POUGH, F. H. et al. *A vida dos vertebrados*. 2. ed. São Paulo: Atheneu, 1993. p. 717.

## Mamíferos eutérios

A subclasse *Eutheria* (do grego *eu*, “verdadeiro”) é a maior e mais diversificada dentre os mamíferos. Seus representantes incluem os primatas, os roedores (como ratos e capivaras), os cetáceos (baleias, orcas e golfinhos), os carnívoros (lobos, onças) e muitos outros. Os mamíferos eutérios são vivíparos e formam uma **placenta mais desenvolvida** que a dos marsupiais, razão pela qual são também chamados de **placentários**.

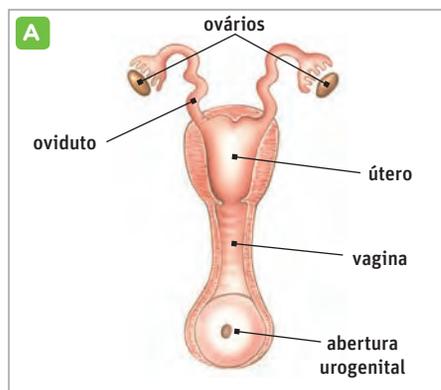
O sistema reprodutor feminino pode variar bastante nesses mamíferos. Em algumas espécies, as fêmeas podem ter dois úteros e, nesse caso, cada oviduto desemboca em um dos úteros, como ocorre nos monotremados e marsupiais. Em outras espécies, ambos os ovidutos desembocam no mesmo e único útero, que pode ser simples ou bifurcado. A vagina se abre externamente (imagem A).

O ovo dos mamíferos eutérios é alécito e quase não possui vitelo. A fecundação ocorre no oviduto, e o embrião em desenvolvimento se desloca até o útero, onde se fixa à parede interna. Durante esse trajeto, o zigoto sofre inúmeras divisões celulares, ou clivagens, originando uma esfera oca denominada **blastocisto**, estágio do embrião que corresponde à blástula dos outros vertebrados. Os anexos embrionários e a placenta se formam depois da implantação do blastocisto no útero.

Nos mamíferos eutérios, a gestação é relativamente longa, mas sua duração varia com o tamanho corporal de cada espécie. Nos camundongos, o tempo médio de gestação é de 21 dias; nos cães e gatos, 60 dias; nos bovinos, 280 dias; e nos elefantes, 22 meses. Mas há exceções: algumas espécies de baleias, por exemplo, têm gestação de apenas 12 meses.

Devido ao longo período de gestação, os filhotes dos mamíferos eutérios nascem mais desenvolvidos do que os dos monotremados e marsupiais. Contudo, existem muitas variações: os cavalos, por exemplo, nascem com olhos abertos e pelos e são capazes de andar logo após o parto; já os camundongos nascem cegos, sem pelos e com pouca mobilidade. De qualquer modo, a maior maturidade dos filhotes nos eutérios faz com que o período de amamentação seja geralmente mais curto que o de gestação.

O número de filhotes por gestação também é muito variável. Em geral, nas espécies de maior porte, como cavalos e elefantes, nasce um filhote de cada vez. Nos camundongos, por outro lado, uma única fêmea pode produzir até 17 ninhadas por ano, cada uma com quatro a nove filhotes.



Jurandir Ribeiro/D/BR

Esquema do sistema reprodutor feminino de um mamífero placentário. Esses animais podem ter um único útero, que pode ser simples ou bifurcado, ou então dois úteros. Cores-fantasia.

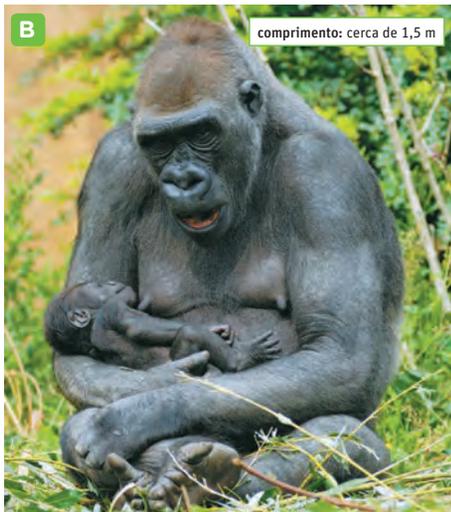
Fonte de pesquisa: POUGH, F. H. et al. *A vida dos vertebrados*. 2. ed. São Paulo: Atheneu, 1993. p. 717.

### ATIVIDADES

2. Ao nascer, os bebês humanos ainda são muito dependentes, sendo incapazes de andar, por exemplo. Para alguns pesquisadores, isso ocorre porque, quando os bebês nascem, seu desenvolvimento ainda não está completo. Para que isso ocorresse, o período intrauterino deveria ser maior que 9 meses.

Analise as informações presentes nesta página e dê sua opinião a respeito dessa hipótese.

Exemplos de mamíferos eutérios: (B) gorila (*Gorilla gorilla*), primata da África, e (C) ariranha (*Pteronura brasiliensis*), um carnívoro da América do Sul, incluindo o Brasil.



Arco Images GmbH/Alamy/Latinstock

Fabio Colombini/Acervo do fotógrafo

## Desenvolvimento embrionário humano

O ser humano apresenta o padrão geral de desenvolvimento dos mamíferos eutérios e, por isso, será usado como modelo para o estudo do desenvolvimento embrionário desses animais.

### O blastocisto

No ser humano, as clivagens têm início cerca de 30 horas após a fecundação, que ocorre na tuba uterina. Depois de 72 horas, o zigoto atinge o estágio de **mórula**, quando pode ser chamado de embrião. Nesse momento, o embrião já se encontra perto do útero.

No interior da mórula formam-se espaços preenchidos por líquido, que rapidamente originam uma ampla cavidade, o que força as células embrionárias a migrar para a periferia. A mórula, uma massa compacta de células, dá lugar, então, à **blástula**, uma esfera oca preenchida por líquido, que nos mamíferos recebe o nome de **blastocisto**.

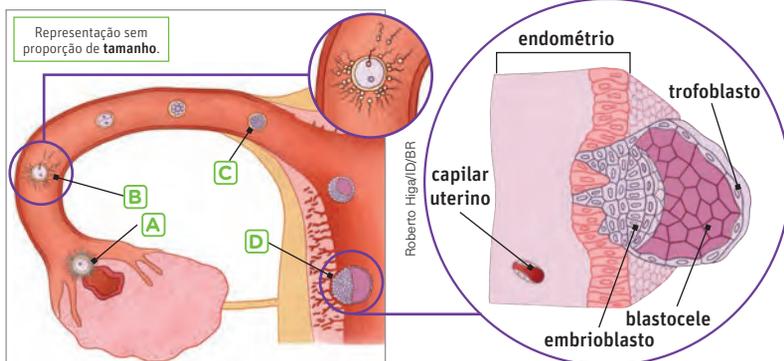
Além da cavidade interior, que é chamada de blastocele, o blastocisto apresenta uma massa celular interna, o **embrioblasto**, que dará origem ao embrião propriamente dito; e uma camada de células periférica, denominada **trofoblasto** (do grego, *trophé*, “nutrição”, e *blastós*, “brota-mento”), de onde se originará a porção fetal da placenta.

### Implantação e nutrição do embrião

Depois que o blastocisto chega ao útero, ocorre a **nidação**, que é a implantação do embrião no endométrio, camada interna do útero (esquema abaixo). As enzimas secretadas pelo trofoblasto escavam uma pequena cavidade na parede intrauterina, onde se aloja o blastocisto. A nidação pode ocorrer em qualquer porção da parede intrauterina, embora seja mais comum nas laterais do útero. Eventualmente, o embrião se fixa em outros locais, como na tuba uterina. Nesses casos, a gravidez precisa ser interrompida.

Logo após a nidação, o trofoblasto desenvolve inúmeras projeções filamentosas a partir do cório: as **vilosidades coriônicas**, que penetram no endométrio e garantem a fixação do embrião. Nelas também surgem inúmeros vasos sanguíneos. A troca de nutrientes entre a mãe e o embrião se dá através da **placenta**, sem que haja contato direto entre o sangue materno e o sangue fetal.

O cório produz o **hormônio coriônico gonadotrófico (HCG)**, que estimula a manutenção do corpo lúteo e, assim, a produção de progesterona e estrogênio. Esses hormônios contribuem para a manutenção da gravidez ao inibir a contração uterina e estimular o desenvolvimento e a vascularização do endométrio. Assim que a placenta começa a produzir estrogênio e progesterona, o corpo lúteo regride. A presença de HCG no sangue ou na urina é um sinal de que a mulher está grávida.



Esquema mostrando o trajeto do óvulo até ele se tornar um embrião no útero. (A) Ovulação; (B) fecundação (veja detalhe ampliado); (C) embrião em fase de mórula; (D) implantação do blastocisto (no detalhe ampliado, blastocisto em corte). Esses eventos são sequenciais. Cores-fantasia.

Fonte de pesquisa: JUNQUEIRA, L. C.; CARNEIRO, J. *Histologia básica*. 12. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2013. p. 428.

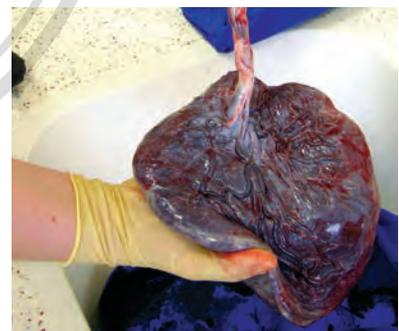
### SAIBA MAIS

#### O destino da placenta

É comum as pessoas acharem que o envoltório transparente ao redor do feto é a placenta. Na verdade, essa é a bolsa amniótica. A placenta, órgão avermelhado que fica aderido à parede do útero e que se comunica com o feto por meio do cordão umbilical, é eliminada pouco depois do parto.

Na maioria dos mamíferos, com exceção das espécies aquáticas, as fêmeas que acabam de parir costumam cortar com os dentes o cordão umbilical e comer a bolsa amniótica e a placenta. Embora pareça estranho, esse comportamento tem grande valor adaptativo, pois a placenta contém hormônios que estimulam a volta do útero ao tamanho normal e a saída de leite nas mamas, além de nutrientes que podem ajudar na recuperação da fêmea após o parto.

Entre os seres humanos, a prática de comer a placenta é observada em muitas culturas orientais e, mais recentemente, por defensores do parto natural. A placenta pode ainda ser enterrada, ritual realizado por muitos povos em todo o mundo. No Ocidente, quando o parto ocorre em hospitais, a placenta costuma ser descartada depois de examinada.



Placenta humana sendo examinada em um hospital. Note a grande quantidade de vasos sanguíneos.

## Formação da placenta

Nos seres humanos, a placenta é de origem dupla. Uma parte dela é de origem materna, formada pelo endométrio (camada interna do útero), enquanto a outra é de origem embrionária, formada pelo cório (anexo derivado principalmente do trofoblasto).

O **cório** origina as vilosidades coriônicas, que são ricas em vasos sanguíneos. Essas vilosidades se enraízam no endométrio para formar a porção fetal da placenta. Concomitantemente, o endométrio se vasculariza nessa região e muitos dos vasos sanguíneos se rompem, formando lacunas por onde flui o sangue materno, o que dá origem à porção materna da placenta (imagem A).

No ser humano, o alantoide e a vesícula vitelínica são vestigiais e participam da formação do **cordão umbilical**, que une o embrião à placenta. Os vasos sanguíneos do alantoide originam as artérias e veias do cordão umbilical. As duas artérias umbilicais transportam sangue venoso do embrião até as vilosidades coriônicas, onde se ramificam em capilares. O sangue materno percorre as lacunas, mas sem entrar em contato direto com o sangue fetal. Nutrientes e gás oxigênio do sangue materno passam por difusão para o sangue fetal; o gás carbônico e as excretas difundem-se na direção oposta. Os capilares fetais se reúnem e formam a veia umbilical, que retorna pelo cordão em direção ao feto, transportando sangue nutrido e oxigenado.

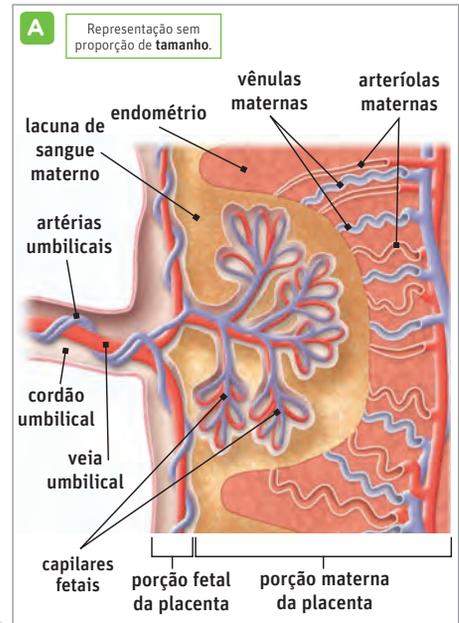
O **âmnio** é bastante semelhante ao das aves e répteis. Ele consiste em uma bolsa cheia de líquido no qual o embrião se encontra imerso.

## Tipos de placenta

Os monotremados, por serem ovíparos, não formam placenta. As trocas entre o embrião e o meio são realizadas pelo cório e pelo alantoide, anexos embrionários.

Nos marsupiais, forma-se uma placenta bastante rudimentar ao final da gestação, que é curta. Nesse grupo, a conexão entre o embrião e o endométrio não é muito extensa e não há formação de vilosidades coriônicas na placenta.

Nos mamíferos eutérios, a placenta é complexa e se forma logo no início da gestação. Em alguns casos, como em porcas, a placenta não apresenta vilosidades coriônicas. Nos seres humanos, por outro lado, as vilosidades interpenetram extensamente o endométrio (imagem B), o que amplia a superfície de troca em centenas de vezes.



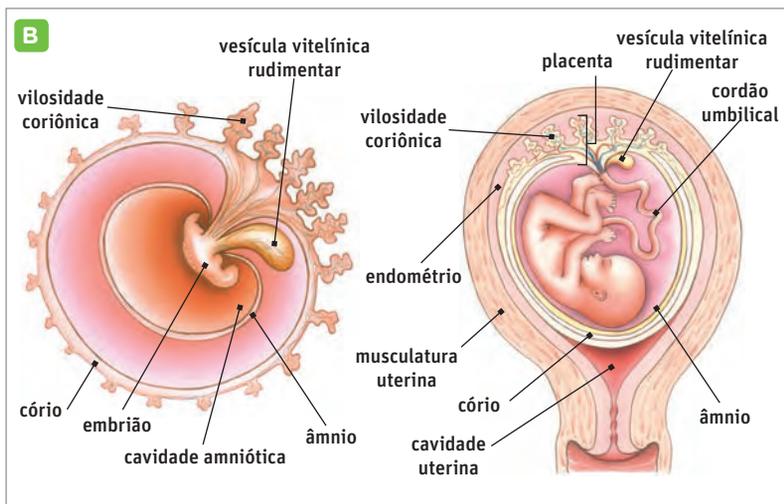
Esquema da junção entre o cordão umbilical e a placenta. Note que o sangue materno não entra em contato direto com o sangue fetal. A placenta, formada por tecidos de origem embrionária e materna, garante a excreção, nutrição e respiração do feto. Cores-fantasia.

Fonte de pesquisa: GUYTON, A. C.; HALL, J. E. *Tratado de fisiologia médica*. 11. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2006. p. 1030.

### ATIVIDADES

3. O cordão umbilical pode ser congelado e armazenado como fonte de células-tronco.

Considere as características das células-tronco e reflita: Qual pode ser a utilidade do armazenamento de cordões-umbilicais?



Jurandir Ribeiro/D/BR

Representação sem proporção de tamanho.

Esquema mostrando dois estágios de desenvolvimento da placenta humana. À esquerda, no início da gestação, as vilosidades coriônicas revestem toda a superfície do cório, embora sejam maiores no lado voltado para a parede uterina. À direita, no estágio mais avançado da gestação, as vilosidades se restringem à região da placenta. Cores-fantasia.

Fonte de pesquisa: JUNQUEIRA, L. C.; CARNEIRO, J. *Histologia básica*. 12. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2013. p. 442.

# Períodos da gestação

A gestação pode ser dividida em três períodos, de acordo com as mudanças que ocorrem ao longo do desenvolvimento embrionário.

O período **pré-embriônico** compreende a clivagem do zigoto, a formação da mórula e a implantação do blastocisto no útero. É nesse período também que começam a se formar o coração e o cérebro do embrião.

O período **embrionário** é aquele em que ocorre a organogênese, isto é, a formação da maioria dos órgãos. Esse é um período crítico, pois o embrião se encontra muito suscetível à influência de agentes externos (drogas, álcool, microrganismos, radiação, etc.), que podem provocar malformações.

O período **fetal** é marcado pelo rápido crescimento e também pelo amadurecimento dos órgãos, que adquirem funcionalidade. Esse período se encerra com o nascimento do feto.

## 16ª semana

O feto já tem reflexos e se movimenta no interior do útero. Muitas mães são capazes de perceber os movimentos fetais nesse estágio da gravidez.

Comprimento da cabeça às nádegas: cerca de 11 cm.

## 3 a 4 dias

Sucessivas divisões do zigoto formam a mórula.

Diâmetro: cerca de 0,1 mm.

## 4ª semana

Embrião com primórdios dos sistemas circulatório e nervoso.

Comprimento da cabeça à cauda: cerca de 0,7 mm.

## 7ª semana

O embrião não tem mais cauda e a retina do olho já está visível.

Comprimento da cabeça ao cósix: cerca de 5,0 mm.

## 11ª semana

A forma humana está plenamente estabelecida e a maioria dos órgãos já está formada.

Comprimento da cabeça às nádegas: cerca de 5 cm.

## 5ª semana

O embrião tem cauda e apenas primórdios dos membros.

Comprimento da cabeça à cauda: cerca de 1,2 mm.

## Fetal

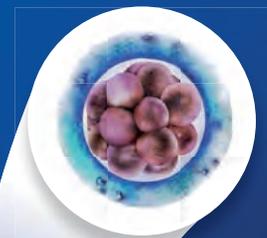
O embrião passa a ser chamado de feto e fica cada vez mais parecido com o bebê que será ao nascer.

## Embrionário

O embrião adquire forma humana conforme seus órgãos vão se formando.

## Pré-embriônico

O embrião ainda tem aspecto muito distinto daquele que irá assumir ao final da gestação.



### 20ª semana

O feto tem a pele enrugada e recoberta por uma fina camada de pelos (lanugo). Em geral, é nessa semana que se realiza o ultrassom morfológico, exame que avalia o estado geral de saúde do feto e que permite identificar o seu sexo na maioria dos casos.

Comprimento da cabeça às nádegas: cerca de 15 cm.

### 32ª semana

A deposição de gordura faz o feto perder o aspecto enrugado e adquirir contornos arredondados. Nesse período, a maioria dos bebês já se encontra virada de cabeça para baixo e assim permanece até o nascimento.

Comprimento da cabeça às nádegas: cerca de 29 cm.



lanugo



Fonte de pesquisa: TABORDA, W.; DEUTSCH, A. *A Bíblia da gravidez*. 3. ed. São Paulo: CMS, 2011. p. 30-51.  
TORTORA, G. J. *Corpo humano: fundamentos de fisiologia e anatomia*. 8. ed. Porto Alegre: Artmed, 2012. p. 600-612.

Ao nascer, os bebês podem pesar de 2,5 a 4 kg e medir de 48 a 55 cm de comprimento da cabeça aos pés. Bebês prematuros (nascidos antes de 37 semanas) e gêmeos costumam ter peso e comprimento menores.

### Por que toda gestante deve fazer o pré-natal?

O pré-natal é muito importante para o acompanhamento, orientação e esclarecimento de dúvidas da mulher sobre as diversas alterações que ocorrem no seu corpo durante a gravidez e sobre o desenvolvimento do seu bebê. É realizado por profissionais de saúde e deve ser iniciado, de preferência, nos três primeiros meses da gestação.

Toda mulher tem direito a consultas e exames durante sua gravidez. Nesse período, é importante que a gestante faça um número mínimo de consultas pré-natais, sendo ideal que ela realize seis consultas.

Em todas as consultas, os profissionais de saúde verificam o peso\* da gestante e sua altura, estado nutricional, pressão arterial, tamanho da barriga, batidas do coração do bebê. Se necessário, orientam sobre o uso de medicamentos. Observam, entre outras coisas, se há inchaços (edemas) no corpo da gestante e se ela já tomou as vacinas necessárias até o momento. Além disso, solicitam exames. Essas ações permitem identificar necessidades para promover a saúde da gestante e de seu bebê. A maioria das mulheres tem uma gravidez e parto [sem maiores complicações]. Mas o acompanhamento pré-natal também é importante, porque permite prevenir, identificar e tratar problemas de saúde que possam acontecer no período da gestação. Ou seja, o pré-natal reduz as chances desses problemas complicarem. Porém cerca de 10% a 20% das mulheres têm complicações na gravidez e precisam ser cuidadas de forma mais constante, para que mãe e bebê fiquem saudáveis.

[...]

### Quais exames e vacinas farei no pré-natal?

**Hemograma** – identifica a anemia [...]. A gestante com anemia se queixa, comumente, de sono e fadiga. [...]

**Glicemia** – pesquisa a presença de diabetes [...].

**VDRL** – identifica a sífilis, doença sexualmente

transmissível, que pode passar da mãe para o bebê durante a gravidez. Nesse período a doença pode ser tratada e assim evitar esta transmissão. [...]

**Tipagem sanguínea** – identifica o tipo de sangue e o fator Rh. Se a mãe é Rh negativo e o bebê é positivo, a gestante vai precisar de acompanhamento especial. A mãe vai ser tratada logo após o parto, para que o bebê da próxima gravidez não tenha problemas.

**Teste anti-HIV** – identifica o vírus causador da aids [...]. O HIV pode ser transmitido [...] da mãe para o filho durante a gravidez, parto ou amamentação. Se a gestante HIV positiva fizer o tratamento durante a gravidez, aumenta a chance de seu bebê nascer sem o HIV. A gestante que não fez o teste no pré-natal pode fazer o teste rápido quando for internada para o parto. [...]

**Teste para hepatite B (HBsAg)** – identifica o vírus da hepatite B e é feito no sétimo mês. A hepatite B [...] pode passar da mãe para o bebê durante a gravidez. O bebê pode ser protegido recebendo a vacina e a imunoglobulina para hepatite B nas primeiras 12 horas após o parto.

**Exame de urina** – identifica a presença de infecção urinária, que deve ser tratada ainda durante o pré-natal.

**Exame preventivo de câncer de colo de útero** – além de identificar precocemente o câncer, este teste, que precisa ser realizado periodicamente, ajuda a identificar vários corrimentos que podem interferir com a boa evolução da gestação.

**Vacina antitetânica** – protege contra o tétano no bebê.

[...]

O pré-natal é um direito de todas as mulheres no Brasil.



Masaaki Toyoura/Taxi Japan/Getty Images

Brasil. Ministério da Saúde. Secretaria de Atenção à Saúde, Departamento de Ações Programáticas Estratégicas. *Conversando com a gestante*. Brasília: Ministério da Saúde, 2008. Disponível em: <<http://linkte.me/vb267>>. Acesso em: 18 mar. 2016.

\*A palavra **peso**, empregada com o significado de **massa**, foi mantida de acordo com o texto original.

## **BIOLOGIA SE DISCUTE**

### Polêmica sobre o aborto

De acordo com o Código Penal Brasileiro, o aborto é considerado crime contra a vida. A interrupção da gravidez só é permitida em três situações: (1) quando a gestante corre risco de morrer e não há outra alternativa para salvá-la; (2) quando a gravidez resulta de estupro; (3) quando é constatado, por meio de exame ultrassonográfico, que o feto é anencéfalo (condição que se caracteriza pela ausência do cérebro e/ou outras regiões do encéfalo). Contudo, muitas mulheres que não se enquadram em nenhuma dessas situações realizam o aborto de forma clandestina no Brasil.

Um estudo realizado por pesquisadores da Universidade de Brasília (UNB), revelou que uma a cada cinco brasileiras com idade entre 18 e 39 anos já recorreu ao aborto ilegal, e o procedimento é quase sempre feito sem acompanhamento médico, o que coloca em risco a saúde da mulher. Por essa razão, muitas pessoas defendem a legalização do aborto como uma medida de saúde pública. Assim, ele seria realizado em um ambiente seguro e minimamente humanizado. Outras pessoas, contudo, condenam o aborto e defendem o direito do feto à vida, mesmo nos casos autorizados pela justiça brasileira.

## O nascimento

O nascimento marca o início da vida fora do útero. Em geral, o parto ocorre quando o desenvolvimento fetal se completa, embora esse grau de desenvolvimento varie de uma espécie para a outra. Contudo, mesmo nos mamíferos que parem filhotes mais desenvolvidos, como os cavalos, o cuidado parental é indispensável para garantir a sobrevivência do recém-nascido.

### As transformações do corpo da gestante

Durante a gestação, não é apenas o embrião que se desenvolve e se transforma. O corpo da gestante também se modifica para acomodar o bebê em desenvolvimento.

As transformações mais acentuadas ocorrem no útero. Na hora da concepção, ele não é maior do que uma pera de tamanho médio, alojado entre os ossos da bacia. No momento do parto, o útero pode chegar ao tamanho de uma melancia, ocupando a maior parte da cavidade abdominal, desde a bacia até a altura dos seios (imagem A).

O aumento de volume do útero também é acompanhado por modificações na sua estrutura. Uma delas é o espessamento da musculatura da parede uterina, o que propicia a força necessária para expulsar o feto no momento do parto.

### O trabalho de parto

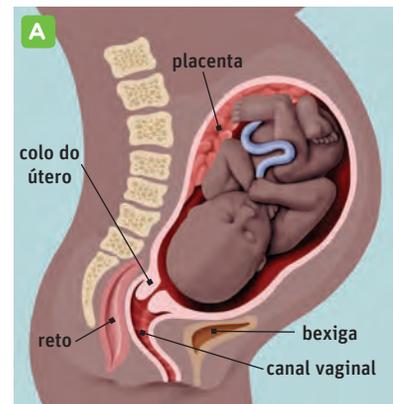
O trabalho de parto se inicia com **contrações** involuntárias do útero, que ficam mais intensas e frequentes conforme se aproxima a fase expulsiva (estágio final do parto, em que o bebê é expulso pela vagina). Concomitantemente, o colo do útero se afina e dilata para garantir a passagem do bebê (imagem B), chegando a 10 cm de **dilatação**. Já o âmnio pode se romper a qualquer momento do trabalho de parto, extravasando o líquido amniótico.

As fortes contrações empurram o bebê em direção ao canal vaginal até que ele saia pela vagina (imagem C). Depois do nascimento, as contrações uterinas continuam, embora mais suaves, até descolar a placenta para fora do útero e expulsá-la pela vagina. O útero começa, então, a se contrair, embora só volte ao seu tamanho original depois de quatro a seis meses. Em alguns mamíferos, os filhotes nascem circundados pela bolsa amniótica e restos de outros anexos, que são removidos pela própria mãe.

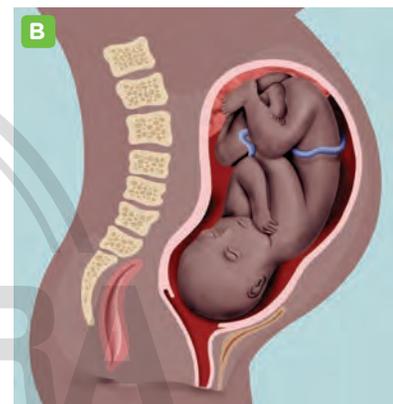
A duração do trabalho de parto é muito variável. Em mamíferos de pequeno porte, o processo costuma ser muito rápido: os gatos, por exemplo, levam de 2 a 3 horas para parir todos os filhotes. Mamíferos de maior porte, contudo, levam mais tempo: nos seres humanos, o parto pode demorar de 3 a 14 horas ou mais, especialmente no primeiro filho.

Ao contrário do que costuma se acreditar e ser propagado, a dor provocada pelas contrações nem sempre é muito grande, sendo a intensidade muito variável. Alguns recursos muito usados para aliviar as dores do parto são: massagem na região lombar, banho com água quente, mudar a mulher de posição e, em última instância, a anestesia.

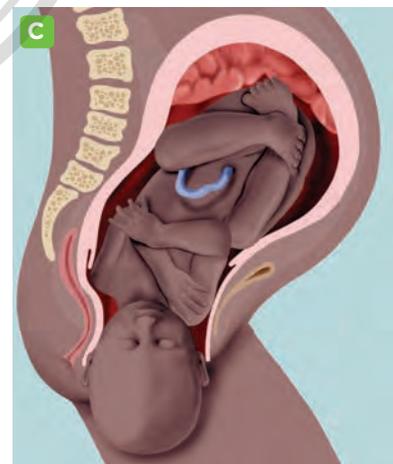
Depois do parto, a amamentação deve ser realizada preferencialmente na primeira hora de vida do bebê, a fim de estreitar o vínculo entre mãe e filho e acelerar a recuperação materna.



No início do trabalho de parto, a maioria dos bebês se encontra de cabeça para baixo. Cores-fantasia.



As contrações uterinas empurram o bebê em direção ao canal vaginal, enquanto o colo do útero se afina e dilata para permitir sua passagem. Cores-fantasia.



Contrações mais intensas forçam a saída da cabeça do bebê através da vagina. Ao final, o bebê gira para terminar de sair pelo canal vaginal. O cordão umbilical pode ser cortado imediatamente ou só depois que parar de pulsar. Cores-fantasia.

Fonte de pesquisa: HICKMAN, C. P. et al. *Princípios integrados de zoologia*. 15. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2013. p. 157.

## Número de embriões

Nos mamíferos, é comum a ocorrência da gestação simultânea de vários filhotes. Cães, felinos em geral e roedores são conhecidos por produzirem crias numerosas. Já nos mamíferos de maior porte, como baleias, cavalos e bovinos, e também entre os primatas, geralmente um único embrião se desenvolve em cada gestação.

Nos seres humanos, a regra é a geração de um embrião de cada vez. Apenas uma em cada 90 gestações origina gêmeos, e a chance de trigêmeos é ainda menor: apenas uma em cada 8 mil gestações. A probabilidade de gestação múltipla aumenta nos casos de reprodução assistida, quando mais de um embrião é implantado por vez no útero da mulher.

Dependendo do modo como ocorre a **gemelação** (geração de gêmeos), fala-se em gêmeos fraternos ou idênticos.

### Gêmeos fraternos

Quando dois ou mais ovócitos são liberados simultaneamente e ambos são fecundados, cada um deles pode dar origem a um zigoto e, conseqüentemente, a um embrião distinto. Esses gêmeos, resultantes da múltipla ovulação e fecundação, são denominados **gêmeos fraternos**, ou **dizigóticos**.

Por serem originados pela união de ovócitos e espermatozoides distintos, os gêmeos fraternos possuem genomas diferentes. Por essa razão, esses gêmeos apresentam o mesmo grau de semelhança que qualquer outro par de irmãos da mesma família, podendo, inclusive, ser de sexos diferentes.

Embora o desenvolvimento seja simultâneo e os gêmeos dividam o mesmo espaço, a implantação de cada óvulo fecundado ocorre em locais distintos do útero, com um conjunto de anexos próprio de cada embrião (imagem A). Eventualmente, os córions e as placentas dos gêmeos podem estar fundidos entre si.

### Gêmeos idênticos

Quando um único óvulo fecundado se divide em duas (ou mais) partes no início do desenvolvimento embrionário, cada parte pode dar origem a um embrião independente. Nesse caso, os gêmeos formados são chamados de **gêmeos idênticos**, ou **monozigóticos**. Trata-se de um fenômeno mais raro, representando cerca de 25% dos casos de gêmeos em geral.

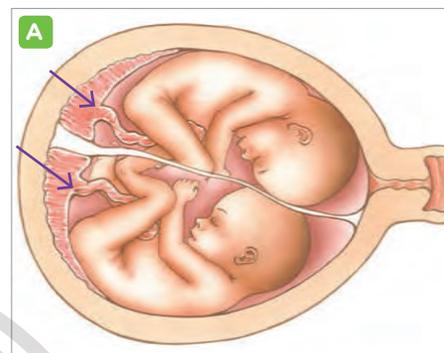
Por serem originados de um mesmo ovócito, que só pode ser fecundado por um único espermatozoide, os gêmeos monozigóticos compartilham o mesmo genoma. Portanto, eles são sempre do mesmo sexo e apresentam características físicas muito similares. Na maioria dos casos, a separação dos embriões se dá na fase de blástula, o que leva à formação de âmnios e cordões umbilicais separados, mas um único cório e uma única placenta, que são compartilhados (imagem B).

### Gêmeos siameses

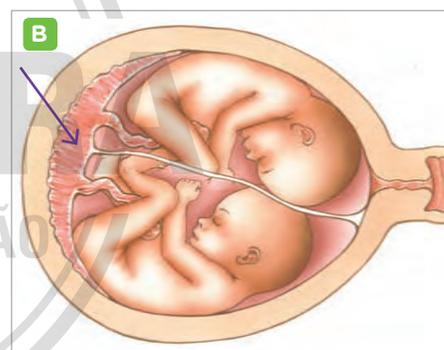
Um em cada 100 mil nascimentos pode resultar em **gêmeos siameses**, um par de crianças que nascem unidas por alguma parte do corpo (imagem C). Os gêmeos siameses são gêmeos idênticos que não se separaram completamente durante o desenvolvimento embrionário.

O grau de fusão dos gêmeos siameses pode ser bem variável, incluindo desde o compartilhamento de alguns órgãos até a quase completa fusão do corpo. Dependendo da maneira como estão unidos, pode haver a separação cirúrgica e sobrevivência das crianças.

Representações sem proporção de tamanho.



Representação de gêmeos fraternos, com duas placentas (setas), no útero. Cores-fantasia.



Representação de gêmeos idênticos, com uma só placenta (seta), no útero. Cores-fantasia.



Representação de gêmeos siameses unidos pela região torácica. Cores-fantasia.

Fonte de pesquisa para as imagens desta página:  
HICKMAN, C. P. et al. *Princípios integrados de zoologia*. 15. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2013. p. 158.

### Ultrassonografia no pré-natal

O **ultrassom** ou **ultrassonografia** é uma técnica de geração de imagens que usa ondas sonoras de alta frequência e seus ecos. A técnica é similar à ecolocação usada pelos morcegos, baleias e golfinhos, assim como o sonar usado pelos submarinos. No ultrassom, ocorrem os seguintes eventos:

- A máquina de ultrassom transmite pulsos sonoros de alta frequência (1 a 5 megahertz) para o interior de seu corpo usando uma sonda;
- As ondas sonoras se deslocam por seu corpo e atingem um limite entre tecidos, por exemplo, entre um fluido e um tecido macio, entre um tecido macio e um osso;
- Parte das ondas sonoras é refletida de volta para a sonda, ao passo que outra parte continua se deslocando até atingir outro limite e ser refletida;
- As ondas refletidas são captadas pela sonda e retransmitidas para a máquina;
- A máquina calcula a distância entre a sonda e o tecido ou órgão (os limites) usando a velocidade do som no tecido (1 540 m/s) e o tempo de retorno de cada eco, geralmente da ordem de milionésimos de segundo;
- A máquina exibe as distâncias e as intensidades dos ecos na tela, formando uma imagem bidimensional [...].

Em um ultrassom típico, milhões de pulsos e ecos são enviados e recebidos a cada segundo. A sonda pode ser movida ao longo da superfície do corpo e colocada em ângulo para obter diversas vistas.

[...]

O ultrassom tem sido usado em uma variedade de áreas clínicas, incluindo a obstetrícia, a ginecologia, a cardiologia e a detecção do câncer. A principal vantagem do ultrassom é que determinadas estruturas podem ser observadas sem usar radiação. O ultrassom transmite o resultado muito mais rapidamente do que o raio X e outras técnicas radiográficas. Abaixo uma pequena lista de alguns usos para o ultrassom:

- Medição do tamanho do feto para determinar a data prevista para o parto;
- Determinação da posição do feto para ver se ele está na posição normal de cabeça para baixo ou com apresentação pélvica;
- Verificação da posição da placenta para ver se ela está se desenvolvendo de modo impróprio sobre a abertura do útero (cérvix);
- Ver o número de fetos no útero;
- Verificar o sexo do bebê (se a área genital puder ser vista claramente);
- Verificar a taxa de crescimento do feto por meio de várias medições ao longo do tempo;
- Detectar a gravidez ectópica, situação de risco de



Chad Ehlers/Alamy/Fotostorena



Nic Cleave/Alamy/Fotostorena

(A) Gestante sendo submetida a ultrassonografia. (B) Imagem de feto humano obtida por esse tipo de exame.

- morte na qual o bebê está implantado na trompa de Falópio [tuba uterina] em vez de estar no útero;
  - Determinar se há uma quantidade apropriada de fluido amniótico amortecendo o bebê;
  - Monitorar o bebê durante procedimentos especializados: o ultrassom tem sido útil para ver e evitar atingir o bebê durante a amniocentese (coleta de amostra do fluido amniótico com uma agulha para testes genéticos). No passado, os médicos costumavam efetuar esse procedimento às cegas. Entretanto, com o acompanhamento por meio do ultrassom, os riscos do procedimento diminuíram drasticamente.
- [...]

FREUDENRICH, Craig. O que é o ultrassom. Como Tudo Funciona. Disponível em: <<http://linkte.me/w4kil>>. Acesso em: 18 mar. 2016.

# Práticas de Biologia

## Como foi o seu parto?

### Introdução

O **parto normal** ocorre quando o bebê nasce por via vaginal (consulte a página 213). Esse tipo de parto pode ser realizado com ou sem o uso de anestesia. Entretanto, quando o médico avalia que há risco para o bebê e/ou para a mãe, pode ser recomendado o **parto cirúrgico**, também chamado de **parto cesáreo** ou **cesariana**. Nesse caso, é feito um corte na barriga da mãe para a retirada do bebê de dentro do útero.

A Organização Mundial da Saúde (OMS) estima que a cesariana seja necessária em cerca de 15% dos partos. No Brasil, contudo, a ocorrência desse tipo de parto é muito maior: 40% nos hospitais da rede pública e quase 90% na rede particular. A alta incidência de cesarianas no Brasil é preocupante, uma vez que esse tipo de parto aumenta os riscos de infecção e o tempo de recuperação materna.

### Objetivo

Analisar o modelo de parto mais comum na comunidade escolar por meio de entrevistas.

### Procedimento

1. Junto com o professor, a turma deve elaborar um questionário com 5 a 10 perguntas que explorem como foi o parto das mães a serem entrevistadas. Sugestões de perguntas (elabore outras que julgar relevantes):
  - a. Qual era a sua idade na época do parto?
  - b. Onde foi realizado o parto? (Hospital público, hospital particular, casa de parto, em casa, etc.)
  - c. Qual foi o tipo de parto? (Normal, cesáreo, humanizado, etc.)
  - d. No caso de cesariana, quais foram os motivos que levaram à escolha desse tipo de parto?
  - e. Você ficou satisfeita com o parto? Por quê?
2. Em dupla, aplicar o questionário a cinco mães de alunos de outras turmas da escola. Cada dupla deve ficar responsável por entrevistar uma turma diferente. No caso de mães com mais de um filho, peça que respondam ao questionário apenas para aquele que pertencer à turma entrevistada pela dupla.

### Resultado

1. Com a ajuda do professor, a turma deve reunir todos os dados obtidos e calcular a frequência ( $f$ ) de cesarianas entre as mães entrevistadas.
2. Organize os dados na forma de tabela, como a mostrada abaixo. Gráficos também podem ajudar a visualizar tendências.

Idade da mãe no parto	Parto normal	Parto cesáreo
Menos de 20 anos		
Entre 20 e 29 anos		
Entre 30 e 39 anos		
Mais de 40 anos		

3. Pesquise os mitos mais comumente usados como justificativa de cesarianas e compare com os motivos citados pelas entrevistadas que passaram por esse tipo de parto.

### Discussão

1. Compare a frequência de cesarianas observada na comunidade de sua escola com aquela defendida pela OMS. O que isso lhe permite concluir?
2. Qual fator parece estar mais relacionado à ocorrência de cesariana (idade da mãe, local do parto, médico, etc.)?
3. Quais foram os motivos mais alegados quando a opção de parto foi a cesariana?
4. Em sua opinião, o que poderia ser feito para melhorar a assistência durante o parto e, assim, a satisfação da mãe nesse momento?

$f = \text{número de cesarianas} / \text{total de partos}$   
(multiplique por 100 para obter o valor em porcentagem)

## Uruguai: após legalização, desistência de abortos sobe 30%

O número de mulheres que decidiram levar adiante a gravidez após solicitar um aborto legal no Uruguai cresceu 30% em 2014 se comparado ao ano anterior, conforme o segundo relatório anual do Ministério da Saúde (MSP) [...].

O total de abortos legais concretizados subiu 20%, com “8 500 interrupções voluntárias da gravidez”, mais do que no mesmo período de acordo com o comunicado.

Os dados foram coletados “entre dezembro de 2013 e novembro de 2014”, explicou [...] à Agência Efe a ginecologista e ex-diretora de Saúde Sexual e Reprodutiva no MSP, Leticia Rieppi [...].

Para a médica, a ascensão no número de abortos está dentro do esperado para os primeiros anos de vigência da lei.

“O que nos surpreendeu foi o aumento de desistências, o que demonstra que a lei vem cumprindo seu papel. Não é uma lei que promove o aborto, mas a reflexão. Isso demonstra que muitas mulheres que solicitam o aborto não têm certeza e que as consultas obrigatórias com a equipe interdisciplinar, formada por psicólogos e assistentes sociais, além do ginecologista, estão sendo efetivas”, disse em alusão ao procedimento determinado pela legislação no qual a mulher tem cinco dias para pensar antes de prosseguir com o pedido.

Sobre o número de abortos concretizados, o Ministério informou que se trata de uma relação de 12 para cada 1 000 “mulheres entre 15 e 45 anos, sendo porcentagens que estão abaixo dos níveis internacionais que se conhecem, como, por exemplo, nos países nórdicos”.

Os resultados do relatório também dão conta de que 18% das mulheres que buscam o procedimento correspondem a menores de 20 anos. Nesse sentido, Leticia contrapõe que “uma a cada cinco adolescentes no Uruguai é mãe”.

Uruguai: após legalização, desistência de abortos sobe 30%. Notícias Terra, 29 mar. 2015. Disponível em: <<http://noticias.terra.com.br/mundo/america-latina/uruguai-apos-legalizacao-desistencia-de-abortos-sobe-30,2e4163764976c410VgnCLD200000b1bf46d0RCRD.html>>. Acesso em: 6 out. 2015.

“Se fala muito sobre gravidez precoce e parece que as adolescentes são condenadas tanto quando abortam quanto quando não o fazem”, opinou.

[...]

“O MSP continuará potencializando o acesso à informação de métodos contraceptivos, de modo a não chegar tarde para promover e facilitar a decisão voluntária da maternidade”, concluiu o comunicado.

A lei de interrupção voluntária da gravidez está em vigor no país desde o final de 2012.

Na América Latina, essa possibilidade amparada pelo sistema de saúde só existe na capital mexicana, em Cuba, Guiana e Porto Rico, além de no Uruguai.



No Uruguai, consultas com psicólogos e assistentes sociais ajudam as gestantes que solicitaram pedido de aborto a refletir sobre sua decisão.

### PARA DISCUTIR

1. No debate sobre o aborto, há pessoas que são contra e outras que são a favor de sua legalização. De que maneira os dados citados no texto podem ser usados para defender cada um desses pontos de vista?
2. Em sua opinião, o que faz uma mulher optar pelo aborto?
3. De acordo com a reportagem, “uma a cada cinco adolescentes no Uruguai é mãe”. Sabendo disso, discuta a importância da inclusão de programas de educação sexual nas escolas.

- Em humanos, geralmente se desenvolve um feto a cada gestação. Eventualmente ocorrem gestações múltiplas, como no caso de gêmeos.
  - Todos os gêmeos são idênticos? Justifique explicando como pode ocorrer uma gestação múltipla.
  - Por que podemos dizer que os gêmeos idênticos são clones? Explique.
- Explique a diferença entre espécies monoicas e dioicas. Associe essas definições aos termos “unissexual” e “hermafrodita”.
- Entre os métodos contraceptivos mais utilizados destaca-se a camisinha masculina ou preservativo. Leia as afirmações abaixo e indique qual ou quais das afirmações são verdadeiras.
  - A camisinha deve ser retirada do pênis ainda ereto, imediatamente após a ejaculação.
  - A camisinha possui um reservatório opcional de esperma.
  - O preservativo masculino não deve ser utilizado sem prescrição médica.
  - O anel na base do preservativo ajusta-se ao pênis, evitando que ele se solte do órgão masculino.
- Observe o quadro a seguir, que mostra um mês do calendário. Em amarelo está indicado o primeiro dia da menstruação de uma mulher.

D	S	T	Q	Q	S	S
		1	2	3	4	5
6	7	8	9	10	11	12
13	14	15	16	17	18	19
20	21	22	23	24	25	26
27	28	29	30	31		

Supondo que essa pessoa tenha um ciclo regular de 28 dias, responda às seguintes questões:

- Em que dia desse mês provavelmente ocorrerá a ovulação?
  - Quando será a próxima menstruação?
5. Leia o texto abaixo, que fala sobre uma das resoluções que regulamenta as técnicas de reprodução assistida no Brasil, e responda à questão proposta.
- [...] A primeira resolução do CFM [Conselho Federal de Medicina] que trouxe normas éticas para a utilização das técnicas de Reprodução Assistida foi a de número 1358/92, que proibia o uso de técnicas com o objetivo de selecionar o sexo ou qualquer característica biológica

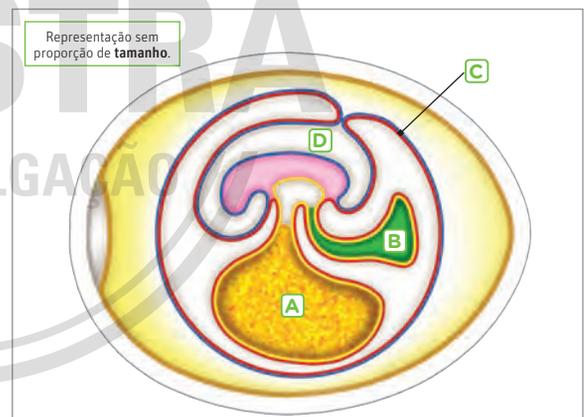
do futuro filho e a doação gratuita de material genético. Não estabelecia limites de idade e definia a transferência de até quatro embriões [...]

A Resolução 1358/92 foi substituída pela de número 1957/10, que manteve parte das regras anteriores e acrescentou uma gradação para a transferência de embriões, começando com dois para mulheres com até 35 anos, chegando até quatro para aquelas com mais de 40 anos. [...]

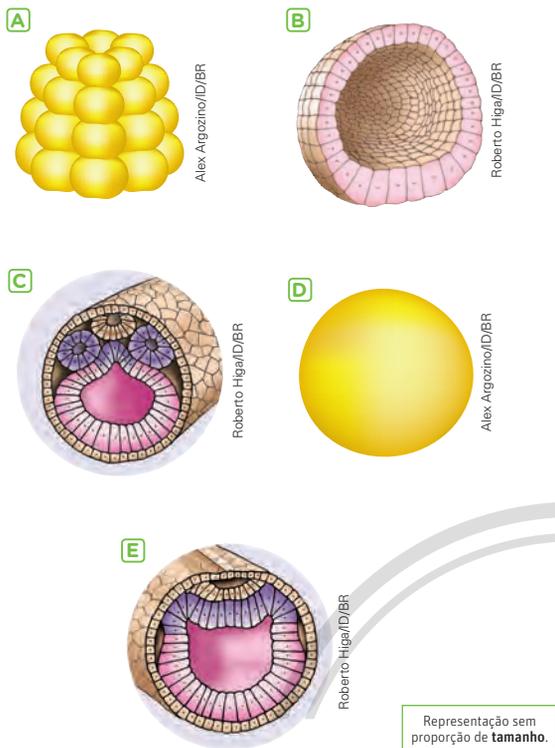
AZEVEDO, Joelli. *Mulheres com mais de 50 anos poderão utilizar técnicas de reprodução assistida*. Conselho Regional de Medicina de Pernambuco. 22 set. 2015. Disponível em: <<http://cremepe.org.br/2015/09/22/mulheres-com-mais-de-50-anos-poderao-utilizartecnicas-de-reproducao-assistida/>>. Acesso em: 2 out. 2015.

De que maneira a resolução 1957/10 ajuda a reduzir os casos de gestação múltipla em mulheres submetidas às técnicas de reprodução assistida?

- Por que a multiplicação celular é importante durante o desenvolvimento de um organismo multicelular?
- Qual a importância dos processos de diferenciação celular durante o desenvolvimento embrionário?
- Identifique, no esquema abaixo, os anexos embriônicos indicados pelas letras.



- Faça um esquema simples de uma blástula mostrada em corte, com legendas.
- Durante uma aula de embriologia, um aluno de um curso de Ciências Biológicas recebeu, de seu professor, alguns ovos sem nenhum tipo de identificação. Após observá-los detidamente, reparou que, nos ovos, havia âmnio e alantoide, a segmentação era parcial, estava se formando uma placa neural, existiam tecidos de origem mesodérmica e uma grande quantidade de vitelo. A qual (quais) classe(s) de vertebrados poderiam pertencer os ovos examinados?
- Identifique os estágios e as fases de desenvolvimento representados nas imagens a seguir (A a E) e coloque-os na ordem em que ocorrem, independentemente de pertencerem ou não à mesma espécie.



12. Os mamíferos são tradicionalmente classificados como prototérios, metatérios e eutérios.
- Qual é o critério utilizado para o estabelecimento desses grupos?
  - De acordo com esse critério, o que caracteriza cada grupo?
  - Cite exemplos de representantes de cada grupo.
13. Um fenômeno fundamental no desenvolvimento dos mamíferos placentários é a nidação, também denominada implantação do embrião. Em que consiste esse fenômeno?
14. Uma anormalidade da nidação pode resultar na gravidez na tuba uterina. Qual o risco disso?
15. Uma etapa importante no desenvolvimento embrionário de mamíferos eutérios é a formação das vilosidades coriônicas. O que são essas estruturas e quais suas funções?
16. A formação de uma placenta bem desenvolvida caracteriza os mamíferos eutérios. O que significa dizer que a placenta dos eutérios é um órgão de origem dupla?
17. Em geral, a gestação humana é apresentada dividida em etapas para facilitar seu estudo.
- Como se denomina cada uma dessas etapas?
  - Qual o período de duração de cada etapa?
  - Descreva, resumidamente, os principais fenômenos que caracterizam cada etapa.

18. Os mamíferos distinguem-se dos demais vertebrados pelo desenvolvimento intrauterino dos embriões e pela amamentação de seus filhotes após o nascimento. Em geral, os óvulos de mamíferos são microscópicos, uma vez que não armazenam vitelo. Os óvulos do ornitorrinco e da equidna, porém, são relativamente grandes, quando comparados aos óvulos dos demais mamíferos. Como se explica essa diferença?
19. Atualmente, a maioria dos medicamentos vendidos em farmácia traz, na bula, a recomendação de que não se deve consumir o produto sem o conhecimento do médico, sobretudo no caso das mulheres grávidas no início do período de gestação. Todos conhecem os perigos da automedicação, mas por que a recomendação é especialmente dirigida às gestantes, enfatizando os primeiros meses de gravidez?
20. A tabela a seguir mostra dados gerados por uma pesquisa de campo efetuada por alunos do ensino médio de uma escola pública, participantes de um projeto de Biologia. A pesquisa foi feita com pessoas da comunidade, de forma aleatória. O título do projeto é Métodos anticoncepcionais mais utilizados em minha comunidade.

Método anticoncepcional utilizado (% em relação ao número de pessoas entrevistadas)	Faixa etária				
	18-20	21-25	26-30	31-35	> 36
Diafragma	0,0	0,0	2,3	1,5	1,8
DIU	0,0	1,5	1,9	2,5	2,6
Camisinha	49,4	67,3	38,0	37,5	8,6
Pílula anticoncep.	45,1	10,3	54,2	55,1	56,8
Vasectomia ou laqueadura	0,0	1,7	2,9	3,4	27,8
Não utilizam nenhum método	5,5	19,2	0,7	0,0	2,4

Com base nos dados acima, responda:

- Que método contraceptivo é mais utilizado em cada faixa etária?
- Quais métodos são mais utilizados entre os adultos jovens (de 18 a 30 anos de idade)? Em sua opinião, por que isso ocorre?
- Qual é menos utilizado, em termos gerais?
- Em sua opinião, por que os métodos definitivos (ligadura tubária e vasectomia) são mais amplamente utilizados na faixa etária superior a 36 anos de idade?

1. (Ufam) A partir de 2014, por determinação do Ministério da Saúde, todas as meninas entre 10-11 anos devem ser imunizadas contra o HPV pelo Sistema Único de Saúde (SUS). Calcula-se que esse agente infeccioso esteja presente em 80% da população feminina brasileira. Por que é importante tal procedimento de imunização?

- Esse agente, que tem como material genético o DNA, é o responsável direto pela maior parte da incidência de câncer do colo do útero, a 4ª causa de morte em mulheres no Brasil.
- A bactéria causadora do HPV é responsável por milhares de internações por problemas respiratórios, o que contribui para as elevadas despesas na área da saúde.
- Não há evidências que comprovem a ligação entre HPV e câncer nas mulheres; as medidas adotadas não se justificam.
- Esse protozoário não pode ser erradicado da população humana, pois faz parte de sua flora intestinal.
- Esse vírus infecta homens e mulheres e, embora seja considerada uma DST, sua infecção não traz consequências maiores à população.

2. (UFPA) A biotecnologia da fertilização *in vitro* humana abrange muitos aspectos biológicos e éticos sobre os quais é possível afirmar:

- É necessária a multiplicação *in vitro* de espermatozoides e óvulos, separadamente, para que posteriormente, ambas as células germinativas sejam cultivadas juntas em um mesmo recipiente possibilitando a fertilização.
- Numerosos embriões, obtidos *in vitro* são implantados no útero da mulher receptora para garantir que ocorra a gravidez por pelo menos um dos embriões implantados.
- O descarte ou destruição dos embriões excedentes é polêmico, causando conflitos éticos, religiosos e jurídicos, sendo comparados muitas vezes ao aborto.
- Esta tecnologia gera a possibilidade de criação de seres humanos programados geneticamente, como, por exemplo, para a seleção de sexo.
- No Brasil, a Lei n. 11.105/05, Lei de Biossegurança, permite pesquisas com células-tronco embrionárias usando-se embriões excedentes congelados.

Considerando estes aspectos, estão corretas as seguintes assertivas:

- I, II e IV.
- II, III e V.
- II, III, IV e V.
- I, III, IV e V.
- Todas as assertivas.

3. (UFG) As bactérias, ao se reproduzirem assexuadamente, originam dois indivíduos do mesmo tamanho e geneticamente idênticos. Já alguns levedos, para se reproduzirem, emitem uma pequena expansão na superfície da célula, que cresce e posteriormente se destaca, formando um novo indivíduo também geneticamente igual. Os dois tipos de reprodução descritos são, respectivamente,

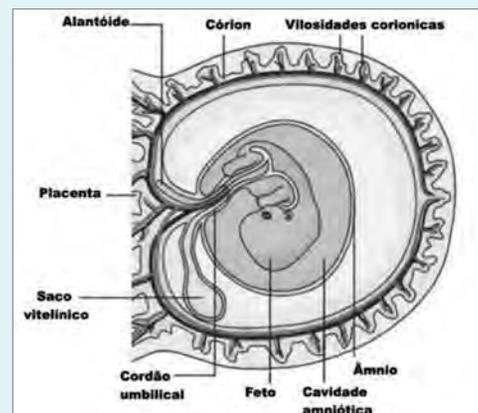
- cissiparidade e conjugação.
- cissiparidade e brotamento.
- fragmentação e gemiparidade.
- conjugação e esporulação.
- conjugação e cissiparidade.

4. (UFPB) Recentemente, no Supremo Tribunal Federal (STF), houve uma grande discussão sobre a legalidade do aborto em casos em que se comprova que o feto não possui seu sistema nervoso central desenvolvido (anencefalia). A má-formação do sistema nervoso central está relacionada com problemas durante o desenvolvimento dos tecidos embrionários e das estruturas que surgem a partir desses tecidos.

Com base nas informações apresentadas e na literatura sobre o tema, é correto afirmar que a má-formação desse sistema ocorre devido ao desenvolvimento inadequado da

- mesoderme, o que impede a formação da notocorda.
- endoderme, o que resulta no posicionamento errado do tubo nervoso.
- ectoderme, o que pode levar ao não desenvolvimento do sistema nervoso central.
- mesoderme, o que resulta em falha durante o desenvolvimento dos somitos.
- endoderme, o que faz com que não ocorra o desenvolvimento do sistema endócrino, o qual é necessário para o desenvolvimento do sistema nervoso central.

5. (IFSC)



IFSC, 2015. Fae-simile: ID/BR

Anexos embrionários são estruturas que derivam dos folhetos germinativos do embrião, mas que não fazem parte do corpo desse embrião. Os anexos embrionários são: vesícula vitelina (saco vitelínico), cordão umbilical, âmnio (ou bolsa amniótica), cório e alantoide. Com base na figura [...] e com relação à placenta e aos anexos embrionários, [indique] a soma da(s) proposição(ões) **corretas(s)**.

- 01) O cordão umbilical é um anexo embrionário exclusivo de mamíferos.
- 02) A placenta é um órgão constituído tanto de tecidos materno quanto fetais (cordão umbilical) que possuem a função de transportar nutrientes e oxigênio da circulação da mãe para o feto. O sangue da mãe se mistura com o do feto, uma vez que os vasos sanguíneos de ambos são contínuos.
- 04) O âmnio é uma membrana que envolve completamente o embrião, delimitando uma cavidade denominada cavidade amniótica. Essa cavidade contém o líquido amniótico, cujas funções são proteger o embrião contra choques mecânicos e dessecação.
- 08) O alantoide é uma bolsa contendo substâncias de reserva energética (vitelo), responsável pela nutrição do embrião. Nos mamíferos placentários, o alantoide possui pequenas dimensões, sendo a nutrição desempenhada pela placenta.
- 16) O cório é o anexo embrionário mais externo, presente em répteis, aves e mamíferos.
6. (Unicamp-SP) Um cidadão foi preso por um crime que não cometeu. O exame do DNA encontrado na cena do crime revelou que ele é compatível com o do indivíduo apontado como culpado. As provas colhidas em um outro crime, ocorrido durante a reclusão do suposto criminoso, curiosamente apontaram o mesmo perfil genético, colocando em cheque o trabalho de investigação realizado. As suspeitas então recaíram sobre um irmão gêmeo do indivíduo.
- a) Como são denominados os gêmeos do caso investigado? Que tipo de análise seria capaz de distinguir os gêmeos?
- b) Descreva os processos de fecundação e desenvolvimento embrionário que podem ter gerado os gêmeos envolvidos no caso investigado.
7. (Enem) Na década de 1990, células do cordão umbilical de recém-nascidos humanos começaram a ser guardadas por criopreservação, uma vez que apresentam alto potencial terapêutico em consequência de suas características peculiares.
- O poder terapêutico dessas células baseia-se em sua capacidade de
- a) multiplicação lenta.
- b) comunicação entre células.
- c) adesão a diferentes tecidos.

- d) diferenciação em células especializadas.
- e) reconhecimento de células semelhantes.

8. (UFRJ) A eficiência dos métodos anticoncepcionais mais utilizados pode ser verificada observando-se o quadro a seguir:

Método	% de casos em que ocorreu gravidez
1. Tabela	20,0
2. Interrupção do coito antes da ejaculação	16,0
3. Camisinha	2,0
4. Diafragma com espermicida	2,0
5. Ligação de trompas	0,4
6. Pílula anticoncepcional	0,5
7. Vasectomia	0,4

- a) Explique por que o método da tabela é um dos menos seguros.
- b) O método da pílula anticoncepcional diferencia-se dos demais em relação à forma pela qual se evita a gravidez. Explique por quê.

### Para explorar

#### Leia

**O que é sexo?**, de Dorion Sagan e Lynn Margulis. Rio de Janeiro: Jorge Zahar, 2002.

Trata da importância da sexualidade, em termos biológicos e filosóficos, para a espécie humana, destacando a relação entre sexo e reprodução e as consequências do progresso tecnológico sobre as relações sociais e sexuais.

#### Navegue

**Direitos sexuais, direitos reprodutivos e métodos anticoncepcionais**

Cartilha do Ministério da Saúde que apresenta os principais métodos contraceptivos, com esquemas que explicam como cada um deles funciona. Disponível em: <<http://linkte.me/jp725>>. Acesso em: 19 mar. 2016.

#### Departamento de DST, Aids e Hepatites Virais

Página do Ministério da Saúde que apresenta grande quantidade de informações acerca de doenças sexualmente transmissíveis (DSTs). Características, sintomas, formas de tratamento e informações estatísticas permitem compor um quadro elucidativo da situação das DST no Brasil. Disponível em: <<http://www.aids.gov.br>>. Acesso em: 19 mar. 2016.

#### Assista

**Filhos da esperança.** Direção de Alfonso Cuarón, EUA, Reino Unido, 2006.

No ano de 2027 as mulheres não conseguem mais engravidar. Um ex-ativista assume a tarefa de proteger uma jovem que misteriosamente se encontra grávida. A premissa do filme convida à reflexão: Como a humanidade encararia a possibilidade de se extinguir?

# Viver uma vida antes de iniciar outra: um debate sobre a gravidez na adolescência

## O que você vai fazer

Você e sua classe organizarão um debate sobre “Gravidez na adolescência”, visando conscientizar os jovens e toda a comunidade escolar (colegas, pais, professores e funcionários) sobre as consequências da maternidade ou da paternidade precoces.

O debate deverá contar com alunos e representantes da escola – professores, por exemplo. Poderá contar também com convidados que possam contribuir para o debate: médicos, psicólogos ou outros profissionais da saúde, jornalistas, representantes de ONGs, etc.

O professor dividirá a classe em grupos. Cada grupo ficará responsável por parte do trabalho.



Frances Roberts/Alamy/Lainstock

Exemplo de situação de debate na escola.

## Equipe 1: pesquisa de dados

A equipe responsável pela pesquisa de dados deve produzir um material que sirva de base para a elaboração de perguntas para as entrevistas.

A questão da gravidez na adolescência costuma ser tratada de modo diferenciado pelos especialistas. Muitos dados são disponibilizados em secretarias e ministérios; outros constam em publicações de autores independentes. Além de resumir os dados, a equipe deverá consultar programas especiais de apoio à gestante e aos adolescentes nas diversas esferas de governo. A seguir, são sugeridas algumas fontes.

- **Livros:** *Gravidez e adolescência*, de Denise Leite Maia Monteiro et al. (Rio de Janeiro: Revinter, 2009); *Gravidez na adolescência*, de Celso Luiz Martins (São Paulo: DPL, 2005).
- **Filmes:** *O aborto dos outros*, de Carla Galo, 2008; *Juno*, de Jason Reitman, 2007.
- **Peça de teatro:** *O despertar da primavera*, de Franke Wedekind.
- **Páginas na internet:**
  - Centro Latino-Americano em Sexualidade e Direitos Humanos (Clam)  
<<http://www.clam.org.br>>. Acesso em: 21 mar. 2016.
  - Biblioteca virtual em saúde do Ministério da Saúde  
<<http://bvsmis.saude.gov.br/php/index.php>>. Acesso em: 21 mar. 2016.
  - Eccos Comunicação em Sexualidade  
<<http://www.ecos.org.br/index2.asp>>. Acesso em: 21 mar. 2016.

## Equipe 2: análise e tabulação dos dados e das pesquisas

Essa equipe ficará responsável por sistematizar os dados obtidos nas pesquisas feitas pela equipe 1. Esses dados podem, por exemplo, ser agrupados por faixa etária, por região ou por categorias de respostas. Se os dados forem em grande quantidade, a equipe poderá solicitar orientação ao professor de Matemática sobre o modo de tratar as respostas. Sempre que possível, os dados devem ser agrupados sob a forma de tabelas e gráficos.

### Equipe 3: elaboração de perguntas a serem feitas aos debatedores

Essa equipe ficará responsável por elaborar perguntas aos debatedores a partir dos dados obtidos e sistematizados. As perguntas devem ser sempre de caráter impessoal, sem particularizar casos. Observe os seguintes exemplos de perguntas que podem ser elaboradas.

Qual a idade que você julga mais conveniente para os jovens iniciarem a vida sexual?  
Pesquisas apontam que os jovens iniciam a vida sexual por volta de “x” anos. Como você avalia esse dado?

### Equipe 4: organização do debate

Cada componente ficará responsável pela execução de parte do trabalho relativo ao evento. O grupo deverá também decidir: (1) a duração do debate; (2) o número de convidados; (3) quais serão os convidados; (4) o tempo que cada um deles terá para falar; (5) se os convidados farão perguntas entre si ou se apenas responderão às perguntas feitas pela plateia (no primeiro caso, deve ser previsto tempo para réplicas ou tréplicas); (6) como o público fará as perguntas: se oralmente ou por escrito.

É importante a eleição de um **mediador** para iniciar o debate. A ele caberá apresentar cada um dos debatedores e medir o tempo de cada intervenção. Deverá também conduzir a palavra, garantindo que todos possam se expressar sem interrupções. Procedimentos como esse fazem com que o evento transcorra de forma respeitosa e democrática.

O debate deve ocorrer dentro do cronograma e do espaço da escola. Data e local precisam ser previamente combinados com os professores e com a direção, de modo a envolver um número de pessoas compatível com o espaço disponível.

### Equipe 5: divulgação do evento

Essa equipe será responsável pelos convites feitos tanto para o público como para os debatedores e alunos de outras classes.

Cartazes que chamem a atenção para o tema, a data e o local de realização podem ser elaborados. O cartaz também deve informar a presença dos convidados e a área de atuação de cada um. Essa mesma equipe poderá elaborar uma carta de agradecimento aos convidados pela participação, que será entregue ao final.



Exemplo de cartaz-convite para o debate.

### Avaliação do projeto

- Uma vez concluído o projeto, as equipes e o professor podem se reunir para avaliar os resultados. Considerem critérios como: o número de pessoas presentes, a profundidade do debate, o número de depoimentos e o número de pessoas que compareceram. Discutam outros critérios que denotem a qualidade do trabalho produzido pelas equipes.
- O professor, por sua vez, poderá avaliar o envolvimento das equipes e de cada estudante, individualmente.

## 4

# Os tecidos celulares humanos

**NESTA UNIDADE**

- 15 Multicelularidade e tecido epitelial
- 16 Tecido conjuntivo
- 17 Tecido muscular
- 18 Tecido nervoso

Para elaborar diagnósticos, a medicina contemporânea conta com o apoio das tecnologias de captura de imagem, como as tomografias, ultrassonografias, ressonâncias magnéticas e radiografias.

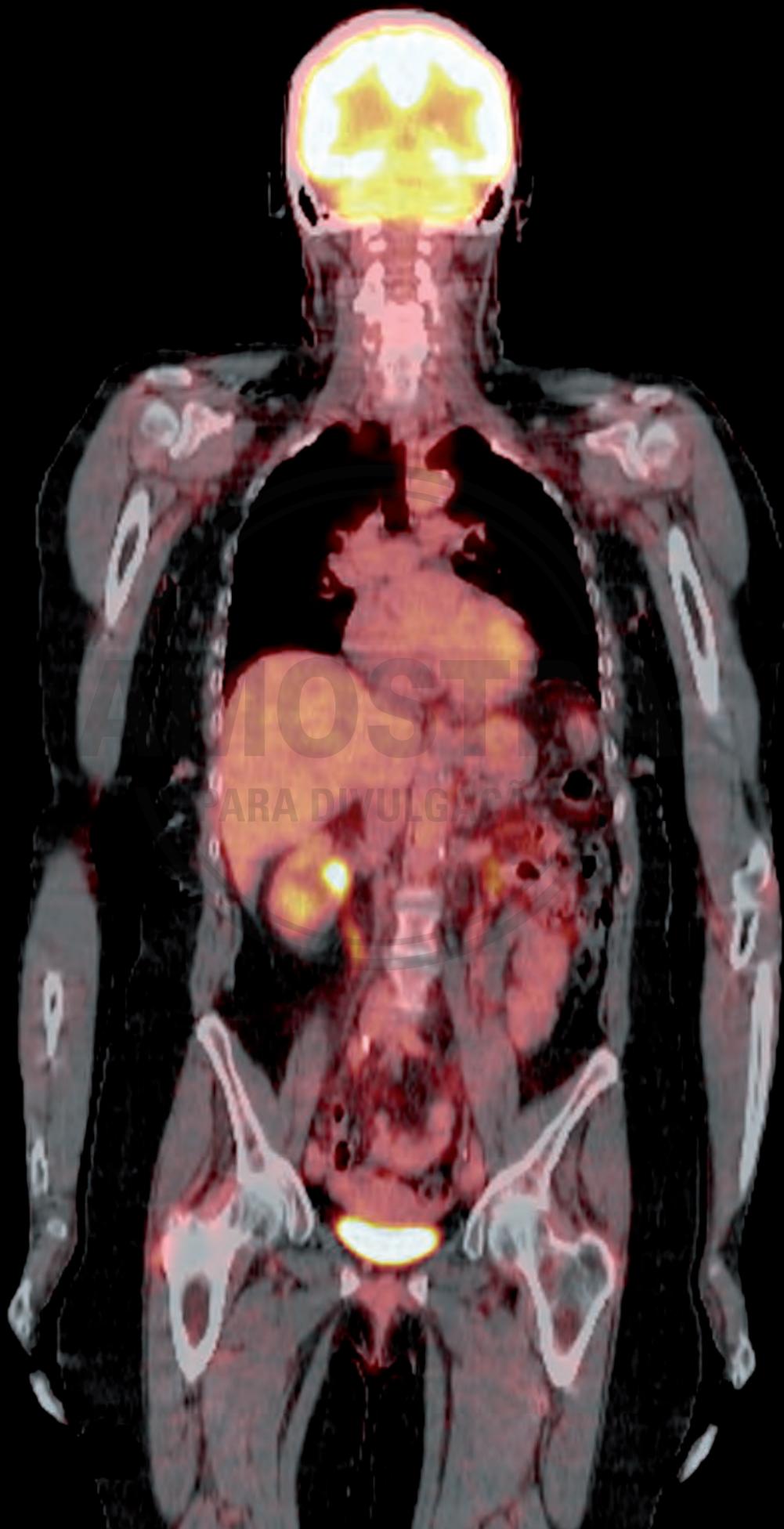
As tomografias, como a que você vê ao lado, permitem observar detalhes de órgãos e tecidos de um organismo. Essa técnica é usada, por exemplo, para identificar o crescimento anormal de células de tecidos humanos, o que pode sinalizar a presença de tumores. Por meio de tomografias, é possível identificar a localização, extensão e quais tecidos estão afetados por tumores.

**QUESTÕES PARA REFLETIR**

1. Os tumores são o resultado de crescimento ou reprodução anormal de células e podem gerar sintomas que afetam o funcionamento do organismo como um todo. Por que a alteração das células de um tecido pode comprometer sua função? O que você sabe sobre alterações desse tipo?
2. Os órgãos humanos apresentam diferentes aspectos e funções; os ossos, por exemplo, são resistentes, enquanto a pele é flexível e elástica. Que características microscópicas você imagina que estejam relacionadas aos aspectos e às funções dos diversos órgãos humanos?

*Imagem da página ao lado:*

A tomografia mostra uma visão em corte do corpo humano. Com ela podemos identificar, com relativa clareza, órgãos e tecidos de um indivíduo.



# Multicelularidade e tecido epitelial

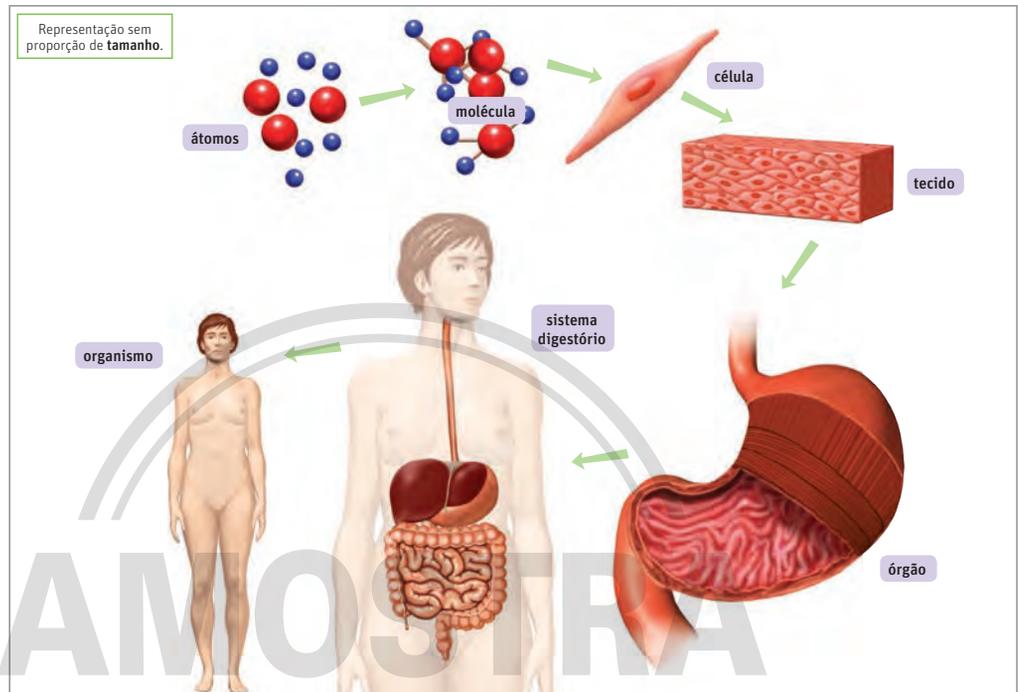
## O QUE VOCÊ VAI ESTUDAR

Multicelularidade.

A estrutura básica dos tecidos epiteliais.

Tipos de tecidos epiteliais e suas especializações.

A pele humana.



Marcos Aurelio/DBR

Representação dos principais níveis de organização do corpo humano. Cores-fantasia.

Na reprodução sexuada, cada indivíduo é originado da fusão de dois gametas, formando o zigoto, que passa então por sucessivas divisões celulares.

Nos animais, a mórula (abordada no capítulo 13) apresenta células indiferenciadas, consideradas totipotentes, pois podem dar origem a qualquer um dos tipos de célula presentes no organismo adulto.

À medida que o embrião se desenvolve, tem início o processo de diferenciação celular, em que as células se tornam diferentes umas das outras e assumem funções específicas.

Na maioria dos animais, as células resultantes do desenvolvimento do embrião organizam-se em três camadas: a ectoderme, a mesoderme e a endoderme. Cada uma delas dará origem a diferentes tecidos e órgãos.

Após o desenvolvimento dessas três camadas, as células embrionárias encontram-se diferenciadas. Isso significa que elas só serão capazes de dar origem a outras iguais a elas. O processo de diferenciação e especialização das células continua com o desenvolvimento do organismo, e as células se especializam em determinadas funções específicas.

O conjunto de células especializadas de mesma origem embrionária, que apresentem interdependência e desempenham funções comuns, chama-se tecido. (No entanto, existem seres multicelulares, como as esponjas, em que as células não estão organizadas em tecidos.)

Entre os vertebrados, há quatro tipos básicos de tecido: epitelial, conjuntivo, muscular e nervoso. Os tecidos, associados uns aos outros, formam órgãos, que, ao funcionarem de modo integrado, constituem os sistemas de um organismo. A área da Biologia que estuda os tecidos é a histologia.

## A multicelularidade

Na natureza há seres vivos unicelulares (formados por apenas uma célula), como protozoários e bactérias, e multicelulares (formados por mais de uma célula), como os animais e as plantas.

As primeiras formas de vida que surgiram no planeta, há alguns bilhões de anos, eram seres unicelulares. Há cerca de 600 milhões de anos, apareceram os primeiros seres vivos multicelulares.

Alguns seres multicelulares são constituídos por centenas de células. Outros, como o ser humano, possuem trilhões de células. A multicelularidade está ligada a características importantes, como a relação entre superfície e volume celular, o aumento na chance de sobrevivência do organismo e a especialização e divisão de trabalho entre as células.

Toda célula é tridimensional e, portanto, apresenta área e volume. À medida que uma célula cresce, seu volume torna-se maior, mas sua área não aumenta na mesma proporção, ou seja, ocorre diminuição da relação entre a superfície (área) e o volume. Assim, a superfície para trocas de substâncias passa a ser insuficiente para atender adequadamente às necessidades da célula. Além disso, a pressão interna do citoplasma aumenta, o que poderia levar ao rompimento da membrana celular. Por isso, o crescimento de seres unicelulares cessa ao atingir certo limite, acima do qual a célula tende a se dividir.

Nos seres multicelulares, o tamanho do indivíduo independe do volume celular, pois o crescimento se deve, principalmente, ao aumento do número de células, possibilitando a existência de seres vivos com dimensões maiores do que as de um unicelular.

Organismos unicelulares morrem quando não conseguem realizar suas funções vitais devido a alterações do meio, como escassez de nutrientes, presença de substâncias tóxicas ou alteração de temperatura. Um organismo multicelular poderá sobreviver se esse tipo de perturbação ocorrer em uma ou em poucas células.

Nos organismos unicelulares, todas as funções (trocas gasosas, digestão, produção de substâncias, eliminação de excretas) são desempenhadas por uma única célula. A existência de grande quantidade de células em um mesmo organismo permitiu que elas se especializassem, de modo a que cada tipo de célula executasse uma ou mais funções específicas.

## Tecidos epiteliais

O **tecido epitelial** ou epitélio é constituído por células poliédricas, justapostas e firmemente unidas. Nesse tecido, as células encontram-se apoiadas na **lâmina basal** (imagem ao lado) – uma camada constituída basicamente por **colágeno**, um tipo de proteína –, que separa o tecido epitelial do tecido conjuntivo (abordado no capítulo 16), mantendo-os aderidos um ao outro. Ela também regula a multiplicação e a diferenciação celulares e as interações entre células **adjacentes**. Em alguns locais do organismo, a lâmina basal está associada a fibras reticulares e outras substâncias, formando um conjunto denominado **membrana basal**.

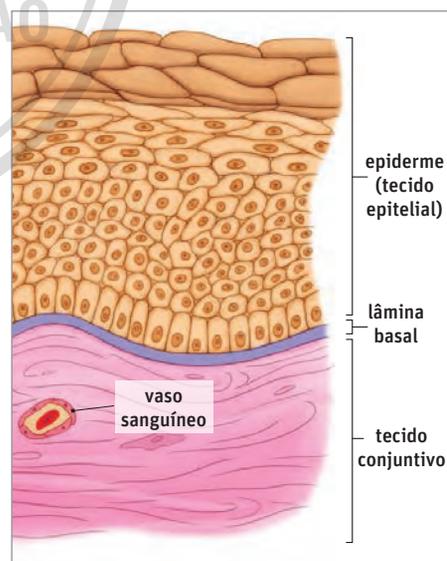
Todo tecido apresenta uma **matriz extracelular** (MEC) formada por substâncias intercelulares, sintetizadas pelas próprias células do tecido, e que preenchem o espaço existente entre elas. A quantidade das substâncias que compõem a matriz extracelular varia entre os quatro diferentes tipos de tecido (epitelial, conjuntivo, muscular e nervoso). Os tecidos epiteliais possuem pequena quantidade de substâncias intercelulares.

### ATIVIDADES

1. Hoje em dia existem diversos tipos de microscópios, que permitem observar detalhadamente várias partes dos seres vivos. O capítulo 4 aborda alguns tipos de microscópios e seus usos.

Em relação ao estudo das células de seres unicelulares e multicelulares, de que forma o desenvolvimento tecnológico se relaciona com o desenvolvimento científico?

Representação sem proporção de tamanho.



Peira Elster/DBR

Representação de corte de pele evidenciando a epiderme, um tecido epitelial. Cores-fantasia.

Fonte de pesquisa: JUNQUEIRA, L. C.; CARNEIRO, J. *Histologia básica*. 12. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2013. p. 354.

**Adjacente:** próximo, que está a pequena distância.

Externamente à membrana plasmática existe o **glicocálix** (abordado no capítulo 5), uma camada constituída por moléculas de proteínas e carboidratos. No tecido epitelial, o glicocálix protege as células contra choques mecânicos e microrganismos, além de participar da comunicação e do reconhecimento celular.

Outra característica importante dos tecidos epiteliais é a ausência de vasos sanguíneos. Sendo assim, a nutrição das células ocorre por meio de difusão dos nutrientes a partir de células do tecido conjuntivo adjacente.

## Tipos de tecido epitelial

Os tecidos epiteliais podem ser divididos em dois grandes grupos: **epitélios de revestimento**, que revestem órgãos do corpo, e **epitélios glandulares**, que produzem e liberam substâncias. No entanto, essa divisão é apenas didática, pois há epitélios de revestimento que, além de revestir um órgão, secretam substâncias. O epitélio que reveste internamente o estômago, por exemplo, também apresenta células especializadas que secretam ácido clorídrico.

### Epitélios de revestimento

Os epitélios de revestimento revestem superfícies externas e internas de órgãos. As células dos epitélios de revestimento interno ficam em contato direto com o **lúmen**, que é o nome dado ao espaço interno de órgãos ocos, como o útero ou o intestino.

O número de camadas de células ou a forma destas são utilizados para classificar os epitélios de revestimento (tabelas a seguir).

A fina espessura do epitélio simples favorece a troca de substâncias, enquanto as várias camadas de células do epitélio estratificado conferem proteção e capacidade de renovação ao tecido.

## ATIVIDADES

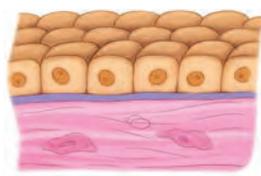
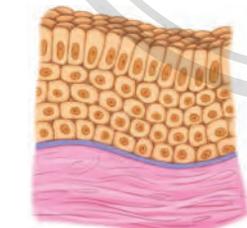
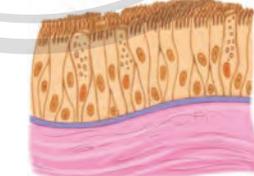
- O aspecto morfológico da córnea é fundamental para o pleno funcionamento da visão. Uma má formação ou dano nessa estrutura pode resultar em cegueira.

O transplante de córnea é um dos transplantes mais realizados no Brasil. Só no primeiro semestre de 2015 foram realizados 6 585 desses procedimentos.

O epitélio da córnea é transparente e composto por 4 a 7 camadas de células achatadas.

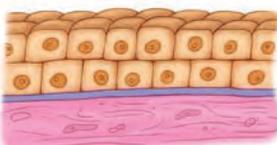
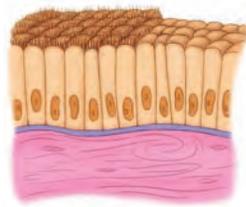
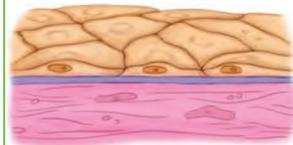
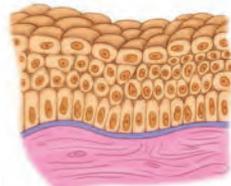
- Classifique o epitélio da córnea quanto ao formato das células e quanto ao número de camadas.
- Proponha uma explicação para o fato de esse epitélio ser composto por várias camadas.

Ilustrações: Petra Elster/D/BR

Quanto ao número de camadas		
<p><b>Simple ou uniestratificado</b> (do latim <i>uni</i>, “um”, e <i>stratum</i>, “camada”). Constituído por uma única camada de células. Exemplo: epitélio que reveste o ovário. Cores-fantasia.</p> 	<p><b>Estratificado.</b> Formado por várias camadas de células. Exemplo: parte superior da uretra. Cores-fantasia.</p> 	<p><b>Pseudoestratificado</b> (do grego <i>pseudo</i>, “falso”). Possui apenas uma camada de células, porém nem todas atingem o lúmen, o que dá a impressão de que o tecido apresenta mais de uma camada. Exemplo: epitélio que reveste a traqueia. Cores-fantasia.</p> 

Representações sem proporção de tamanho.

Fonte de pesquisa das imagens desta página: TORTORA, G. J.; GRABOWSKI, S. R. *Corpo humano: fundamentos de anatomia e fisiologia*. 8. ed. Porto Alegre: Artmed, 2012. p. 78-81; JUNQUEIRA, L. C.; CARNEIRO, J. *Histologia básica*. 12. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2013. p. 74.

Quanto ao formato das células			
<p><b>Cúbico.</b> As células têm formato de cubo. Encontradas no revestimento dos ductos das glândulas sudoríparas e esofágicas. Cores-fantasia.</p> 	<p><b>Prismático.</b> As células podem ser colunares (como a da imagem abaixo, encontradas no revestimento do intestino) ou cilíndricas. Cores-fantasia.</p> 	<p><b>Pavimentoso ou escamoso.</b> Apresenta células achatadas, como escamas. Encontradas no revestimento do coração e dos vasos sanguíneos. Cores-fantasia.</p> 	<p><b>Epitélio de transição.</b> Possui várias camadas de células, com formatos e tamanhos diferentes, os quais variam de acordo com o grau de distensão do tecido. Encontradas na bexiga e em parte da uretra. Cores-fantasia.</p> 

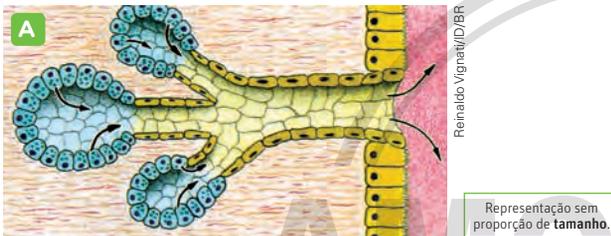
Representações sem proporção de tamanho.

## Epitélios glandulares

As células desse tipo de epitélio apresentam capacidade de produção e secreção de substâncias. Elas se organizam em estruturas chamadas **glândulas**. Hormônios, leite, saliva, suor, lágrima e certas enzimas são alguns exemplos de substâncias secretadas por glândulas. Quanto ao modo de secreção, as glândulas podem ser **exócrinas**, **endócrinas** ou **mistas**.

### Glândula exócrina

A palavra “exócrino” vem do grego *exos*, “fora”, e *krino*, “secreção”. Esse tipo de glândula apresenta duas partes, ambas formadas por células epiteliais: a **porção secretora** e o **ducto excretor** (ou de excreção) (imagem A). A porção secretora produz a secreção, que é transportada até a superfície do epitélio através do ducto. São exemplos de glândulas exócrinas as sudoríparas, as sebáceas, as mamárias e as salivares.



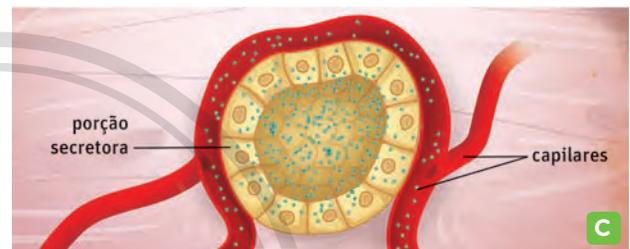
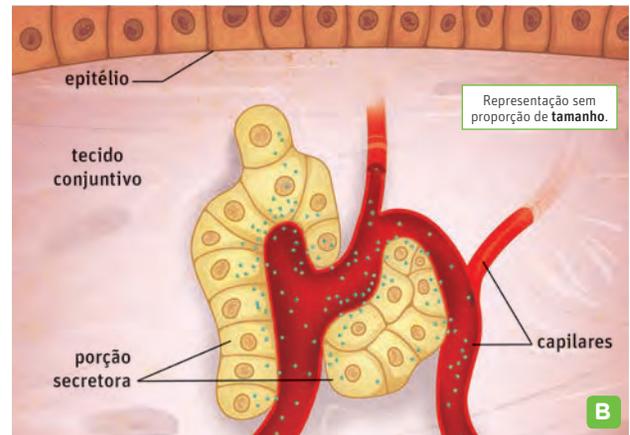
Representação de glândula exócrina. A porção secretora e o ducto excretor estão representados em azul e amarelo, respectivamente. Cores-fantasia.

Fonte de pesquisa: JUNQUEIRA, L. C.; CARNEIRO, J. *Histologia básica*. 12. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2013. p. 78.

### Glândula endócrina

O nome desse tipo de glândula vem do grego *endo*, “dentro”. Nas glândulas endócrinas não há um ducto excretor, e por isso suas secreções, denominadas **hormônios**, são liberadas diretamente na circulação sanguínea dos vasos sanguíneos que as envolvem (imagens

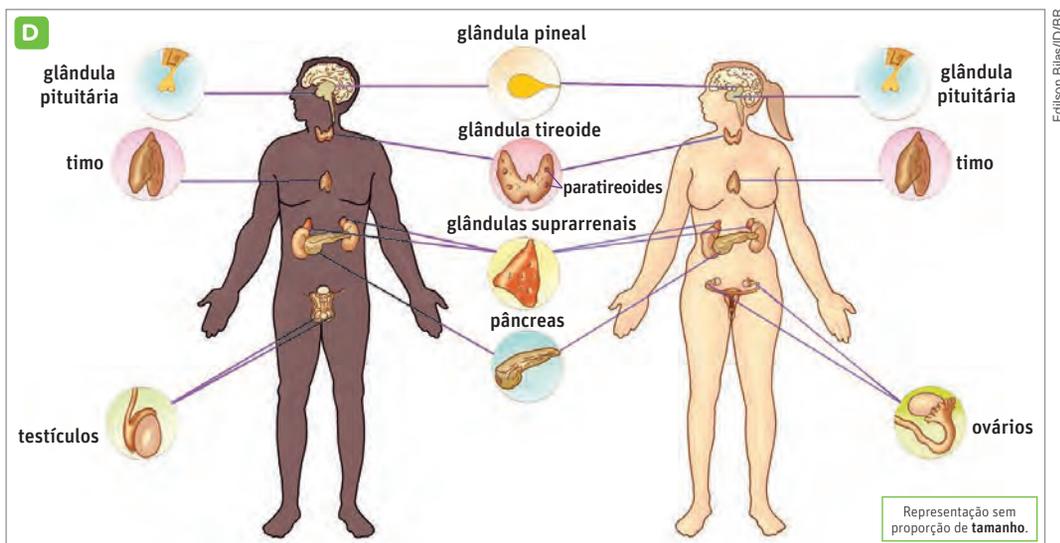
B e C). A imagem D mostra a localização de alguns órgãos endócrinos do corpo humano.



Representação de glândulas endócrinas (amarelo). Note que a secreção é liberada diretamente no vaso sanguíneo (vermelho). Em (B), uma glândula do tipo cordonal. Em (C), do tipo folicular. Cores-fantasia.

### Glândula mista

Apresenta uma porção exócrina e uma porção endócrina. O pâncreas é um exemplo de glândula mista. A porção exócrina desse órgão produz enzimas digestivas, secretadas no interior do intestino delgado. A porção endócrina, formada pelas ilhotas pancreáticas, possui grupos de células especializadas que produzem hormônios como glucagon e insulina, importantes principalmente no metabolismo da glicose.



Edilson Bilias/D/BR

Representação dos principais órgãos endócrinos do corpo humano. Além de glândulas endócrinas, diversos órgãos e tecidos possuem células secretoras de hormônios. Cores-fantasia.

## Especializações dos tecidos epiteliais

As especializações do tecido epitelial podem ser de dois tipos: as que promovem a **coesão e a comunicação** entre as células e as da **superfície livre**, que resultam no aumento da superfície celular e na movimentação de partículas.

### Especializações de coesão e comunicação

Esse tipo de especialização ocorre na maioria dos tecidos, mas é particularmente abundante no tecido epitelial. Como exemplo, analisaremos as junções celulares.

**Junções celulares** são estruturas que, por meio de modificações da membrana plasmática, promovem adesão entre células epiteliais, além de vedarem o espaço entre essas células. Em certos casos, algumas junções também formam canais que permitem a comunicação entre as células.

Em geral, as junções estão associadas a proteínas específicas, que provocam reentrâncias, fusões e aderências entre as membranas de células vizinhas.

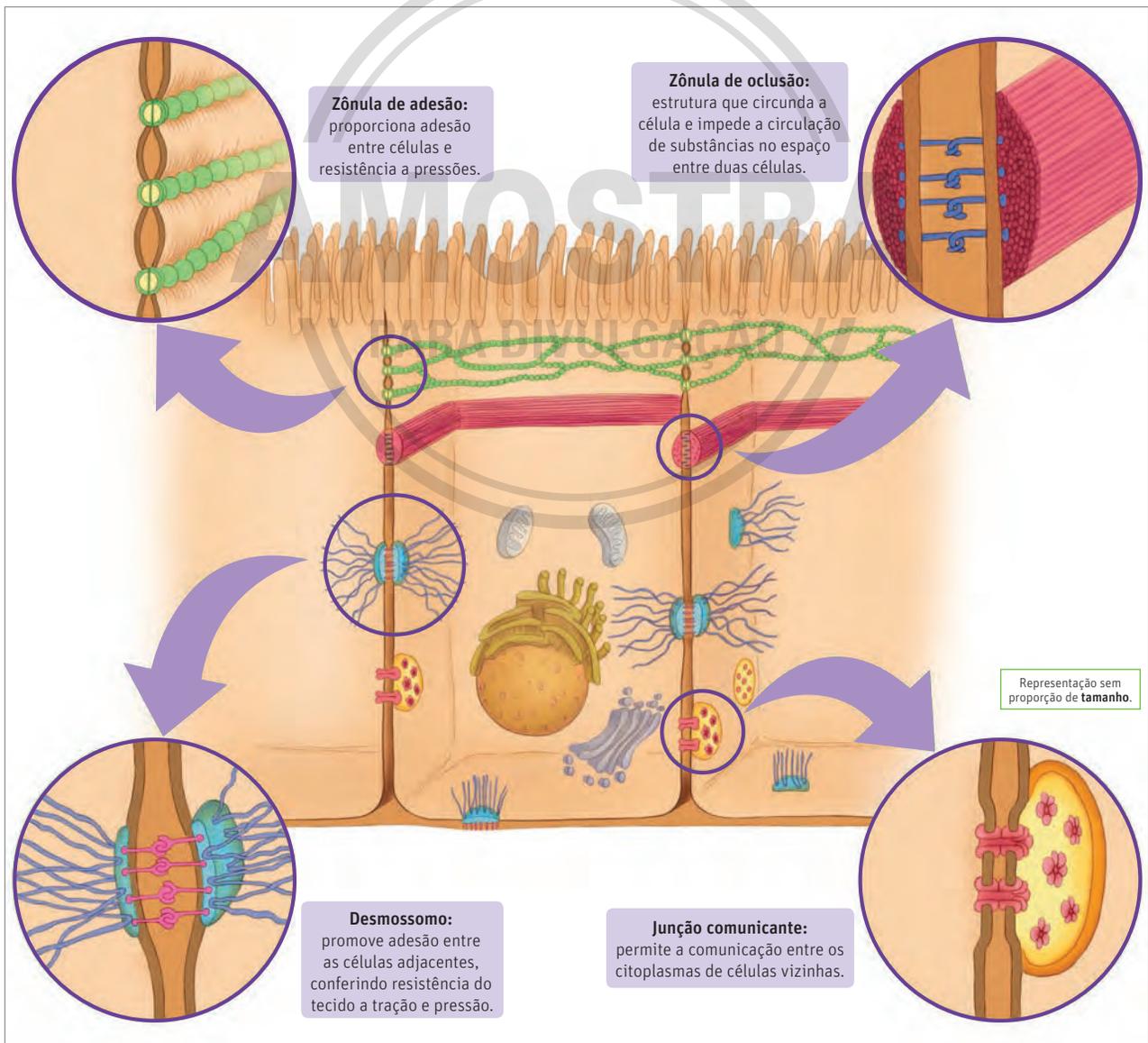
A imagem abaixo mostra quatro tipos básicos de junções celulares.

### ATIVIDADES

3. Relacione a pequena quantidade de substâncias intercelulares com as funções dos tecidos epiteliais.

Fonte de pesquisa: JUNQUEIRA, L. C.; CARNEIRO, J. *Histologia básica*. 12. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2013. p. 68.

Representação de algumas junções celulares. Cores-fantasia.



## Especializações da superfície livre

A parte da membrana plasmática que não está em contato com membranas de outras células é chamada de **superfície livre**. A região apical, ou seja, o ápice das células superficiais, é um exemplo de superfície livre em células epiteliais na qual podem existir diversas especializações, como **microvilosidades**, **cílios**, **estereocílios** e **invaginações**.

### Microvilosidades

São projeções da membrana plasmática que se assemelham aos dedos de uma luva, formato que se deve às proteínas que se encontram em seu interior.

Esse tipo de especialização aumenta em centenas de vezes a superfície da membrana plasmática, ampliando a área de contato com o meio extracelular. Desse modo, essas células possuem maior capacidade de absorção. É o caso das células epiteliais do intestino delgado, especializadas em absorver nutrientes (imagem A).

### Cílios

São estruturas móveis e flexíveis situadas na superfície externa da membrana plasmática de alguns tipos de célula.

Os cílios são curtos e presentes em grande número. Eles movimentam o fluido que existe sobre a superfície celular, deslocando os materiais presentes nesse líquido. Um exemplo é o epitélio interno da traqueia (imagem B). Nesse caso, os cílios movimentam-se em uma única direção, auxiliando a expulsão de microrganismos e de partículas presentes nas vias aéreas do sistema respiratório.

### Estereocílios

Os estereocílios são microvilosidades modificadas, longas e imóveis, que podem ou não se fundir em alguns pontos. Eles aumentam a superfície de absorção das células que revestem internamente o epidídimo. Já em células epiteliais da orelha interna (imagem C), os estereocílios possuem função sensorial.

### Invaginações

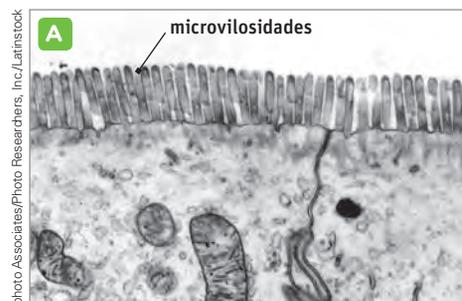
São dobras na superfície da membrana plasmática que promovem o aumento da área de absorção das células. Elas ocorrem em células do epitélio dos túbulos renais, propiciando maior reabsorção de substâncias presentes no líquido que dará origem à urina.

## AÇÃO E CIDADANIA

### Doença celíaca

Doença celíaca é a intolerância ao glúten, uma proteína presente, por exemplo, no trigo. Ao ingerir essa proteína, o organismo da pessoa afetada reage agredindo as microvilosidades da membrana das células do intestino, o que prejudica a absorção de nutrientes. No mundo todo, a doença celíaca atinge milhares de pessoas, as quais devem ter acompanhamento médico e evitar alimentos com glúten.

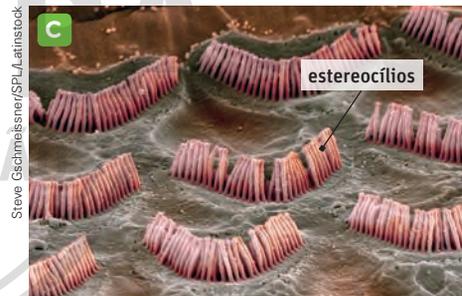
No Brasil, a lei n. 10 674, de 2003, dispõe que: “todos os alimentos industrializados deverão conter em seu rótulo e bula, obrigatoriamente, as inscrições **CONTÉM GLÚTEN** ou **NÃO CONTÉM GLÚTEN**, conforme o caso”.



Microvilosidades em célula epitelial do intestino delgado. (Foto ao microscópio eletrônico de transmissão; aumento de cerca de 16 mil vezes.)



Células epiteliais da traqueia. (Foto ao microscópio de luz; imagem colorizada; aumento de cerca de 400 vezes.)



Estereocílios de células da orelha interna. (Foto ao microscópio eletrônico de varredura; imagem colorizada; aumento de cerca de 5 500 vezes.)

## ATIVIDADES

4. Corte um pedaço de barbante com cerca de 20 cm de comprimento e outro com mais de 1 m. Deixe o primeiro pedaço em linha reta e no segundo faça voltas de forma a se assemelharem às microvilosidades.

Faça um número suficiente de alças de modo que o comprimento do barbante de mais de 1 m passe a ocupar o espaço de 20 cm. O que essa atividade demonstra em relação à função das microvilosidades?

## Pele humana

O tegumento, maior órgão do corpo, é formado pela pele e seus anexos, como unhas, pelos e glândulas.

A pele desempenha numerosas e importantes funções, tais como: revestir o corpo, funcionando como uma barreira contra a entrada de microrganismos; evitar a perda excessiva de umidade; participar da regulação da temperatura corporal por meio da produção e liberação de suor (a capacidade dos vasos sanguíneos da pele de dilatar-se ou contrair-se, aumentando e diminuindo respectivamente a quantidade de calor perdida para o ambiente, também colabora para esse mecanismo); ativar a vitamina D ao ser exposta a pequenas quantidades de radiação ultravioleta (presentes na luz do Sol); promover sensações relacionadas ao tato – calor, frio e pressão.

### Camadas da pele

A pele é formada por duas camadas: a **epiderme**, composta de tecido epitelial, e a **derme**, camada adjacente à epiderme, formada por tecido conjuntivo.

Abaixo da pele existe uma camada formada por tecido conjuntivo frouxo. Essa camada, que recebe o nome de **tela subcutânea** ou hipoderme, funciona como um suporte para a pele, sem fazer parte dela. A tela subcutânea tem importante participação no controle térmico dos animais, pois é rica em fibras e em células adiposas, as quais armazenam gordura.

### Epiderme

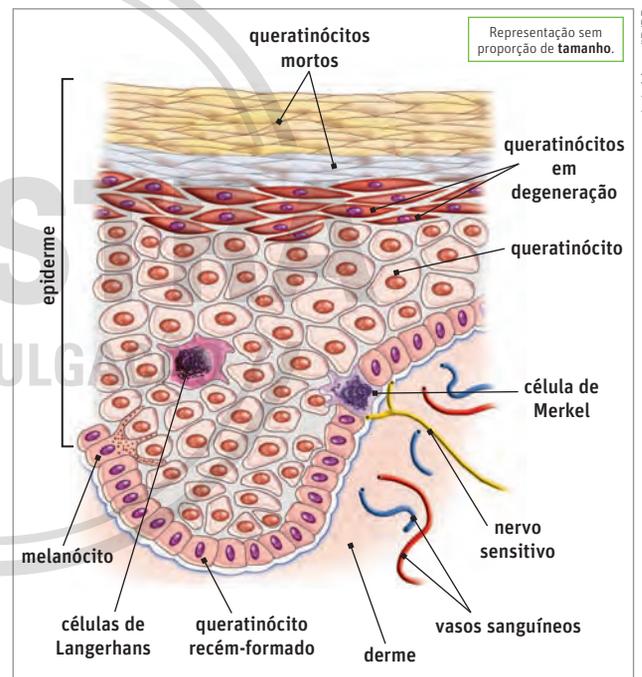
A epiderme é formada por epitélio pavimentoso e estratificado, com muitas camadas de células. As células das camadas mais profundas estão constantemente se dividindo e substituindo as células das camadas mais superficiais, que se desgastam e se soltam do corpo. Queratinócitos e melanócitos são os principais tipos de células presentes na epiderme (imagem ao lado).

Os **queratinócitos** são o tipo mais frequente de célula da epiderme. Eles organizam-se em diversas camadas em vários estágios de desenvolvimento e produzem queratina, uma proteína impermeabilizante. Essa proteína é importante porque evita a perda excessiva de umidade através da pele.

Os **melanócitos** produzem melanina, um pigmento proteico que confere cor à pele. A melanina produzida por essas células é incorporada aos queratinócitos. Quanto maior for a quantidade desse pigmento, mais escuro será o tom da pele. O albinismo, uma condição determinada geneticamente, caracteriza-se pela ausência de melanina na pele.

Além desses dois tipos celulares, a epiderme também apresenta **células de Merkel**, que captam estímulos táteis, e células imunitárias conhecidas como **células de Langerhans**, que capturam microrganismos.

Como os demais tecidos epiteliais, a epiderme não possui vasos sanguíneos, o que dificulta a entrada de microrganismos e partículas estranhas no corpo. Porém, devido à ausência desses vasos, as células da epiderme recebem gás oxigênio e nutrientes de células e de vasos sanguíneos da derme.



Representação da epiderme e seus tipos de células. Cores-fantasia.

Fonte de pesquisa: TORTORA, G. J.; GRABOWSKI, S. R. *Corpo humano: fundamentos de anatomia e fisiologia*. 8. ed. Porto Alegre: Artmed, 2012. p. 102.

### SAIBA MAIS

#### Medicamentos transdérmicos

A pele pode absorver substâncias. Isso permite que certos medicamentos, chamados transdérmicos, sejam administrados através dela. Adesivos ou géis com substâncias terapêuticas são utilizados, por exemplo, para tratar alterações hormonais ou ajudar a reduzir o número de cigarros fumados. Essa forma de administrar remédios traz vantagens para os pacientes, como garantir o fornecimento da medicação em doses constantes e reduzir efeitos colaterais relacionados ao tubo digestório.



Adesivo com medicamento transdérmico aplicado sobre a pele.

## Derme

Essa camada é formada por tecido conjuntivo e está situada logo abaixo da epiderme. A derme apresenta fibras colágenas e sustenta a epiderme. Nela também estão as raízes dos pelos e as glândulas sudoríparas e sebáceas.

A derme apresenta receptores sensoriais por meio dos quais percebemos sensações táteis, dolorosas, de calor, de pressão, de movimento e de tração. Alguns desses receptores estão representados na imagem mais abaixo.

## Anexos da pele

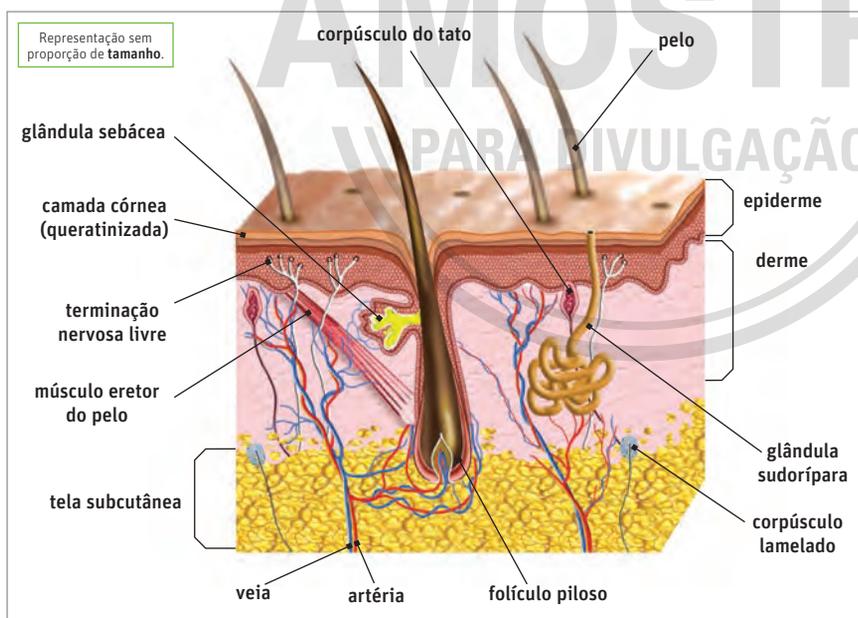
São estruturas presentes na pele, como pelos, unhas e glândulas (imagem abaixo).

Os **pelos** são filamentos constituídos por células queratinizadas mortas. Eles são formados nos folículos pilosos, que se encontram na derme. Cada folículo piloso está ligado a um músculo eretor que possibilita a movimentação do pelo.

As **unhas** são formadas por células mortas e queratinizadas. São importantes para auxiliar na apreensão e manipulação de objetos.

As **glândulas sebáceas** são pequenas estruturas em forma de bolsas, geralmente envolvendo os folículos pilosos, nos quais lançam uma secreção oleosa que lubrifica a pele e os pelos, evitando o ressecamento.

As **glândulas sudoríparas** produzem suor, que contém água e substâncias como sódio, potássio e ureia. O suor auxilia na regulação da temperatura corpórea, uma vez que, ao evaporar, retira calor do corpo, resfriando-o.



Representação de um corte de pele evidenciando sua estrutura. Cores-fantasia.

Fonte de pesquisa: TORTORA, G. J.; GRABOWSKI, S. R. *Corpo humano: fundamentos de anatomia e fisiologia*. 8. ed. Porto Alegre: Artmed, 2012. p. 101.

## BIOLOGIA NO COTIDIANO

### Desodorantes antitranspirantes

O suor é composto principalmente de água, cloreto de sódio, ácido láctico, ureia e aminoácidos. A degradação do suor por bactérias produz substâncias que causam odores.

Os antitranspirantes contêm substâncias, como sais de alumínio e de zircônio, que inibem ou diminuem a

secreção de suor, promovendo a redução da transpiração na região em que são aplicados.

Além dos antitranspirantes, os desodorantes podem conter fragrâncias para perfumar e bactericidas para reduzir a proliferação de bactérias.

## Cuidados com a pele

A melanina absorve raios ultravioleta (UV) emitidos pelo Sol, protegendo as células da pele da ação nociva desses raios. A produção de melanina aumenta quando a pele é exposta à luz solar, provocando o bronzeamento.

Mesmo com essa proteção, é necessário tomar outros cuidados para evitar a ação nociva dos raios ultravioleta, que podem causar queimaduras e até câncer de pele.

É recomendável não tomar sol por muito tempo ou durante as horas mais quentes do dia. Usar camiseta, boné e filtro solar ajuda a evitar exposição excessiva ao sol. Esses cuidados devem ser seguidos por todas as pessoas, mas são especialmente importantes para aquelas de pele clara.

Além disso, deve-se prestar atenção a sinais como pintas, verrugas e manchas. Qualquer alteração da pele deve ser observada com atenção, e um médico **dermatologista** deve ser consultado.

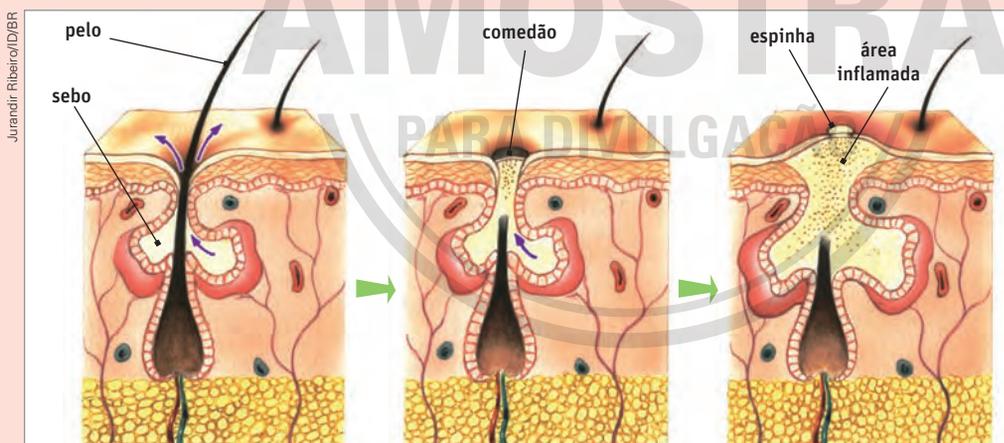
**Dermatologista:** médico especialista no diagnóstico, tratamento e prevenção de doenças da pele, pelos, mucosas, cabelos e unhas.

### BIOLOGIA NO COTIDIANO

#### Acne vulgar

Acne vulgar é uma doença dermatológica bastante comum associada à produção dos hormônios sexuais masculinos. Ela afeta as glândulas pilossebáceas que passam a produzir uma quantidade maior de secreção gordurosa. Essa secreção não consegue ultrapassar a abertura do poro e ali se acumula formando comedões abertos (cravos pretos) que oxidam e escurecem em contato com o ar, ou comedões fechados (cravos brancos). O acúmulo dessa substância retida pela obstrução dos folículos pilosos favorece a infecção por bactérias, especialmente pela *Propionibacterium acnes* [lesão conhecida como espinha] [...]

Acne é uma doença multifatorial. Hereditariedade, predisposição genética, alterações na produção dos hormônios sexuais, infecção por bactérias e até o estresse emocional são considerados fatores de risco para a manifestação da moléstia ou agravamento do quadro. [...]



Representação da formação de uma espinha. Cores-fantasia.

Representações sem proporção de tamanho.

#### Recomendações

Sempre é bom repetir que:

- Lavar o rosto várias vezes por dia não previne o aparecimento da acne vulgar nem melhora as lesões já instaladas, mas é muito importante limpar a pele, especialmente à noite, antes de dormir;
- Espremer as espinhas pode resultar na formação de cicatrizes definitivas;
- Expor o rosto aos raios solares não tem efeito curativo sobre as lesões provocadas pela acne;
- Procurar ajuda psicológica pode representar um recurso importante para os portadores de acne com prejuízo da autoestima;
- Seguir as orientações de um dermatologista é a melhor, senão a única, maneira de tratar as doenças da pele.

Site oficial dr. Drauzio Varella. Disponível em: <<http://drauziovarella.com.br/corpo-humano/acne-vulgar/>>. Acesso em: 24 mar. 2016.

## Creme que promete clarear pele negra gera polêmica

Um creme que promete o clareamento de peles morenas e negras em sete dias tem sido alvo de debate tanto pela comunidade médica quanto por entidades que lutam contra o preconceito racial. O creme [...] agiria na hiperpigmentação, além de livrar a pele de manchas escuras e até mesmo de acnes.[...]

No *site* responsável pela venda do produto para todo o mundo, poucas informações sobre a composição [...] estão disponíveis, o que gera dúvidas na comunidade médica se os agentes utilizados no produto são realmente os indicados no *site*. [...]

A dermatologista Gabriella Albuquerque, coordenadora do Departamento de Cosmiatria da Sociedade Brasileira de Dermatologia (SBD) no Rio de Janeiro, questiona a eficácia do produto, a ação dos agentes indicados da forma como é apresentado e o tempo indicado de eficácia. [...]

Um dos possíveis componentes que poderia fazer parte do produto, segundo a comunidade médica, é a hidroquinona, um composto orgânico aromático. A dermatologista explica que a hidroquinona atuaria em todas as etapas do clareamento, mas, por causar efeitos adversos na pele, teria sido recentemente proibida na União Europeia. “Ela causa um efeito chamado leucodermia, que é a destruição do melanócito. É uma destruição tão intensa, que a pele se torna branca como se a pessoa tivesse vitiligo. Em alguns casos, a pele se torna clara demais com várias manchas brancas, sem a uniformidade desejada”, adverte.

Além disso, a dermatologista explica que se acredita que esse possível componente do [creme] possua alguma ação cancerígena na pele, mas que esse aspecto ainda estaria sendo estudado. Quanto ao tempo de ação do produto, a dermatologista diz ser impossível um resultado da forma como vem sendo apresentado. “De qualquer modo, mesmo com a hidroquinona, oferecer o resultado em sete dias é impossível. O tempo de replicação da pele é de 21 dias, ou seja, é esse o tempo mínimo necessário para ver resultados gerais na pele”, conta.

### Debate social

Outro ponto que tem sido abordado nesse caso é o fato de várias jovens negras estarem buscando o produto para branquear a pele. A [...] cantora Dencia teria dito que o

produto cosmético serviria para proporcionar bem-estar, visto que, ao clarear a pele, as usuárias passariam a estar imunes ao racismo. No *site* oficial da venda do produto, a cantora africana diz que a criação do produto foi motivada pelo processo ininterrupto de marginalização da comunidade negra perante o mercado internacional de cosméticos.

Medidas como a incentivada pelo produto vão de encontro às ações afirmativas pela igualdade racial promovidas pela Secretaria de Políticas de Promoção da Igualdade Racial (Seppir). Mônica Oliveira, diretora de programas da Secretaria de Políticas e Ações Afirmativas da Seppir, lembra que a garantia de que o fato da pessoa clarear a pele vai torná-la imune ao racismo é ilusória. “As manifestações de racismo não se restringem à pele mais escura. Não é garantia. Os mecanismos de manifestação do racismo são muito diversificados”, pontua.

Para Mônica, um dos efeitos mais perversos do racismo é justamente essa negação da identidade racial. “Se a pessoa convive desde a infância sob permanente violência sobre aquilo que ela é, ela pode desenvolver a tendência de negar sua condição racial para se proteger do racismo. As pessoas passam a se negar para serem aceitas”, explica.

Mônica diz também que é bastante delicado afirmar se as pessoas deveriam ou não usar o [creme], visto que as pessoas são livres para fazer suas escolhas. O que a integrante do Seppir comenta é que o Brasil segue uma corrente oposta, com a identidade negra sendo cada vez mais valorizada. “A população negra no Brasil vem fazendo um caminho inverso a isso. No último Censo, a população negra se afirmou mais ainda: em 2010, 50,7% das pessoas se afirmaram negras ou pardas. Ou seja, hoje, do ponto de vista oficial o Brasil tem maioria negra. Isso é um avanço do movimento negro e das ações de afirmação da identidade negra”, aponta.

Sobre o creme especificamente e sobre a vinculação do produto com uma *popstar*, Mônica diz que não dá para avaliar imediatamente os efeitos disso, mas que esses efeitos vão aparecer. “Por que temos que ser todos da mesma cor e essa cor tem que ser a cor branca? Não se justifica a hierarquização de que uns são positivos e outros são negativos simplesmente pela cor da pele. É preciso destacar positivamente a identidade racial”, diz.

GONZAGA, R. Creme que promete clarear pele negra gera polêmica médica e debate social. *Jornal do Brasil*, 18 jun. 2014. Disponível em: <[www.jb.com.br/ciencia-e-tecnologia/noticias/2014/06/18/creme-que-promete-clarear-pele-negra-gera-polemica-medica-e-debate-social/](http://www.jb.com.br/ciencia-e-tecnologia/noticias/2014/06/18/creme-que-promete-clarear-pele-negra-gera-polemica-medica-e-debate-social/)>. Acesso em: 22 mar. 2016.

### PARA DISCUTIR

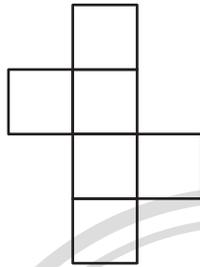
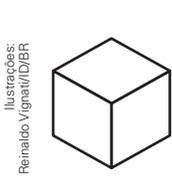
1. Qual sua opinião sobre a afirmação da cantora citada no texto de que “ao clarear a pele, as usuárias estariam imunes ao racismo”?
2. Descreva situações que você observa cotidianamente nas ruas, nos meios de comunicação, em propagandas, etc., que podem ser associadas à discriminação racial.

## Células e multicelularidade

Você já sabe que as células realizam diversas trocas de substâncias com o meio. Essas trocas são feitas na superfície da célula através da membrana celular.

Nesta seção, você vai estudar como a relação entre a área e o volume de uma célula influencia a capacidade de realização de trocas com o meio.

Para facilitar o estudo, vamos usar como modelo uma célula fictícia com o formato de um cubo. (Esse formato foi escolhido porque é mais fácil calcular a área e o volume de um cubo do que de uma esfera, por exemplo.)

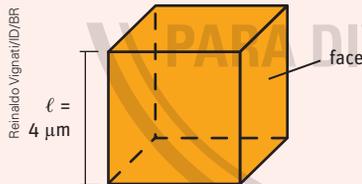


Representação de um cubo (à esquerda) e de sua planificação (à direita). A planificação é a representação das faces de um sólido geométrico (como o cubo) em um plano. Ou seja, se a superfície de um cubo for “desmontada”, ela terá esse formato.

### Área do cubo

A área do cubo é igual à soma da área de todas as suas faces. Cada face tem o formato de um quadrado. Então, determina-se a área de uma face e multiplica-se por 6, que é o número de faces do cubo.

$$\text{área do quadrado} = \ell \cdot \ell$$



Representação de um modelo de célula cúbica, com 4  $\mu\text{m}$  de lado.

Por exemplo, em uma célula cúbica com 4  $\mu\text{m}$  de lado, a área de cada face é 16  $\mu\text{m}^2$ .

$$4 \mu\text{m} \cdot 4 \mu\text{m} = 16 \mu\text{m}^2$$

Como o cubo tem seis faces, a área total é 96  $\mu\text{m}^2$ .

$$6 \cdot 16 \mu\text{m}^2 = 96 \mu\text{m}^2$$

### Volume do cubo

Para saber o volume de um cubo, basta multiplicar a área de uma de suas faces ( $\ell \cdot \ell$ ) pela altura do cubo. No cubo, a altura é igual ao comprimento  $\ell$  de qualquer lado:

$$\text{volume do cubo} = \ell \cdot \ell \cdot \ell$$

O volume da célula com 4  $\mu\text{m}$  de lado é, portanto, 64  $\mu\text{m}^3$ .

$$4 \mu\text{m} \cdot 4 \mu\text{m} \cdot 4 \mu\text{m} = 64 \mu\text{m}^3$$

## O que acontece quando a célula cresce?

Quando a célula cresce, seu volume aumenta. Será que a área de sua superfície aumenta na mesma proporção? Para isso, vamos calcular a razão entre a área da superfície ( $A_s$ ) e o volume de uma célula ( $V_c$ ).

$$\text{Razão entre área e volume: } \frac{A_s}{V_c}$$

Imagine que a célula em questão cresceu  $1 \mu\text{m}$  em todos os lados. A nova área de sua superfície é  $150 \mu\text{m}^2$  e o novo volume é  $125 \mu\text{m}^3$ .

Agora, vamos comparar a razão entre a área e o volume das células em cada situação. Veja na tabela a seguir.

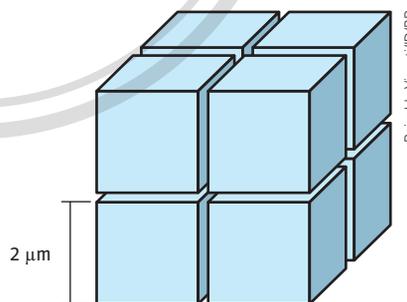
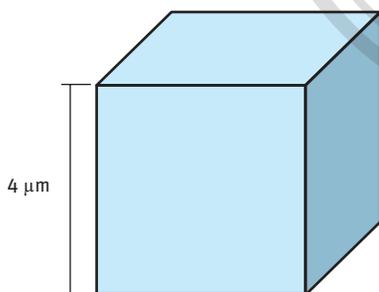
Medida do lado	Área da superfície	Volume	Razão entre a área e o volume
$4 \mu\text{m}$	$96 \mu\text{m}^2$	$64 \mu\text{m}^3$	1,5
$5 \mu\text{m}$	$150 \mu\text{m}^2$	$125 \mu\text{m}^3$	1,2

Exemplo de tabela para comparação da razão entre área e volume de células.

Os dados da tabela mostram que as razões obtidas são diferentes. Perceba que, quando uma célula cresce, seu volume torna-se proporcionalmente maior que a área de sua superfície, o que limita seu tamanho.

### ATIVIDADES

1. Observe os desenhos a seguir, que mostram dois modelos de células de diferentes tamanhos. Em seguida, responda ao que se pede.



- a) Qual o volume da célula menor?
  - b) O volume da célula maior equivale ao volume de quantas células menores?
  - c) A área da superfície de todas as células menores juntas é igual, inferior ou superior à área da superfície da célula maior?
  - d) Qual é a razão entre a área da superfície e o volume para a célula com  $2 \mu\text{m}$  de lado? Compare com o valor obtido para a célula de  $4 \mu\text{m}$  de lado (veja tabela acima).
2. Explique por que a razão entre a área da superfície e o volume é um dos fatores que limitam o tamanho celular.
  3. Que tipo de divisão celular está relacionado ao desenvolvimento do zigoto em um organismo multicelular?

# Tecido conjuntivo

## O QUE VOCÊ VAI ESTUDAR

Tecido conjuntivo propriamente dito.

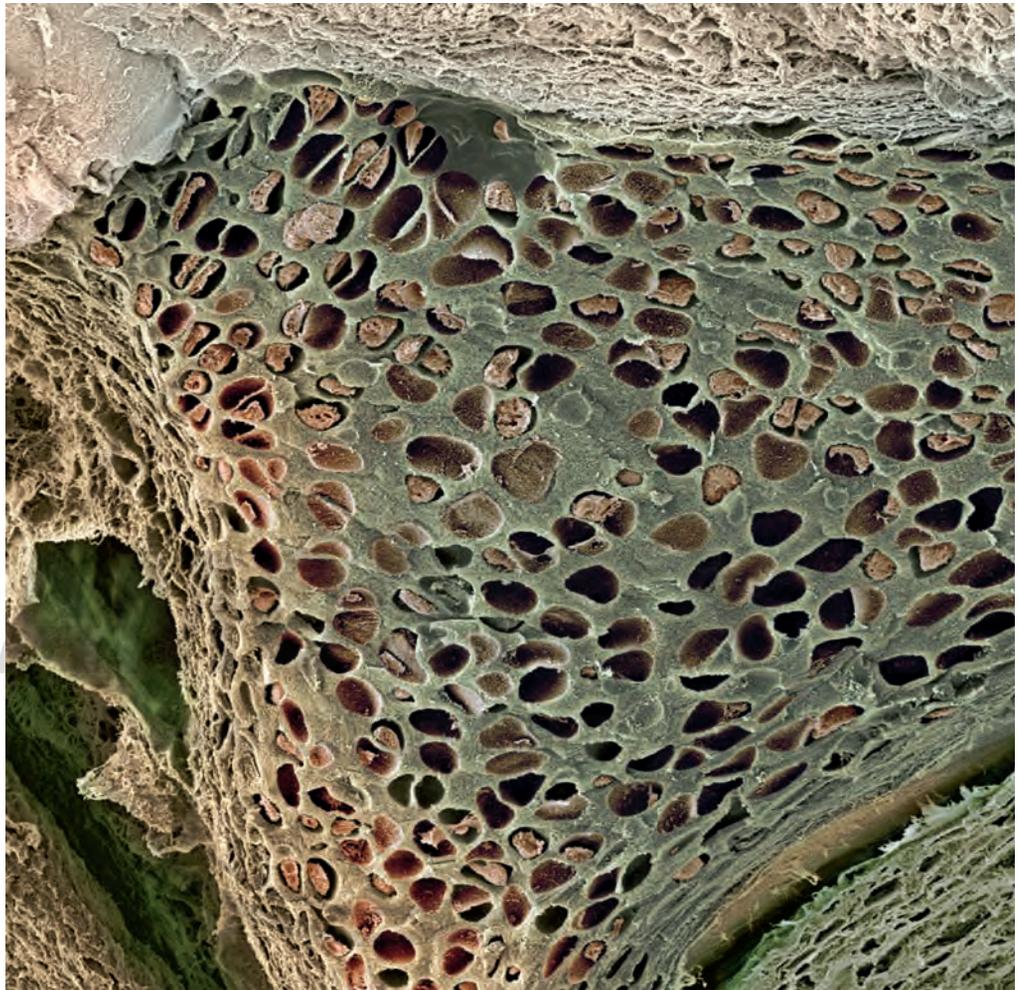
Tecido cartilaginoso.

Tecido adiposo.

Tecido ósseo.

Tecido sanguíneo.

A defesa do organismo contra infecções.



SPL/Lainstock

O tecido conjuntivo cartilaginoso é abundante no nariz e nas orelhas externas. Na foto, tecido conjuntivo cartilaginoso na coluna vertebral. Note em marrom os condrócitos, células especializadas desse tecido. (Foto ao microscópio eletrônico de varredura; imagem colorizada; aumento de cerca de 130 vezes.)

O tecido conjuntivo, também chamado de tecido conectivo, é um dos mais abundantes no corpo humano. Presente em quase todos os órgãos, ele ajuda a unir os demais tecidos e ainda contribui para sua nutrição, sua defesa e o transporte de substâncias.

Além do tecido conjuntivo propriamente dito, há vários outros tipos de tecido conjuntivo que são especializados em desempenhar determinadas funções, como os tecidos cartilaginoso, ósseo, adiposo e sanguíneo. Considerados tecidos conjuntivos especiais, esses tecidos possuem células especializadas na formação de cartilagens, de ossos, de camadas de gordura e do sangue, respectivamente.

Uma característica interessante dos tecidos conjuntivos é sua capacidade regenerativa. Por essa razão, as células ósseas estão em constante atividade metabólica, reconstruindo internamente a estrutura do osso. Do mesmo modo, as células sanguíneas são continuamente repostas, o que garante a manutenção do volume do sangue.

## Características gerais

Os tecidos conjuntivos se caracterizam por possuir grande quantidade de **matriz extracelular** (imagem A), que é mais abundante do que suas células. Essas células, por sua vez, são bastante variadas em forma e função, dependendo do tipo de tecido conjuntivo.

A matriz extracelular dos tecidos conjuntivos apresenta uma **parte amorfa** (sem forma definida), que corresponde a uma substância gelatinosa constituída de água, sais minerais, proteínas e glicoproteínas (longas cadeias de polissacarídeos ligados a proteínas), e uma **parte fibrosa**, isto é, um emaranhado de proteínas na forma de fibras.

Entre as diversas substâncias orgânicas que fazem parte da matriz extracelular, destacam-se as glicoproteínas, que contribuem para a adesão celular. Essas glicoproteínas se ligam a **integrinas**, que são as proteínas transmembranas (proteínas que atravessam a membrana plasmática) das células. Dessa forma, o tecido conjuntivo mantém sua tensão.

O **ácido hialurônico** é outra substância orgânica presente na parte amorfa da matriz extracelular que merece destaque. Presente em todos os animais, ele assegura, entre outras funções, a lubrificação das articulações (região de contato entre ossos). Atualmente, o ácido hialurônico é bastante empregado em procedimentos estéticos para melhorar a elasticidade da pele e no tratamento de artrite (inflamação das articulações).

Nos vertebrados, a matriz extracelular pode ter diversas consistências, de acordo com o tipo de tecido conjuntivo. Ela pode ser líquida, como no sangue; flexível, como nas cartilagens; ou rígida e resistente, como nos ossos. Os tecidos conjuntivos também se diferenciam um do outro pelos tipos de células presentes e pela proporção entre matriz e quantidade de células. Essa diferenciação é o que possibilita que cada um deles realize determinadas funções no corpo.

## Origem e regeneração do tecido conjuntivo

Os tecidos conjuntivos são derivados da mesoderme do embrião. Após o nascimento, as células conjuntivas originam-se da diferenciação de células da medula óssea ou de células mesenquimatosas, que são células indiferenciadas presentes no próprio tecido conjuntivo (imagem B).

Certos tipos de tecido conjuntivo são dotados de grande poder de **regeneração**, o que permite que regiões lesadas possam ser recuperadas pela multiplicação das células vizinhas.

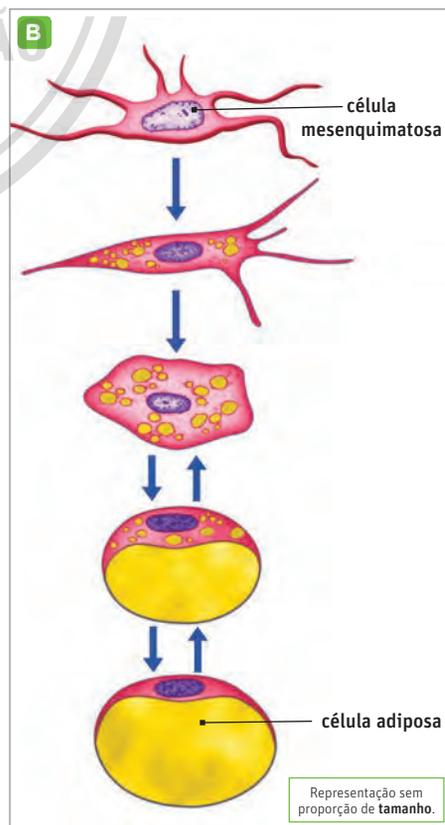
O tecido conjuntivo também pode ocupar áreas danificadas em tecidos cuja capacidade de regeneração é menor. É o que acontece, por exemplo, após um infarto do miocárdio (músculo do coração). Nesse caso, o tecido muscular lesionado é substituído por tecido conjuntivo, formando uma cicatriz. Entretanto, esse tecido não apresenta as mesmas características do tecido muscular, razão pela qual o funcionamento do coração pode ser comprometido se a área atingida do miocárdio for muito grande.

Representação de uma célula mesenquimatosa acumulando gordura até se diferenciar em uma célula adiposa. As setas duplas indicam que alguns estágios são reversíveis. Cores-fantasia.

Fonte de pesquisa: JUNQUEIRA, L. C.; CARNEIRO, J. *Histologia básica*. 12. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2013. p. 122.



A cartilagem é um tipo de tecido conjuntivo. Note a grande quantidade de matriz extracelular. (Foto ao microscópio de luz; uso de corantes; aumento de cerca de 930 vezes.)



## Tecido conjuntivo propriamente dito

O tecido conjuntivo propriamente dito (TCPD) recebe esse nome porque é o mais genérico e o menos diferenciado de todos os tecidos conjuntivos. Ele desempenha a função de preencher os espaços vazios entre os outros tecidos.

O TCPD pode ser encontrado na região da derme, camada mais profunda da pele, e abaixo do epitélio que reveste quase todos os órgãos do corpo. Esse tecido auxilia no transporte de diversas substâncias e participa ativamente da defesa do organismo. Além disso, o TCPD nutre e sustenta tecidos que não apresentam vascularização, como o tecido epitelial.

O TCPD é formado por vários tipos de células, como fibroblastos, macrófagos, plasmócitos, mastócitos e leucócitos. Essas células estão imersas na **matriz extracelular**, que apresenta grande quantidade de fibras, estruturas proteicas produzidas pelas próprias células do tecido conjuntivo (imagem ao lado).

Dependendo da proporção entre células e matriz extracelular, o TCPD pode ser classificado em: **tecido conjuntivo frouxo**, quando há proporcionalmente pouca matriz, ou **tecido conjuntivo denso**, quando há muita matriz em relação ao número de células.

### Fibras da matriz extracelular

As **fibras** são estruturas alongadas de natureza proteica que conferem diversas propriedades ao TCPD, como elasticidade, resistência à tração e sustentação celular. Elas podem ser classificadas em três tipos de acordo com sua composição, como descrito a seguir.

### Fibras colágenas

São fibras constituídas de **colágeno**, a proteína mais abundante do corpo humano. Existem vários tipos de colágeno, que juntos representam cerca de 30% do total de proteínas do organismo.

Cada molécula de colágeno é formada por três hélices entrelaçadas, que lhe conferem alta resistência à tração. Na pele humana, por exemplo, as fibras colágenas ocorrem na derme e contribuem para evitar que os tecidos se rasguem quando esticados.

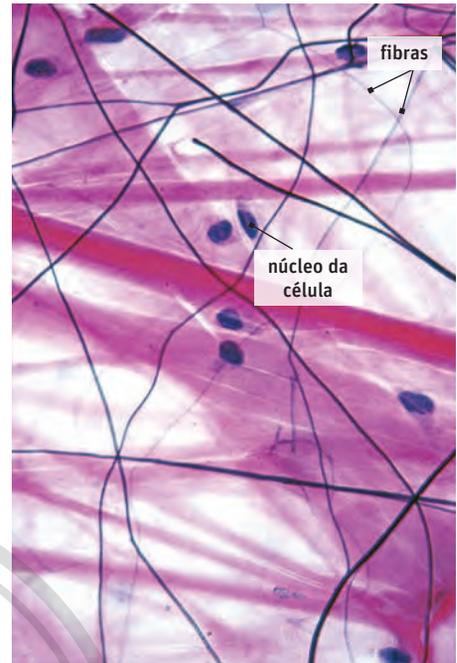
As fibras de colágeno apresentam-se na forma de longas fibras ou mesmo em feixes calibrosos e resistentes, como os encontrados em tendões, músculos e nervos.

### Fibras elásticas

São fibras mais finas que as fibras de colágeno, constituídas de uma proteína chamada **elastina**. Como sugere o próprio nome, as fibras elásticas têm como principal característica a elasticidade. São essas fibras que fazem a pele retornar à sua forma inicial após ser esticada. A ruptura de uma grande quantidade de fibras elásticas pode ainda originar estrias na pele.

### Fibras reticulares

São as fibras de menor espessura, constituídas de **reticulina**, um tipo de colágeno associado a glicídios. As fibras reticulares têm a capacidade de formar redes, entrelaçando-se e ligando o tecido conjuntivo propriamente dito a tecidos vizinhos. Essas fibras ocorrem em órgãos como o baço, o fígado e o útero.



Tecido conjuntivo propriamente dito. Note a grande quantidade de matriz extracelular em relação ao número de células. (Foto ao microscópio de luz; uso de corantes; aumento de cerca de 370 vezes.)

Peter Arnold/Other Images

## BIOLOGIA NO COTIDIANO

### O colágeno

O colágeno faz parte da composição de diversos itens presentes no cotidiano de muitas pessoas. Ele é um dos principais componentes de um alimento muito popular, a gelatina, comercializada em diferentes fórmulas e sabores. O colágeno também é encontrado em iogurtes, em embutidos, como salsicha e mortadela, e em doces, como o pudim e a maria-mole.

Embora sua eficácia não seja cientificamente comprovada, o colágeno é largamente utilizado em suplementos alimentares, cosméticos e tratamentos estéticos que visam retardar os efeitos do envelhecimento.

1. Pesquise em revistas e em **sites** exemplos de cosméticos que contêm colágeno em seu interior e reflita sobre de que maneira a indústria cosmética divulga o uso dessa substância em seus produtos.

## Células do TCPD

As células que fazem parte do TCPD, como fibroblastos, mastócitos e leucócitos, desempenham funções variadas. Os leucócitos, que se dividem em diversos tipos, como os plasmócitos e os macrófagos, serão detalhados com os elementos do sangue ainda neste capítulo.

### Fibroblastos

Os fibroblastos são células alongadas, com núcleo grande e **ovoide**, muitas ramificações do citoplasma e que se dividem continuamente no TCPD (imagem A). Metabolicamente, os fibroblastos são muito ativos, sintetizando as proteínas e os polissacarídeos que formam a matriz extracelular. Essas células também têm capacidade de originar células de outros tipos.

Quando estão inativos, os fibroblastos são menores e menos ramificados, sendo denominados **fibrócitos**. Em algumas situações, como nos processos de cicatrização, os fibrócitos e os fibroblastos dirigem-se ao local e sintetizam as fibras colágenas. São essas fibras que, em grande quantidade e em lesões muito grandes, produzem a cicatriz (imagem B).

**ovoide:** nesse caso, forma semelhante à de um ovo.



(A) Fibroblastos de glândula mamária feminina. (Foto ao microscópio eletrônico de varredura; imagem colorizada; aumento de cerca de 1 200 vezes.)  
(B) Cicatriz (linha de coloração rosada) provocada por uma cirurgia no joelho. A cicatriz é resultante do acúmulo de fibras colágenas produzidas pelos fibroblastos.

### Plasmócitos

Os plasmócitos ou **células plasmáticas** participam do sistema de defesa do corpo. Essas células são responsáveis pela produção de **anticorpos**, ou imunoglobulinas, moléculas de glicoproteínas que detectam organismos invasores e desencadeiam uma série de reações para destruí-los. Por essa razão, os plasmócitos possuem o citoplasma com retículo endoplasmático rugoso e complexo golgiense bastante desenvolvidos, organelas que atuam na produção dos anticorpos (imagem C).

Os plasmócitos são derivados dos linfócitos B, que podem se diferenciar em outras células que também atuam no sistema de defesa.

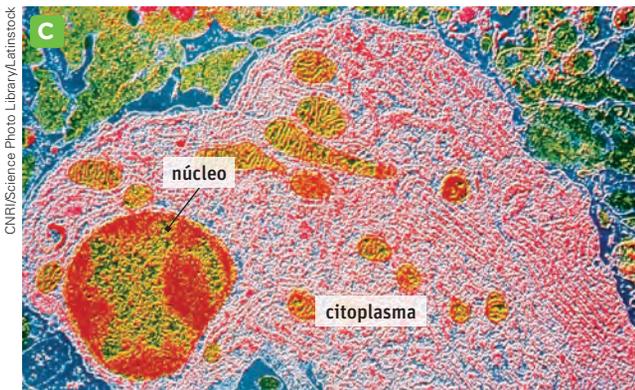


Imagem mostrando o interior de um plasmócito. (Foto ao microscópio eletrônico de transmissão; imagem colorizada; aumento de cerca de 6 500 vezes.)

### ATIVIDADES

1. Atualmente, a implantação de fibroblastos em pacientes que sofreram queimaduras extensas tem sido uma das alternativas de tratamento para recuperar a área lesionada. Por quê?

## Macrófagos

Os macrófagos são células grandes e irregulares que apresentam o núcleo em formato de rim. Os macrófagos são derivados de um tipo de leucócito.

Em geral, os macrófagos têm como função primordial o ataque e a **fagocitose** de microrganismos invasores: ao detectar a presença desses organismos estranhos ao corpo, os macrófagos rodeiam as células inimigas, englobando-as e destruindo-as (imagem A). Por isso, os macrófagos também são células de extrema importância no sistema de defesa.

## Mastócitos

Os mastócitos são células abundantes no TCPD, geralmente encontradas ao redor dos vasos sanguíneos, nas vias aéreas e na membrana da cavidade abdominal (peritônio). Possuem forma ovoide ou arredondada, com núcleo central e esférico, e o citoplasma rico em grânulos (imagem B).

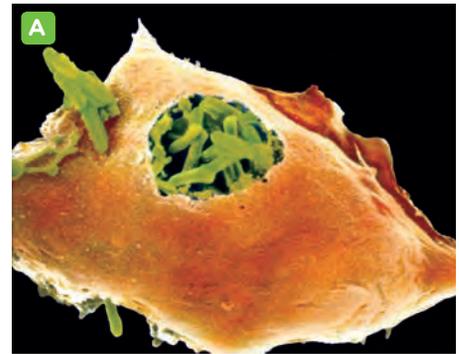
Os mastócitos são responsáveis pela síntese e pela liberação de duas substâncias importantes para a resposta inflamatória: a heparina e a histamina. Essas substâncias são secretadas pelos grânulos presentes no citoplasma dessas células e neles armazenadas.

A **heparina** é um potente anticoagulante que impede a formação de coágulos nos vasos sanguíneos e nos capilares, além de remover o excesso de gordura do sangue. Já a **histamina** é uma substância que atua dilatando os vasos sanguíneos e aumentando sua permeabilidade aos leucócitos e aos anticorpos. Assim, os antígenos podem ser combatidos nos locais afetados, o que gera os sintomas típicos de uma inflamação, como inchaço, vermelhidão e calor.

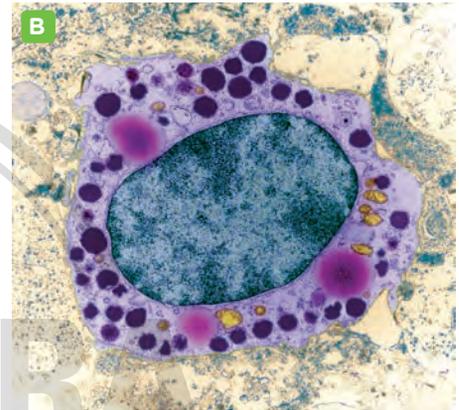
## Tecido conjuntivo frouxo

Esse tipo de tecido possui muitas células e pouca matriz extracelular, sem que haja predomínio de algum de seus componentes (imagem C). As fibras colágenas, elásticas e reticulares se distribuem frouxamente pela matriz do tecido conjuntivo frouxo, conferindo-lhe consistência delicada e flexibilidade. Todos os tipos celulares estão presentes e em proporções equivalentes.

Entre todos os tecidos conjuntivos, o tecido conjuntivo frouxo é o mais amplamente distribuído. Com exceção do cérebro e da medula espinal, o tecido conjuntivo frouxo é encontrado em todas as partes do corpo, preenchendo espaços vazios não ocupados por outros tecidos. Abaixo da epiderme, ele participa ativamente da nutrição das células epiteliais. Junto a vasos sanguíneos e linfáticos, o tecido conjuntivo frouxo forma camadas que funcionam como uma estrutura de sustentação.



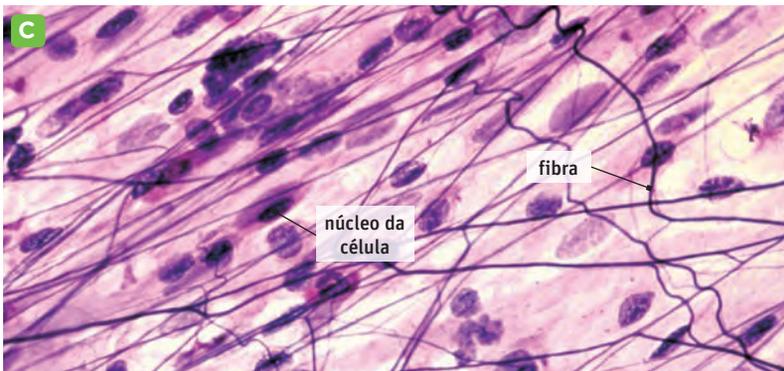
Macrófago (laranja) fagocitando bactérias invasoras (verde). (Foto ao microscópio eletrônico de varredura; imagem colorizada; aumento de cerca de 2 220 vezes.)



Um mastócito, com destaque para o núcleo, a estrutura oval e azul que ocupa grande parte da célula. O citoplasma (violeta) apresenta diversos grânulos (roxo) que contêm substâncias como a heparina e a histamina. (Foto ao microscópio eletrônico de transmissão; imagem colorizada; aumento de cerca de 8 500 vezes.)

### ATIVIDADES

- Os plasmócitos são células que atuam na defesa do organismo, assim como os macrófagos. Qual a diferença entre essas células quanto ao seu modo de atuação?
- Qual seria o impacto no sistema imunitário se os monócitos deixassem de secretar histamina?



Tecido conjuntivo frouxo. Note a grande quantidade de células em relação à quantidade de fibras. (Foto ao microscópio de luz; uso de corantes; aumento de cerca de 750 vezes.)

## Tecido conjuntivo denso

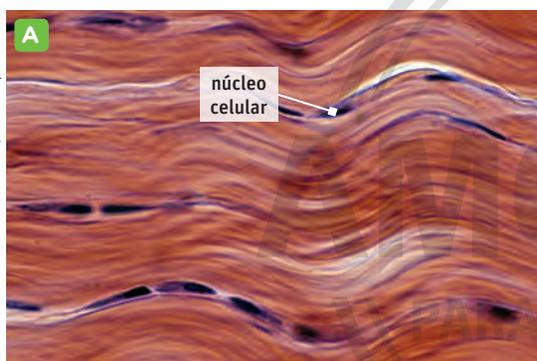
Ao contrário do tecido conjuntivo frouxo, esse tecido possui mais matriz extracelular do que células, com predomínio de fibras colágenas. É a grande quantidade dessas fibras que torna o tecido conjuntivo denso bastante resistente à tração, motivo pelo qual uma de suas funções é proteger outros tecidos. Entre as células, os fibroblastos são os mais abundantes.

O tecido conjuntivo denso é encontrado na derme, nos ligamentos e nos tendões. Anatomicamente, ele é classificado em modelado e não modelado.

### Modelado

Nesse tipo de tecido conjuntivo denso, as fibras colágenas estão arranjadas de forma ordenada, dispostas paralelamente umas às outras (imagem A). Por esse motivo, esse tecido é bastante resistente a trações exercidas no sentido em que estão dispostas as fibras.

O tecido conjuntivo denso modelado é encontrado nos ligamentos (cordões de tecido conjuntivo que ligam dois ossos de uma articulação) e nos tendões (prolongamentos dos envoltórios de um músculo que os mantêm presos aos ossos).

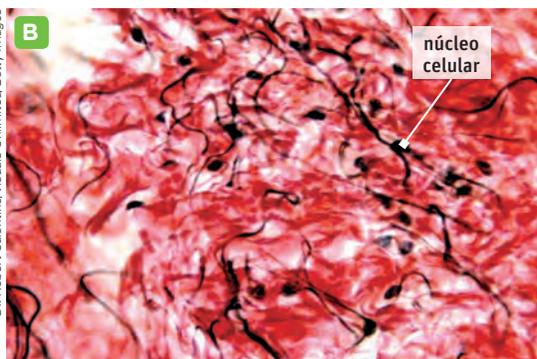


Tecido conjuntivo denso modelado encontrado em um tendão. (Foto ao microscópio de luz; uso de corantes; aumento de cerca de 550 vezes.)

### Não modelado

Também denominado tecido conjuntivo denso fibroso, tem fibras sem orientação definida. Visto ao microscópio, a aparência desse tecido é de uma trama ou rede difusa, com distribuição irregular das fibras colágenas (imagem B). Assim, esse tecido é bastante resistente a trações exercidas em qualquer direção.

O tecido conjuntivo denso não modelado é encontrado na derme, nas bainhas dos nervos, em membranas que recobrem os ossos e as cartilagens e em cápsulas que envolvem certos órgãos, como o fígado, os rins e os ovários.



Tecido conjuntivo denso não modelado. (Foto ao microscópio de luz; uso de corantes; aumento de cerca de 280 vezes.)

## LOGO BIOLOGIA NO COTIDIANO

### Lesões nos tendões e nos ligamentos

Os tendões e os ligamentos são formados por fibras colágenas, que lhes conferem um poder muito grande de resistência à tração. Lesões sérias nessas estruturas costumam ocorrer apenas em casos de queda, colisão ou movimento muito brusco de algum dos membros. A ruptura de um ligamento ou um tendão, por exemplo, ocorre quando a tração exercida sobre as fibras é maior que sua capacidade de resistência. Além da dor e do inchaço no local, os movimentos das áreas afetadas podem ficar temporária ou definitivamente comprometidos.

Lesões nos ligamentos e nos tendões são comuns durante partidas esportivas, especialmente em esportes de contato, como o futebol. Tais lesões podem afastar os jogadores das atividades por vários meses. O tratamento para esse tipo de lesão inclui, além de sessões de fisioterapia, repouso e, em alguns casos, cirurgias.



Representação de joelho mostrando tendão e ligamento. Cores-fantasia.

Brian Evans/Photo Researchers/LatinStock

## Tecidos conjuntivos especiais

Embora os tecidos conjuntivos tenham características em comum, como a abundância de matriz extracelular e a diversidade de tipos celulares, alguns se destacam por exercer funções específicas, como a formação de camada de gordura, por exemplo. Tais tecidos são denominados tecidos conjuntivos especiais ou especializados.

### Tecido conjuntivo adiposo

Esse tecido se destaca pela ocorrência de **adipócitos**, ou **células adiposas**, nome dado às células que armazenam lipídios. Essas células, que estão entre as de maior tamanho no corpo, são arredondadas e costumam apresentar o núcleo deslocado para a periferia por causa do grande volume ocupado pelas gotas de gordura. Quando maduras, as células adiposas geralmente contêm uma única gota de gordura, resultante da junção das gotas menores (imagem A). As células adiposas localizam-se em pequenos grupos dispersos pelo tecido conjuntivo frouxo ou em grupos numerosos, formando o tecido conjuntivo adiposo. Raramente ocorrem de maneira isolada.

Nos mamíferos e em outros vertebrados, esse tecido forma uma grossa camada sob a pele que atua como isolante térmico e reserva de energia (imagem B). O tecido adiposo fornece ainda proteção para alguns órgãos, como coração e rins, contra choques mecânicos e traumatismos. A nutrição do tecido conjuntivo adiposo é feita pelos vasos sanguíneos presentes no tecido conjuntivo frouxo. Em situações especiais, os lipídios armazenados nas células adiposas podem ser usados para fornecer energia ao corpo.



Steve Gschmeissner/Science Photo Library/Latinstock

Um adipócito. Observe as gotas de gordura (amarelo) ocupando quase todo o volume da célula. O citoplasma aparece em vermelho, e o núcleo, em roxo. (Foto ao microscópio eletrônico de transmissão; imagem colorizada; aumento de cerca de 2 600 vezes.)

## BIOLOGIA E MEDICINA

### Lipoaspiração e estética

A lipoaspiração ou lipoescultura é uma técnica cirúrgica que reduz o volume de tecido adiposo acumulado em determinadas áreas do corpo, como na barriga e no quadril. Nessa técnica, uma cânula (instrumento cirúrgico) é inserida no tecido adiposo, e a gordura é aspirada.

A lipoaspiração não deve ser usada como método de emagrecimento; trata-se de um procedimento estético que tem como objetivo alterar a silhueta do corpo ao remover a gordura localizada. Além disso, a cirurgia não é recomendada em áreas muito extensas do corpo, uma vez que há um limite para a quantidade de gordura que pode ser retirada em cada sessão, algo em torno de 5% do peso do paciente. Quando a lipoaspiração é feita em áreas localizadas, os resultados são melhores e as chances de deformações consequentes da operação são menores.

Além de conhecer os riscos envolvidos na lipoaspiração (hemorragia e obstrução de vasos sanguíneos, por exemplo), é importante o paciente se certificar de que o médico e o local em que será feita a cirurgia cumprem as recomendações da Agência Nacional de Vigilância Sanitária (Anvisa) e da Sociedade Brasileira de Cirurgia Plástica (SBCP). Quando o procedimento é realizado por médicos não credenciados e em locais inapropriados, pode haver complicações e até morte.

1. Homens e mulheres estão a todo momento sendo bombardeados com imagens de corpos magros e definidos. Você acredita que essa “ditadura da beleza” é o que faz muitas pessoas se submeterem a procedimentos estéticos, como a lipoaspiração? Discuta.



jimd\_stock/Stock/Getty Images

O adipômetro é usado para medir a quantidade de gordura que se acumula em determinadas partes do corpo, como o abdome, e, assim, calcular o percentual de gordura corporal.

## Tecido conjuntivo cartilaginoso

Esse tecido, também chamado de **cartilagem**, possui consistência firme e flexível. Assim como o tecido conjuntivo ósseo, as cartilagens contribuem para a sustentação do corpo. As orelhas externas e o nariz, por exemplo, são formados por cartilagens (imagem A).

Além da função de sustentação, as cartilagens revestem as superfícies das **articulações** (região de contato entre dois ossos, como no joelho), amortecendo e protegendo os ossos contra choques mecânicos. As cartilagens também participam do processo de formação de certos ossos.

O tecido cartilaginoso não apresenta vasos sanguíneos, vasos linfáticos ou nervos; sua nutrição é realizada pelo tecido conjuntivo que fica ao seu redor, chamado de pericôndrio.

### Matriz e células da cartilagem

A matriz extracelular do tecido conjuntivo cartilaginoso é rica em fibras colágenas e elásticas, que tornam as cartilagens bastante resistentes e flexíveis.

Já as células típicas do tecido conjuntivo cartilaginoso são os **condrócitos**, que têm forma arredondada e citoplasma com retículo endoplasmático granuloso abundante. Os condrócitos ficam alojados em cavidades na matriz extracelular, que, no caso do tecido cartilaginoso, contém apenas substância amorfa e quase nenhum colágeno (imagem B).

Quando imaturos, os condrócitos recebem o nome de **condroblastos**, células com intenso metabolismo que sintetizam e liberam a matriz extracelular. Os condroblastos também podem sofrer contínuas mitoses, originando mais células e, conseqüentemente, mais matriz extracelular. O aumento da matriz extracelular faz o tecido cartilaginoso crescer em volume.

### Tipos de cartilagens

De acordo com o tipo e a quantidade de fibras na matriz extracelular, as cartilagens podem ser classificadas em: **hialina**, **elástica** ou **fibrosa**.

#### Cartilagem hialina

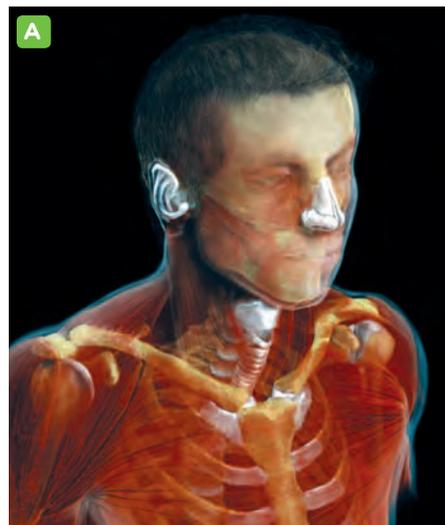
Na cartilagem hialina, a matriz apresenta somente fibras colágenas, que são bem finas. Esse tipo de cartilagem é o mais comum no corpo e está presente nos anéis da traqueia e dos brônquios, no nariz, na junção entre as costelas e o osso esterno, e nas extremidades de certos ossos, como o fêmur. A cartilagem hialina é também encontrada no esqueleto do embrião dos vertebrados, sendo posteriormente substituída por tecido ósseo, com exceção dos peixes cartilagosos (tubarões e raias).

#### Cartilagem elástica

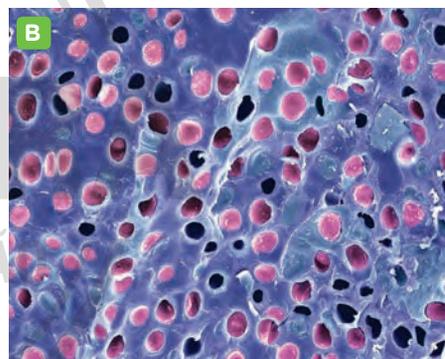
Quando, na matriz, ocorrem fibras elásticas além do colágeno, a cartilagem recebe o nome de cartilagem elástica. Ela é mais resistente que a cartilagem hialina e um pouco mais flexível. As cartilagens das orelhas externas e da laringe são exemplos desse tipo de cartilagem.

#### Cartilagem fibrosa

A cartilagem fibrosa tem a matriz formada por grande quantidade de fibras colágenas. Dos três tipos, é a cartilagem que apresenta maior rigidez e capacidade de absorver choques mecânicos. É encontrada sobretudo nas articulações entre as vértebras, onde forma os discos intervertebrais, aumentando a flexibilidade da coluna e protegendo-a contra traumatismos.



Representação da cabeça e do tronco evidenciando (em branco) as cartilagens presentes no corpo humano. Cores-fantasia.



Cartilagem. Os condrócitos (rosa) estão dentro de lacunas (preto) na matriz extracelular (violeta). (Foto ao microscópio eletrônico de varredura; imagem colorizada; aumento de cerca de 350 vezes.)

### ATIVIDADES

4. O que os fibroblastos – células do tecido conjuntivo propriamente dito – têm em comum com os condroblastos para receberem a mesma terminação (“blastos”)? E os fibrócitos com os condrócitos?
5. Os peixes cartilagosos são classificados na classe dos condrictes. Por que você acha que o grupo a qual pertence esses animais recebeu esse nome?

## Tecido conjuntivo ósseo

Esse tecido é o principal constituinte dos ossos, contribuindo para a sustentação do corpo, a fixação de músculos e a proteção de órgãos internos. O tecido conjuntivo ósseo também aloja a medula óssea, tipo de tecido conjuntivo responsável pela fabricação das células sanguíneas.

O tecido conjuntivo ósseo é mais rígido e mais resistente que o tecido conjuntivo cartilaginoso. A proporção entre fibras, sais minerais e células faz dos ossos estruturas altamente resistentes, mas ao mesmo tempo porosas. Por essa razão, apesar de representar uma parte considerável do volume do corpo humano, o esqueleto não corresponde à mesma parcela de massa corporal.

O tecido conjuntivo ósseo tem matriz altamente diferenciada, com estrutura especializada e composição química complexa, onde se alojam as células ósseas.

### Matriz óssea

A matriz extracelular do tecido conjuntivo ósseo é constituída de uma **porção orgânica**, formada predominantemente por fibras colágenas, e de uma **porção inorgânica**, que corresponde aos sais minerais, como o cálcio e o fósforo. A parte inorgânica representa aproximadamente 65% da matriz óssea, sendo o restante constituído pela parte orgânica.

Os minerais presentes na matriz óssea agrupam-se em cristais, sendo o mais abundante a **hidroxiapatita**, formada por íons de fosfato e de cálcio. Os ossos também apresentam fosfato de magnésio e carbonato de cálcio em sua constituição, porém em menor proporção. Os minerais conferem à matriz óssea suas propriedades de resistência e rigidez. Quando necessário, uma fração desses minerais presentes nos ossos pode ser liberada no sangue e, então, distribuída por todo o corpo.

Já as fibras colágenas, que representam mais de 90% da parte orgânica da matriz óssea, conferem certa flexibilidade aos ossos.

### ATIVIDADES

6. Na linguagem popular, existe uma expressão muito conhecida que é utilizada para descrever pessoas ou ocasiões desagradáveis, inoportunas ou de difícil aceitação: “Fulano (ou algo) é um osso duro de roer”.
- Em sua opinião, por que a expressão faz alusão ao osso?
  - Que estrutura presente no osso faz com que ele seja “duro de roer”?
  - Uma pessoa que literalmente roesse um osso estaria ingerindo algum componente orgânico? Qual?

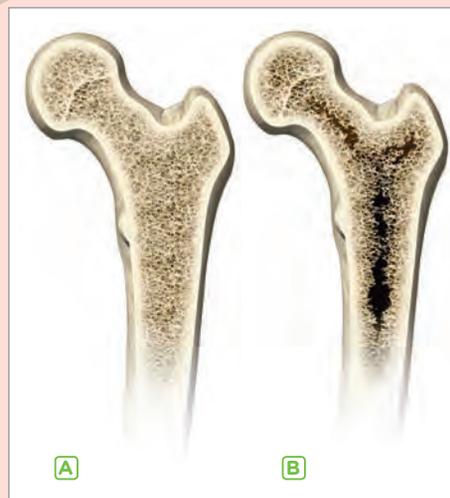
### BIOLOGIA NO COTIDIANO

#### Osteoporose – uma doença silenciosa

Com o envelhecimento, é comum que a matriz óssea perca massa progressivamente, aumentando a porosidade dos ossos. Em geral, essa perda é de cerca de 0,5% da massa óssea total por ano. Quando a perda óssea é mais acentuada, os ossos tornam-se muito porosos, frágeis e sujeitos a fraturas, sintomas que caracterizam a osteoporose.

A osteoporose pode ocorrer em qualquer idade em decorrência de outras doenças e do uso continuado de alguns medicamentos. Entretanto, ela é comum entre idosos, especialmente em mulheres que já passaram pela menopausa (fim dos ciclos menstruais), quando os níveis sanguíneos do hormônio feminino estrogênio caem significativamente.

A prevenção da osteoporose inclui a ingestão diária de cálcio (abundante no leite e em seus derivados), a prática de exercícios físicos e a exposição moderada ao sol (a vitamina D, produzida em nosso corpo com a exposição solar, facilita a absorção de cálcio). O tabagismo e o sedentarismo são fatores de risco associados à osteoporose que devem ser evitados. Por ser uma doença silenciosa, diagnosticada apenas quando ocorre uma fratura, recomenda-se o exame de densitometria óssea (que mede a densidade óssea) em pessoas com mais de 50 anos de idade, principalmente mulheres.



Representação em corte da parte superior de um fêmur saudável (A) e de um fêmur com osteoporose (B). Cores-fantasia.

Henning Dalhoff/Science Photo Library/Latinstock

## Células ósseas

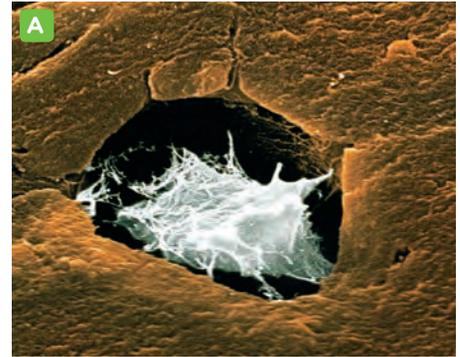
O tecido conjuntivo ósseo apresenta três tipos celulares principais: os osteócitos, os osteoblastos e os osteoclastos.

Os **osteócitos** são as células típicas do tecido ósseo. Têm formato esférico ou ovalado, com núcleo grande e finos prolongamentos de citoplasma. Essas células localizam-se em lacunas ou cavidades da matriz óssea (imagem A). Os osteócitos mantêm os componentes da matriz óssea em quantidades adequadas para o bom funcionamento dos ossos.

Os osteócitos originam-se de **osteoblastos**, células jovens, com intensa atividade metabólica, que sintetizam e secretam a matriz óssea. Os osteoblastos tornam-se osteócitos depois que são envolvidos pela matriz.

Os **osteoclastos**, células multinucleadas maiores que os osteócitos, são responsáveis pela reabsorção da matriz óssea. Os osteoclastos originam-se de um tipo de glóbulo branco e degradam a matriz óssea ao liberar ácidos e enzimas sobre ela. Assim, a ação dos osteoclastos é antagonista (isto é, contrária) à dos osteoblastos. Os osteócitos e os osteoclastos fazem com que os ossos sejam constantemente remodelados.

A intensidade da atividade dos osteoblastos e dos osteoclastos varia durante o desenvolvimento do organismo, determinando períodos de crescimento, estabilidade e perda óssea. A atividade dos osteoclastos aumenta também em algumas situações, como quando a taxa de cálcio no sangue se torna muito baixa ou quando ocorrem fraturas.

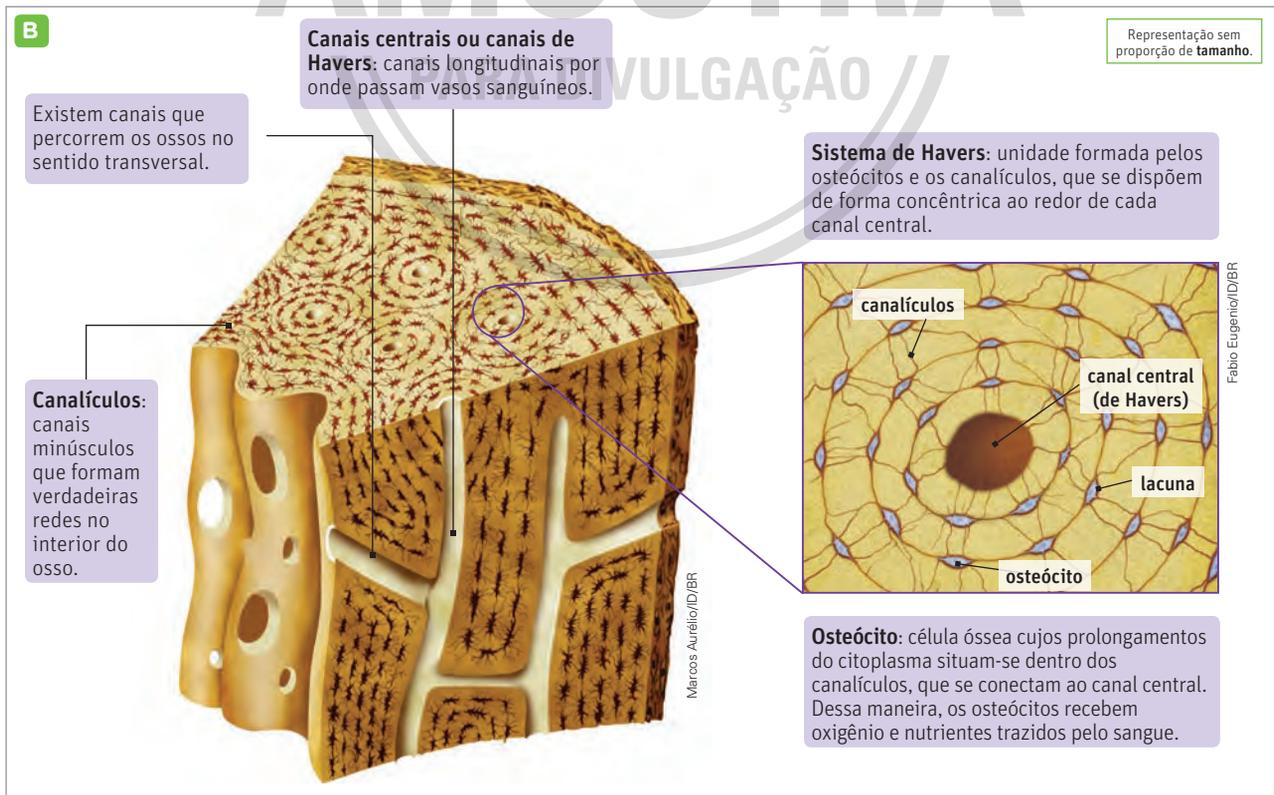


Um osteócito (branco) em uma lacuna óssea, envolto por matriz extracelular (marrom). (Foto ao microscópio eletrônico de varredura; imagem colorizada; aumento de cerca de 4 mil vezes.)

Steve Gschmeissner/Science Photo Library/Latinstock

## Estrutura interna dos ossos

Os ossos apresentam em seu interior diversos canais e canalículos, por onde ocorre a circulação de nutrientes trazidos pelos vasos sanguíneos até as células ósseas (imagem B).



Representação de um fragmento de osso visto em corte. Cores-fantasia.

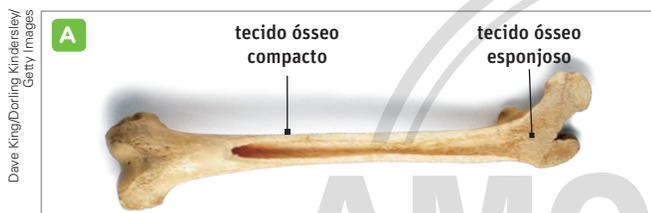
Fonte de pesquisa: JUNQUEIRA, L. C.; CARNEIRO, J. *Histologia básica*. 12. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2013. p. 135.

## Tipos de tecido conjuntivo ósseo

De acordo com a disposição das células ósseas e dos elementos da matriz, o tecido ósseo pode ser classificado em **esponjoso** ou **compacto**. Em geral, a maioria dos ossos possui esses dois tipos de tecido ósseo (imagem A).

O tecido ósseo esponjoso recebe esse nome porque sua estrutura lembra a de uma esponja: a matriz óssea dispõe-se em forma de trabéculas (pequenas travessias ou vigas), formando redes e gerando cavidades amplas, denominadas **espaços medulares** (imagem B). Esse tecido é encontrado sobretudo na parte interna de ossos longos como o fêmur. Os espaços medulares são preenchidos pela **medula óssea**, popularmente conhecida como tutano, que é o tecido conjuntivo responsável pela formação das células sanguíneas (imagem C). Por ser altamente vascularizado, o tecido esponjoso tem coloração avermelhada.

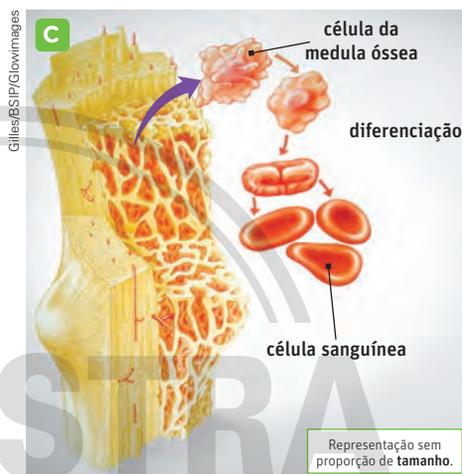
O tecido ósseo compacto não apresenta estrutura em rede nem espaços medulares e ocorre na parte externa dos ossos.



Um fêmur humano (osso da coxa) parcialmente cortado. Note a diferença entre os tecidos esponjoso e compacto e a localização de cada um deles no osso.



Tecido ósseo esponjoso evidenciando a estrutura trabecular e os espaços medulares. A medula óssea foi retirada da imagem. (Foto ao microscópio eletrônico de varredura; imagem colorizada; aumento de cerca de 30 vezes.)



No interior do tecido ósseo esponjoso, as células da medula óssea se diferenciam em células sanguíneas. Cores-fantasia.

Fonte de pesquisa: JUNQUEIRA, L. C.; CARNEIRO, J. *Histologia básica*. 12. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2013. p. 137 e 235.

## SAIBA MAIS

### Transplante de medula óssea

[...]

#### O que é transplante de medula óssea?

É um tipo de tratamento proposto para algumas doenças que afetam as células do sangue, como leucemia [...]. Consiste na substituição de uma medula óssea doente, ou deficitária, por células normais de medula óssea, com o objetivo de reconstituição de uma nova medula saudável. O transplante pode ser autogênico, quando a medula vem do próprio paciente. No transplante alogênico a medula vem de um doador. O transplante também pode ser feito a partir de células precursoras de medula óssea, obtidas do sangue circulante de um doador ou do sangue de cordão umbilical.

[...]

#### Quais os riscos para o paciente?

A boa evolução durante o transplante depende de vários fatores: o estágio da doença (diagnóstico precoce), o estado geral do paciente, boas condições nutricionais e clínicas, além, é claro, do doador ideal. Os

principais riscos se relacionam às infecções e às drogas quimioterápicas utilizadas durante o tratamento. Com a recuperação da medula, as novas células crescem com uma nova “memória” e, por serem células da defesa do organismo, podem reconhecer alguns órgãos do indivíduo como estranhos. Esta complicação, chamada de doença enxerto contra hospedeiro, é relativamente comum, de intensidade variável e pode ser controlada com medicamentos adequados. No transplante de medula, a rejeição é relativamente rara [...].

#### Quais os riscos para o doador?

Os riscos são poucos e relacionados a um procedimento que necessita de anestesia, sendo retirada do doador a quantidade de medula óssea necessária (menos de 15%). Dentro de poucas semanas, a medula óssea do doador estará inteiramente recuperada. Uma avaliação pré-operatória detalhada verifica as condições clínicas e cardiovasculares do doador visando a orientar a equipe anestésica envolvida no procedimento operatório.

[...]

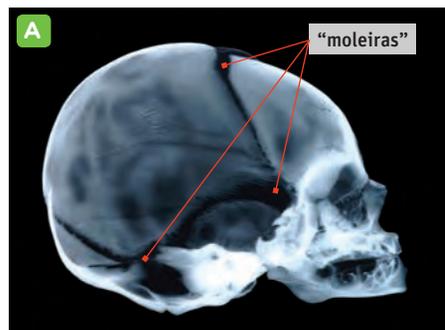
Instituto Nacional de Câncer José Alencar Gomes da Silva (Inca). Perguntas e respostas sobre transplante de medula óssea. Disponível em: <[http://www2.inca.gov.br/wps/wcm/connect/orientacoes/site/home/perguntas\\_e\\_respostas\\_sobre\\_transplante\\_de\\_medula\\_ossea](http://www2.inca.gov.br/wps/wcm/connect/orientacoes/site/home/perguntas_e_respostas_sobre_transplante_de_medula_ossea)>. Acesso em: 8 abr. 2016.

## Processos de ossificação

Os ossos começam a ser formados antes do nascimento. No processo de ossificação, as células mesenquimatosas do embrião se diferenciam em **osteoblastos** – células ósseas jovens – que se multiplicam e secretam a matriz óssea. Depois que a matriz óssea é calcificada, os osteoblastos se transformam em **osteócitos**, células típicas do tecido conjuntivo ósseo. A ossificação pode ocorrer no interior de uma membrana de tecido conjuntivo ou sobre um molde de cartilagem, que é posteriormente substituído por tecido ósseo.

Após o nascimento, o crescimento dos ossos continua até o final da adolescência, quando então o crescimento longitudinal (no eixo do comprimento) cessa em decorrência da ação de diversos hormônios.

Nos recém-nascidos, há regiões ainda não completamente calcificadas, denominadas **fontanelas** e conhecidas popularmente como “moleiras” (imagem A). São áreas preenchidas por tecido conjuntivo existentes entre os ossos cranianos que ainda não estão totalmente fundidos.



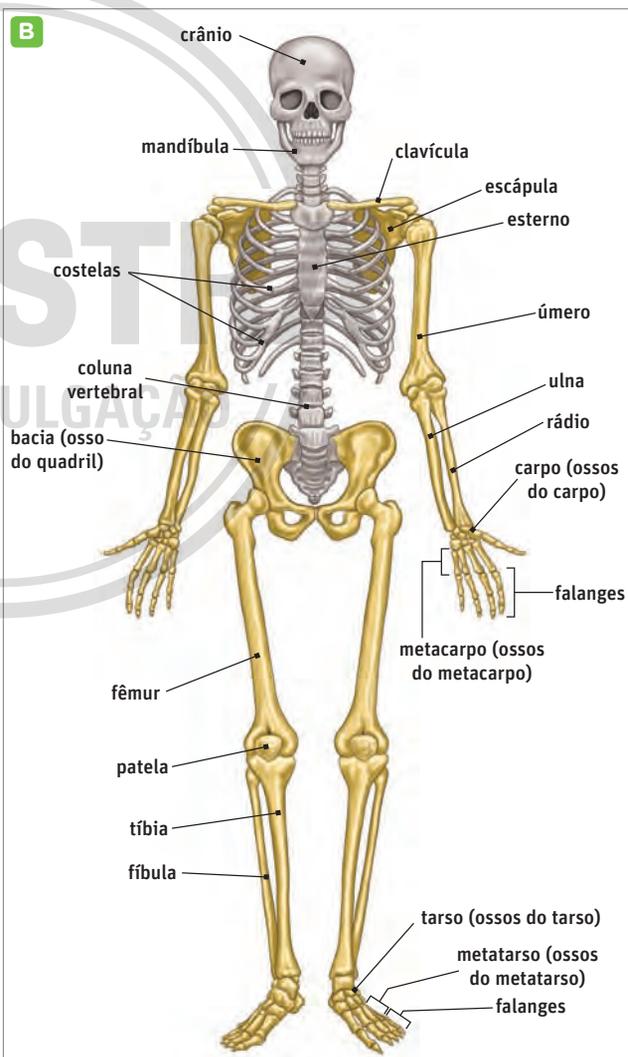
Radiografia do crânio de um bebê. Note que os ossos do crânio não estão totalmente fundidos e encontram-se separados pelas “moleiras”.

## O esqueleto humano

As funções do tecido conjuntivo ósseo são a sustentação e a mobilidade do corpo. É nos ossos que se prendem os músculos esqueléticos, permitindo os movimentos.

Os ossos também protegem diversos órgãos vitais ao formar estruturas como a caixa torácica (conjunto de ossos que protege o coração e os pulmões), o crânio (conjunto de ossos que protege o cérebro, bem como todo o encéfalo) e a coluna vertebral (sequência de ossos enfileirados, chamados de vértebras, que protege a medula espinal).

O esqueleto humano adulto é composto de 206 ossos, divididos em duas partes: **esqueleto axial** – constituído pelo crânio, pela coluna vertebral, pelas costelas e pelo esterno – e **esqueleto apendicular** – formado pelos ossos dos membros superiores (braços) e dos inferiores (pernas), além das cinturas escapular (escápula e clavícula) e pélvica (quadril). Os membros superiores se unem à cintura escapular, enquanto os membros inferiores se unem à cintura pélvica (imagem B).



Representação dos principais ossos do esqueleto humano adulto. O esqueleto axial e o esqueleto apendicular estão representados em cinza e amarelo, respectivamente. Cores-fantasia.

Fonte de pesquisa: TORTORA, G. J.; GRABOWSKI, S. R. *Corpo humano: fundamentos de anatomia e fisiologia*. 8. ed. Porto Alegre: Artmed, 2012. p. 130.

### ATIVIDADES

7. A matriz óssea é formada pela síntese e pela liberação de colágeno a partir dos osteoblastos e também pelo depósito de cristais de fosfato de cálcio e fósforo e carbonato de cálcio. Na ossificação de ossos longos, a matriz é formada a partir da substituição de um molde cartilaginoso por um molde ósseo verdadeiro, o que resulta na morte dos condrócitos.

Identifique no enunciado acima:

- a) duas células conjuntivas;
- b) dois processos biológicos;
- c) uma substância orgânica e uma inorgânica.

## Tecido conjuntivo sanguíneo

Embora seja fluido, o sangue é um tipo de tecido conjuntivo. Como nos demais tecidos conjuntivos, as células encontram-se dispersas, afastadas umas das outras por quantidades relativamente grandes de matriz extracelular. No sangue, a matriz extracelular é constituída pela parte líquida, o **plasma**. Mergulhados no plasma encontram-se os **elementos figurados**, ou seja, as células e os fragmentos de células sanguíneas (imagem A).

A cor do plasma varia entre incolor e amarelo translúcido. A cor vermelha do sangue deve-se à hemoglobina, uma proteína presente dentro das hemácias, que são os glóbulos vermelhos. Um adulto tem em média 5 litros de sangue, o que corresponde a cerca de 7% a 8% da massa corporal.

## Funções do sangue

O sangue cumpre três importantes funções no organismo: transporte de substâncias, regulação da temperatura corporal e defesa contra organismos invasores.

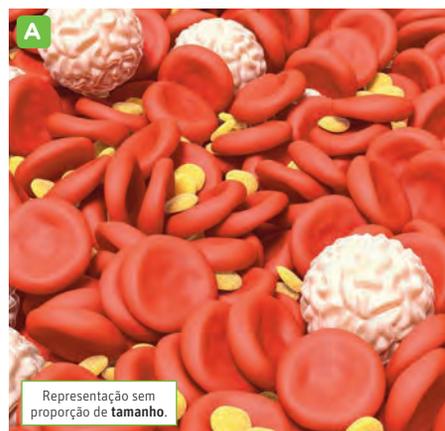
O **transporte de substâncias**, principal função desempenhada pelo sangue, é resultado da evolução dos seres multicelulares. Organismos unicelulares estão em contato direto com o meio, o que significa que todas as substâncias de que precisam podem ser obtidas diretamente pela célula. Do mesmo modo, os resíduos podem ser eliminados diretamente no meio. À medida que surgiram os seres multicelulares, os tecidos localizados mais internamente se distanciaram do meio externo. Como as células desses tecidos receberiam nutrientes e gás oxigênio? De que modo poderiam descartar seus resíduos?

Animais como esponjas e anêmonas-do-mar apresentam uma cavidade na qual a água circula transportando as substâncias pelo corpo. Outros animais apresentam um fluido corporal que dissolve, distribui e recolhe substâncias por todo o corpo. Em grande parte dos invertebrados, esse fluido é a **hemolinfa**. Nos vertebrados, é o **sangue**.

Portanto, o principal papel do sangue é transferir os nutrientes, o gás oxigênio e as demais substâncias de que as células precisam, bem como remover os resíduos resultantes da atividade metabólica celular. Essa função é possível porque o sangue circula em toda a extensão do corpo por meio de vasos, que podem formar um circuito fechado, como no caso dos seres humanos (imagem B).

O sangue também está relacionado à **regulação da temperatura corporal**, pois a água contida no plasma sanguíneo absorve o calor das regiões mais internas do organismo e o conduz até a superfície do corpo, onde é dissipado.

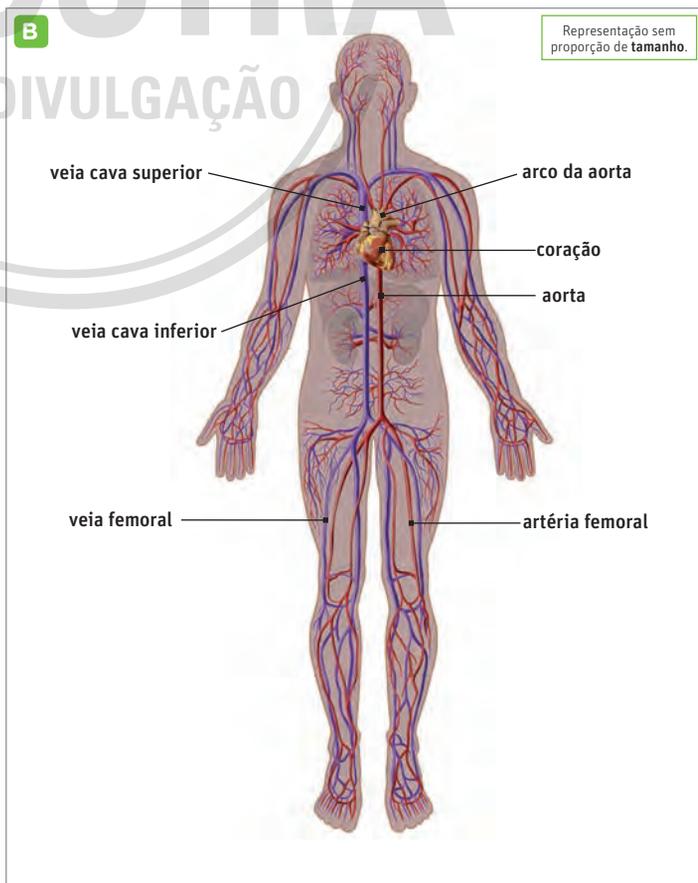
Já a **defesa** do organismo envolve a destruição de organismos invasores, realizada principalmente pelos leucócitos, que são os glóbulos brancos do sangue. A imunidade será tratada mais adiante neste capítulo.



Representação dos elementos figurados do sangue: hemácias (vermelho), leucócitos (branco) e plaquetas (amarelo). Cores-fantasia.

Representação do coração e de alguns vasos sanguíneos do corpo humano. Além dos vasos representados, existem muitos outros, que se estendem por todas as regiões do corpo. Cores-fantasia.

Fonte de pesquisa: TORTORA, G. J.; GRABOWSKI, S. R. *Corpo humano: fundamentos de anatomia e fisiologia*. 8. ed. Porto Alegre: Artmed, 2012. p. 409 e 415.



## Tecido hematopoiético

As células sanguíneas são produzidas pelo tecido **hematopoiético** (do grego *hemato*, “sangue”, e *poiese*, “formação”), um tipo de tecido conjuntivo que é encontrado na medula óssea vermelha, presente no interior dos ossos esponjosos (imagem A).

No início do desenvolvimento embrionário, as primeiras células sanguíneas formam-se a partir de células hematopoiéticas localizadas na vesícula vitelínica. Mais tarde, fígado, baço, timo e linfonodos tornam-se os principais locais de formação do sangue.

Após o nascimento e durante a infância, a medula dos ossos longos (como o fêmur e a tíbia) é a responsável pela hematopoiese. Na idade adulta, o processo ocorre nas vértebras, no esterno, nas costelas e no crânio. As células da medula óssea são capazes de originar todos os tipos celulares presentes no sangue, além de novas células de medula óssea. Desse modo, perpetuam-se células não diferenciadas capazes de formar os demais tipos de células sanguíneas. Por isso, mesmo não sendo células embrionárias, essas células também são chamadas de **células-tronco**. Entretanto, ao contrário das células-tronco embrionárias, que podem diferenciar-se em qualquer tipo de célula, as células-tronco da medula são capazes de originar apenas poucos tipos celulares.

Dois linhagens de células são originadas pelas células da medula óssea: as células **mieloides** e as células **linfoides**. Essas células não têm capacidade de renovação, por isso, novas células mieloides ou linfoides sempre se originam de células-tronco hematopoiéticas (imagem B).

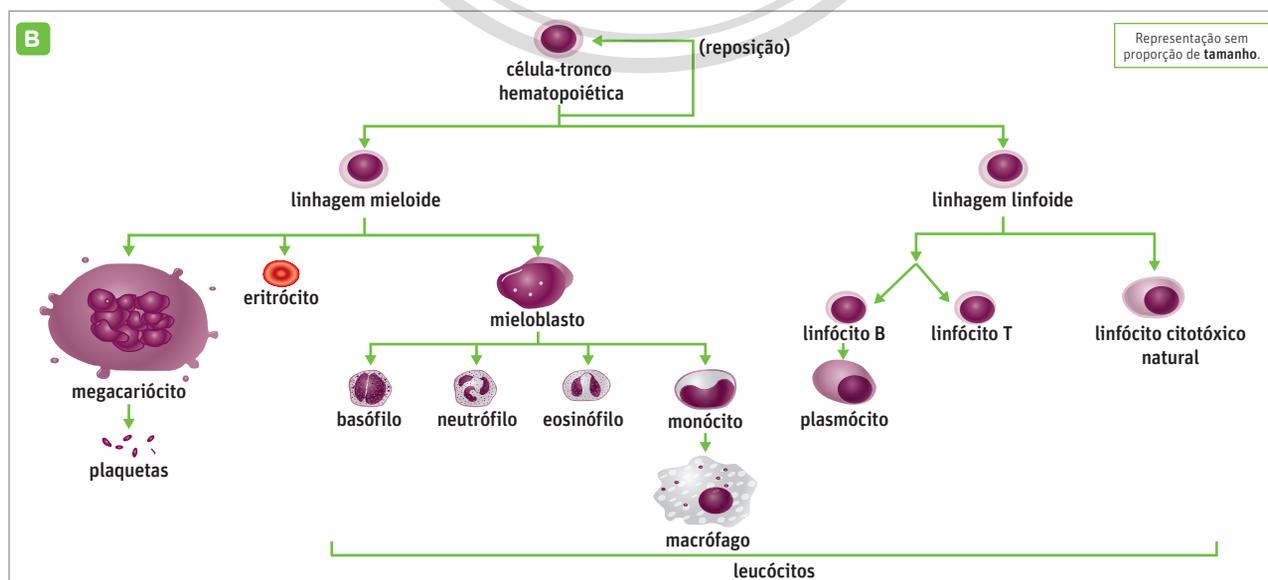
Células da linhagem mieloide podem diferenciar-se em vários outros tipos de células sanguíneas, como as **hemácias**, também chamadas de eritrócitos, os **megacariócitos** (que vão formar as plaquetas) e os diversos tipos de **leucócitos**. A diferenciação celular a partir de células mieloides ocorre quase inteiramente na medula óssea. Somente nas etapas finais é que as células já diferenciadas passam para a circulação sanguínea, onde terminam o processo de amadurecimento e assumem seu aspecto definitivo.

As células linfoides também se formam na medula óssea, mas migram para o exterior desta e vão amadurecer em outros órgãos, como o timo, os linfonodos, as tonsilas e o baço, e em partes dos sistemas digestório e respiratório. As células diferenciadas são chamadas de **linfócitos**, que são um tipo de leucócito, e se apresentam em duas categorias: linfócitos T e linfócitos B. Os linfócitos estão diretamente envolvidos na resposta imune do organismo.



Representação do esqueleto humano de um adulto mostrando a localização do tecido hematopoiético (vermelho). Cores-fantasia.

Fonte de pesquisa: JUNQUEIRA, L. C.; CARNEIRO, J. *Histologia básica*. 10. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2004. p. 241.



Representação sem proporção de tamanho.

Esquema representando a origem das células sanguíneas. Cores-fantasia.

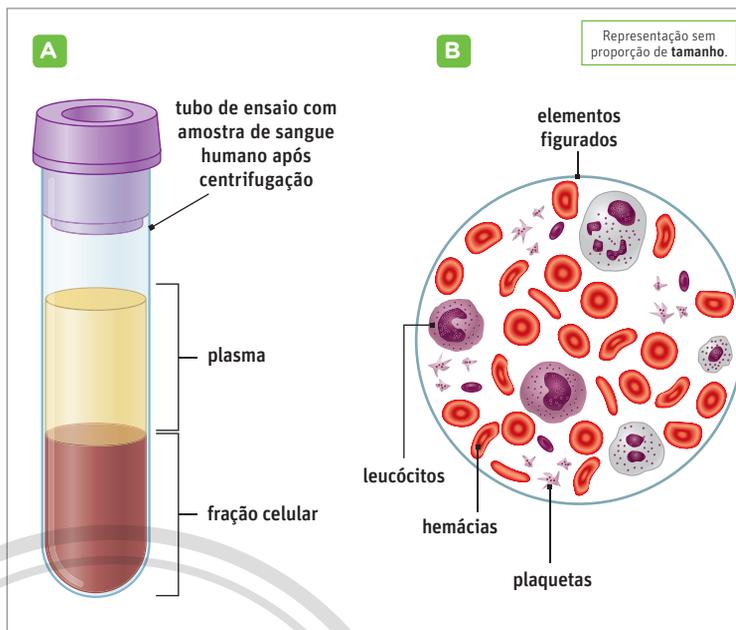
Fonte de pesquisa: ALBERTS, B. et al. *Biologia molecular da célula*. 5. ed. Porto Alegre, Artmed, 2010. p. 1457.

## Composição do sangue

Quando uma amostra de sangue é centrifugada, isto é, rotacionada a uma grande velocidade em uma centrífuga, ela separa-se nitidamente em duas partes: uma **fração líquida**, o **plasma**, um líquido transparente e de cor amarelada; e uma **fração celular**, de cor vermelho-escura, composta dos elementos figurados do sangue (imagem A). Os elementos figurados do sangue incluem células como as **hemácias** e os **leucócitos** e também fragmentos de células, como as **plaquetas** (imagem B).

(A) Representação de uma amostra de sangue centrifugado e (B) esquema dos componentes do sangue humano. Na fração celular encontram-se os leucócitos ( $3,5 \text{ mil/mm}^3$  a  $7 \text{ mil/mm}^3$ ), as plaquetas ( $200 \text{ mil/mm}^3$  a  $450 \text{ mil/mm}^3$ ) e as hemácias ( $4 \text{ milhões/mm}^3$  a  $6 \text{ milhões/mm}^3$ ). Cores-fantasia.

Fonte de pesquisa: TORTORA, G. J.; GRABOWSKI, S. R. *Corpo humano: fundamentos de anatomia e fisiologia*. 8. ed. Porto Alegre: Artmed, 2012. p. 359.



### Plasma

É uma solução aquosa formada por aproximadamente 91% de água, 7% de proteínas, 0,9% de sais inorgânicos e pouco mais de 1% de diversas substâncias, tais como: hormônios, vitaminas, aminoácidos, lipoproteínas, glicose e excretas como ureia e amônia. O gás carbônico e uma pequena porcentagem de gás oxigênio se encontram dissolvidos no plasma.

Entre as proteínas transportadas pelo plasma, as mais importantes são a **albumina**, responsável pela manutenção da pressão osmótica do plasma; as **imunoglobulinas** (conhecidas como **anticorpos**), envolvidas no mecanismo de defesa; e o **fibrinogênio**, que participa do processo de coagulação sanguínea. Entre os sais inorgânicos, encontram-se os sais de sódio, potássio, cálcio, magnésio e outros.

Se uma amostra de sangue for deixada em repouso, sofrerá coagulação. Nesse processo, o fibrinogênio e os demais fatores de coagulação formam uma rede de **fibrina**, que aprisiona as células, separando-as do plasma, que passa a ser chamado de **soro**. O soro é, portanto, o plasma sem as proteínas de coagulação.

### Leucócitos

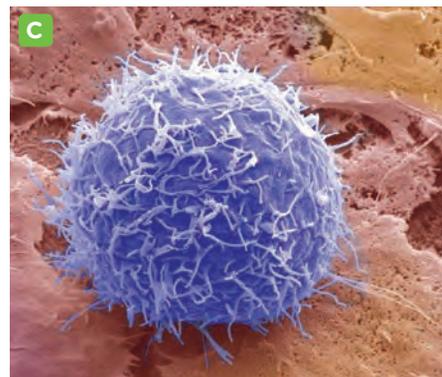
Também chamados de **glóbulos brancos** (imagem C), os leucócitos existem em número muito menor que as hemácias no sangue. São formados na medula óssea vermelha, a partir de células linfoides ou mieloides, conforme o tipo de leucócito.

Os leucócitos estão, de modo geral, envolvidos no controle de processos inflamatórios e na defesa do corpo contra agentes infecciosos. Há diversos tipos de leucócitos, cada um deles relacionado a uma função no organismo, como: produzir anticorpos, atacar vírus e bactérias invasores, destruir restos de células e combater células cancerosas.

Os leucócitos apresentam uma diferença importante que permite classificá-los em dois grupos: os **granulócitos**, que têm núcleos com formas irregulares e muitos grânulos no citoplasma; e os **agranulócitos**, cujo núcleo tem forma mais regular, arredondada, e não apresentam granulação citoplasmática.

**ATIVIDADES**

8. Considerando que o sangue corresponde a cerca de 7% a 8% da massa corporal de uma pessoa adulta, qual é a massa total do sangue de um indivíduo que tem aproximadamente 65 kg?



Linfócito, um tipo de leucócito. (Foto ao microscópio eletrônico de varredura; imagem colorizada; aumento de cerca de 4 000 vezes.)

## Granulócitos

Há três tipos de leucócitos granulócitos: os **neutrófilos**, os **basófilos** e os **eosinófilos**. Os neutrófilos são responsáveis pela fagocitose de diversos corpos estranhos e agentes invasores (imagem A). Os basófilos e os eosinófilos participam de processos inflamatórios, liberando histamina, que dilata os vasos sanguíneos.



Science Photo Library/Lainstock

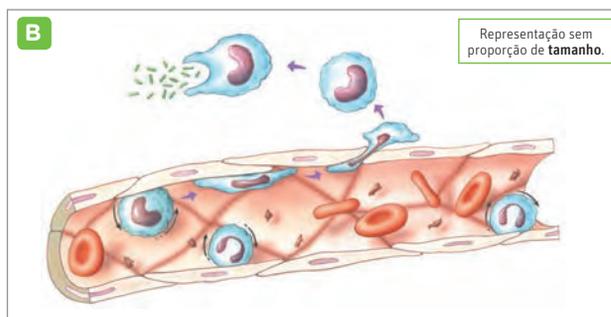
Neutrófilo (laranja) capturando bactérias (azul) antes de fagocitá-las. (Foto ao microscópio eletrônico de transmissão; imagem colorizada; aumento de cerca de 55 mil vezes.)

## Agranulócitos

Há dois tipos de leucócitos agranulócitos: os **monócitos** e os **linfócitos**.

Os monócitos deixam a circulação e penetram nos tecidos lesados, originando macrófagos. Os **macrófagos** fagocitam bactérias, vírus, fungos e restos de células mortas. Eles emitem prolongamentos de membrana denominados **pseudópodes** (do grego *pseudo*, “falso”, e *podos*, “pés”), que servem tanto para o deslocamento como para a fagocitose. São células capazes de entrar e sair dos capilares, por meio de um processo chamado de **diapedese**, no qual as células atravessam as paredes dos vasos sanguíneos. Assim, podem se mover para praticamente qualquer tecido do corpo em busca de agentes invasores (imagem B).

Os linfócitos começam a formar-se na medula óssea, mas logo migram para locais diferentes do corpo, onde se diferenciam em linfócitos B ou linfócitos T.



Representação sem proporção de tamanho.

Esquema mostrando macrófago atravessando a parede de um capilar por diapedese. Cores-fantasia.

Fonte de pesquisa: TORTORA, G. J.; GRABOWSKI, S. R. *Corpo humano: fundamentos de anatomia e fisiologia*. 8. ed. Porto Alegre: Artmed, 2012. p. 439.

Os **linfócitos B** têm a função de reconhecer substâncias estranhas ao corpo, chamadas de **antígenos**, e produzir **anticorpos** específicos, o que ocorre quando se diferenciam em **plasmócitos**. Os linfócitos B também são responsáveis pela memória imunitária, que é a capacidade de reconhecer um antígeno que já tenha entrado em contato com o corpo previamente.

Os **linfócitos T** partem da medula óssea e chegam ao timo, um órgão localizado atrás do osso esterno, próximo ao coração. Nesse local, diferenciam-se em linfócitos **T auxiliares** e linfócitos **T citotóxicos**. Os T auxiliares liberam substâncias que direcionam a produção de anticorpos pelos linfócitos B, estimulam o crescimento dos linfócitos T citotóxicos e a atividade fagocitária dos macrófagos. Os linfócitos T citotóxicos reconhecem células infectadas por vírus e algumas bactérias, e células tumorais ou que não estejam funcionando devidamente. Agem liberando enzimas que levam à morte celular. Outro tipo de linfócito, chamado de **citotóxico natural**, também se forma a partir da linhagem linfóide e ataca células tumorais e tecidos infectados. Acompanhe no quadro a seguir as características dos diferentes tipos de agranulócitos e granulócitos.

	Agranulócitos		Granulócitos		
Tipo de célula	 <b>monócito</b> (aumento: 630 vezes)	 <b>linfócito</b> (aumento: 850 vezes)	 <b>neutrófilo</b> (aumento: 740 vezes)	 <b>basófilo</b> (aumento: 530 vezes)	 <b>eosinófilo</b> (aumento: 370 vezes)
Núcleo	formato de rim	volumoso, ocupando quase todo o citoplasma	trilobulado	bilobulado, oculto pelos grânulos	bilobulado
Função	fagocitose de restos celulares e microrganismos	produção de anticorpos e atividade citotóxica	fagocitose	produção de histamina e outras substâncias envolvidas na inflamação e nas reações alérgicas	defesa contra parasitas multicelulares e vírus, participação em processos inflamatórios e reações alérgicas

Os principais tipos de leucócitos presentes no sangue. (Fotos ao microscópio de luz; uso de corantes.)

Fonte de pesquisa: TORTORA, G. J. *Corpo humano: fundamentos de fisiologia e anatomia*. 8. ed. Porto Alegre: Artmed, 2012. p. 366.

## Hemácias

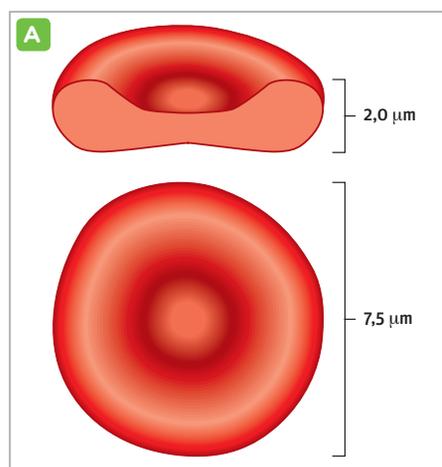
São as células vermelhas do sangue, também chamadas de **eritrócitos** ou **glóbulos vermelhos**. São formadas na medula óssea vermelha, a partir de células mieloides, os **eritroblastos**.

Em mamíferos, os eritroblastos perdem o núcleo e as organelas citoplasmáticas quando passam para o sangue, tornando-se células anucleadas, incapazes de se multiplicar. Por isso, sua vida é limitada a três ou quatro meses, quando começam a ser destruídos por macrófagos.

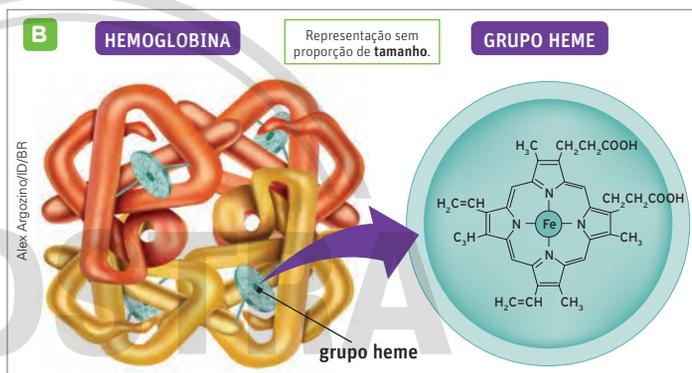
As hemácias são achatadas, com uma depressão no centro que aumenta a superfície de contato e facilita a captação dos gases (imagem A). Essas células são preenchidas por moléculas de **hemoglobina**, uma proteína que confere a cor avermelhada ao sangue e que é responsável pelo transporte da maior parte do gás oxigênio no organismo.

Uma molécula de hemoglobina apresenta quatro subunidades, cada uma com um grupo químico que contém um átomo de ferro no centro (imagem B), denominado **grupo heme**. São esses quatro átomos de ferro que se ligam ao oxigênio, transportando-o pelo sangue até as células. Cada hemácia contém aproximadamente 280 milhões de moléculas de hemoglobina.

Dentro de certos limites, o corpo humano é capaz de regular a quantidade de hemácias em circulação no sangue. Em pessoas que vivem em locais de altitude elevada, onde o ar é rarefeito e há menos gás oxigênio, o número de hemácias é maior do que em pessoas que vivem ao nível do mar. Essa regulação melhora a captação de gás oxigênio. Nos jogos de futebol nas cidades de grande altitude, como La Paz, na Bolívia, os atletas locais podem ter melhor rendimento físico que atletas vindos do Brasil. Caso o time brasileiro siga para a cidade do jogo com alguns dias de antecedência, o organismo pode se adequar à baixa pressão atmosférica, produzindo maior quantidade de hemácias.



Representação de uma hemácia humana em corte lateral (em cima) e vista superior (embaixo). Cores-fantasia.



Esquema da molécula de hemoglobina mostrando os quatro grupos heme com o átomo de ferro, onde se liga a molécula de gás oxigênio. Cores-fantasia.

Fonte de pesquisa: MARZZOCO, A.; TORRES, B. *Bioquímica básica*. 2. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 1999. p. 38-39.

## LOGO BIOLOGIA E MEDICINA

### Anemia

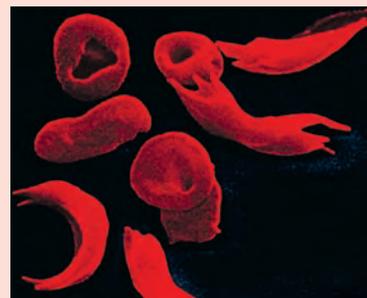
Dá-se o nome de anemia às alterações na quantidade ou na forma das hemácias ou das hemoglobinas em seu interior. Anemias podem ser causadas por perda de sangue (hemorragia), por baixa produção de hemácias, por hemólise (do grego *heme*, “sangue”, e *lysis*, “ruptura” ou “quebra”), por carência de vitamina B12 ou por dietas pobres em proteína.

A origem também pode ser genética, como é o caso da anemia falciforme ou siclêmia, na qual a hemoglobina apresenta um defeito que reduz a capacidade de ligar-se ao oxigênio e deixa as hemácias deformadas, com aspecto de foice (imagem ao lado).

Uma das principais consequências da anemia é o transporte ineficiente de oxigênio, necessário para a produção de energia nas células. Portanto, um de seus sintomas, seja qual for o tipo de anemia, é uma sensação de fraqueza ou cansaço, principalmente durante o exercício físico.

Em casos de anemia aguda, provocada por perda excessiva de sangue, o tratamento imediato é a transfusão de sangue. Perdas superiores a 10% do volume total de sangue (0,5 L) já podem trazer complicações; acima de 20%, podem levar ao choque e à morte.

Para as anemias causadas por baixa produção de hemoglobina, uma alimentação rica em ferro e vitamina B12 contribui para restabelecer as quantidades necessárias desse elemento, combatendo os sintomas.



Hemácias siclêmicas humanas com aspecto curvado característico. (Foto ao microscópio eletrônico de varredura; imagem colorizada; aumento de cerca de 1 700 vezes.)

**Exame de sangue por ultrassom Doppler**

O diagnóstico por ultrassom vem sendo amplamente usado na medicina há muitos anos. O princípio é bastante simples: uma sonda, também chamada de transdutor, emite ondas sonoras em frequências elevadas (acima da capacidade auditiva humana) que se refletem (ecoam) ao encontrar as diferentes camadas dos tecidos ou órgãos e retornam à sonda (imagem **A**). Os sinais recebidos são comparados aos sinais enviados, e um computador interpreta os dados (tempo de reflexão, intensidade do eco, etc.), produzindo uma imagem digital. Assim, é possível obter imagens detalhadas de órgãos internos sem utilizar métodos invasivos nem raios X, que são nocivos à saúde.

Mais recentemente, técnicas de ultrassonografia empregando o efeito Doppler permitiram grande avanço nos exames cardiovasculares. Para compreender o princípio da ultrassonografia Doppler, procure lembrar a última vez em que ouviu um veículo passar por você buzinando ou tocando uma sirene (imagem **B**). Enquanto se aproxima de você, o som é percebido como agudo (frequência mais alta). Depois de passar por você e começar a se afastar, o som “muda”, tornando-se mais grave (baixa frequência). Isso acontece porque as ondas sonoras ficam muito próximas umas das outras à medida que a fonte sonora (buzina ou sirene) se aproxima. Quando a fonte se afasta, as ondas sonoras ficam mais distantes umas das outras. A frequência com que a orelha humana as percebe é, portanto, diferente.

Esse princípio é aplicado na ultrassonografia Doppler para examinar coração e vasos sanguíneos e medir o fluxo de sangue em seu interior (imagem **C**). À medida que se move, aproximando-se ou afastando-se da sonda do aparelho, o sangue reflete as ondas sonoras mudando sua frequência original devido ao efeito Doppler. Tais variações na frequência das ondas refletidas são analisadas e interpretadas pelo computador, que pode até mesmo determinar a velocidade, a turbulência e a direção do deslocamento do sangue nos vasos ou no interior do coração.



Ultrassonografia do coração. A sonda desliza sobre um gel aplicado na pele, que melhora a captação das ondas. A imagem é produzida em um monitor e pode ser gravada para observação posterior.

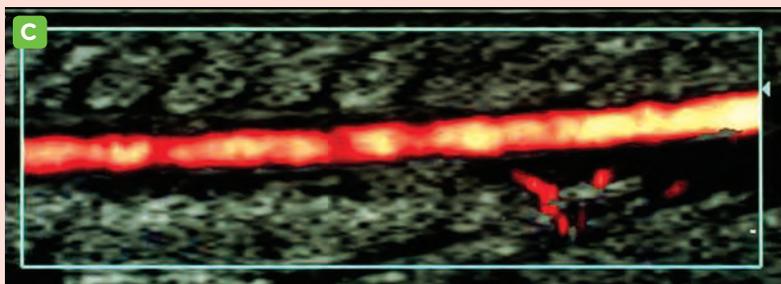
turnarr/Stock/Getty Images



Alex Argazzino/D/BR

Representação sem proporção de tamanho.

Representação da propagação de ondas sonoras (círculos vermelhos) emitidas por uma fonte sonora (sirene). Quando uma fonte sonora se movimenta em relação a um observador, a frequência do som percebida pelo observador varia em relação à frequência original emitida por essa fonte. Cores-fantasia.



Simon Fraser/Science Photo Library/Latinstock

Imagem, obtida por ultrassom Doppler, mostra o sangue (em tons de laranja) fluindo dentro de um vaso sanguíneo. Esse exame permite detectar o movimento de líquidos, como o sangue. Recentemente, a introdução de cores artificiais facilitou muito a realização dos diagnósticos. Imagem colorizada.

## Plaquetas

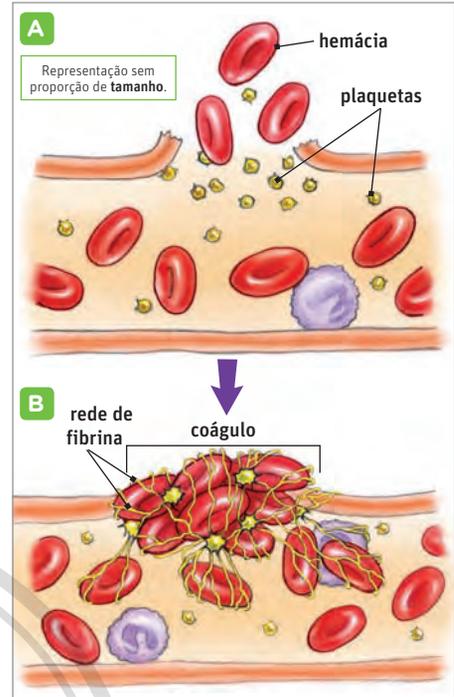
Também chamadas de **trombócitos**, as plaquetas são fragmentos de células formados a partir dos megacariócitos da medula óssea. As plaquetas são responsáveis pela formação de coágulos, importantes para interromper a perda de sangue quando ocorre lesão em algum vaso sanguíneo. Em certos casos, quando seu número é muito elevado, as plaquetas podem provocar **tromboses**, ou seja, a formação de coágulos que obstruem os vasos e prejudicam a circulação sanguínea.

A parede dos vasos capilares tem uma estrutura simples, formada por uma única camada de células epiteliais, envolta externamente por uma fina membrana basal composta de colágeno. Quando há uma lesão na parede de um capilar (imagem **A**), o colágeno da membrana fica exposto e algumas plaquetas aderem a ele. Mais plaquetas migram para o local, agregando-se até formar um “tampão”.

Em seguida, as plaquetas liberam uma enzima chamada tromboplastina, que converte a protrombina, uma proteína presente no sangue, em trombina. Esta, por sua vez, é uma enzima que catalisa a reação de conversão do **fibrinogênio**, outra proteína plasmática, em **fibrina**. Os filamentos de fibrina constituem um emaranhado em forma de rede que impede a saída de células do sangue através do ferimento. O **coágulo**, que propicia o estancamento do sangue, é formado por plaquetas, pela rede de fibrina e pelas células nela aprisionadas (imagens **B** e **C**).

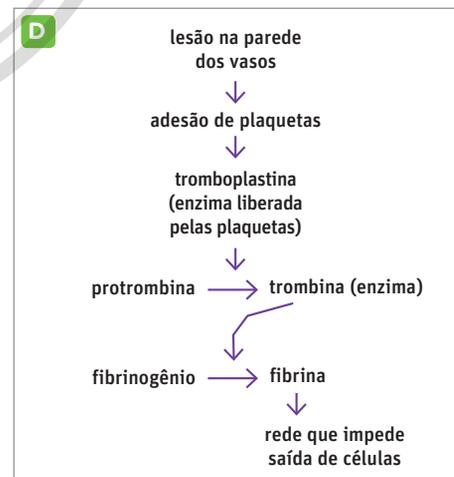
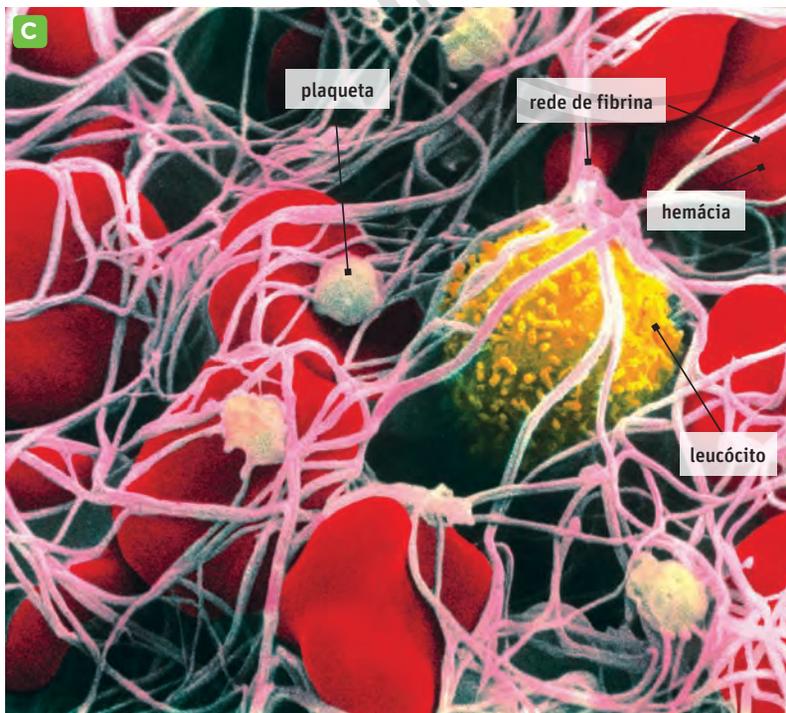
Veja na imagem **D** um resumo das principais etapas da coagulação sanguínea.

O **tempo de sangramento** é um importante teste feito para determinar a capacidade de coagulação sanguínea de pacientes que serão submetidos a cirurgias. Em geral, em pacientes saudáveis, o tempo de sangramento é de 1 a 3 minutos após o corte feito nesse exame. Entretanto, certas doenças – como as hepáticas, o diabetes e as hemofilias – podem aumentar o tempo de sangramento. O mesmo pode ocorrer devido ao uso de drogas anticoagulantes, como anti-inflamatórios não esteroides, ácido acetilsalicílico ou certos antibióticos.



Representação do processo de coagulação. Em **(A)**, o vaso sanguíneo é lesado e plaquetas aderem ao colágeno. Em **(B)**, forma-se uma rede com fibrina, plaquetas e hemácias. Cores-fantasia.

Fonte de pesquisa: REECE, J. B. et al. *Campbell Biology*. 10. ed. [S.l.]: Pearson, 2014. p. 930.



Esquema das principais etapas relacionadas à coagulação sanguínea.

Coágulo sanguíneo. As células do sangue estão presas na rede de fibrina. (Foto ao microscópio eletrônico de varredura; imagem colorizada; aumento de cerca de 8 600 vezes.)

## Imunidade

O corpo humano conta com um extraordinário sistema de defesa, capaz de proteger o indivíduo contra invasões de organismos como bactérias, vírus, fungos, etc. Em geral, não percebemos tão claramente os resultados desse trabalho, mas é fácil ter uma ideia de sua eficiência: basta observar o que acontece após a morte de um animal. Assim que morre, as defesas do organismo deixam de funcionar e o corpo é invadido por incontáveis microrganismos, que o decompõem quase completamente em algumas semanas. Você já se perguntou quantas gripes ou outras doenças infecciosas uma pessoa saudável e bem alimentada tem por ano? Poucas, às vezes nenhuma, mesmo que o ar, os alimentos e os objetos do dia a dia contenham uma enorme quantidade de microrganismos.

Durante muito tempo, as doenças infecciosas foram causa de medo e superstição. Povos antigos atribuíam os males do corpo a um castigo dos deuses, que estariam descontentes com o modo como as pessoas pensavam ou agiam. Até os séculos XVIII e XIX, acreditava-se na teoria dos “miasmas”: as doenças seriam causadas por um “ar” ruim que supostamente pairava sobre determinado local.

Edward Jenner (1749-1823), um médico inglês, é considerado o pai da imunologia, a ciência que estuda os mecanismos de defesa do organismo. Em 1796, ele testou um conhecimento popular da época que dizia que pessoas que haviam contraído a varíola bovina não contraíam a varíola humana, mais agressiva e responsável por milhares de mortes.

A varíola causava bolhas com pus na pele, então Jenner coletou material de uma ferida decorrente de varíola bovina de uma mulher que ordenhava vacas e esfregou-o em um arranhão do braço de um menino saudável de 8 anos. Esse menino contraiu uma forma muito branda da varíola bovina e ficou imune à varíola humana. Posteriormente, o médico fez o mesmo procedimento em outras crianças e todas se tornaram imunes à doença. Em 1798, sua pesquisa com a varíola foi reconhecida pela comunidade científica e deu início às primeiras vacinas.

Em meio a outros cientistas importantes, como Edward Jenner, Emile Roux e Robert Koch, que trouxeram contribuições fundamentais para a imunologia, coube a Louis Pasteur (1822-1895) estabelecer firmemente a ideia de que as doenças são causadas por germes preexistentes e explicar os mecanismos pelos quais as infecções se instalam no corpo. Pasteur também desenvolveu, com base nos trabalhos pioneiros de Jenner, o método da vacinação, que utiliza a capacidade imunológica do próprio corpo. As vacinas representam uma revolução no controle de doenças infectocontagiosas na população.

### Linhas de defesa

Existem três linhas de defesa distintas contra microrganismos invasores. A primeira é formada pela pele e

pelas mucosas (epitélios que revestem boca, ânus, cavidade nasal, uretra, intestinos e outros órgãos ocultos ou cavidades). A segunda linha de defesa é uma resposta imediata e inespecífica a agressões, baseada na liberação de substâncias químicas e na atividade das células de defesa. A terceira e última é a imunidade propriamente dita, altamente específica e adaptável.

### Primeira linha de defesa

A pele e as mucosas constituem o primeiro obstáculo que dificulta ou impede a entrada de invasores. O suor (imagem A), as secreções sebáceas e a lágrima (imagem B) modificam o pH da pele, tornando-a ácida e protegendo-a de microrganismos. Além disso, a pele é uma barreira física, impermeabilizada por uma camada queratinizada de células mortas. O muco, por sua vez, aprisiona e imobiliza partículas e pequenos organismos.

No caso do intestino e do sistema urinário, bactérias não patogênicas, encontradas normalmente no corpo, competem por recursos e modificam o ambiente, dificultando a instalação de microrganismos nocivos ou impedindo que atinjam um número grande o bastante para provocar uma infecção nos tecidos do corpo.



fionline/Alamy/Latinstock



DorianGray/Stock/Getty Images

Secreções que protegem a pele: (A) suor e (B) lágrimas.

## Segunda linha de defesa

Quando a barreira física oferecida pela pele e pelas mucosas não é o bastante para impedir a entrada de um **patógeno** (do grego *pathos*, “doença”, e *gen*, “gerar”), passa a agir a segunda linha de defesa, também chamada de imunidade **inata** ou **natural**, porque já nascemos com ela.

É uma reação inespecífica, ou seja, que ataca qualquer tipo de invasor, e compreende várias estratégias de combate: fagocitose por macrófagos e neutrófilos, elevação da temperatura corporal (febre), inflamação e produção de substâncias que impedem ou dificultam a multiplicação do agente infeccioso, etc.

### Inflamação

Em geral, é a primeira resposta imunitária a ocorrer. Todo processo inflamatório é uma resposta a uma agressão sofrida por tecidos do corpo. O termo **inflamação** vem do latim *inflamatio*, que significa “em chamas”, devido ao calor no local da lesão. A resposta inflamatória é inespecífica, ou seja, não depende do tipo de agressão sofrida pelo tecido.

No local da inflamação, as próprias células lesadas e as células do sistema imunitário liberam substâncias chamadas **mediadores químicos**, que provocam reações como rubor (vermelhidão), edema (inchaço), elevação da temperatura (calor) e dor.

Dentre as substâncias liberadas destaca-se a **histamina**, que dilata os vasos sanguíneos e aumenta sua permeabilidade, provocando rubor e calor. Outras substâncias – entre elas as prostaglandinas – aumentam a permeabilidade dos vasos capilares. Assim, parte do líquido (plasma) passa para o tecido, causando edema. Macrófagos e outros leucócitos também são atraídos para o local, onde fagocitam os agentes agressores. Tais células deixam a circulação sanguínea e passam para o tecido lesado, atravessando a parede dos capilares por diapedese (veja imagens abaixo). Muitos terminais nervosos são estimulados pelos mediadores, provocando sensibilidade e dor. A migração de plaquetas também aumenta no local da inflamação.

Reações inflamatórias também podem ser observadas em casos de **alergia**. As alergias são reações imunitárias a determinadas substâncias, conhecidas como **alérgenos**. Os alérgenos mais comuns são toxinas produzidas por insetos, fezes e exoesqueleto de ácaros, esporos de fungos, pelo e saliva de animais, penicilina (um antibiótico), certos tipos de alimento, perfumes, lã e grãos de pólen.

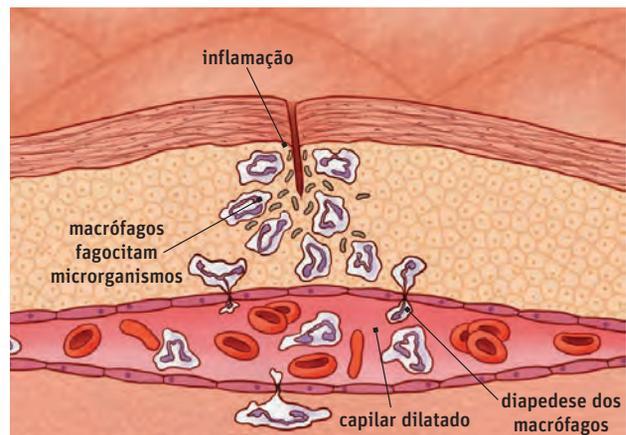
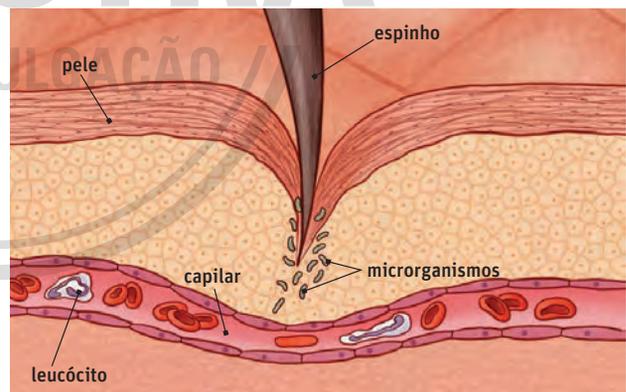
Se o corpo já foi previamente exposto a um alérgeno e está sensibilizado por ele, um novo contato com essa substância, mesmo em doses mínimas, pode desencadear uma resposta de hipersensibilidade. Essa resposta é conhecida como reação **anafilática** (do grego *ana*, “contrário”, e *phylaxis*, “proteção”). Quando a reação anafilática é muito severa e não ocorre socorro imediato, há risco de **choque anafilático**. Nesse caso, a liberação exagerada de histaminas, prostaglandinas e outros mediadores inflamatórios provocam vasodilatação generalizada. Uma das consequências é o edema nos brônquios, que reduz seu diâmetro interno, dificultando muito a respiração. A pressão arterial também diminui, e outros sintomas podem surgir, como urticária, inchaço dos lábios, do pescoço e da garganta (edema de glote), podendo provocar sufocação, desmaio e até mesmo a morte.

O tratamento imediato de inflamações, bem como de reações e choques anafiláticos, inclui a administração de anti-histamínicos, que reduzem a secreção de histamina e inibem a inflamação.

Representação de inflamação decorrente de uma pequena perfuração na pele. Cores-fantasia.

Fonte de pesquisa: REECE, J. B. et al. *Campbell Biology*. 10. ed. [S.l.]: Pearson, 2014. p. 951.

Representação sem proporção de tamanho.



Ilustrações: Renaldo Vignati/ID/BR

## Fagocitose

A fagocitose é realizada principalmente por neutrófilos e macrófagos, que saem dos vasos sanguíneos por diapedese. Os neutrófilos fagocitam vírus, bactérias ou fungos indistintamente, morrendo em seguida. Quando o número de células fagocitárias mortas é muito grande, elas se acumulam e formam o **pus**. Ao chegarem ao local infectado, os macrófagos fagocitam não só os microrganismos como também restos de células mortas, sejam neutrófilos ou células do tecido lesado.

Depois de capturado, o microrganismo fagocitado fica isolado dentro de um **fagossomo**, uma vesícula citoplasmática delimitada por membrana. A seguir, lisossomos com enzimas digestivas migram para o local e se fundem ao fagossomo, formando um **vacúolo digestivo**. Dentro dessa vesícula, ocorrem o ataque enzimático e a destruição do patógeno. Certas substâncias resultantes da digestão do patógeno vão para o citoplasma e são reaproveitadas como nutrientes. Os restos não aproveitados são lançados para fora da célula quando a vesícula se funde à membrana plasmática (imagem abaixo).

Restos do patógeno digerido podem ficar aderidos à face externa da membrana plasmática de macrófagos para serem apresentados aos linfócitos T. Ao identificar o microrganismo invasor, os linfócitos T podem ativar, dentre uma série de respostas do sistema imune, a terceira linha de defesa.

## Febre

A febre é desencadeada por substâncias **piréticas** ou **pirogênicas** (do grego *pyros*, “fogo”), secretadas por células fagocitárias que entram em contato com um

microrganismo invasor ou com toxinas liberadas por certos patógenos. Este é o caso da malária, cujos picos de febre são ativados por toxinas produzidas pelo parasita causador da doença, o protozoário *Plasmodium* sp.

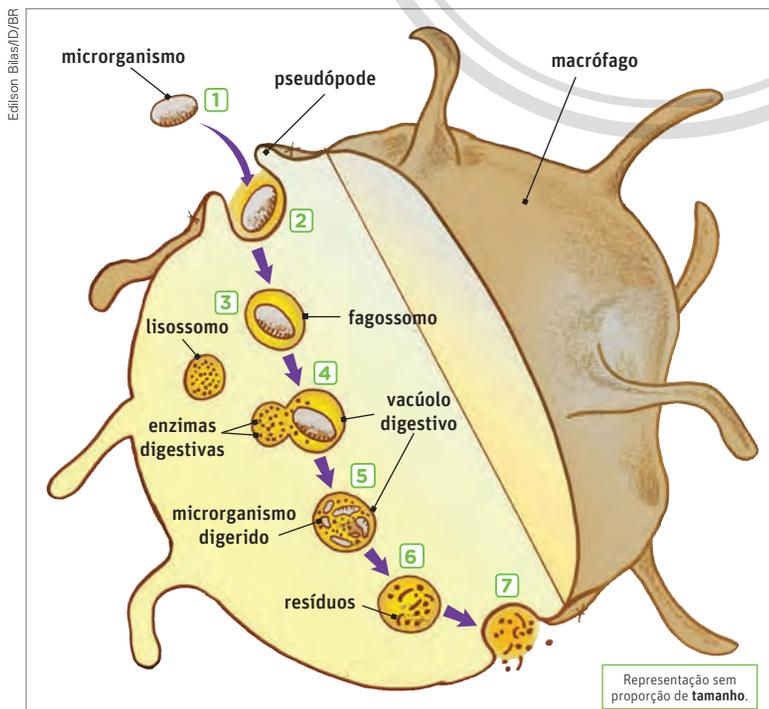
A febre traz, a princípio, alguns benefícios, uma vez que acelera a atividade enzimática e a renovação dos tecidos lesados, além de tornar o ambiente inadequado ao desenvolvimento do agente infeccioso. Ela também estimula uma série de respostas imunológicas. Entretanto, se for muito alta ou durar tempo demais, pode afetar o metabolismo e até mesmo provocar a desnaturação de proteínas do corpo. Por isso, é um sintoma que precisa ser controlado com medicamentos chamados **antipiréticos**.

## Terceira linha de defesa

Também chamada de imunidade **adquirida**, a terceira linha de defesa apresenta duas características importantes: **especificidade** e **memória imunológica** (ver página seguinte).

Durante a invasão do corpo por um agente infeccioso, certas proteínas ou polissacarídeos presentes na superfície desse agente (cápsulas de vírus, paredes celulares de bactérias, membranas plasmáticas de fungos ou protozoários, por exemplo) são capazes de provocar uma resposta imune. Tais substâncias são denominadas **antígenos**. Em resposta, os linfócitos produzem **anticorpos**, proteínas capazes de ligar-se a determinado tipo de antígeno. Em geral, cada anticorpo é específico para cada tipo de antígeno.

A terceira linha de defesa envolve dois tipos de resposta: a imunidade **humoral** e a imunidade **celular**.



Esquema do mecanismo da fagocitose realizada por um macrófago: (1) aproximação (e posterior aderência) do microrganismo ao macrófago; (2) ingestão; (3) formação do fagossomo; (4) fusão do fagossomo e do lisossomo; (5) digestão do microrganismo pelas enzimas; (6) formação do corpo residual, com os restos não digeridos e resíduos; (7) eliminação dos resíduos. Cores-fantasia.

Fonte de pesquisa: REECE, J. B. et al. *Campbell Biology*. 10. ed. [S.l.]: Pearson, 2014. p. 948.

## ATIVIDADES

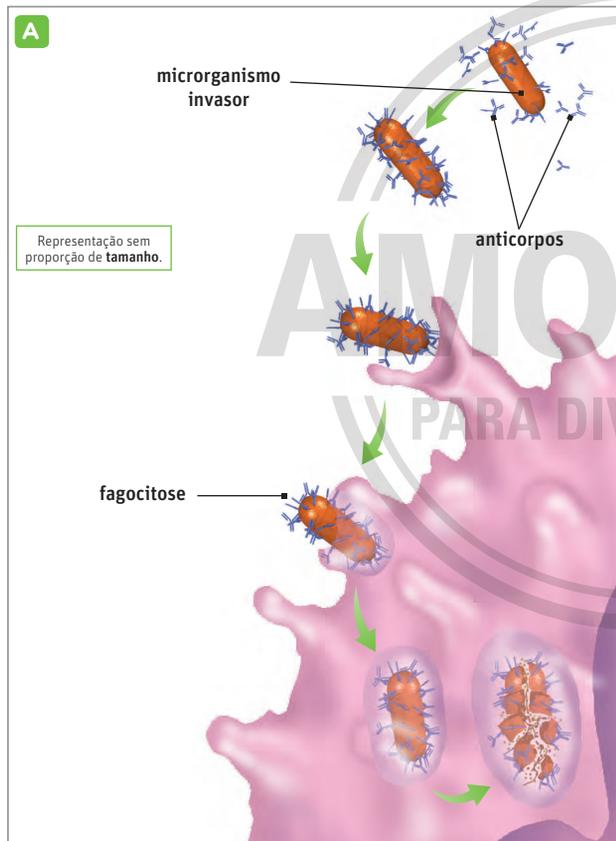
9. É correto afirmar que os ribossomos têm papel fundamental no processo de fagocitose? Justifique sua resposta.

## Resposta humoral

Os **linfócitos B**, formados na medula óssea vermelha, são os leucócitos responsáveis pela produção de anticorpos. Essa produção é a **resposta humoral**.

Assim como existem muitos tipos de antígenos, há muitos tipos de anticorpos. Cada linfócito B só é capaz de produzir determinado tipo de anticorpo.

Ao entrar em contato com o antígeno, um determinado tipo de linfócito B cresce e se divide, originando novas células. Após sucessivas divisões, uma parte dessas células se diferencia em **plasmócitos**, que são capazes de produzir rapidamente grande quantidade de anticorpos. Liberados no sangue, esses anticorpos se ligam aos antígenos na superfície do agente invasor, impedindo ou dificultando sua adesão aos tecidos do corpo, facilitando também o reconhecimento e a fagocitose por macrófagos (imagem A) e neutrófilos.



Representação de macrófago fagocitando microrganismo revestido por anticorpos. Cores-fantasia.

Fonte de pesquisa: REECE, J. B. et al. *Campbell Biology*. 10. ed. [S.l.]: Pearson, 2014. p. 960-961.

Alguns linfócitos B não se diferenciam em plasmócitos, mas tornam-se **células de memória** (imagem B). Eles permanecem no corpo e guardam a memória desse contato com o antígeno. Desse modo, se ocorrer um próximo contato com o mesmo antígeno, a produção de anticorpos específicos será muito mais rápida. Em uma possível futura infecção, essas células se multiplicam,

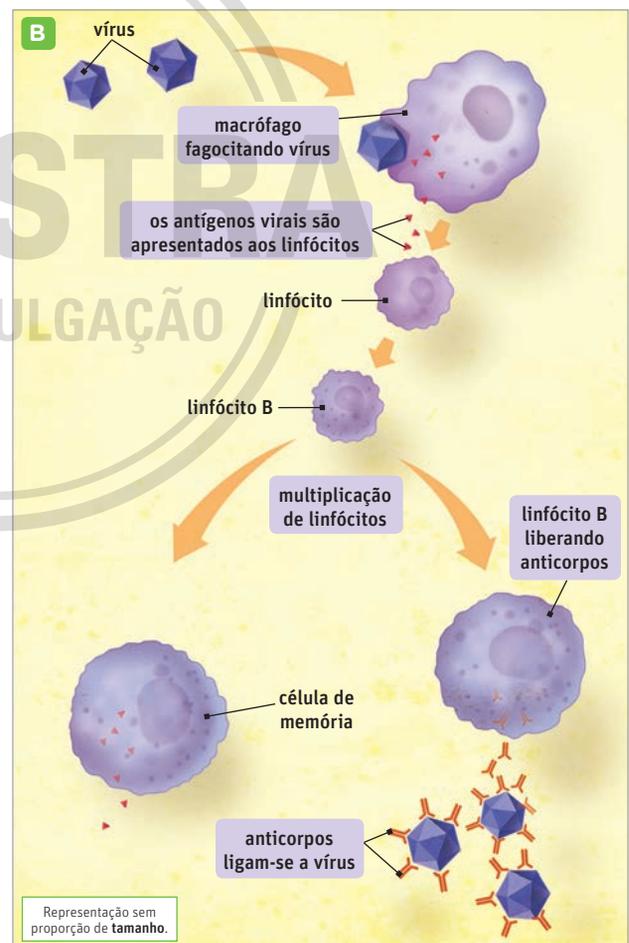
produzem anticorpos e combatem o invasor mais rapidamente, podendo até mesmo evitar sua instalação.

## Resposta celular

Os linfócitos T, que amadurecem no timo e não produzem anticorpos, são os leucócitos responsáveis pela resposta celular.

Há dois tipos básicos de linfócitos T, os auxiliares e os citotóxicos. Os linfócitos T **auxiliares** produzem e liberam **interleucinas**, substâncias que estimulam a proliferação de células do sistema imunitário, além de ativar linfócitos B e linfócitos T citotóxicos.

Os linfócitos T **citotóxicos** reconhecem antígenos em células lesadas ou infectadas e ligam-se a elas. Em seguida, secretam enzimas que aderem à membrana da célula infectada e danificam sua estrutura, matando a célula e destruindo os invasores. Alguns desses linfócitos T permanecem no corpo e guardam a memória desse contato com o antígeno. Em uma possível infecção, essas células multiplicam-se e combatem o invasor mais facilmente.



Esquema de resposta imunitária. Um vírus é fagocitado por um macrófago. Antígenos presentes no vírus são apresentados a linfócitos. Estes liberam substâncias que estimulam os linfócitos B a produzirem anticorpos. Cores-fantasia.

Fonte de pesquisa: REECE, J. B. et al. *Campbell Biology*. 10. ed. [S.l.]: Pearson, 2014. p. 953-960.

## Imunizações passiva e ativa

A imunização protege um animal contra o ataque de patógenos. Ela é conferida pela resposta a determinado antígeno e pode ser **passiva** ou **ativa**.

### Imunização passiva

Nesse tipo de imunização, não há atividade das células imunitárias do organismo nem formação de células de memória. O organismo afetado por um antígeno recebe os anticorpos produzidos por outro organismo, o que pode ocorrer de forma natural ou artificial.

A **imunização passiva natural** ocorre de mãe para filho, durante a gestação e a amamentação (imagem ao lado). Na vida intrauterina, o feto recebe, através da placenta, anticorpos produzidos pela mãe. Depois que o bebê nasce, a transferência de anticorpos continua por meio da **amamentação**, primeiramente pelo colostro (uma secreção rica em anticorpos liberada pelas glândulas mamárias nos primeiros dias após o parto), depois pelo próprio leite materno.

A **imunização passiva artificial** é feita pela administração de soros que contenham anticorpos específicos contra certo antígeno. O **soro** é obtido do sangue de um animal que já tenha entrado em contato com o antígeno.

Para produzir o soro, o antígeno é previamente isolado, purificado e atenuado (enfraquecido pelo calor ou por tratamento químico, por exemplo). Em seguida, é inoculado em um animal de grande porte, em geral o cavalo, que passa a produzir anticorpos específicos contra o antígeno inoculado. Após algum tempo, uma amostra de sangue do animal é coletada e o soro é preparado com o plasma sanguíneo, que contém os anticorpos. Depois de pronto, o soro é embalado e estocado até sua utilização em pacientes.

O uso de soros específicos é especialmente importante nos casos em que a ação do antígeno é muito rápida e não haveria tempo para uma resposta do sistema imunitário do próprio paciente. Este é o caso do veneno de animais peçonhentos, como certas espécies de serpentes, que pode causar necrose, hemorragia e morte em poucas horas, ao passo que a resposta imunitária do organismo demoraria pelo menos uma semana para produzir a quantidade suficiente de anticorpos. O mesmo ocorre com o vírus da raiva e com a bactéria causadora do tétano. O processo de imunização passiva também é chamado de **seroterapia**.

O leite materno contém anticorpos que imunizam o bebê contra diversas doenças. Por essa razão, a amamentação é recomendada até os dois anos de idade.



Workbook Stock/Glowimages

## AÇÃO E CIDADANIA

### O Instituto Butantan

O Instituto Butantan é um centro de pesquisas situado na cidade de São Paulo. Fundado em 1901, hoje é responsável pela produção de 80% dos soros e das vacinas utilizados em todo o país.

Dentre os soros que produz, destacam-se os anti-peçonhentos, usados em acidentes com animais peçonhentos. Os principais são os soros antiofídicos, para casos de acidentes com serpentes como jararaca, cascavel, surucucu e coral-verdadeira; o soro antiaracnídico, para acidentes com certas aranhas (tarântula, armadeira e aranha-marrom); o soro antiescorpiônico, para acidentes com escorpiões; e o soro antilonômico, para acidentes com taturanas do gênero *Lonomia*.

O instituto também produz soros para tratamento de infecções como tétano, raiva, difteria e botulismo, e soros usados para reduzir as chances de rejeição de órgãos transplantados.

A instituição produz ainda as vacinas para prevenção de difteria, tétano, coqueluche, hepatite B, tuberculose e raiva (para uso humano), entre outras doenças. Atualmente, a vacina da dengue está em fase de testes.

A produção do Instituto Butantan é distribuída pelo Ministério da Saúde em unidades de saúde em todo o país, para uso gratuito pela população brasileira.



Depois de produzidos, os soros são embalados e distribuídos por todo o país.

## Imunização ativa

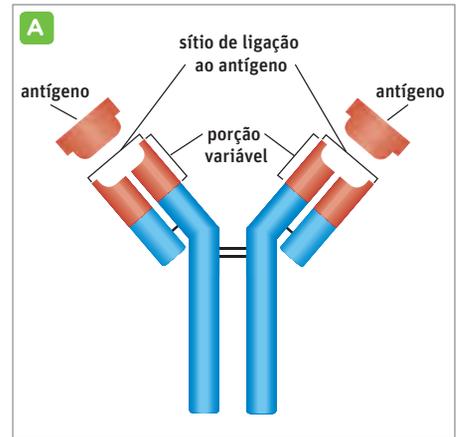
A imunização ativa é uma resposta do próprio organismo aos antígenos. Ela pode ser natural ou artificial.

A **imunização ativa natural** acontece quando as células imunitárias entram em contato com antígenos que invadem o corpo. Em seguida ocorre a proliferação de linfócitos B e linfócitos T, assim como a produção de células de memória. Dentro de alguns dias, as imunidades humoral e celular se encarregam de eliminar o invasor, reparar os tecidos lesados e curar o organismo.

Assim, as células de memória têm um registro preciso do antígeno e de suas características, o que permitirá uma resposta bem mais rápida se ocorrerem outras infecções pelo mesmo patógeno.

A **imunização ativa artificial** é feita por meio de **vacinas**, substâncias que estimulam o corpo a produzir anticorpos (imagem A). Diferentemente dos soros, as vacinas têm caráter preventivo.

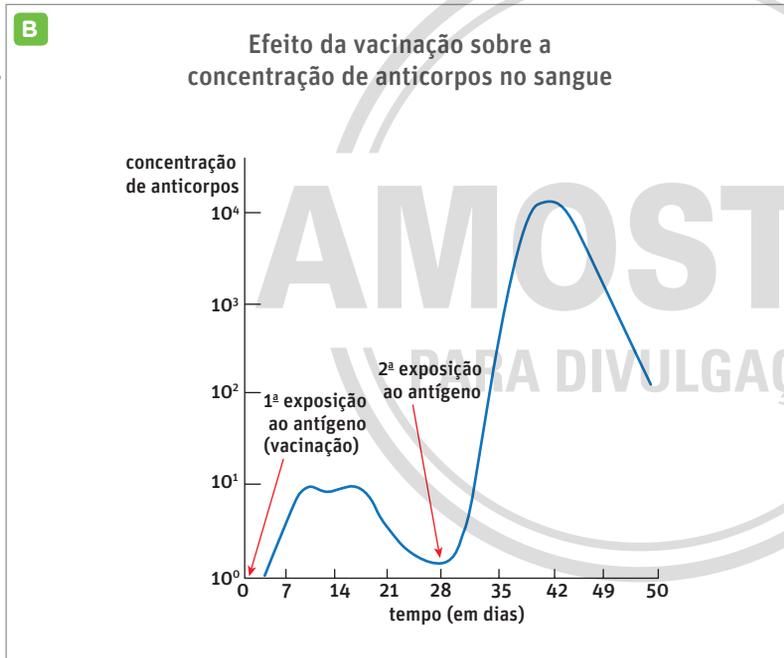
Elas são feitas a partir de vírus ou bactérias mortos ou atenuados. Mesmo sendo incapazes de provocar uma doença, esses vírus ou bactérias estimulam o sistema imunitário a produzir anticorpos (imagem B).



Representação simplificada de um anticorpo. Embora haja diferentes tipos de anticorpos, sua estrutura geral é semelhante, contendo na extremidade dois sítios específicos que se ligam ao antígeno. Essa porção da molécula varia de um anticorpo para outro, permitindo adaptação a uma grande variedade de antígenos. Cores-fantasia.

Fonte de pesquisa: REECE, J. B. et al. *Campbell Biology*. 10. ed. [S.l.]: Pearson, 2014. p. 955.

Alex Argozino/ID/BR



Quando o corpo é exposto pela primeira vez a um antígeno desconhecido, leva pouco mais de uma semana para produzir anticorpos suficientes para combater a infecção. Quando exposto novamente ao mesmo antígeno, a resposta do corpo é bem mais rápida (cerca de dois dias) e atinge um número de anticorpos muito maior (entre mil e 10 mil vezes). Tal rapidez é suficiente para nos proteger da reinfecção. Esse é o princípio da vacinação contra sarampo, catapora, tuberculose, poliomielite e muitas outras doenças infecciosas.

Fonte de pesquisa: REECE, J. B. et al. *Campbell Biology*. 10. ed. [S.l.]: Pearson, 2014. p. 957.

Entre os séculos XVIII e XIX, Edward Jenner e Louis Pasteur trabalharam incansavelmente estudando doenças humanas e do gado, como a varíola, a raiva e o antraz. Jenner já havia descoberto que pessoas inoculadas com material coletado de feridas de vacas com varíola apresentavam sintomas leves, mas curavam-se depois de algum tempo. Quando eram expostas ao vírus da varíola humana, não desenvolviam a doença, pois estavam imunizadas. Pasteur descobriu que doenças como cólera da galinha, antraz do gado e raiva também se comportavam da mesma forma: se o agente infeccioso fosse atenuado e inoculado em uma pessoa sadia, esta apresentaria apenas sintomas leves, mas não desenvolveria a doença. Depois disso, estava imunizada contra o patógeno. Reconhecendo a importância do trabalho de Jenner, Pasteur deu a esse procedimento o nome de **vacinação** (do latim *vaccinia*, “de vaca”).

### ATIVIDADES

10. Ao longo dos séculos, a varíola provocou milhões de mortes, sendo considerada uma doença bastante grave. No entanto, a vacinação contra a varíola deixou de ser obrigatória no Brasil em 1975.

Faça uma pesquisa e explique por que essa obrigatoriedade foi cancelada.

# Práticas de Biologia

## Desmineralização óssea e retirada de colágeno

### Objetivo

Investigar quais substâncias conferem rigidez e flexibilidade aos ossos.

### Material

- dois ossos de frango cru (usar preferencialmente o osso da coxa)
- copo ou recipiente de vidro maior que a altura do osso
- vinagre
- pano ou toalha
- vela e fósforos
- prendedor de roupas

### Procedimento

Forme um grupo com três ou quatro alunos. Antes de iniciar o experimento, anote em seu caderno as características do osso: textura, aparência (cor, brilho, etc.), dureza, resistência, entre outras. Essas anotações iniciais serão comparadas com os resultados obtidos no experimento, que se divide em duas partes.

#### Parte I:

1. Retire toda a carne dos dois ossos. Eles devem estar limpos, sem nenhum músculo ou outra estrutura. Lave bem os ossos e seque-os com pano ou toalha.
2. Coloque o vinagre em um copo ou recipiente de vidro grande o suficiente para cobrir o osso. Não encha totalmente esse recipiente.
3. Coloque um dos ossos dentro do vinagre, de modo que o osso fique inteiramente imerso no líquido (imagem **A**). Se necessário, acrescente mais vinagre ao copo. O osso deverá ficar imerso no vinagre por, pelo menos, três dias. Mantenha o experimento em local fechado, de preferência no escuro. No terceiro dia, retire o osso do vinagre, lave-o e observe o que ocorreu.

#### Parte II:

1. Segure o outro osso em uma de suas extremidades com o prendedor de roupas e aqueça-o totalmente com a chama da vela (imagem **B**). Queime o osso até que ele fique todo enegrecido pela combustão.
2. Após queimar o osso, lave-o, retirando a camada escura e queimada, e seque-o. Observe o que aconteceu.

#### ATENÇÃO!

Muito cuidado com o fogo. Não manuseie o fósforo ou a vela próximo a líquidos inflamáveis (álcool, acetona, etc.) e tome cuidado para não queimar as mãos.

### Resultados

1. Anote o que você observou em relação ao osso queimado. Descreva como ficaram a aparência, a estrutura e a textura desse osso após a combustão.
2. Descreva as alterações na aparência e na estrutura do osso que permaneceu no vinagre.

**A**



Ilustrações: Roberto Higuera/IDBR

Osso imerso em vinagre.  
Cores-fantasia.

**B**



Representação sem proporção de tamanho.

Osso sendo queimado na chama da vela.  
Cores-fantasia.

### Discussão

1. Que características do osso foram afetadas pelo calor da chama? Como você explica o que ocorreu?
2. Que modificações você observou no osso que permaneceu no vinagre? Como você explica essas mudanças?
3. Seguindo as orientações do professor, pesquise as características do vinagre e associe qual delas está envolvida com as modificações observadas no osso que permaneceu embebido nessa substância.
4. Que características importantes dos ossos você pôde reconhecer com a realização desses experimentos?

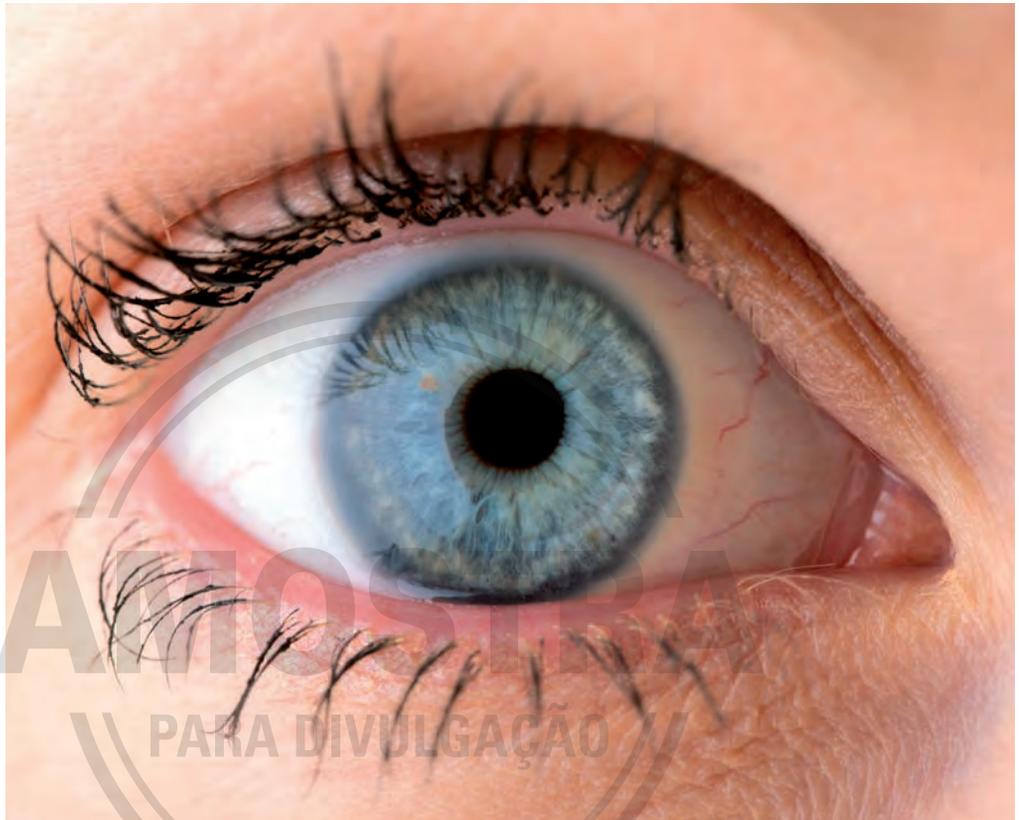
# Tecido muscular

## O QUE VOCÊ VAI ESTUDAR

Os tipos de músculo do corpo.

A estrutura de cada tipo de músculo.

Como ocorre a contração muscular.



gbrundin/Stock/Getty Images

Detalhe de olho humano. A íris (parte colorida) é formada por músculos circulares e radiais. A contração e o relaxamento desses músculos regulam a quantidade de luz que entra no olho através da pupila (círculo negro ao centro do olho).

Uma característica marcante em muitos animais é a capacidade de movimentação e locomoção. A própria expressão “animal” indica aquele que é dotado de *anima* (que, em latim, significa “alma”), ou seja, que é animado, que tem vida e movimento.

A capacidade de gerar movimento provavelmente evoluiu muito cedo na história da vida no planeta. Mesmo organismos unicelulares, como os protozoários, frequentemente apresentam estruturas – cílios, flagelos, pseudópodes – associadas à movimentação e à locomoção.

Para os animais, a capacidade de movimento e locomoção possibilita a busca de recursos como alimento e abrigo e a fuga em caso de situações de risco – como a presença de um predador.

A maioria dos animais possui um tecido especializado na produção de movimentos: o tecido muscular, formado por células que apresentam capacidade de contração e relaxamento.

Entre as funções do tecido muscular estão a locomoção, a manutenção da postura e do equilíbrio, o trânsito de alimento ao longo do tubo digestório, o deslocamento de líquidos corporais – como o sangue e a linfa –, os movimentos respiratórios, o suporte de órgãos e até mesmo a manutenção da temperatura corpórea.

## Características gerais

O tecido muscular é formado por células alongadas – cilíndricas ou **fusiformes** –, denominadas **fibras musculares**. Essas células são especializadas na **contração**. Ao se contraírem, elas se tornam mais curtas e mais grossas. Inversamente, quando relaxam, se alongam, diminuindo em espessura e voltando ao comprimento anterior.

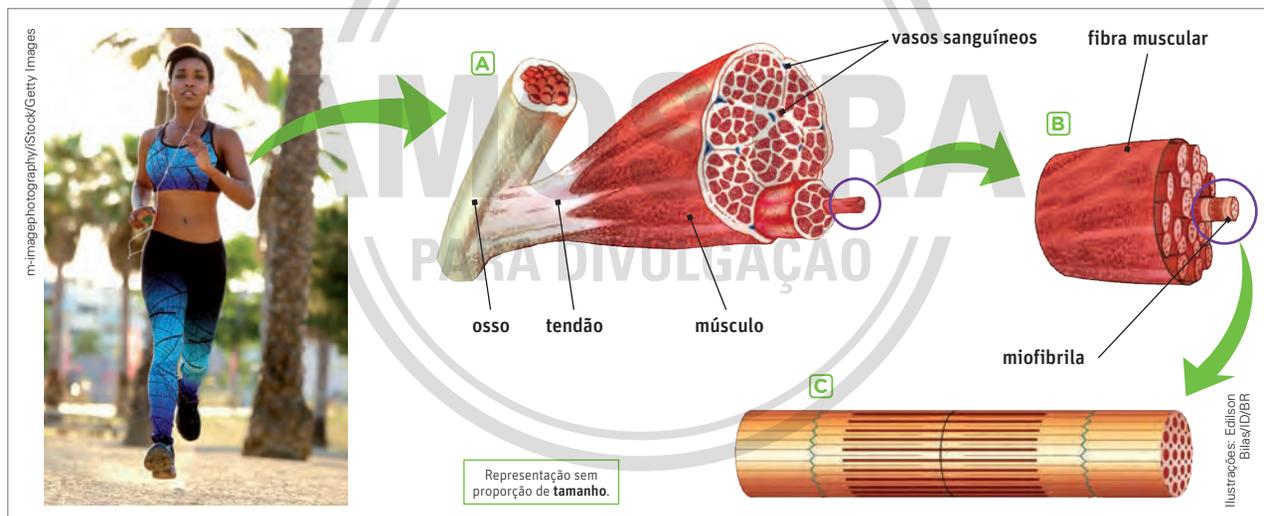
No citoplasma da célula muscular há uma quantidade variável de fibras menores, microscópicas, chamadas **miofibrilas**. Elas são constituídas fundamentalmente pelas proteínas filamentosas **actina** e **miosina**. Essas proteínas formam feixes paralelos, dispostos no sentido do comprimento da célula (imagem abaixo). A ação conjunta da actina e da miosina resulta no encurtamento da miofibrila e, conseqüentemente, da célula muscular como um todo. A energia para a realização do trabalho muscular é fornecida pelas mitocôndrias, geralmente abundantes nas fibras musculares.

As células musculares são altamente especializadas e diferenciadas. Por essa característica, alguns de seus componentes recebem denominação especial: a membrana celular é chamada de **sarcolema** (do grego *sarkós*, “carne”, e *lema*, “membrana”); o citosol é denominado **sarcoplasma**; e o retículo endoplasmático não granuloso recebe a denominação **retículo sarcoplasmático**.

**Fusiforme:** estrutura cuja espessura na parte central é maior do que nas extremidades.

Fonte de pesquisa: TORTORA, G. J.; DERRICKSON, B. *Corpo humano: fundamentos de anatomia e fisiologia*. 8. ed. Porto Alegre: Artmed, 2012. p. 187-188.

Representação da estrutura de um músculo presente no braço. Os músculos (A) são formados por células chamadas fibras musculares (B). No interior destas, encontram-se as miofibrilas (C), agrupadas em feixes paralelos, dispostos no sentido do comprimento da célula. Cores- fantasia.



## BIOLOGIA NO COTIDIANO

### Os exercícios físicos e os músculos

Sabe-se que a prática de exercícios físicos resulta em aumento da musculatura corporal. No entanto, como o músculo adquire força e resistência, tornando-se saliente e definido?

Vários fatores interferem no desenvolvimento muscular: idade, sexo, nutrição, tipo de atividade a que o músculo é submetido, além, é claro, do próprio músculo considerado.

Sabe-se, também, que as células musculares são formadas no período embrionário, durante a organogênese. Depois que o organismo é formado, os músculos não estriados podem produzir novas células, mas essa ca-

pacidade está ausente no músculo cardíaco e é mais limitada no músculo estriado esquelético (veja adiante neste capítulo).

O aumento da musculatura esquelética relacionado ao exercício físico não se deve ao aumento do número de células no músculo, mas principalmente à formação de novas miofibrilas e ao conseqüente aumento do diâmetro da fibra muscular. Assim, o músculo no todo se torna mais volumoso. Esse processo é denominado hipertrofia. Inversamente, o músculo que se torna inativo perde volume, pois as miofibrilas são reabsorvidas e as fibras musculares diminuem de diâmetro: é a atrofia do músculo.

## Tipos de tecido muscular

Os cientistas reconhecem a existência de três tipos distintos de tecido muscular. Os critérios usados nessa classificação incluem as características morfológicas e funcionais de cada tecido.

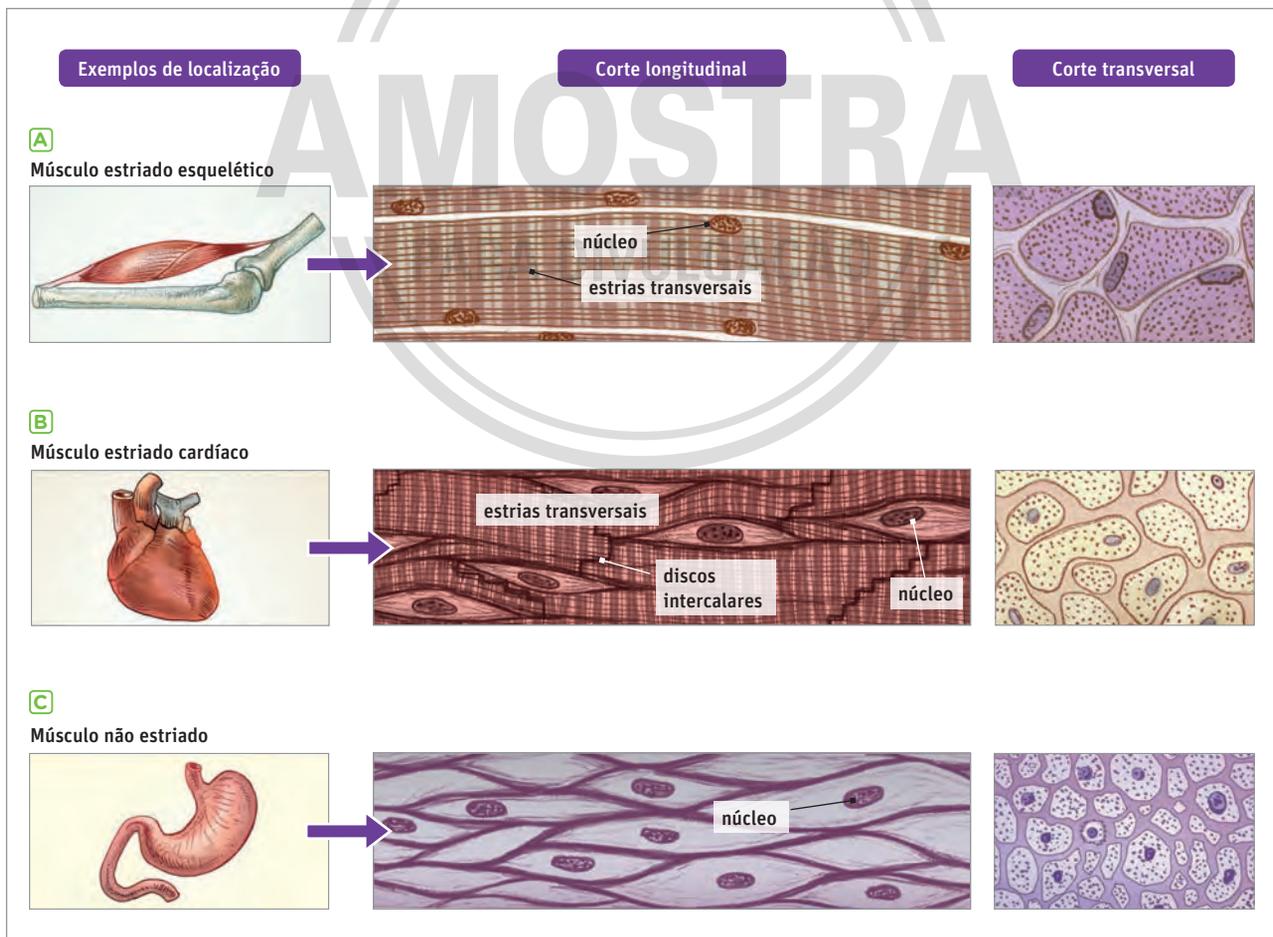
- **Tecido muscular estriado esquelético:** encontrado na musculatura presa aos ossos do corpo, apresenta estrias transversais facilmente visíveis ao microscópio de luz. Rápida e vigorosa, a contração da fibra está sujeita ao controle voluntário do organismo.
- **Tecido muscular estriado cardíaco:** encontrado apenas nas paredes do coração, também apresenta estrias transversais. Suas células são ramificadas e unidas pelos **discos intercalares**, estruturas existentes apenas no tecido muscular cardíaco. A contração da fibra cardíaca é rápida, vigorosa e ritmada, mas não está sujeita ao controle voluntário do organismo, ocorrendo de forma autônoma.
- **Tecido muscular não estriado ou liso:** encontrado em muitos locais do corpo, como nas paredes do tubo digestório e dos vasos sanguíneos, por exemplo. O tecido muscular não estriado se caracteriza pela ausência de estrias transversais. Sua contração é lenta e involuntária.

Acompanhe no quadro abaixo as características citadas dos três tipos de tecido muscular.

### ATIVIDADES

1. Uma contusão relativamente comum em atletas de alto rendimento é a distensão muscular. Nesse trauma, ocorrem rompimento das fibras musculares e formação localizada de edema (derrame de líquidos corporais, como linfa e sangue). O atleta deve permanecer em repouso para o sucesso da recuperação do músculo na área lesionada. Dependendo da extensão da lesão, o desempenho futuro do atleta pode ser comprometido pela perda de força e de potência muscular. Por que ocorreria perda de força muscular, mesmo após a completa cicatrização do músculo?

Representação sem proporção de tamanho.



Representação de características morfológicas fundamentais dos três tipos de tecido muscular: (A) tecido muscular estriado esquelético, presente, por exemplo, no bíceps, músculo do braço; (B) tecido muscular estriado cardíaco, presente no coração; (C) tecido muscular não estriado, presente, por exemplo, no estômago. Cores-fantasia.

Fonte de pesquisa: JUNQUEIRA, L. C.; CARNEIRO, J. *Histologia básica*. 12. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2013. p. 178.

## Tecido muscular estriado esquelético

O tecido muscular estriado esquelético é formado por fibras musculares muito alongadas, com diâmetro variando entre 10  $\mu\text{m}$  e 100  $\mu\text{m}$  e comprimento de até 40 cm. As fibras formam-se durante a vida embrionária pela fusão de células precursoras alongadas, os **mioblastos**, que se unem pelas extremidades, formando células extremamente longas. Após a fusão, o núcleo de cada mioblasto é mantido na fibra muscular. Por isso, além do tamanho relativamente grande, as células musculares esqueléticas diferenciam-se das demais células corporais por serem **multinucleadas**, com os núcleos localizados na periferia da célula, logo abaixo da membrana plasmática.

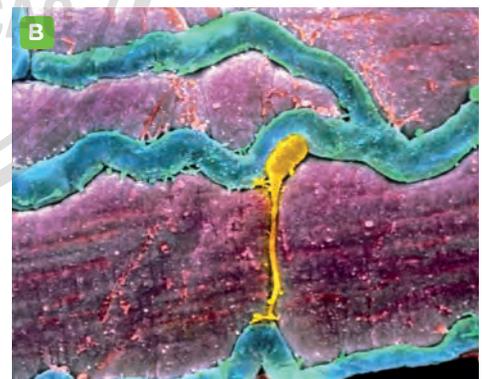
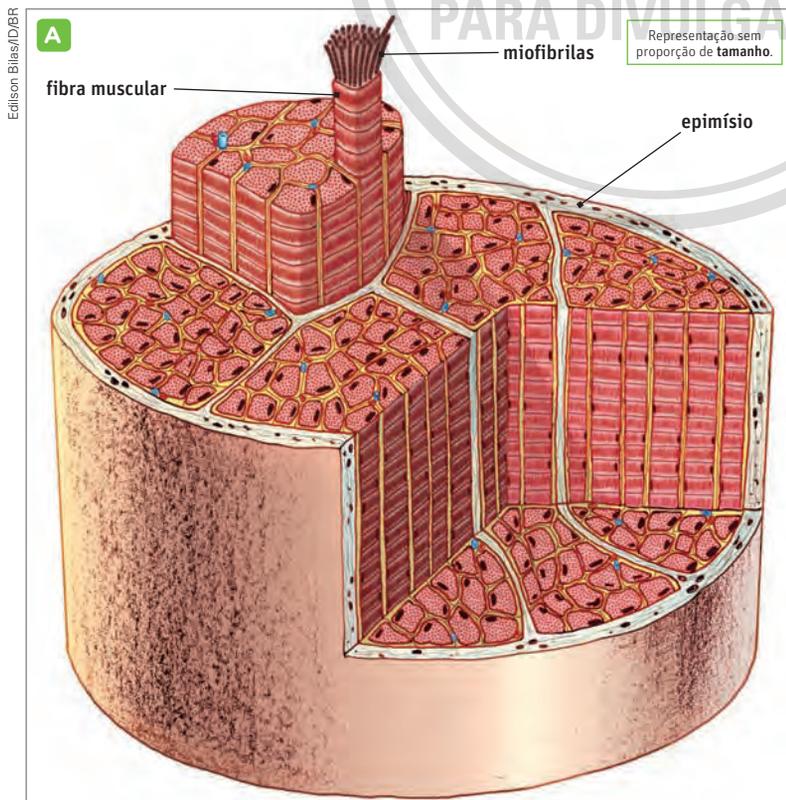
### Estrutura do músculo

Nos músculos esqueléticos, as células musculares estão alinhadas paralelamente entre si, formando feixes de fibras envolvidos por tecido conjuntivo. Um músculo é constituído por vários desses feixes de fibras. O músculo como um todo também é envolvido por uma camada de tecido conjuntivo rico em fibras colágenas, denominada **epimísio**. Nas extremidades do músculo, formam-se fortes bainhas de tecido conjuntivo denso, os **tendões**, que unem o músculo ao osso. O músculo, portanto, é formado por tecido muscular e tecido conjuntivo (imagem A).

Embora a força do trabalho muscular seja originada da contração das fibras musculares, as camadas de tecido conjuntivo são fundamentais para a **ação muscular** – elas envolvem o músculo como uma cápsula e mantêm as fibras e os feixes de fibras unidos. Assim, a força gerada pela contração de cada uma das fibras atua sobre o músculo como um todo. Além disso, o tecido conjuntivo serve de suporte para outras estruturas fundamentais para o funcionamento do músculo, como vasos sanguíneos e nervos.

Os vasos sanguíneos penetram no músculo usando as camadas de tecido conjuntivo como apoio. Uma extensa rede de capilares pode ser observada entre as fibras musculares, conduzindo o sangue com gás oxigênio e demais nutrientes necessários para o funcionamento das células musculares (imagem B). Vasos linfáticos também estão presentes nessas camadas de tecido conjuntivo.

Os nervos que se ligam aos músculos também se associam ao tecido conjuntivo. Através desses nervos chegam as ordens de comando que controlam a atividade muscular, como o número de fibras que devem contrair-se e o tempo que devem permanecer contraídas.



Uma porção de músculo estriado esquelético (violeta). Os vasos capilares aparecem em verde. Em amarelo pode-se ver um pericito, célula que atua na reparação de tecidos. (Foto ao microscópio eletrônico; imagem colorizada; aumento de cerca de 2 150 vezes.)

Representação da estrutura do músculo estriado esquelético. Cada célula, ou fibra muscular, contém inúmeras miofibrilas. Uma camada de tecido conjuntivo, o epimísio, envolve o músculo e penetra em sua estrutura, envolvendo feixes de fibras. Cores-fantasia.

Fonte de pesquisa: JUNQUEIRA, L. C.; CARNEIRO, J. *Histologia básica*. 12. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2013. p. 179.

## Estrutura da fibra muscular esquelética

Internamente, cada fibra muscular esquelética é formada por várias **miofibrilas**, que medem entre 1 µm e 2 µm de espessura. Elas são constituídas por numerosos **sarcômeros** – unidades funcionais contráteis – dispostos em sequência.

Um sarcômero pode ser descrito como um pacote de filamentos compostos de diferentes tipos de proteína: a **actina** associada à troponina e à tropomiosina forma os **filamentos delgados**; estes se intercalam com os **filamentos espessos**, compostos de **miosina**. Observe a imagem **A**: as regiões do sarcômero em que ocorre sobreposição dos filamentos aparecem mais escuras (bandas A), e as regiões onde não há sobreposição aparecem mais claras (bandas I). Na região mediana da banda A existe a zona H, onde só ocorrem filamentos espessos. As bandas I são atravessadas pelas linhas Z, às quais se prendem os filamentos de actina. Cada sarcômero, com cerca de 2,5 µm de comprimento, é delimitado por duas linhas Z.

A membrana plasmática da célula muscular (sarcolema) apresenta, repetidamente, dobras para dentro da célula, formando tubos transversais às miofibrilas – o **sistema T**. As miofibrilas são envoltas pelo retículo sarcoplasmático, especializado no armazenamento de íons cálcio ( $Ca^{2+}$ ).

## Contração muscular

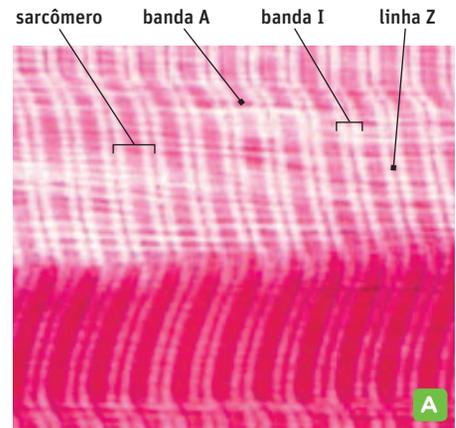
No músculo em repouso, os sarcômeros apresentam sobreposição parcial dos filamentos espessos e delgados, mas estes não interagem entre si. Durante a contração, ocorre diminuição do comprimento do sarcômero, com aproximação das linhas Z e desaparecimento momentâneo da zona H (imagem **B**). Essa contração gera trabalho mecânico.

A contração muscular se inicia quando um impulso nervoso chega ao músculo. O impulso promove uma alteração na permeabilidade das membranas das fibras musculares e dos retículos sarcoplasmáticos, causando liberação dos íons  $Ca^{2+}$  armazenados no retículo.

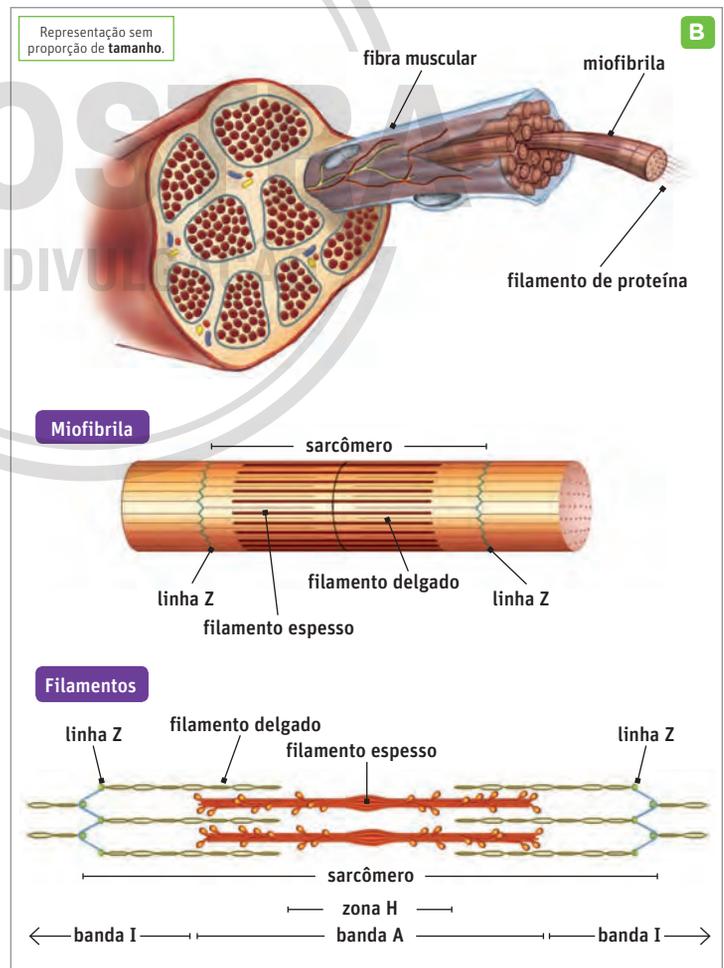
Os íons  $Ca^{2+}$  favorecem a ligação entre a actina e a miosina. Dessa interação resulta um deslizamento e superposição entre elas e, conseqüentemente, a contração do sarcômero. A união entre a actina e a miosina ocorre ao mesmo tempo em que uma molécula de ATP se decompõe em ADP e  $P_i$ , liberando energia para a contração.

Os túbulos do sistema T permitem que o sinal da alteração na permeabilidade da membrana atinja todo o calibre da célula, contribuindo para que haja uma contração coordenada e homogênea das miofibrilas, mesmo as mais profundas.

Quando o impulso nervoso cessa, os íons  $Ca^{2+}$  são reconduzidos para o interior do retículo sarcoplasmático. Na ausência de  $Ca^{2+}$ , as ligações actina-miosina se desfazem, e o sarcômero e o músculo relaxam.



Corte longitudinal de músculo esquelético. As bandas A são as mais escuras. As bandas I, mais claras, contêm as linhas Z, mais finas e escuras. Nesse aumento (de cerca de 200 vezes), a banda H não é visível. (Foto ao microscópio de luz; imagem colorizada.)



Esquema da estrutura da miofibrila e de um sarcômero. Cores-fantasia.

Fonte de pesquisa: JUNQUEIRA, L. C.; CARNEIRO, J. *Histologia básica*. 12. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2013. p. 184.

## Tipos de fibras em músculos estriados esqueléticos

Os músculos estriados esqueléticos apresentam dois tipos de fibras, que diferem em composição e propriedades. As fibras do **tipo I**, ou **fibras vermelhas**, são ricas em sarcoplasma, que contém **mioglobina**, uma proteína similar à hemoglobina e que também serve como depósito de oxigênio. Essas fibras são capazes de manter a contração por períodos mais longos que as fibras do **tipo II**, ou **fibras brancas** – que contêm pouca mioglobina e apresentam contração mais rápida e vigorosa. A proporção entre fibras brancas e vermelhas pode variar de um músculo para outro. Músculos que executam atividades prolongadas, como a caminhada, são ricos em fibras vermelhas, enquanto músculos utilizados em atividades em que é necessária muita força, como o salto, são ricos em fibras brancas.

## Tecido muscular estriado cardíaco

Em alguns aspectos, a fibra muscular cardíaca é similar à fibra muscular esquelética: elas têm estriações transversais, e em ambas estão presentes os envoltórios de tecido conjuntivo, ricamente vascularizados. A estrutura e a função das proteínas responsáveis pelo mecanismo de contração da fibra muscular cardíaca são equivalentes às descritas para o músculo esquelético. O músculo cardíaco, porém, possui muitas características específicas.

Suas fibras medem aproximadamente 15  $\mu\text{m}$  de diâmetro, e entre 85  $\mu\text{m}$  e 100  $\mu\text{m}$  de comprimento. Elas apresentam um ou dois núcleos, localizados no centro da célula.

A célula muscular cardíaca apresenta uma grande quantidade de mitocôndrias: aproximadamente 40% do volume citoplasmático é ocupado por essas organelas (imagem A), contra apenas 2% no músculo esquelético.

O retículo sarcoplasmático é menos desenvolvido quando comparado com as fibras esqueléticas.

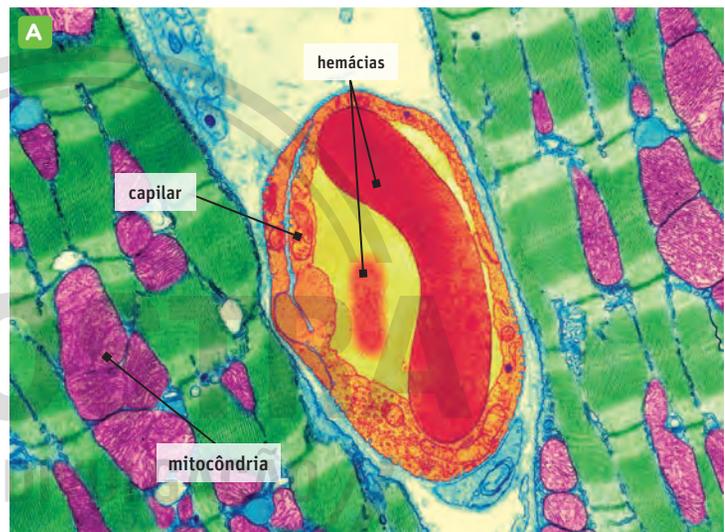
As fibras do músculo cardíaco são unidas umas às outras pelos **discos intercalares** (imagem B). Nessas regiões, ocorrem três tipos de especializações da membrana: desmossomos, zônulas de adesão e junções comunicantes.

Os **desmossomos** unem firmemente as células cardíacas umas às outras. As **zônulas de adesão** ancoram os filamentos de actina nos sarcômeros que se encontram no limite entre células vizinhas. Essa união física entre as células contribui para a eficiência da contração do músculo cardíaco como um todo. As **junções comunicantes** permitem a passagem de íons entre as células, fenômeno que está associado à propagação do impulso nervoso. A passagem desses íons entre células vizinhas contribui para a contração conjunta das fibras.

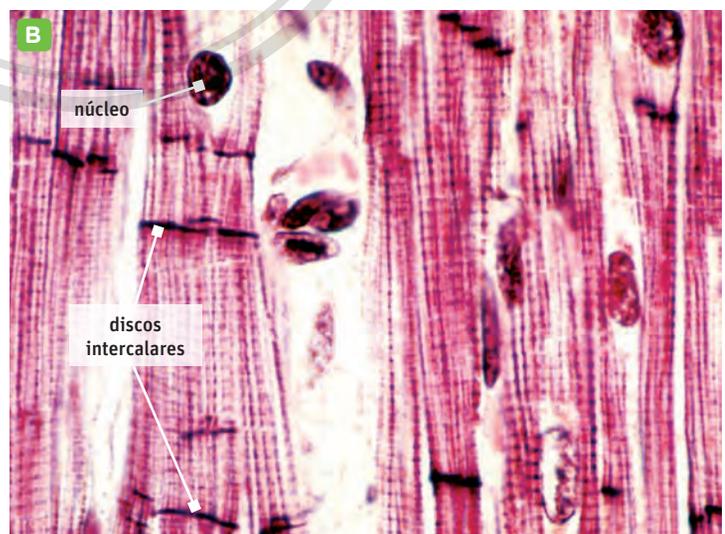
### ATIVIDADES

2. Uma ocorrência relativamente comum em praticantes de atividades esportivas é o aparecimento de dores musculares conhecidas como câimbras.

Converse com seu professor de Educação Física, ou faça uma pesquisa em livros e na internet, e indique algumas das explicações que têm sido oferecidas para o surgimento das câimbras.



Science Photo Library/Latinstock



Science Photo Library/Latinstock

(A) Tecido muscular cardíaco. As mitocôndrias (rosa) fornecem energia para a contração das miofibrilas (verde). O suprimento de gás oxigênio vem de vasos capilares (ao centro da imagem). (Foto ao microscópio eletrônico de transmissão; imagem colorizada; aumento de cerca de 3 600 vezes.)

(B) Músculo cardíaco. Note a presença dos discos intercalares. (Foto ao microscópio de luz; uso de corantes; aumento de cerca de 600 vezes.)

## Tecido muscular não estriado

O tecido muscular não estriado é formado por células fusiformes (imagens A e B).

O tamanho dessas células pode ser bastante variável, dependendo do órgão em que se encontram. Por exemplo, nas paredes de vasos sanguíneos elas atingem até 20 µm, mas no útero de uma mulher grávida podem atingir até 500 µm (cerca de meio milímetro).

As células da musculatura não estriada permanecem aderidas umas às outras por uma extensa rede de **fibras reticulares**. Do mesmo modo que nos outros tipos de tecido muscular, a coesão entre as células faz com que a contração em algumas delas seja transmitida a todo o conjunto.

### Contração do músculo não estriado

A ausência de estrias na musculatura não estriada deve-se ao modo de organização dos filamentos de actina e miosina: nas fibras musculares não estriadas não se observam sarcômeros.

A contração do músculo não estriado também depende da disponibilidade de íons  $\text{Ca}^{2+}$ , porém estes não estão armazenados no sarcoplasma, e sim no meio extracelular.

A presença de íons  $\text{Ca}^{2+}$  desencadeia uma série de fenômenos que levam à distensão das moléculas de miosina e à combinação entre a actina e o ATP. Ocorre, então, o deslizamento dos filamentos de actina e miosina uns sobre os outros, como observado nos demais tecidos musculares.

Os filamentos de actina e miosina ligam-se a proteínas filamentosas do citoesqueleto, e estas se unem entre si e com a membrana plasmática por intermédio de estruturas denominadas **corpos densos** (imagem C). O resultado do encurtamento dos filamentos de actina e miosina é o encurtamento da célula.

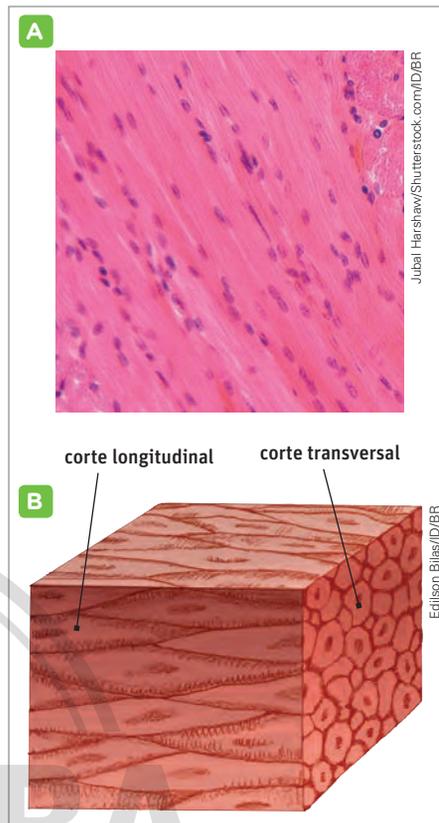
## Regeneração do tecido muscular

Os três tipos de tecido muscular reagem de forma diferente a lesões.

O músculo cardíaco não se regenera – caso ele sofra uma lesão, a porção do órgão que perdeu a função é invadida por tecido conjuntivo, formando uma cicatriz.

O tecido muscular esquelético apresenta uma reduzida capacidade de regeneração. Fibras musculares mortas, em geral, não são substituídas, levando à diminuição da potência do músculo de acordo com a gravidade da lesão. Entretanto, algumas células associadas às camadas de tecido conjuntivo que penetram no músculo são consideradas mioblastos dormentes. Quando o músculo sofre lesão, ou faz exercício intenso, essas células podem entrar em atividade e se transformar em novas células musculares.

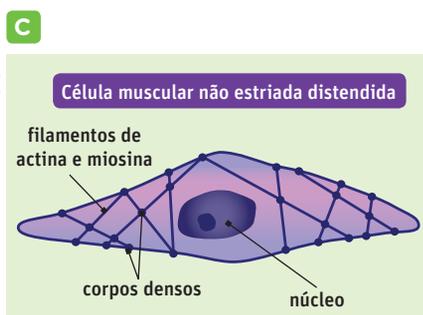
O músculo não estriado é o que apresenta maior capacidade de recomposição, pois suas células mantêm a capacidade de entrar em mitose.



(A) Tecido muscular não estriado, em corte longitudinal. (Foto ao microscópio de luz; uso de corantes; aumento de cerca de 320 vezes.)

(B) Esquema tridimensional de músculo não estriado. Cores-fantasia.

Fonte de pesquisa: JUNQUEIRA, L. C.; CARNEIRO, J. *Histologia básica*. 12. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2013. p. 196.



Representação sem proporção de tamanho.

Esquema de contração de célula muscular não estriada. Note que o núcleo se deforma durante a contração. Cores-fantasia.

Fonte de pesquisa: JUNQUEIRA, L. C.; CARNEIRO, J. *Histologia básica*. 12. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2013. p. 197.

# Práticas de Biologia

## Avaliando a força muscular

### Objetivos

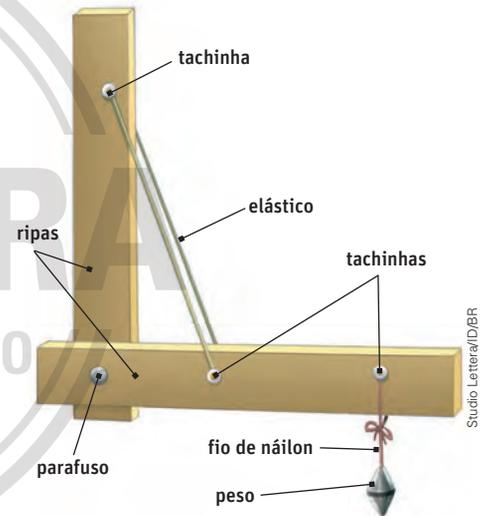
Compreender a ação muscular por meio de um modelo do braço humano. Simular a variação do número de fibras envolvidas em um trabalho muscular.

### Material

- 2 ripas de madeira medindo aproximadamente 3 cm × 30 cm. Cada ripa deve ter um furo a cerca de 2 cm de uma das extremidades, de tamanho suficiente para se inserir nele o pino de um parafuso.
- 1 parafuso com a respectiva porca, cujo pino possa atravessar o furo das ripas
- tachinhas e elásticos de látex
- fio de náilon e pesos de metal (do tipo usado para pesca, ou porcas e arruelas)

### Procedimento

1. Una as duas ripas usando o parafuso. Atarraxe a porca no parafuso sem apertá-la muito, deixando espaço para que as ripas se articulem livremente.
2. Fixe uma tachinha em cada ripa, a 5 cm da extremidade oposta à do parafuso.
3. Fixe uma tachinha, em uma das ripas, próxima à porca. Ela deve ser colocada a 5 cm de distância da articulação. Essa ripa deve ficar na posição horizontal.
4. Prenda um elástico na tachinha da ripa vertical e na tachinha próxima ao parafuso na ripa horizontal. O braço articulado está montado.
5. Na tachinha localizada na extremidade da ripa horizontal, prenda o fio de náilon e vá amarrando pesos, até que as ripas fiquem num ângulo de 90 graus.
6. Coloque mais um elástico junto ao primeiro e repita o procedimento, adicionando mais pesos até se formar novamente o ângulo de 90 graus. Você pode repetir essa etapa mais algumas vezes, acrescentando mais elásticos e pesos, até que o ângulo de 90 graus se forme.



Representação do modelo montado.

### Resultados

1. Copie a tabela abaixo em seu caderno e anote os resultados obtidos em cada situação (acrescente linhas à tabela, se necessário).

Número de elásticos	Quantidade de pesos
1 elástico	
2 elásticos	

### Discussão

1. Em quais situações o braço sustenta mais peso? Com mais ou menos elásticos?
2. Faça uma comparação entre o modelo de braço articulado e um sistema articulado corporal, como o braço humano. Os componentes do modelo correspondem a quais órgãos do corpo humano?
3. Ao acrescentar mais elásticos ao modelo, qual situação é simulada?

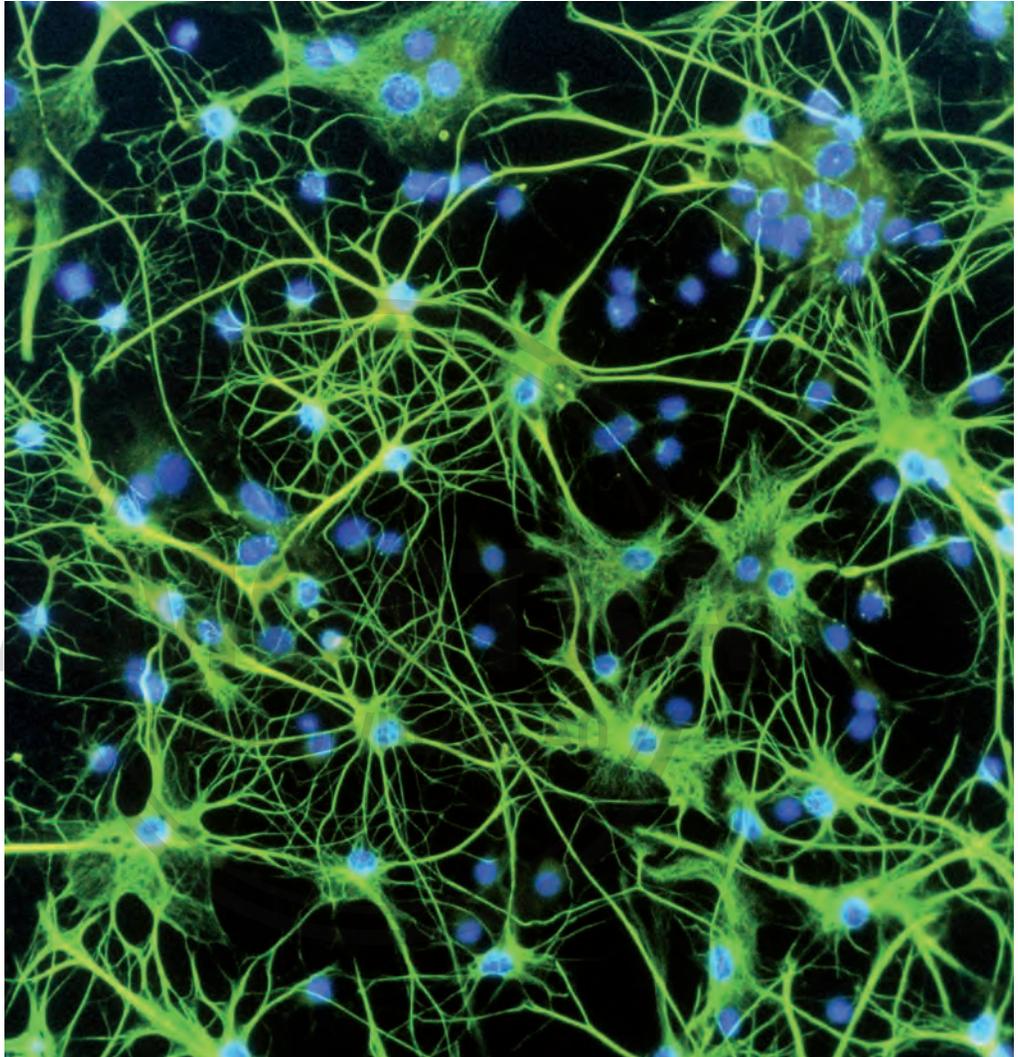
# Tecido nervoso

## O QUE VOCÊ VAI ESTUDAR

As características gerais do tecido nervoso.

Mecanismos de produção e condução de um impulso nervoso.

Ação de neurotransmissores.



Nancy Kedersha/SP/Latinstock

Astrócitos colorizados com a técnica de imunofluorescência. Pode-se ver o citoplasma (verde) e o núcleo (azul). Núcleos de outros tipos celulares, também em azul, podem ser vistos dispersos. Os astrócitos são células do tecido nervoso que conferem nutrição aos neurônios. (Foto ao microscópio de luz; aumento de cerca de 360 vezes.)

O sistema nervoso tem importância fundamental para o organismo, pois coordena as funções de estruturas como músculos e glândulas. Além disso, é no encéfalo, uma das principais regiões do sistema nervoso, que se processam informações que compõem a memória e as emoções.

O principal tecido do sistema nervoso é o tecido nervoso. Ele ainda é cercado de mistérios, mas os cientistas já dispõem de informações muito interessantes.

Sabe-se, por exemplo, que uma boa noite de sono após um dia de aula é essencial para fixar o aprendizado e que a qualidade da alimentação afeta tanto o temperamento quanto a memória.

Neste capítulo conheceremos a estrutura e o funcionamento do tecido nervoso.

## Características gerais do tecido nervoso

O tecido nervoso é o principal constituinte do sistema nervoso (SN). O sistema nervoso tem a capacidade de captar, transmitir e integrar informações de todas as regiões do corpo. Ele controla, por exemplo, funções como digestão, respiração, reprodução e excreção. Como isso é possível?

As células nervosas, também denominadas **neurônios**, são excitáveis, ou seja, capazes de captar informações dos meios externo e interno e responder a elas por meio de sinais elétricos chamados de **impulsos nervosos**. Os impulsos nervosos podem ser transmitidos a outros neurônios ou levar informações a músculos ou glândulas, por exemplo.

### O sistema nervoso humano

O sistema nervoso dos vertebrados, incluindo o dos seres humanos, é dividido em duas partes: o **sistema nervoso central (SNC)** e o **sistema nervoso periférico (SNP)**.

O SNC humano (imagem A), constituído pelo **encéfalo** e pela **medula espinal**, integra e processa as informações que o restante do organismo envia ou recebe. Ele também é responsável pela elaboração de pensamentos, memórias e emoções.

O SNP é formado por **nervos** e **gânglios**, cuja função é conduzir informações entre o SNC e o resto do corpo.

### Neurônios

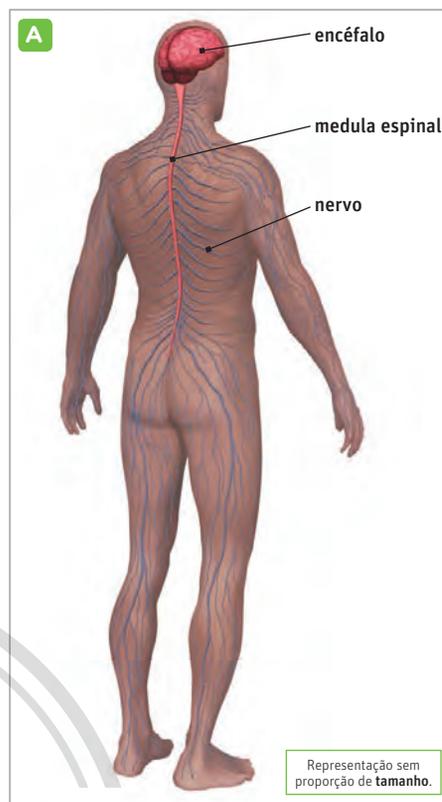
Neurônios são células especializadas em receber e transmitir estímulos e que contam com uma capacidade de regeneração muito limitada. Eles apresentam três partes básicas (imagem B):

- **Corpo celular:** é a região onde se encontram o núcleo e a maioria das organelas citoplasmáticas.
- **Dendritos:** são ramificações curtas e geralmente numerosas que emergem do corpo celular. Os dendritos recebem informações vindas de outros neurônios ou de células sensoriais e as transmitem ao corpo celular.
- **Axônios:** são prolongamentos citoplasmáticos que podem atingir diversos tamanhos – chegam a vários metros de comprimento em certos animais. O axônio conduz informações do corpo celular em direção a outros neurônios ou diferentes tipos de células, como fibras musculares. O impulso nervoso sempre se propaga no sentido do corpo celular para o axônio.

### Tipos de neurônio

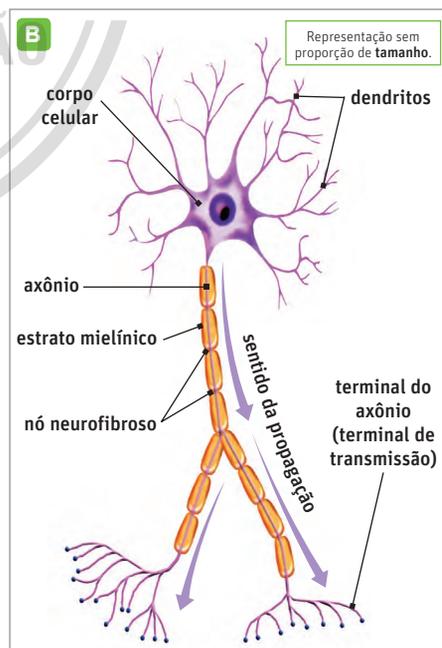
Os neurônios podem ser classificados, de acordo com a função que exercem, em três tipos básicos:

- **Aferentes** ou **sensoriais:** recebem informações vindas do ambiente ou do próprio organismo e as transmitem ao SNC.
- **Eferentes** ou **motores:** transmitem informações do SNC para estruturas efetoras ou motoras, ou seja, que realizarão uma ação determinada. Glândulas e músculos são exemplos de órgãos efetores.
- **Associativos** ou **interneurônios:** são encontrados no encéfalo e na medula espinal e fazem conexão entre neurônios.



Representação do sistema nervoso humano. Cores-fantasia.

Fonte de pesquisa: PUTZ, R.; PABST, R. (Ed.). *Sobotta: atlas de anatomia humana*. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2008. v. 1. p. 24.



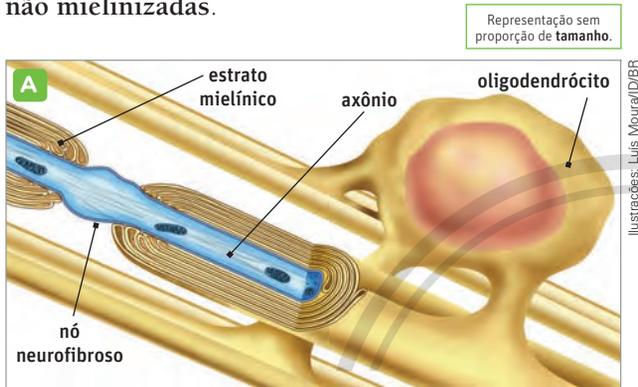
Esquema das estruturas que fazem parte de um neurônio. Na maioria dos neurônios, o axônio é revestido por uma capa de lipídios e proteínas chamada estrato mielínico. Cores-fantasia.

Fonte de pesquisa: TORTORA, G. J.; GRABOWSKI, S. R. *Corpo humano: fundamentos de anatomia e fisiologia*. 8. ed. Porto Alegre: Artmed, 2012. p. 151.

## Fibras nervosas

Fibras nervosas são axônios circundados por bainhas envoltórias. Na maioria dos neurônios dos vertebrados, o axônio está circundado pelo **estrato mielínico** ou bainha de mielina, composto de lipídios e proteínas. Essas substâncias atuam como um isolante elétrico, uma vez que impedem o fluxo de cargas elétricas.

O estrato mielínico é produzido pelos **oligodendrócitos** e pelas células de Schwann e forma várias camadas em volta do axônio (imagem A). Axônios que têm esse estrato são chamados de **fibras mielinizadas**, e aqueles que não o apresentam são denominados **fibras não mielinizadas**.

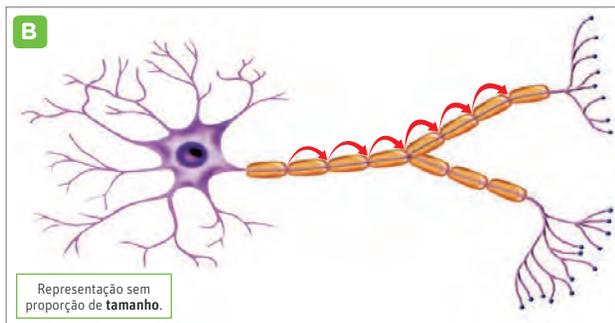


Esquema de um axônio envolvido por estrato mielínico. Em destaque, um oligodendrócito. Cores-fantasia.

Fonte de pesquisa: JUNQUEIRA, L. C.; CARNEIRO, J. *Histologia básica*. 12. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2013. p. 160.

## Condução saltatória

Nas fibras mielinizadas, existem interrupções do estrato mielínico em determinados pontos, denominados **nós neurofibrosos**. Nessas fibras, o impulso se propaga por meio de saltos apenas nesses nós, já que a bainha de mielina é um isolante elétrico (imagem B). Esse tipo de propagação é chamado de **condução saltatória**, o que torna a velocidade do impulso alta, resultando em rápida condução. Nas fibras não mielinizadas, o impulso nervoso propaga-se muito mais lentamente ao longo do axônio.



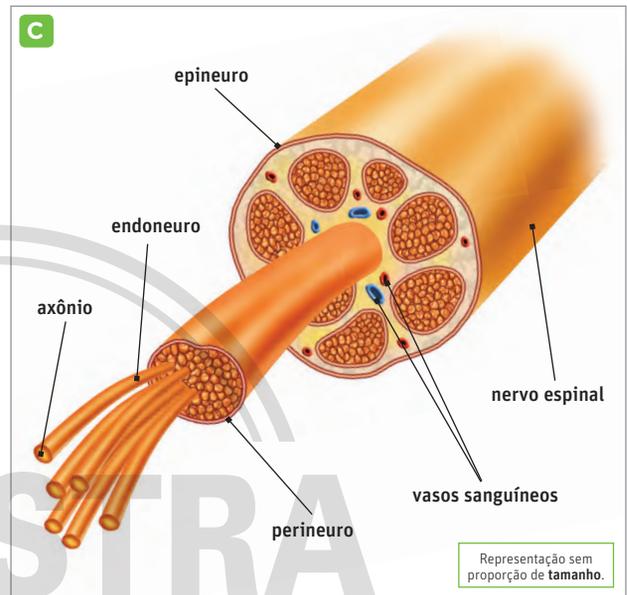
Esquema de condução saltatória em uma fibra mielinizada. As setas em vermelho representam a condução saltatória. Cores-fantasia.

Fonte de pesquisa: REECE, J. B. et al. *Campbell Biology*. 10. ed. [S. l.]: Pearson, 2011. p. 1071.

## Nervos

Um **nervo** é um conjunto de feixes de fibras nervosas que funciona como via de comunicação entre o SNC e as estruturas sensoriais (órgãos dos sentidos e células sensoriais) e efetoras.

Todo nervo tem três camadas de tecido conjuntivo que protegem os axônios: o **endoneuro** reveste cada um dos axônios; o **perineuro** reveste os feixes de axônios; e o **epineuro** reveste o nervo inteiro (imagem C).



Esquema da estrutura de um nervo. Cores-fantasia.

Fonte de pesquisa: TORTORA, G. J.; GRABOWSKI, S. R. *Corpo humano: fundamentos de anatomia e fisiologia*. 8. ed. Porto Alegre: Artmed, 2012. p. 259.

## Tipos de nervos

O SNP atua na comunicação entre o SNC e as estruturas sensoriais e efetoras.

Os **nervos sensitivos**, que só têm fibras sensoriais, transmitem informações do meio externo e do interior do corpo para o SNC.

Existem nervos que apresentam apenas fibras motoras, sendo, portanto, chamados de **nervos motores**. Eles conduzem dados do SNC para os órgãos efetores.

Existem, ainda, nervos chamados de **mistos**, pois apresentam tanto fibras sensitivas quanto motoras e cumprem o papel desses dois tipos de nervos.

### ATIVIDADES

1. Em algumas espécies animais, o estrato mielínico não está completamente formado quando o filhote acaba de nascer. Nessas mesmas espécies, o filhote demora um certo período para se apoiar nas pernas.

Há relação entre essas duas situações? Explique.

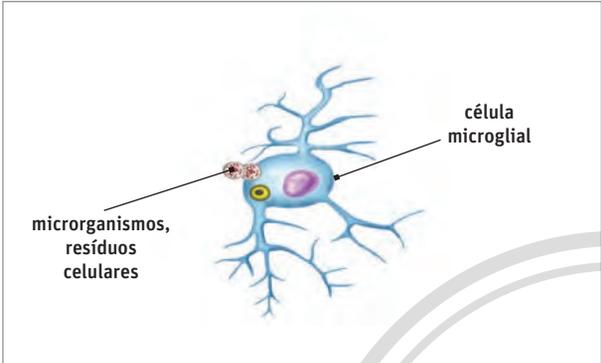
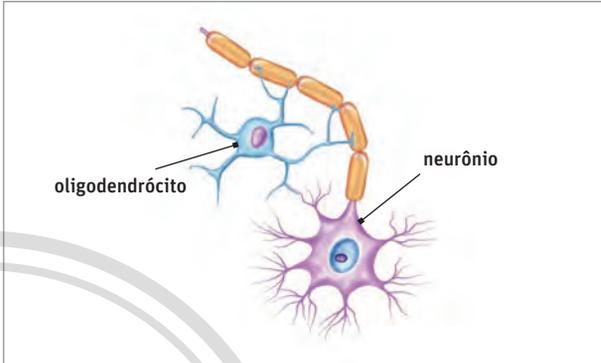
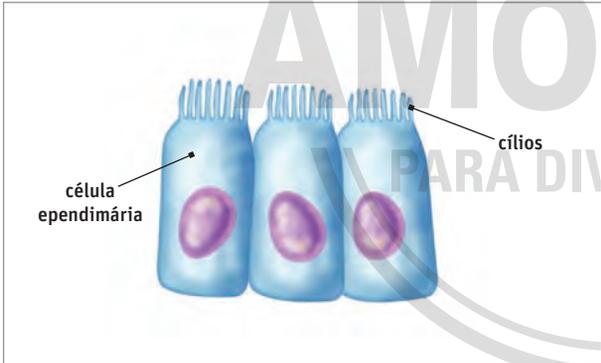
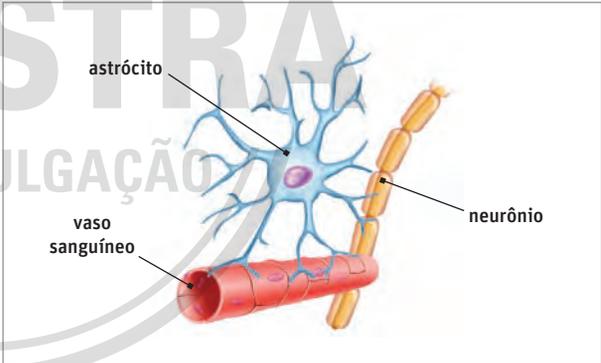
## Gliócitos

Os gliócitos, ou **células da glia**, são menores que os neurônios. Embora não produzam impulsos nervosos, os gliócitos são importantes para sustentar, nutrir, proteger e isolar eletricamente os neurônios.

No SNC, as células da glia são classificadas, de acordo com sua função e localização, em **microgliócitos**, **oligodendrócitos**, **células endodimárias** e **astrócitos**. Veja o quadro abaixo.

**Tipos de células da glia**

Representação sem proporção de tamanho.

<p style="text-align: center;"><b>Microgliócitos ou micróglia</b></p>  <p style="text-align: center;"><b>São produzidos na medula óssea e atuam na defesa dos neurônios, englobando microrganismos e restos de células mortas. Cores-fantasia.</b></p>	<p style="text-align: center;"><b>Oligodendrócitos</b></p>  <p style="text-align: center;"><b>Formam uma rede de sustentação em torno dos neurônios e produzem o estrato mielínico dos axônios. Cores-fantasia.</b></p>
<p style="text-align: center;"><b>Ependimárias</b></p>  <p style="text-align: center;"><b>Essas células revestem as cavidades do SNC, produzem o líquido cefalorraquidiano e auxiliam em sua circulação. Esse líquido atua na nutrição e no amortecimento do SNC, protegendo-o em caso de movimentos súbitos. Cores-fantasia.</b></p>	<p style="text-align: center;"><b>Astrócitos</b></p>  <p style="text-align: center;"><b>Essas células ajudam a manter as condições químicas ideais para a produção de impulsos nervosos, nutrem os neurônios e os auxiliam na migração que ocorre durante o desenvolvimento do encéfalo. Cores-fantasia.</b></p>

Fonte de pesquisa: TORTORA, G. J.; GRABOWSKI, S. R. *Corpo humano: fundamentos de anatomia e fisiologia*. 8. ed. Porto Alegre: Artmed, 2012. p. 242.

### SAIBA MAIS

#### Esclerose lateral amiotrófica, uma doença degenerativa

A esclerose lateral amiotrófica (ELA) é uma doença degenerativa que se caracteriza pela morte gradual dos neurônios motores. A destruição dessas células nervosas ocasiona retardamento e prejuízo na condução dos impulsos nervosos. Como consequência, são afetadas as atividades da musculatura motora das regiões da cabeça, do pescoço, do tórax, dos braços e das pernas.

Em estágios mais avançados da doença, o paciente perde a capacidade de locomover-se, movimentar os braços, falar, alimentar-se e respirar. Os fatores que levam ao desenvolvimento da doença ainda não são inteiramente compreendidos, mas cientistas verificaram que uma deficiência na produção de uma enzima produzida por astrócitos e neurônios pode resultar em processos inflamatórios e na morte de neurônios.

## Impulso nervoso

Impulso nervoso é a propagação de um sinal elétrico ao longo de um neurônio. Para entender como o impulso nervoso se origina e se propaga, é necessário compreender o funcionamento dessa célula.

Nos neurônios há maior concentração de íons de potássio ( $K^+$ ) no meio interno e maior concentração de íons de sódio ( $Na^+$ ) no meio externo. Portanto, há uma tendência de os íons  $Na^+$  se difundirem para o interior da célula, e os íons  $K^+$  para o exterior.

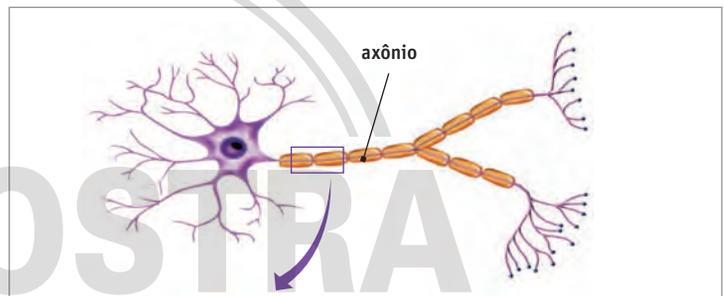
Essa diferença de concentração, chamada de **gradiente químico** ou **gradiente de concentração**, só é mantida graças à ação da bomba sódio-potássio-ATPase, uma estrutura da membrana plasmática do neurônio que “bombeia” (empurra) os íons  $K^+$  para dentro do neurônio e os íons  $Na^+$  para fora dele (ver capítulo 5).

Graças à presença de íons, há tanto cargas elétricas positivas quanto negativas nos meios externo e interno do neurônio. Quando ele se encontra em repouso, ou seja, quando não recebe estímulo ou impulso elétrico, o lado interno da membrana plasmática apresenta maior concentração de cargas negativas, e o lado externo, maior concentração de cargas positivas. Portanto, entre os dois lados da membrana plasmática do neurônio existe uma diferença de cargas, gerando uma diferença de potencial elétrico equivalente a 270 mV (milivolts). Essa diferença de potencial é conhecida como **potencial de repouso** da membrana.

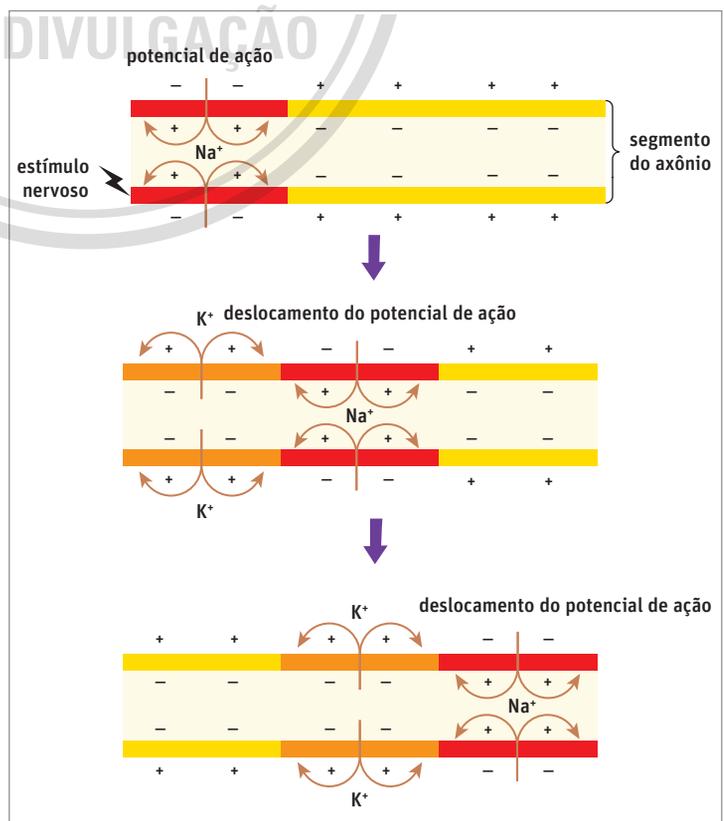
Observe o esquema abaixo: quando o neurônio recebe um estímulo capaz de ocasionar uma alteração elétrica na membrana do axônio, ocorre a **despolarização**, resultado da inversão momentânea das cargas elétricas.

Assim, em uma fração de milésimos de segundo, em uma pequena região da membrana, a concentração de cargas positivas torna-se maior no meio intracelular do que no meio extracelular. Mas, após esse curto intervalo, a membrana volta à situação de repouso, ao que se dá o nome de **repolarização**.

Quando o estímulo recebido pelo neurônio é pequeno, os fenômenos da despolarização e da repolarização não se propagam ao longo da membrana. Porém, quando o estímulo tem intensidade suficiente para provocar uma alteração na diferença de potencial transmembrana (entre o meio externo e o interno), atinge-se um limiar de excitação que desencadeia um **potencial de ação**, capaz de despolarizar e repolarizar partes da membrana do axônio sucessivamente, ocasionando a propagação do **impulso nervoso**.



Luis Moura/ID/BR



Alex Argizino/ID/BR

Representação sem proporção de tamanho.

Esquema da despolarização (em vermelho) e repolarização (em laranja) da membrana plasmática de um neurônio. A parte em amarelo indica o setor em repouso do axônio.

Fonte de pesquisa: REECE, J. B. et al. *Campbell Biology*. 10. ed. [S. l.]: Pearson, 2011. p. 1069.

## Sinapses

As sinapses são as regiões em que o impulso nervoso é conduzido de um neurônio para outra célula.

A **sinapse nervosa** ocorre entre dois neurônios. Quando a sinapse ocorre entre um neurônio e uma célula muscular, ela é chamada **sinapse neuromuscular**.

As sinapses nervosas podem ocorrer por meio de contatos entre axônios e dendritos, axônios e corpo celular, entre dois axônios, entre dendritos e entre dendritos e corpo celular.

No sistema nervoso há uma complexa rede de neurônios interligados por sinapses – um único neurônio pode estabelecer mais de mil sinapses com diversos neurônios diferentes.

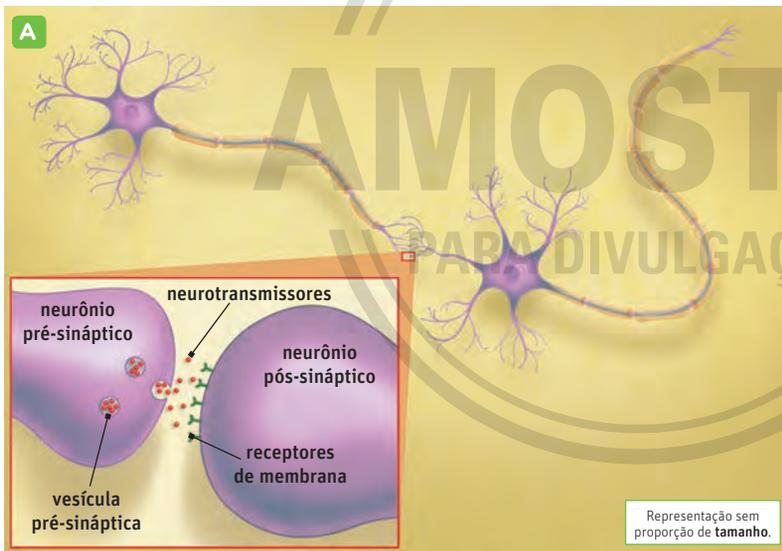
O tipo de sinapse mais comum nos vertebrados é a sinapse química. Nela, não há contato físico entre as membranas das células, mas sim um estreito espaço entre elas, chamado fenda sináptica. Nessa fenda, atuam moléculas denominadas **neurotransmissores**, os quais são, em geral, sintetizados por neurônios.

Cada um dos dois neurônios envolvidos na sinapse pode ser classificado em pré-sináptico ou pós-sináptico. O neurônio pré-sináptico libera o neurotransmissor na fenda. Este é captado pelo neurônio pós-sináptico, inibindo ou estimulando a propagação do impulso nervoso.

## LOGO BIOLÓGICA E FÍSICA

### A velocidade de um impulso nervoso

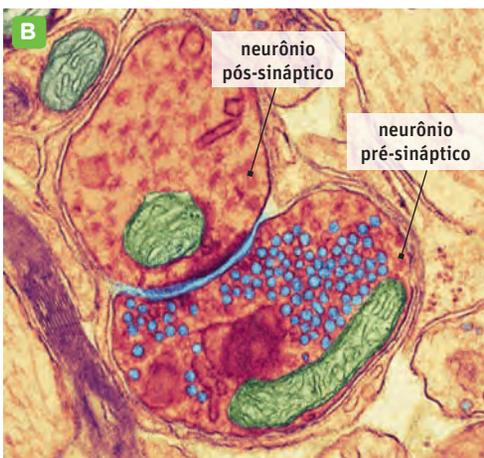
A velocidade de um impulso nervoso pode ser calculada dividindo-se a distância percorrida por um potencial de ação pelo tempo gasto para percorrê-la. A distância entre a ponta do pé e a base da medula espinal de um adulto pode ser estimada em 1 metro. O tempo médio para percorrer essa distância é 0,01 segundo, portanto a velocidade ( $v = 1/0,01$ ) do impulso é 100 m/s. Se a velocidade for expressa em km/h, o valor será igual a aproximadamente 370 km/h, velocidade maior que a de um carro de Fórmula 1!



Fabio Eugenio/D/BR

Esquema de sinapse. Cores-fantasia.

Fonte de pesquisa: REECE, J. B. et al. *Campbell Biology*. 10. ed. [S. l.]: Pearson, 2011. p. 1062.



Sinapse entre dois neurônios no cérebro. A célula inferior é a pré-sináptica, e a superior é a pós-sináptica. Observe as mitocôndrias (em verde) e as vesículas sinápticas (em azul). (Foto ao microscópio eletrônico de transmissão; imagem colorizada; aumento de cerca de 32 mil vezes.)

### ATIVIDADES

- Além de indicar o local de transmissão de um impulso nervoso, o termo “sinapse” também é utilizado para se referir ao emparelhamento de cromossomos homólogos durante a meiose.

Explique o que há em comum nessas duas situações para que sejam chamadas pelo mesmo termo.

## Ação dos neurotransmissores

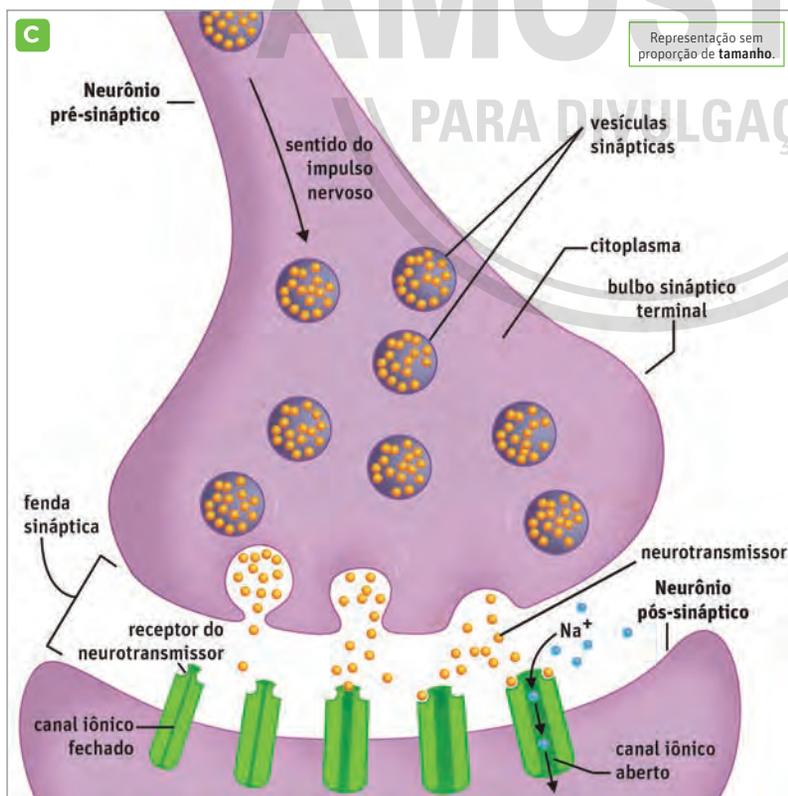
Os neurotransmissores produzidos pelos neurônios são armazenados em vesículas sinápticas, situadas nos botões terminais dos axônios (imagem abaixo). Quando o impulso nervoso chega a esses botões, as vesículas fundem-se com a membrana plasmática do botão terminal, liberando o conteúdo na fenda sináptica.

Os neurotransmissores liberados se ligam a moléculas receptoras localizadas na membrana plasmática do neurônio seguinte, resultando em estimulação ou inibição do impulso nervoso.

Os neurotransmissores liberados na fenda sináptica são recaptados pelo neurônio pré-sináptico ou quebrados por enzimas na fenda sináptica. Esses processos eliminam os neurotransmissores da fenda sináptica, interrompendo seus efeitos sobre o neurônio pós-sináptico. Isso evita que ocorra uma estimulação maior do que a necessária.

Cientistas já identificaram vários neurotransmissores que apresentam efeitos diversos sobre os neurônios. Entre as substâncias descobertas destacam-se a **adrenalina** (ou epinefrina), a **noradrenalina** (ou norepinefrina), a **acetilcolina**, a **dopamina** e a **serotonina**. A acetilcolina, por exemplo, é sintetizada em neurônios do SN denominados neurônios colinérgicos. Ela estimula a diminuição da frequência cardíaca e da pressão arterial e participa da contração muscular.

O efeito dos neurotransmissores pode ser alterado por substâncias do próprio organismo, por drogas e por toxinas. A cocaína, por exemplo, impede a recaptação do neurotransmissor dopamina. Assim, esse neurotransmissor passa a atuar de forma mais prolongada nos neurônios pós-sinápticos, causando sensação de euforia.



Esquema da liberação de neurotransmissores na fenda sináptica e sua captação pelos receptores pós-sinápticos. Cores-fantasia.

Fonte de pesquisa: REECE, J. B. et al. *Campbell Biology*. 10. ed. [S.l.]: Pearson, 2014. p. 1072.

### Saúde mental

A Organização Mundial da Saúde (OMS) define saúde mental como o estado de bem-estar no qual cada pessoa realiza seu próprio potencial, é capaz de lidar com o estresse da vida cotidiana, de trabalhar e de contribuir para a comunidade em que vive.

Diversas doenças afetam a saúde mental. Elas apresentam causas e sintomas muito diferentes, mas, em geral, estão relacionadas a alterações de pensamentos, emoções, atitudes e comportamentos. Em certos casos, a doença prejudica as relações sociais e familiares.

Infelizmente, doenças como depressão, síndrome do pânico e esquizofrenia são muitas vezes alvo de preconceito e discriminação. É importante saber que essas doenças não representam desvios de caráter ou falta de força de vontade. Embora existam tratamentos eficazes na maior parte dos casos, o preconceito e a discriminação fazem com que muitos pacientes não procurem ajuda médica ou psicológica.

### ATIVIDADES

3. O texto desta página explica o efeito da cocaína na transmissão de impulsos nervosos. Faça uma pesquisa em livros e em sites e dê mais dois exemplos de substâncias que afetam as sinapses e explique quais são seus efeitos.

## Controlando uma cadeira de rodas com a mente

Uma equipe de neurocientistas liderada pelo brasileiro Miguel Nicolelis, da Universidade Duke, nos Estados Unidos, conseguiu fazer com que dois macacos controlassem uma cadeira de rodas robótica usando apenas a mente, por meio de eletrodos implantados nos cérebros.

Quando os animais “pensavam” em se mover em direção a um recipiente com uvas, computadores traduziam sua atividade cerebral em operações da cadeira robótica, em tempo real, permitindo que eles se movessem em direção a seu objetivo.

[...] esse tipo de técnica, que utiliza implantes eletrônicos intracranianos, pode ser utilizada para ajudar no futuro a restaurar a mobilidade de pacientes com problemas graves.

O experimento é o último desenvolvimento da tecnologia de interface cérebro-máquina (ICM), estudada há anos pela equipe de Nicolelis.

Em 2014, o cientista fez uma demonstração de uma ICM na abertura da Copa do Mundo, em São Paulo: um jovem paraplégico utilizou um exoesqueleto controlado por sinais cerebrais para chutar uma bola no estádio.

Mas, ao contrário do ICM utilizado no novo experimento, que emprega implantes no cérebro, o exoesqueleto era controlado por eletrodos instalados sobre o couro cabeludo, um sistema batizado de eletroencefalografia externa (EEG).

“Para algumas pessoas com deficiências muito graves, mesmo piscar é impossível. Para eles, utilizar uma cadeira de rodas ou um aparato controlado por tecnologias não invasivas como um EEG pode não ser suficiente. Nós mostramos claramente que, se você tiver um implante intracraniano, você conseguirá controlar melhor uma cadeira de rodas do que com equipamentos não invasivos”, disse Nicolelis.

[...]

Para realizar o experimento, os cientistas implantaram conjuntos de microeletrodos que permitem registrar a distância a atividade do córtex cerebral. A ICM utilizou os registros simultâneos dos sinais de centenas de neurônios localizados em duas regiões do cérebro dos macacos associadas aos movimentos e sensações.

Na primeira parte do experimento, cada macaco se sentava em uma cadeira de rodas que era programada para

CASTRO, F. Macacos são ensinados a controlar cadeira de rodas com a mente. *O Estado de S. Paulo*. 4 mar. 2016.

percorrer um caminho de cerca de dois metros até um recipiente com uvas. O exercício foi repetido 30 vezes a partir de três diferentes posições de partida.

Durante o processo, a atividade cerebral dos macacos foi registrada, permitindo que os pesquisadores estabelecessem a correlação entre os sinais dos neurônios e diferentes movimentos da cadeira de rodas. [...].

Usando a informação obtida na primeira parte do experimento, os cientistas reverteram o processo, fazendo com que o sistema computacional captasse os sinais cerebrais dos macacos, transformando-os em comandos para movimentar a cadeira de rodas.

[...]

Os cientistas também descobriram que depois de aprender a controlar a cadeira de rodas, os macacos apresentavam modificações nos padrões de atividades de seus neurônios, em comparação aos que haviam sido registrados quando eles eram apenas passageiros da cadeira de rodas com movimento programado.

[...]

Os testes mediram a atividade de cerca de 300 neurônios em cada um dos dois macacos. O laboratório de Nicolelis já havia relatado antes que tem capacidade para registrar os sinais de até 2 mil neurônios usando a mesma técnica. “Esperamos agora expandir o experimento registrando mais sinais neuronais para continuar a aumentar a precisão e a fidelidade da ICM em primatas, antes de tentarmos testes com um implante cerebral em humanos”, afirmou.



Esquema simplificado do experimento elaborado pela equipe de Miguel Nicolelis.

Spring Nature/Nature Publishing Group

### PARA DISCUTIR

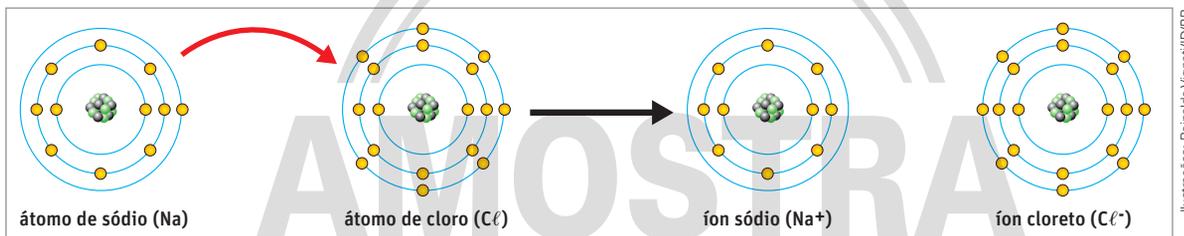
1. O texto cita neurônios presentes em regiões do cérebro ligadas ao movimento. Que tipo de nervo é responsável por conduzir as informações geradas nesses neurônios até os músculos que efetuarão um determinado movimento?
2. Por que a tecnologia desenvolvida pela equipe do pesquisador Miguel Nicolelis ainda não pode ser testada em humanos?

## Condutibilidade elétrica

A eletricidade é necessária para que uma lâmpada acenda ou um refrigerador funcione, mas também é importante para organismos vivos. Em nossas casas, a corrente elétrica – que é um fluxo de elétrons – é conduzida por fios de cobre. Mas como ocorre a condução elétrica nos seres vivos?

Os seres vivos são constituídos de uma mistura de substâncias diversas, como água, proteínas, gorduras, carboidratos e vitaminas, além de sais minerais e outras substâncias dissolvidas. Algumas dessas substâncias dissolvidas são a chave para a transmissão dos impulsos elétricos, pois sua dissolução dá origem a íons. No organismo vivo, dois íons são muito importantes para a condução elétrica: o potássio ( $K^+$ ) e o sódio ( $Na^+$ ). Eles são responsáveis pela transmissão das informações do sistema nervoso para o resto do corpo e vice-versa.

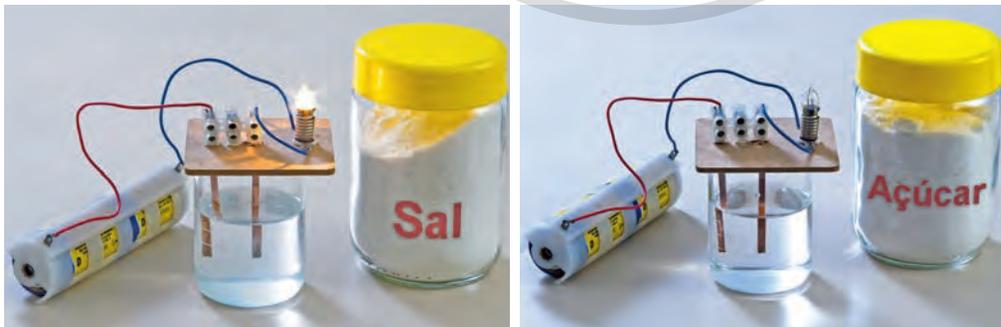
Mas o que são íons? Por que eles têm carga elétrica? Os íons se formam quando, por exemplo, dois átomos, ou seja, partículas eletricamente neutras, transferem elétrons um ao outro. O átomo que perde elétrons fica com carga elétrica positiva, ou seja, torna-se um íon positivo, que é chamado de cátion, e o átomo que recebeu elétrons fica com carga elétrica negativa, ou seja, torna-se um íon negativo, chamado de ânion. Uma vez que cargas elétricas de sinais opostos se atraem, o cátion (ou íon positivo) passa a atrair o ânion (ou íon negativo), e vice-versa.



Representação da formação de íon sódio e íon cloreto a partir dos átomos sódio e cloro. Observe, na imagem acima, que o átomo de sódio perde 1 elétron e fica com carga elétrica positiva (cátion); já o átomo de cloro recebe 1 elétron do sódio e fica com carga elétrica negativa (ânion). As esferas amarelas representam os elétrons; as verdes, os prótons; e as pretas, os nêutrons. Cores-fantasia.

Para que um material possa conduzir eletricidade é necessária a presença de cargas elétricas, e que as cargas elétricas possuam liberdade de movimento. Assim, considere as duas situações a seguir.

Fotografias: Sérgio Dotta Jr./D/BR

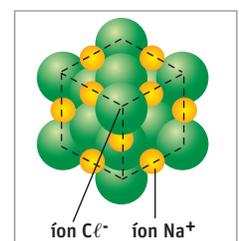


As fotos mostram testes de condutibilidade elétrica com duas soluções diferentes: na situação da esquerda, a corrente elétrica atravessou uma solução de água e sal e a lâmpada acendeu; na situação da direita, a corrente elétrica atravessou uma solução de água e açúcar (sacarose) e a lâmpada não acendeu.

Por que a lâmpada acende no primeiro caso e não acende no segundo?

O sal utilizado no experimento acima é o cloreto de sódio, formado por cátions sódio ( $Na^+$ ) e ânions cloreto ( $Cl^-$ ), que se unem, formando um composto. A ligação química entre o íon positivo e o íon negativo é chamada de ligação iônica e o composto formado é dito composto iônico. A sacarose não forma íons quando se dissolve na água (dizemos que ela é uma substância molecular).

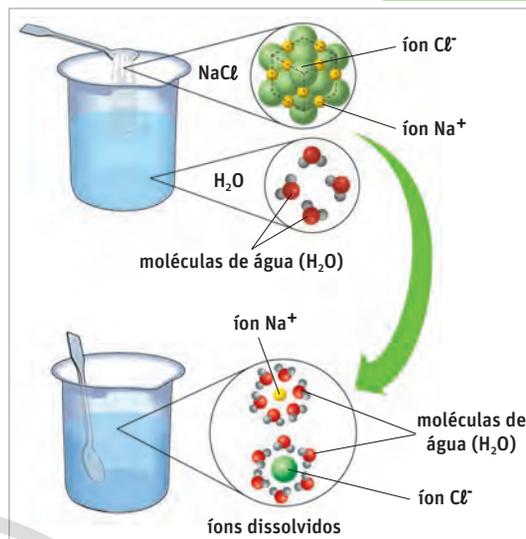
Cloreto de sódio, um composto iônico formado pelos íons  $Na^+$  e  $Cl^-$ . Cores-fantasia.



Apesar de os compostos iônicos possuírem cargas elétricas, quando esses compostos estão no estado sólido as cargas não possuem liberdade de movimento, o que explica o fato de o cloreto de sódio no estado sólido ser um mau condutor elétrico. No entanto, ao se dissolver esse sal em água, os íons, que antes estavam ligados entre si, se separam e adquirem maior liberdade de movimento na solução aquosa. É por essa razão que a solução de água e cloreto de sódio conduz eletricidade quando é submetida à ação de uma tensão elétrica.

O mesmo não ocorre no caso do açúcar. Isso porque o açúcar, uma substância molecular, não se ioniza quando se dissolve em água, ou seja, não há formação de íons e, conseqüentemente, não há condução elétrica.

Dissolução do composto iônico NaCl.  
Cores-fantasia.



## ATIVIDADES

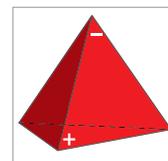
Para compreender como os compostos iônicos e moleculares conduzem eletricidade, vamos trabalhar com modelos. O material necessário para esta atividade é o seguinte:

- massa de modelar nas cores verde, amarela, azul e vermelha;
- uma caneta esferográfica (mesmo que esteja sem tinta).

O procedimento está descrito a seguir.

### Primeira parte

- Com a massa de modelar amarela, modele mais ou menos vinte bolinhas de cerca de 0,5 cm de diâmetro, procurando deixar todas com o mesmo tamanho (aproximadamente); elas representarão os íons sódio.
- Com a massa de cor verde, faça a mesma quantidade de bolinhas, mas com diâmetro maior (cerca de 2 cm), procurando deixar todas com o mesmo tamanho; elas representarão os íons cloreto.
- Com a massa de cor vermelha, modele cerca de vinte figuras em forma de pirâmide de três lados com cerca de 2 cm de altura; em cada uma, com a ponta de uma caneta esferográfica, marque um sinal de positivo na base e um sinal de negativo perto do ápice, como mostra a figura ao lado.
- Com a massa de modelar azul, faça pelo menos dez cubos de cerca de 3 cm de lado. Eles representarão moléculas de sacarose. Com a ponta de uma esferográfica, marque um sinal de positivo em um dos lados e um sinal de negativo no lado oposto.



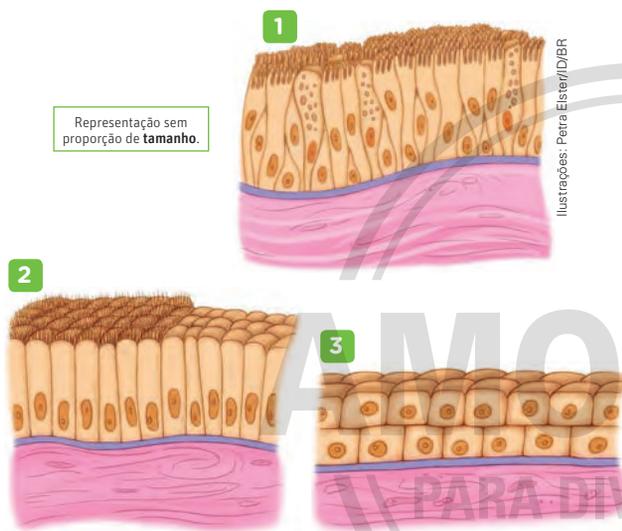
### Segunda parte

- Junte os íons  $\text{Na}^+$  e  $\text{Cl}^-$ , procurando formar a estrutura cristalina do composto iônico cloreto de sódio.
- Sabendo que o cloreto de sódio se dissolve em água, represente como ocorre esse processo usando os modelos de massa de modelar.
- Agora repita o procedimento com a água e a sacarose. O que deverá acontecer? Represente essa situação e responda: Há diferença em relação ao que ocorre na interação entre a água e o composto iônico? Explique.

## PARA DISCUTIR

1. Por que o sal sólido é mau condutor de eletricidade e a solução aquosa salina é boa condutora elétrica? Explique.
2. Reveja o que aprendeu sobre a condução de impulsos nervosos no corpo humano e explique qual a relação entre os conceitos estudados nesta atividade e esse fenômeno.

- No início do desenvolvimento embrionário de um animal, cada célula do embrião pode dar origem a qualquer um dos tipos de células presentes no organismo adulto. Entretanto, com o decorrer do desenvolvimento, as células perdem essa capacidade.
  - Como se chama o processo pelo qual uma célula indiferenciada se especializa em determinada função?
  - Que nome recebem as células capazes de dar origem a qualquer tipo celular?
- As figuras a seguir (cores-fantasia) apresentam diversos tipos de tecidos epiteliais. Classifique-os em relação ao número de camadas de células.



- Sobre os cuidados com a pele, responda:
  - Por que os cuidados com a exposição ao sol são especialmente importantes para pessoas de pele clara?
  - Na sua opinião, o bronzeamento pode ser considerado uma defesa do organismo? Justifique sua resposta.
- Sabe-se que os tecidos epiteliais não possuem vasos sanguíneos, os quais são importantes para o transporte de nutrientes para as células que formam os tecidos. Considerando esse fato, responda:
  - Como ocorre a nutrição nos tecidos epiteliais?
  - Podemos afirmar que um arranhão na pele que provoque um pequeno sangramento atingiu apenas o tecido epitelial? Explique.
- Após uma queimadura de primeiro grau na pele, quais células serão renovadas, repondo as células lesadas? Como ocorre esse processo de renovação?
- Embora seja abundante nos tecidos conjuntivos, a matriz extracelular apresenta variações em cada um deles. Dê algumas características da matriz extracelular nos seguintes tecidos:

- sanguíneo;
- cartilaginoso;
- ósseo.

- Ao fazer uma pesquisa na internet e preparar um trabalho de Biologia, uma aluna selecionou o seguinte trecho para descrever o tecido conjuntivo ósseo:

Este tecido de sustentação remodela-se continuamente: o “osso velho” é substituído pelo “osso novo”. Por meio de dois tipos celulares, o osso é constantemente renovado.

- O texto selecionado pode descrever o tecido conjuntivo ósseo? Por quê?
- O que são os ossos “velho” e “novo” descritos no parágrafo selecionado?
- Que tipos celulares estão envolvidos no processo descrito?

- Leia o texto a seguir e responda ao que se pede.

### Prevenção da osteoporose: A dose ideal

[...]

O Dr. Luiz Henrique de Gregório, vice-presidente do Departamento de Metabolismo Ósseo da Sociedade Brasileira de Endocrinologia e Metabologia (SBEM), explica que apenas 1% do cálcio do organismo está circulando livremente. Os outros 99% estão depositados nos ossos. Quando o corpo precisa de mais cálcio, as células vão até o osso e retiram o que é necessário. [...]

O processo de destruição e reconstrução acontece simultaneamente em diferentes partes do esqueleto. Se em um ponto o osso está sendo reabsorvido em outro está sendo reconstruído. Por isso, o esqueleto está sempre mudando, sendo renovado e se fortalecendo no adulto jovem, mantendo a massa óssea estável.

A osteoporose é o desequilíbrio desse processo [...]

Na fase adulta, as atividades físicas regulares funcionam como prevenção de perda [óssea]. Quem é sedentário perde mais massa óssea. “Você não ativa a remodelação”, comentou o Dr. Luiz Henrique.

[...]

Sociedade Brasileira de Endocrinologia e Metabologia. Disponível em: <<http://www.endocrino.org.br/prevencao-da-osteoporose-dose-ideal/>>. Acesso em: 21 mar. 2016.

- O texto afirma que “a osteoporose é o desequilíbrio desse processo”. Que processo é esse? Explique.
  - Quais células são responsáveis pela remodelação óssea estimulada pelos exercícios físicos?
  - Além do exercício físico, que outra medida pode ajudar na prevenção da osteoporose?
- Cite duas características do tecido sanguíneo que permitem classificá-lo como tecido conjuntivo.

10. Após deixarem a medula óssea e migrarem para o timo, os linfócitos T se diferenciam em T auxiliares e T citotóxicos. Que papel exerce cada um desses tipos de linfócitos no combate a uma infecção?
11. A imagem abaixo apresenta uma amostra de sangue centrifugado.

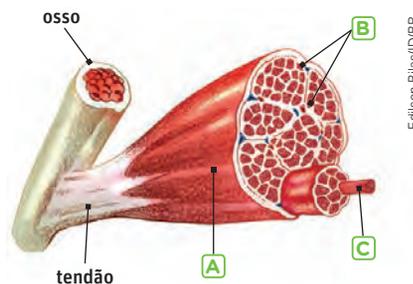


Yoav Levy/Phototake/Glow Images

- a) Identifique a fração do sangue em A e B.  
 b) Em qual dessas frações do sangue é possível encontrar anticorpos? E leucócitos?

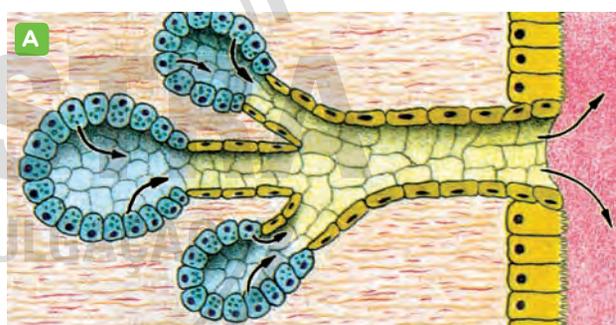
12. No plasma há três importantes tipos de proteínas dissolvidas: albumina, fibrinogênio e imunoglobulinas. A quais importantes processos estão relacionadas cada uma dessas proteínas?
13. Durante a evolução, o sangue apareceu como uma adaptação fundamental à sobrevivência dos animais multicelulares, que têm grande tamanho e grande número de células. Explique esse fato, considerando que o sangue é um tecido de transporte.
14. A resposta imune secundária costuma ser muito mais rápida e intensa do que a que ocorre na primeira vez em que o indivíduo é exposto a um antígeno. Por quê?
15. Em 1796, Edward Jenner realizou um experimento no qual retirou amostras de material da pele de uma mulher ordenhadeira que contraíra varíola bovina e inoculou no braço de um menino saudável de cerca de 8 anos. Depois de desenvolver uma forma muito branda de varíola bovina, o garoto ficou imune à varíola humana, mesmo que entrasse em contato com doentes. Por que isso acontecia?

16. A imagem abaixo mostra, de maneira esquematizada, um músculo de vertebrado e seu aspecto interno. Identifique as estruturas indicadas pelas letras.

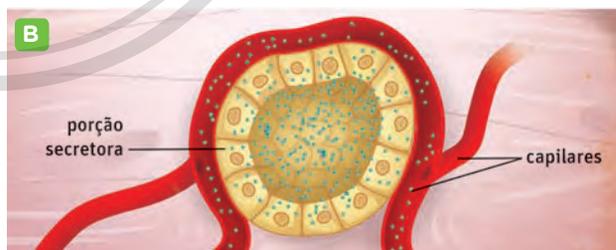


Edilson Bias/D/BR

17. Numa antiga propaganda de complemento alimentar à base de cálcio, afirmava-se que o produto era “bom para ossos e músculos”. Sabe-se que o cálcio é um importante componente do tecido ósseo, mas qual é sua relação com os músculos?
18. Observe as figuras a seguir (cores-fantasia):



Renaldo Vignatti/D/BR

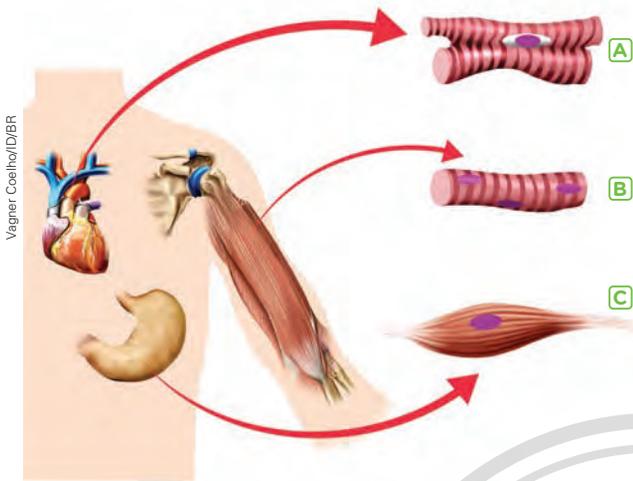


Fabio Eugenio/D/BR

- a) Qual das figuras acima representa uma glândula endócrina? E qual delas representa uma glândula exócrina? Explique.  
 a) Qual a diferença entre as glândulas exócrinas e as endócrinas?  
 c) Dê exemplos de duas glândulas de cada tipo.

19. Enquanto estudava cólera em galinhas, Louis Pasteur notou que muitas das aves que vinha utilizando em seus experimentos simplesmente não adoeciam mais, mesmo que entrassem em contato direto com animais doentes ou culturas com bactérias do cólera. Por que isso acontecia?

20. A imagem abaixo mostra os três tipos de tecido muscular encontrados no corpo humano.



Vagner Coelho/IDBR

- Identifique cada um dos três tipos de tecido muscular.
- Quais proteínas encontradas nesses tecidos são responsáveis pela contração muscular?
- O músculo representado no braço liga-se ao esqueleto por tendões, o que permite que os movimentos sejam realizados. De qual tipo de tecido é formado um tendão?

21. O trabalho muscular envolve gasto energético. A energia para a contração da fibra muscular é fornecida pelas mitocôndrias, geralmente abundantes nas células musculares. No entanto, comparando as quantidades de mitocôndrias encontradas no interior das fibras musculares esqueléticas e das fibras cardíacas, nota-se uma enorme diferença: na célula muscular esquelética, o volume ocupado pelas mitocôndrias corresponde a 2% do volume citoplasmático, valor que sobe a até 40% nas células cardíacas. Explique essa diferença associando a função das mitocôndrias ao trabalho realizado pelas fibras esquelética e cardíaca.

22. Em alguns tecidos dos vertebrados – como os tecidos epiteliais de revestimento e os tecidos musculares estriados –, as células encontram-se firmemente unidas umas às outras. Essa característica proporciona resistência a esses tecidos, impedindo que suas células sejam desagregadas por forças mecânicas. Em relação aos tecidos musculares, responda:

- A que se deve a grande coesão celular em cada tipo de tecido muscular?
- Explique como a coesão entre as células, além de garantir a resistência, também está associada à função de contração do tecido muscular.

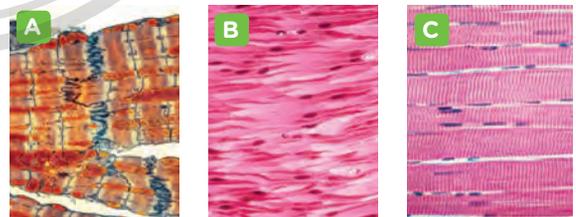
23. Ao deglutirmos um alimento, o bolo alimentar é deslocado por toda a extensão do tubo digestório, totalizando um percurso de vários metros. Sabe-se que todo movimento gerado no corpo resulta da ação de um músculo ou grupo de músculos. O alimento, porém, é deslocado sem que possamos acelerar, retardar ou impedir seu trajeto. Pergunta-se:

- Que tipo de músculo é responsável pelo trânsito do bolo alimentar ao longo do tubo digestório?
- Por que não podemos interferir ativamente nos movimentos realizados pelos órgãos do tubo digestório?

24. Ao destrinchar um frango, nota-se que a carne do peito é mais esbranquiçada, enquanto a das coxas é mais avermelhada. Os galináceos em geral são aves que nidificam no solo e realizam voos curtos, quando a musculatura do peito é usada para gerar contrações rápidas e vigorosas. Uma vez que passam muito tempo no solo, a musculatura das pernas, usada para caminhar, exige contrações menos vigorosas e mais continuadas.

Como se explica a diferença observada entre a cor da carne das coxas e a do peito da galinha doméstica?

25. As fotos abaixo, obtidas em microscópio de luz, com uso de corantes, mostram os três tipos de tecido muscular existentes. Observe em cada uma delas características como presença de estrias, discos intercalares, posição dos núcleos, etc. Com base nelas, associe cada fotografia à ilustração que representa o mesmo tipo de músculo e identifique-o.



Fotografias: SPL/Latinstock



Ilustrações: Edison Biliás/DVBR

Aumentos de cerca de: (A) 3 000 vezes; (B) 190 vezes; (C) 260 vezes.

26. Qual tipo de fibra nervosa é mais comum nos vertebrados? Explique a vantagem em apresentar maior quantidade desse tipo de fibra.

27. Preencha as lacunas do quadro abaixo com o lado da membrana (externo ou interno) que está com excesso de cargas positivas ou negativas.

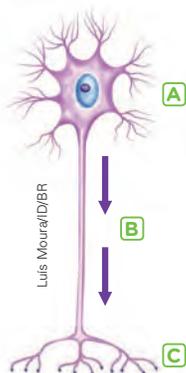
Situação	Excesso de cargas positivas	Excesso de cargas negativas
Potencial de repouso		
Despolarização		
Repolarização		
Potencial de ação		

28. É possível determinar a porcentagem de fibras musculares do tipo I (fibras vermelhas) e do tipo II (fibras brancas) encontradas em músculos esqueléticos de pessoas, sejam elas sedentárias ou atletas. Sabe-se que a prática de corrida de longa distância requer um esforço contínuo e prolongado, enquanto corredores de curta distância (por exemplo, 100 m rasos) realizam esforço intenso porém de curta duração. Sabe-se também que o tipo de treinamento a que o atleta é submetido interfere na proporção de fibras encontradas na musculatura, induzindo o desenvolvimento de uma maior quantidade de fibras brancas ou vermelhas. Assim, responda:

- Em atletas de qual das modalidades citadas acima espera-se encontrar maior proporção de fibras brancas na musculatura? Justifique.
- Em atletas de qual das modalidades citadas acima espera-se encontrar maior quantidade de mitocôndrias nas fibras musculares?

29. O que é estrato mielínico? Quais são as diferenças entre a propagação do impulso nervoso em uma fibra mielinizada e em uma fibra não mielinizada?

30. A imagem abaixo representa um neurônio (cores-fantasia).



- O que são as estruturas indicadas por A, B e C?
- O que indicam as setas?

31. Quais íons estão presentes em maior quantidade dentro e fora de um neurônio em potencial de repouso, respectivamente?

32. Qual é a importância dos oligodendrócitos para a propagação do impulso nervoso?

33. Explique o que são os fenômenos de despolarização e repolarização da membrana do axônio.

34. Segundo a Organização Mundial da Saúde (OMS), droga é toda substância que, introduzida por qualquer meio de administração, pode alterar de algum modo o sistema nervoso central de um indivíduo, ao mesmo tempo que é capaz de criar dependência psicológica, física ou ambas. Com base nessa definição, faça uma pesquisa em revistas, sites e livros sobre as consequências do uso de drogas para o sistema nervoso.

35. Relacione as frases abaixo a cada um dos três tipos de neurônio, quanto à função.

- Transmitem informações ao cérebro sobre a pressão, a dor, o calor, o frio, a vibração, a posição das partes do corpo e a forma das coisas.
- Ativam os músculos voluntários (músculos que produzem movimento, como os músculos dos membros inferiores utilizados durante a caminhada).
- Estabelecem ligações entre os neurônios aferentes e os eferentes.

- Neurônios motores
- Interneurônios
- Neurônios sensoriais

36. Um vírus que ataca neurônios conseguiu entrar na corrente sanguínea de um organismo. Quais células, além daquelas do sistema imunitário, estarão envolvidas para proteger os neurônios?

37. Copie em seu caderno a tabela abaixo, preenchendo-a corretamente, de acordo com as características de cada tipo de tecido muscular.

Tipo de tecido muscular	estriado esquelético		
Localização			
Forma de fibra		alongada e ramificada, com discos intercalares	
Presença de estrias			
Velocidade de contração			
Controle da contração			involuntário

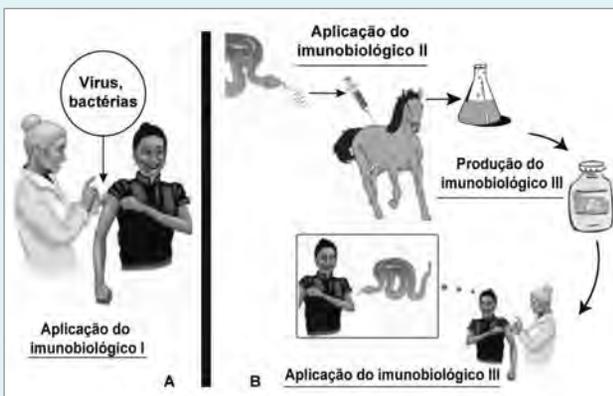
1. (Enem) A toxina botulínica (produzida pelo bacilo *Clostridium botulinum*) pode ser encontrada em alimentos malconservados, causando até a morte de consumidores. No entanto, essa toxina modificada em laboratório está sendo usada cada vez mais para melhorar a qualidade de vida das pessoas com problemas físicos e/ou estéticos, atenuando problemas como o blefaroespasmó, que provoca contrações involuntárias das pálpebras.

BACHUR, T. P. R. et al. Toxina botulínica: de veneno a tratamento. *Revista Eletrônica Pesquisa Médica*, n. 1, jan.-mar. 2009 (adaptado).

O alívio dos sintomas do blefaroespasmó é consequência da ação da toxina modificada sobre o tecido

- glandular, uma vez que ela impede a produção de secreção de substâncias na pele.
  - muscular, uma vez que ela provoca a paralisia das fibras que formam esse tecido.
  - epitelial, uma vez que ela leva ao aumento da camada de queratina que protege a pele.
  - conjuntivo, uma vez que ela aumenta a quantidade de substância intercelular no tecido.
  - adiposo, uma vez que ela reduz a espessura da camada de células de gordura do tecido.
2. (UFRGS) O tecido ósseo é o principal constituinte dos ossos. Em relação a esse tecido, é correto afirmar que
- os compostos minerais do tecido ósseo são responsáveis por sua flexibilidade.
  - o disco epifisiário é a estrutura a partir da qual ocorre o crescimento dos ossos longos.
  - o osso não apresenta sensibilidade devido à ausência de fibras nervosas.
  - os osteoblastos são estimulados por um hormônio das glândulas paratireóides para a remoção de cálcio do sangue.
  - os osteoclastos formam osso novo para preencher o espaço deixado pelos osteoblastos.

3. (Enem)



Enem 2014. Fac-símile: ID/BR

Embora sejam produzidos e utilizados em situações distintas, os imunobiológicos I e II atuam de forma semelhante nos humanos e equinos, pois

- conferem imunidade passiva
- transferem células de defesa.
- suprimem a resposta imunológica
- estimulam a produção de anticorpos
- desencadeiam a produção de antígenos.

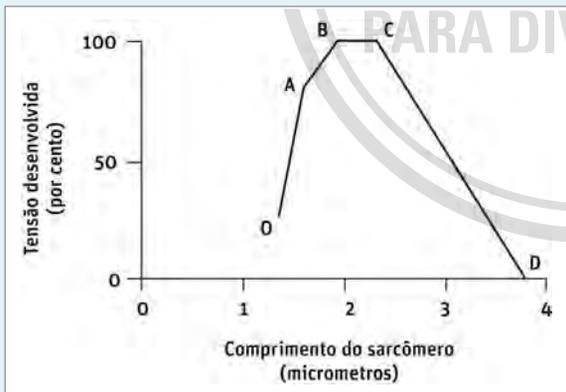
4. (UEM) Sobre o tecido hematopoiético de humanos, assinale a(s) alternativa(s) **correta(s)**.

- As plaquetas são os elementos figurados do sangue e estão envolvidas no processo de coagulação sanguínea.
- No indivíduo não anêmico, as hemácias são células anucleadas, discóides, circulares e bicôncavas, e duram em média 120 dias e depois são destruídas no fígado e no baço.
- Um hemograma apresentando um aumento significativo no número de leucócitos indica inflamação ou infecção.
- A anemia é uma condição de doença em que o transporte de oxigênio é prejudicado pela diminuição de fibrinogênio, decorrente de dieta alimentar inadequada.
- Nos linfonodos ocorre grande quantidade de albuminas, que são responsáveis pela fagocitose de microrganismos patogênicos.

5. (Unesp) Alguns *chefs* de cozinha sugerem que o peru não deve ser preparado inteiro, pois a carne do peito e a da coxa têm características diferentes, que exigem preparos diferentes. A carne do peito é branca e macia, e pode ressecar dependendo do modo como é preparada. A carne da coxa, mais escura, é mais densa e suculenta e deve ser preparada separadamente. Embora os perus comercializados em supermercados venham de criações em confinamento, o que pode alterar o desenvolvimento da musculatura, eles ainda mantêm as características das populações selvagens, nas quais a textura e a coloração da carne do peito e da coxa decorrem da composição de suas fibras musculares e da adequação dessas musculaturas às funções que exercem. Considerando as funções desses músculos nessas aves, é correto afirmar que a carne

- do peito é formada por fibras musculares de contração lenta, pobres em mitocôndrias e em mioglobina, e eficientes na realização de esforço moderado e prolongado.
- do peito é rica em fibras musculares de contração rápida, ricas em mitocôndrias e em mioglobina, e eficientes na realização de esforço intenso de curta duração.

- c) da coxa é formada por fibras musculares de contração lenta, ricas em mitocôndrias e em mioglobina, e eficientes na realização de esforço moderado e prolongado.
- d) da coxa é formada por fibras musculares de contração rápida, pobres em mitocôndrias e em mioglobina, e eficientes na realização de esforço intenso de curta duração.
- e) do peito é rica em fibras musculares de contração lenta, ricas em mitocôndrias e em mioglobina, e eficientes na realização de esforço moderado e prolongado.
6. (Uece) Sabe-se que a deficiência na produção de serotonina pode ser uma das causas do estado depressivo dos adolescentes, conforme indicam pesquisas no campo da psiquiatria. Esta substância é um neurotransmissor, sendo liberada na seguinte região do neurônio, para que o impulso nervoso se propague:
- a) corpo celular.
- b) terminal sináptico do dendrito.
- c) estrato mielínico do axônio.
- d) terminal sináptico do axônio.
7. (Uerj) A força de contração da fibra muscular estriada é definida pela tensão desenvolvida pelos filamentos de miosina e actina do sarcômero e sofre influência do grau de superposição desses filamentos.



De acordo com o gráfico, podemos dizer que a molécula de miosina apresenta uma interação mais eficiente com a actina entre os seguintes segmentos:

- a) O e A.
- b) A e B.
- c) B e C.
- d) C e D.
8. (UFRN) Para fazer um *piercing* é necessário saber quais são os principais cuidados apontados por especialistas, dentre eles, o de optar por áreas sem cartilagens, pois pode haver o risco de infecções e formação de queloides. Considerando isto:

- a) apresente duas funções do tecido cartilaginoso no organismo humano.
- b) justifique, do ponto de vista da constituição do tecido cartilaginoso, as dificuldades para controlar uma infecção em locais que contenham cartilagens.

9. (Udesc) Um dos domínios da ergonomia está relacionado às respostas do corpo humano à carga física e psicológica. O *designer* deve ficar atento a essas respostas, pois assim poderá garantir características importantes à construção e melhoria de materiais, bem como disposição física de estações de trabalho mais adequadas, evitando que a pessoa exerça a repetição de movimentos e ocasione lesões musculoesqueléticas pela LER (lesão por esforço repetitivo). A doença atinge músculos e tendões, que ficam irritados.

Em relação ao contexto:

- a) O que são tendões?
- b) Explique como ocorre o processo de contração do músculo estriado esquelético.

### Para explorar

#### Leia

**Vacinar: sim ou não?**, de Ulrich Koch. São Paulo: Paulus, 2004.

O autor aborda, de forma simples e objetiva, conceitos sobre saúde e prevenção de doenças. Mostra o funcionamento do sistema imunitário e explica os fundamentos da vacinação. Apresenta ainda recomendações específicas para diferentes tipos de vacinas e as contra-indicações, que podem impedir a aplicação em determinadas situações.

#### Navegue

##### Sociedade Brasileira de Dermatologia

Site que descreve as principais doenças de pele, incluindo o câncer de pele, bem como formas de prevenção e tratamento para cada uma delas. Traz ainda informações sobre os cuidados gerais com a pele e as campanhas relacionadas à saúde desse órgão. Disponível em: <<http://www.sbd.org.br/>>. Acesso em: 21 mar. 2016.

#### Assista

**Tempo de despertar.** Ano: 1990. Dir.: Penny Marshall. Produção: Columbia Pictures. 121 min.

Em 1969, em Nova York, o neurologista Malcolm Sayer inicia, em um hospital psiquiátrico, um tratamento experimental com levodopa, medicamento desenvolvido para sanar a carência do neurotransmissor dopamina, em uma vítima de doença neurológica que o mantinha permanentemente em estado catatônico. O paciente gradualmente se recupera, restabelecendo sua conexão com o mundo, o que possibilita que o tratamento seja ministrado a outros pacientes. Efeitos colaterais imprevistos, porém, podem colocar tudo a perder.

# Referências bibliográficas

- ALBERTS, B. et al. *Biologia molecular da célula*. 5. ed. Porto Alegre: Artmed, 2010.
- \_\_\_\_\_. et al. *Fundamentos da biologia celular*. 3. ed. Porto Alegre: Artmed, 2011.
- BALINSKY, B. I. *An introduction to Embriology*. 3. ed. Philadelphia: Saunders, 1970.
- BSCS *Biology: a molecular approach*. 9. ed. Columbus: Glencoe/McGraw-Hill, 2006.
- BICKLEY, L. S. *Bates: propedêutica médica*. 7. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2001.
- BRUCE, P. Y. *Química orgânica*. 4. ed. São Paulo: Pearson, 2006.
- BRUSCA, R. C.; BRUSCA, G. G. *Invertebrados*. 2. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2007.
- CARVALHO, I. S. *Paleontologia*. Rio de Janeiro: Interciência, 2000.
- DUNBAR, R. I. M. *The trouble with Science*. Cambridge (MA): The Harvard University Press, 1995.
- GARCIA, S. M. L.; FERNÁNDEZ, C. G. *Embriologia*. Porto Alegre: Artmed, 2001.
- GILBERT, S. F. *Developmental Biology*. 6. ed. Sunderland (MA): Sinauer, 2000.
- GRIFFITHS, A. J. F. et al. *Introdução à Genética*. 9. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2011.
- GUYTON, A. C.; HALL, J. E. *Tratado de fisiologia médica*. 11. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2006.
- HEWITT, P. G. *Física conceitual*. 9. ed. São Paulo: Bookman, 2002.
- HICKMAN, C. P. et al. *Princípios integrados de Zoologia*. 15. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2013.
- HILDEBRAND, M.; GOSLOW, G. *Análise da estrutura dos vertebrados*. 2. ed. São Paulo: Atheneu, 2006.
- HOUILLO, C. *Embriologia*. Trad. Marcos Guimarães Ferri. São Paulo: Edgard Blücher-Edusp, 1972.
- HERCULANO-HOUZEL, S. *O cérebro nosso de cada dia: descobertas da neurociência sobre a vida cotidiana*. Rio de Janeiro: Vieira & Lent, 2002.
- JUNQUEIRA, L. C.; CARNEIRO, J. *Histologia básica*. 12. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2013.
- KARDONG, K. V. *Vertebrados*. 5. ed. São Paulo: Roca, 2011.
- MADIGAN, M. T. et al. *Microbiologia de Brock*. 12. ed. Porto Alegre: Artmed, 2010.
- MARGULIS, L.; SAGAN, D. *Microcosmos: four billion years of microbial evolution*. London: Allen & Unwin, 1987.
- MARZZOCO, A.; TORRES, B. *Bioquímica básica*. 2. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 1999.
- ORR, R. T. *Biologia dos vertebrados*. 5. ed. São Paulo: Roca, 1996.
- POUGH, F. H. et al. *A vida dos vertebrados*. 2. ed. São Paulo: Atheneu, 1993.
- PUTZ, R.; PABST, R. (Ed.). *Sobotta: atlas de anatomia humana*. 22. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2008. v. 1.
- RAVEN, P. H.; EVERT, R. F.; EICHHORN, S. E. *Biologia vegetal*. 7. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2007.
- \_\_\_\_\_. et al. *Biology*. 10. ed. New York: McGraw-Hill, 2014.
- REECE, J. B. et al. *Campbell Biology*. 10. ed. [S.l.]: Pearson, 2014.
- RIDLEY, M. *Evolução*. 3. ed. Porto Alegre: Artmed, 2006.
- SCHMIDT-NIELSEN, K. *Fisiologia animal: adaptação e meio ambiente*. 5. ed. São Paulo: Santos Editora, 1999.
- SOCIEDADE BRASILEIRA DE ANATOMIA. *Terminologia anatômica*. Barueri: Manole, 2001.
- STORER, T.; USINGER, R. *Zoologia geral*. Trad. Cláudio Gilberto Froehlich et al. São Paulo: Nacional, 1977.
- TORTORA, G. J.; FUNKE, B. R.; CASE, C. L. *Microbiologia*. 10. ed. Porto Alegre: Artmed, 2012.
- \_\_\_\_\_.; GRABOWSKI, S. R. *Corpo humano: fundamentos de anatomia e fisiologia*. 8. ed. Porto Alegre: Artmed, 2012.

## Siglas dos exames e das universidades

**Enem** – Exame Nacional do Ensino Médio

**FGV** – Fundação Getúlio Vargas

**IFSC** – Instituto Federal de Santa Catarina

**PUC-RS** – Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul

**Udesc** – Universidade do Estado de Santa Catarina

**Uece** – Universidade Estadual do Ceará

**UEL-PR** – Universidade Estadual de Londrina

**UEM-PR** – Universidade Estadual de Maringá

**Uerj** – Universidade Estadual do Rio de Janeiro

**Ufam** – Universidade Federal do Amazonas

**UFF-RJ** – Universidade Federal Fluminense

**UFG-GO** – Universidade Federal de Goiás

**UFPA** – Universidade Federal do Pará

**UFPB** – Universidade Federal da Paraíba

**UFRGS-RS** – Universidade Federal do Rio Grande do Sul

**UFRJ** – Universidade Federal do Rio de Janeiro

**UFRN** – Universidade Federal do Rio Grande do Norte

**Unesp** – Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho

**Unicamp-SP** – Universidade Estadual de Campinas



1 5 8 9 8 5

ISBN 978-85-418-1351-8



9 788541 813518