ser Protagonista

Biologia 3

ENSINO MÉDIO

BIOLOGIA
3º ANO



AMOSTRA
PARA DIVULGAÇÃO

Organizadora:
Edições SM

Obra coletiva concebida, desenvolvida e produzida por Edições SM.

Editora responsável:
Lia Monguilhott Bezerra

Antonio Carlos Bandouk
Elisa Garcia Carvalho
João Batista Aguilar
Juliano Viñas Salles
Tatiana Rodrigues Nahas

sm

ser Protagonista

Biologia

3 ENSINO MÉDIO

BIOLOGIA 3º 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.

Antonio Carlos Bandouk
- Bacharel em Ciências Biológicas pelo Instituto de Biociências da Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" (Unesp) – Rio Claro.
- Mestre e Doutor em Ciências Biológicas na área de Zoologia pelo Instituto de Biociências da Unesp – Rio Claro.
- Elaborador de materiais didáticos.

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.

João Batista Aguilar
- 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.

Juliano Viñas Salles
- Bacharel em Ciências Biológicas pelo Instituto de Biociências da USP.
- Professor e coordenador pedagógico no Ensino Fundamental e Médio.

Tatiana Rodrigues Nahas
- Bacharela e Licenciada em Ciências Biológicas pelo Instituto de Biociências da USP.
- Mestra em Ciências pelo Instituto de Biociências da USP.
- Professora no Ensino Médio.

3ª edição
São Paulo
2016

sm

Ser protagonista – Biologia – 3
© Edições SM Ltda.
Todos os direitos reservados

Direção editorial Juliane Matsubara Barroso
Gerência editorial Roberta Lombardi Martins
Gerência de *design* e produção Marisa Iniesta Martin

Edição executiva Lia Monguilhott Bezerra
Edição: Marcelo Viktor Gilge, André Henrique Zamboni, Daniela Ludviger Ingui, Dino Santesso Gabrielli, Nina Nazario, Renata Amélia Bueno
Colaboração técnico-pedagógica: Carolina Mancini Vall Bastos, Lilian Al-Chueyr Pereira Martins, Luciana Valéria Nogueira, Maria Elice Brzezinski Prestes, Roberto De Andrade Martins, Karen Ventura, Ana Paula Glinfskoi Thé

Coordenação de controle editorial Flavia Casellato
Suporte editorial: Alzira Bertholim, Camila Cunha, Giselle Marangon, Mônica Rocha, Talita Vieira, Silvana Siqueira, Fernanda D'Angelo

Coordenação de revisão Cláudia Rodrigues do Espírito Santo
Preparação e revisão: Ana Catarina Nogueira, Berenice Baeder, Eliana Vila Nova de Souza, Eliane Santoro, Fátima Carvalho, Fátima Cezare Pasculli, Ingrid Basílio, Mariana Masotti, Mauricio Tavares, Sandra Regina Fernandes, Taciana Vaz, Vera Lúcia Rocha, Marco Aurélio Feltran (apoio de equipe)

Coordenação de *design* Rafael Vianna Leal
Apoio: Didier Dias de Moraes
***Design*:** Leika Yatsunami, Tiago Stéfano

Coordenação de arte Ulisses Pires
Edição executiva de arte: Melissa Steiner
Edição de arte: Fernando Fernandes, Vivian Dumelle

Coordenação de iconografia Josiane Laurentino
Pesquisa iconográfica: Bianca Fanelli, Susan Eiko
Tratamento de imagem: Marcelo Casaro

Capa Didier Dias de Moraes, Rafael Vianna Leal
Imagem de capa Dancestrokes/Shutterstock.com/ID/BR
Projeto gráfico cldt
Editoração eletrônica MRS Editorial
Ilustrações Adilson Secco, Allmaps, AMj Studio, João Miguel A. Moreira, Jurandir Ribeiro, Luis Moura, Marcos Aurélio, Paula Radi, Petra Elster, Reinaldo Vignati, Roberto Higa, Studio Caparroz, Vagner Coelho

Fabricação Alexander Maeda
Impressão

AMOSTRA
PARA DIVULGAÇÃO

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

Bandouk, Antonio Carlos
Ser protagonista : biologia, 3º ano : ensino médio / Antonio Carlos Bandouk ... [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, João Batista Aguilar, Juliano Viñas Salles, Tatiana Rodrigues Nahas
Suplementado pelo manual do professor.
Bibliografia.

ISBN 978-85-418-1355-6 (aluno)
ISBN 978-85-418-1356-3 (professor)

1. Biologia (Ensino médio) I. Bandouk, Antonio Carlos. II. Carvalho, Elisa Garcia. III. Aguilar, João Batista. IV. Salles, Juliano Viñas. V. Nahas, Tatiana Rodrigues. VI. Bezerra, Lia Monguilhott. VII. Série.

16-02506 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

AMOSTRA
PARA DIVULGAÇÃO

A organização do livro

Pilares da coleção

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

CONTEXTUALIZAÇÃO 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

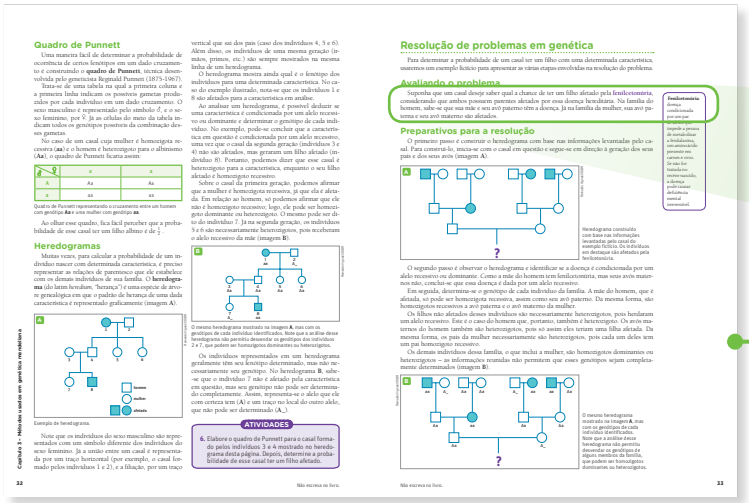
A partir de um pequeno texto, perguntas e uma imagem impactante, você vai começar a refletir sobre o assunto da unidade e a se questionar a respeito do que já sabe sobre ele.

Abertura do capítulo

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



Apresentação dos conteúdos



a chance de ter um filho afetado pela **fenilcetonúria**, s afetados por essa doença hereditária. Na família do rno têm a doença. Já na família da mulher, sua avó pa-

Fenilcetonúria: doença condicionada por um par

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

Drosófilas como modelo animal em estudos genéticos

A mosca-das-frutas *Drosophila melanogaster* foi um dos primeiros organismos-modelo usados em genética, escolhida em parte por ser

BIOLOGIA E FÍSICA

Calor específico

Calor específico (*c*) é uma grandeza que expressa a quantidade de calor a ser fornecida ou retirada para, respectivamente, aumentar ou diminuir uma unidade de tempera-

BIOLOGIA TEM HISTÓRIA

O "A" e o "a" em genética

Os alelos de um gene podem ser representados por qualquer letra, mas é comum que usemos o "a" maiúsculo (**A**) para representar o alelo dominante e o "a" minúsculo (**a**) para representar o alelo recessivo. Mas por quê?

O uso da notação "a" está relacionado ao binômio de

zavam os indivíduos puros, enquanto **Aa** simbolizava os indivíduos híbridos. Mais tarde, quando a noção de genótipo e de gene estava já bem estabelecida, passou-se a se referir aos indivíduos homozigotos ("puros") como **AA** (dominante) ou **aa** (recessivo).

SAIBA MAIS

Relações complexas

As vespas *Aphidius ervi* colocam seus ovos no corpo de pulgões *Acyrthosiphon pisum*, que servem de alimento para as suas larvas. Se, porém, o pulgão hospedar a bactéria

BIOLOGIA NO COTIDIANO

O conceito de espécie e o controle de pragas

No final do século XIX, após a descoberta de que a malária era transmitida pelo mosquito do gênero *Anopheles*, governos de todo o

BIOLOGIA SE DISCUTE

Quem foram os primeiros americanos?

De acordo com a hipótese clássica da chegada do *Homo sapiens* ao continente americano, esse acontecimento teria ocorrido pela primeira

AÇÃO E CIDADANIA

Ser negro no Brasil

[...]

No Brasil, após a abolição [da escravatura], não houve segregação pública como aconteceu nos EUA até os anos 60. Também nunca foi

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

Atividades

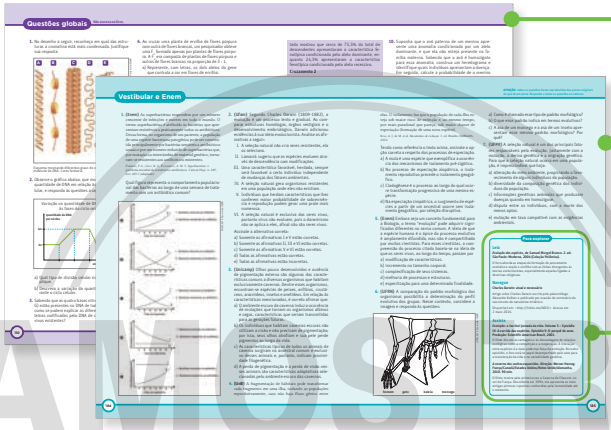
ATIVIDADES

2. Imagine que a quantidade de cromossomos observada nas células epiteliais de uma dada espécie é igual a X. Uma amostra de DNA, retirada do mesmo tipo de célula, foi analisada num laboratório, e o número de cromossomos observado foi 2X.

a) O que deve estar acontecendo com essa célula? Explique.

b) Qual a quantidade de cromossomos que deve ser encontrada nos gametas dessa

Ao longo dos capítulos há questões sobre tópicos estudados.



Questões globais

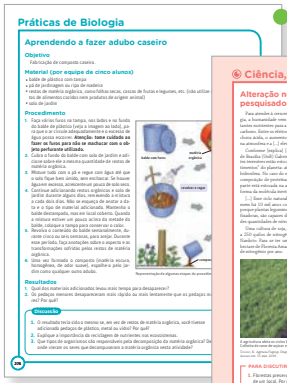
Ao final das unidades, há um conjunto de atividades que integram os assuntos dos capítulos.

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

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.



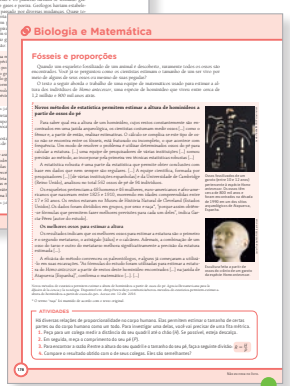
Projeto

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



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 e...

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

AMOSTRA PARA DIVULGAÇÃO

Sumário

Unidade 1 Genética 10

Capítulo 1 A hereditariedade 12

Primeiras ideias sobre hereditariedade 13

A herança cromossômica 14

- **Práticas de Biologia:** Diversidade dentro de uma espécie 19

Capítulo 2 Gregor Mendel e a genética 20

Os trabalhos de Mendel 21

Redescoberta dos trabalhos de Mendel 26

Capítulo 3 Métodos usados em genética mendeliana 28

A determinação do genótipo 29

Noções de probabilidade 30

Resolução de problemas em genética 33

- **Práticas de Biologia:** Probabilidade na prática 36
- **Ciência, tecnologia e sociedade:** Entenda os malefícios dos casamentos consanguíneos 37



Martin Shields/PR/Latinstock

AMOSTRA PARA DIVULGAÇÃO

Capítulo 4 Interações entre os alelos de um gene 38

Padrões de dominância entre dois alelos 39

Alelos múltiplos 42

Pleiotropia 45

- **Práticas de Biologia:** Qual é o seu tipo sanguíneo? 46
- **Ciência, tecnologia e sociedade:** Medicina personalizada 47

Capítulo 5 Segunda lei de Mendel 48

Lei da segregação independente 49

Analisando três ou mais características 53

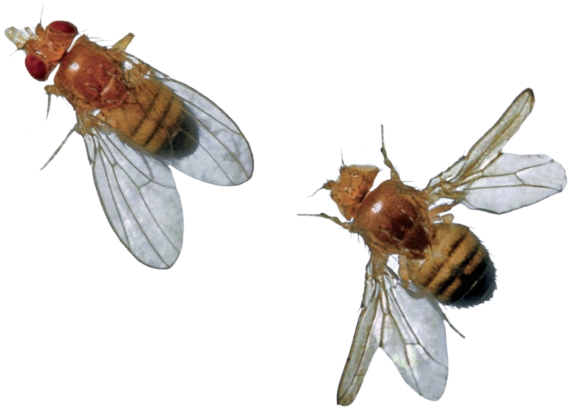
Interação gênica 58

Tipos de interação gênica 60

- **Ciência, tecnologia e sociedade:** Um gene de peso 65
- **Biologia e Matemática:** Probabilidade em casos de herança quantitativa 66



Patricia Willocq/Art in All of Us/Corbis/Fotoarena



Pascal Goetgheluck/SPL/Latinstock

Capítulo 6 Além da genética mendeliana 68

Ligação gênica 69
Mapeamento cromossômico 74
Alterações cromossômicas 77
Avaliação de doenças genéticas 79
Além dos genes ligados 81

- **Práticas de Biologia:** Simulação de ligação gênica 84
- **Ciência, tecnologia e sociedade:** Obesidade masculina afeta espermatozoides e pode ser "herdada" por filhos, diz estudo 85

Capítulo 7 Determinação do sexo e influência na herança 86

A determinação do sexo 87

- **Biologia tem história:** McClung e a teoria cromossômica 88

Determinação do sexo em seres humanos 91
Padrões de herança influenciados pelo sexo 93

- **Ciência, tecnologia e sociedade:** Ringo e Suflair mostram caminho para proteção contra distrofia muscular 96
- **Práticas de Biologia:** Aconselhamento genético 97

Capítulo 8 Biotecnologia 98

- **Biologia e História:** Domesticação e melhoramento genético 100
- **Ciência, tecnologia e sociedade:** Superbebês para todos 109
- **Questões globais** 110
- **Vestibular e Enem** 116
- **Projeto:** Biotecnologia na mídia: exposição e análise de reportagens sobre biotecnologia 118

AMOSTRA PARA DIVULGAÇÃO



Pascal Goetgheluck/SPL/Latinstock

Sumário



Gregg Newton/Reuters/Glowimages

Unidade 2 Evolução 120

Capítulo 9 As primeiras teorias evolutivas 122

O pensamento evolucionista 123

- **Biologia tem história:** Robert Chambers e a transmutação dos seres vivos 128

Evidências da evolução 131

- **Práticas de Biologia:** Jogo da seleção natural 138

Capítulo 10 A teoria da evolução após Darwin 140

A teoria sintética da evolução 141

As bases genéticas da evolução 143

Especiação 152

Evolução e diversidade da vida 156

Capítulo 11 Evolução da vida 158

Os seres vivos ao longo das eras geológicas 159

A espécie humana e os primatas 166

As origens da humanidade 169

- **Práticas de Biologia:** A fita do tempo 177
- **Biologia e Matemática:** Fósseis e proporções 178
- **Ciência, tecnologia e sociedade:** O que nos torna humanos? 180
- **Questões globais** 181
- **Vestibular e Enem** 184

Unidade 3 Ecologia 186

Capítulo 12 Noções básicas de ecologia 188

A biosfera 189

Relações tróficas nos ecossistemas 192

Ciclos biogeoquímicos 197

- **Práticas de Biologia:** Construção de um terrário para observar o ciclo da água 200
- **Ciência, tecnologia e sociedade:** Alteração nos ciclos de carbono e nitrogênio preocupa pesquisadores 201

Capítulo 13 Relações ecológicas 202

Relações ecológicas 203

Relações intraespecíficas 204

Relações interespecíficas 208

- **Práticas de Biologia:** Jogo das relações ecológicas 214
- **Ciência, tecnologia e sociedade:** Pelas abelhas 215

AMOSTRA PARA DIVULGAÇÃO



Ruslan Kokarev/Dreamstime.com/ID/BR

Capítulo 14 Ecossistemas 216

Dinâmica de populações 217
Fatores abióticos dos ecossistemas 224
Sucessão ecológica 228

- **Práticas de Biologia:** Estimativa de tamanho populacional 231
- **Biologia tem história:** O desenvolvimento do conceito de ecossistema 232

Capítulo 15 Biomas 234

Os biomas do mundo 235
Os biomas brasileiros 242
Ecossistemas aquáticos 250

- **Práticas de Biologia:** Interpretação de imagens 254
- **Ciência, tecnologia e sociedade:** No Dia Nacional da Caatinga, organizações alertam sobre a degradação do bioma em Pernambuco 255

Capítulo 16 O ser humano e o ambiente 256

Impacto humano sobre o ambiente 257
Impacto humano sobre a atmosfera 258
Impacto humano sobre as águas 261
Impacto humano sobre os solos 264
Ameaças à biodiversidade 268

- **Biologia tem história:** A viagem filosófica de Alexandre Rodrigues Ferreira 270

Usos da energia e suas fontes 272

- **Práticas de Biologia:** Aprendendo a fazer adubo caseiro 276
- **Ciência, tecnologia e sociedade:** Recuperando o rio Doce 277
- **Questões globais** 278
- **Vestibular e Enem** 283

- **Projeto:** Compra, descarta, compra: uma reflexão sobre a sociedade de consumo 286
- **Referências bibliográficas** 288
- **Siglas dos exames e das universidades** 288

AMOSTRA
PARA DIVULGAÇÃO



Emmanuel Lattes/Alamy/Latinstock

UNIDADE

1 Genética

NESTA UNIDADE

1. A hereditariedade
2. Gregor Mendel e a genética
3. Métodos usados em genética mendeliana
4. Interações entre os alelos de um gene
5. Segunda lei de Mendel
6. Além da genética mendeliana
7. Determinação do sexo e influência na herança
8. Biotecnologia

Quando falamos em espécie, pensamos em um grupo de indivíduos que compartilham determinadas características. Quando falamos em indivíduo, porém, pensamos nas características que são exclusivas daquele espécime em particular, isto é, daquilo que o diferencia de outro indivíduo de sua espécie e o torna único.

A individualidade é algo que emerge da interação entre o material genético e o ambiente, contribuindo para a diversidade da espécie. Grande parte dessa variedade intraespecífica é produzida de forma natural e aumenta as chances de sobrevivência da espécie. Entender como as características são transmitidas de uma geração para outra ajuda na compreensão da vida.

AMOSTRA PARA DIVULGAÇÃO

QUESTÕES PARA REFLETIR

1. Esse quadro de Van Gogh retrata três variedades distintas de girassol (*Helianthus annus*). O que essas variedades têm em comum? E o que elas têm de diferente?
2. Na sua opinião, como podem ter surgido essas variedades de girassol?

Imagem da página ao lado:

Girassóis (1888 ou 1889), obra do pintor impressionista Van Gogh (1853-1890). Óleo sobre tela, 92,4 cm × 71,1 cm, depositado atualmente no Museu de Arte da Filadélfia, EUA.



Philadelphia Museum of Art, Filadélfia, PA, EUA Fotografia: Alamy/Latinstock

AMOSTRA
PARA DIVULGAÇÃO

CAPÍTULO

1 A hereditariedade

O QUE VOCÊ VAI ESTUDAR

Algumas ideias sobre herança biológica.

A teoria cromossômica da herança.

Mitose e meiose.

Os vários níveis de organização do DNA.

A relação entre genótipo e fenótipo.



Monkey Business Images/Shutterstock.com/ID/BR

As razões que explicam as semelhanças e as diferenças entre os membros de uma família têm despertado a curiosidade do ser humano há séculos.

PARA DIVULGAÇÃO

Observe a imagem acima. Todas essas pessoas são membros de uma mesma família, representando diferentes gerações. Uma análise cuidadosa mostrará que todos eles apresentam muitas semelhanças entre si, e também muitas diferenças.

Ao longo da história da ciência, muitos estudiosos procuraram explicar o que fazia os filhos serem semelhantes a seus pais, mas nunca idênticos a eles. Muitas outras dúvidas eram associadas a essas: o que determinava o sexo do futuro bebê? Por que alguns deles nasciam com problemas físicos?

As respostas a essas perguntas não foram buscadas apenas no ser humano. O estudo da reprodução de outros animais e de plantas forneceu várias pistas. Uma dessas plantas, a ervilha-de-cheiro (*Pisum sativum*) teve um papel fundamental no esclarecimento dos mecanismos de hereditariedade. Como será visto nos próximos capítulos, essa espécie de ervilha foi utilizada pelo monge Gregor Mendel em seus estudos sobre a transmissão de características de uma geração para a outra.

Ao longo desta Unidade estudaremos as principais ideias sobre os mecanismos de herança aceitas atualmente, bem como alguns avanços tecnológicos que só foram possíveis graças à grande quantidade de estudos nessa área.

Este capítulo trata de aspectos históricos do estudo da herança biológica e de conceitos básicos de genética, nome dado à área da Biologia que se dedica ao estudo da hereditariedade. Os temas aqui abordados (formação dos gametas, divisões celulares, genes, cromossomos e DNA) são uma introdução ao estudo dos demais assuntos relacionados à herança biológica, que serão vistos nos capítulos seguintes.

Não escreva no livro.

Primeiras ideias sobre hereditariedade

Entre as primeiras explicações sobre o fenômeno da hereditariedade, destacam-se a **teoria da pangênese**, a **teoria da pré-formação** e a **teoria da epigênese**.

Teoria da pangênese

Na Antiguidade, o filósofo grego Hipócrates (460-370 a.C.) propôs a teoria da **pangênese** para explicar a hereditariedade das características nos seres vivos. Segundo essa teoria, cada parte do corpo produziria uma espécie de partícula, a que ele chamou de **gêmula**, capaz de dar origem a uma nova parte do mesmo tipo. Cada indivíduo, portanto, possuía um conjunto de gêmulas que transmitiria, aos seus descendentes, todas as suas características inatas e também aquelas adquiridas ao longo de sua vida. No momento da concepção, as gêmulas seriam transferidas para os órgãos reprodutores do macho e da fêmea, o que garantiria a mistura das gêmulas dos dois genitores durante a formação do novo indivíduo. Essa mistura explicava as semelhanças entre pais e filhos.

A pangênese foi criticada por Aristóteles (384-322 a.C.), filósofo grego que elaborou um tratado acerca da reprodução e da hereditariedade. Nesse tratado, Aristóteles argumentou que a pangênese não explicava a transmissão de certas características, como aquelas ligadas ao comportamento. Ele pontuou, também, que a pangênese não esclarecia por que algumas características adquiridas ao longo da vida (por exemplo, o aumento de massa muscular e as lesões corporais) não eram transmitidas aos descendentes e nem como certas características eram herdadas de avós ou ancestrais mais distantes. Mesmo com as críticas de Aristóteles, a teoria da pangênese foi aceita por alguns cientistas até o século XIX.

ATIVIDADES

1. Reflita sobre as três teorias apresentadas nesta página. Você acredita que uma das três é mais adequada que as outras? Justifique sua resposta.

Geração espontânea: teoria que afirmava que a vida poderia surgir da matéria inanimada, ao contrário da teoria da biogênese, que defendia que um ser vivo só pode se originar de outro ser vivo preexistente.

Teoria da pré-formação *versus* teoria da epigênese

Na primeira metade do século XVII, o médico Willian Harvey (1578-1657) propôs que todo animal se originava de um ovo produzido pela fêmea e fertilizado pelo macho. Essa ideia se contrapôs à teoria da **geração espontânea**, aceita por muitos pesquisadores da época, e influenciou também as explicações a respeito da hereditariedade. As reflexões de Harvey deram as bases para duas teorias distintas propostas no século seguinte.

Uma delas foi a teoria da pré-formação, que postulava a existência de um ser pré-formado no interior do óvulo (gameta feminino), ou no espermatozoide (gameta masculino) (imagem ao lado). Assim, o desenvolvimento de um novo ser envolveria apenas o crescimento desse indivíduo pré-formado após a cópula entre macho e fêmea. Se essa teoria estivesse certa, seria de se esperar que cada descendente fosse uma cópia de um dos seus genitores, e não uma mistura de ambos.

A outra teoria baseada nas ideias de Harvey foi a da epigênese, que propunha haver em cada ovo fertilizado uma matéria indiferenciada com potencialidade para se desenvolver em um novo ser. Nesse caso, o desenvolvimento de um novo indivíduo envolveria profundas modificações em sua forma, além de crescimento. A epigênese, ao contrário da teoria da pré-formação, não contrariava a ideia de que as características de cada indivíduo são herdadas de ambos os genitores

As duas teorias foram alvo de amplo debate no século XVIII, e a concepção epigenética prevaleceu nos séculos seguintes.

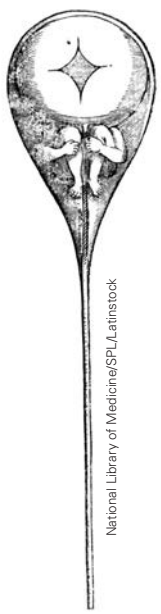
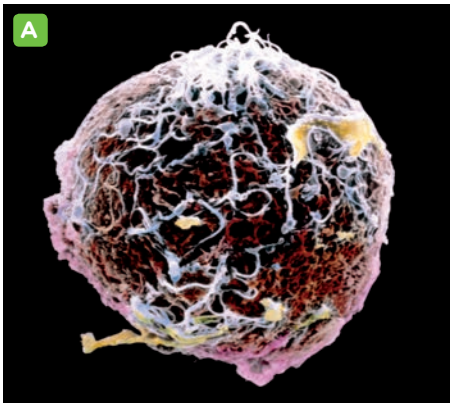


Ilustração de homúnculo dentro de um espermatozoide (1694), baseada em representação atribuída ao matemático holandês Nicholas Hartsoeker (1656-1725).

AMOSTRA PARA DIVULGAÇÃO

A herança cromossômica

Com base na teoria da epigênese, foram formuladas várias explicações para a hereditariedade das características nos seres vivos. Contudo, a genética só veio se consolidar como uma área de pesquisa com os novos conhecimentos que permitiram entender melhor a maneira como as informações são guardadas em cada indivíduo e transmitidas de uma geração a outra. Entre esses conhecimentos destacam-se a formação dos gametas, os processos de divisão celular (mitose e meiose) e o papel dos cromossomos e dos genes.



SPL/Latinstock

Célula precursora do óvulo circundada por espermatozoides (em violeta). (Foto ao microscópio eletrônico de varredura; imagem colorizada; aumento de cerca de 200 vezes.)

A descoberta dos gametas

Embora nem todos os seres vivos se reproduzam sexuadamente, o conhecimento a respeito desse modo de reprodução foi essencial para a compreensão sobre o mecanismo da hereditariedade. Descobriu-se, por exemplo, que uma espécie com reprodução sexuada origina novos indivíduos pela união de duas células, uma do macho e outra da fêmea, podendo, assim, herdar características de ambos os genitores. Essas células sexuais ficaram conhecidas como **gametas**, e o processo de união entre um gameta masculino e um gameta feminino ficou conhecido como **fecundação** (imagem **A**).

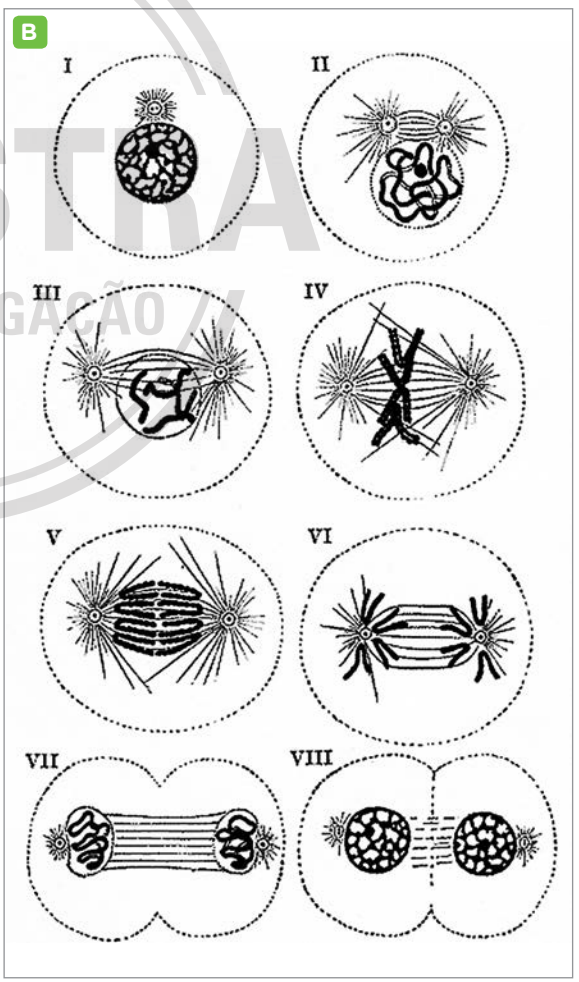
A existência dos gametas masculinos ou **espermatozoides** foi proposta inicialmente por Antonie van Leeuwenhoek (1632-1723), ao observar que o sêmen apresentava estruturas microscópicas com longas caudas. Muitos anos depois, Rudolf von Kölliker (1817-1905) mostrou que os espermatozoides eram formados nos testículos. Já os gametas femininos ou **óvulos** foram descritos pela primeira vez por Karl von Baer (1792-1876), que se dedicou ainda ao estudo do desenvolvimento embrionário em mamíferos.

A mitose e os cromossomos

Outro passo importante para o entendimento da hereditariedade foi a descoberta dos **cromossomos**, estruturas formadas por DNA e que estão localizadas no núcleo das células eucarióticas. A forma e o aspecto dos cromossomos foram estudados por Walther Flemming (1843-1905), que os descreveu em cada uma das fases da mitose, tipo de divisão celular que resulta em duas células idênticas àquela que lhe deu origem (imagem **B**). Com esse trabalho, ele mostrou que os cromossomos são transferidos da célula-mãe para as células-filhas.

A descrição do comportamento dos cromossomos durante a mitose tornou claro que, ao longo do desenvolvimento embrionário de um ser multicelular, ocorrem sucessivas divisões celulares por meio das quais todas as células herdam cópias dos cromossomos que existiam na célula-ovo. A mitose, portanto, possibilita a manutenção do número de cromossomos em uma espécie.

Verificou-se também que, na maioria dos seres multicelulares, os cromossomos encontram-se aos pares. Assim, para cada cromossomo existe outro semelhante em forma e tamanho; são os **cromossomos homólogos** (do grego *homologos*, igual, semelhante). Nos seres humanos há 23 pares de cromossomos homólogos (2n = 46).



Walther Flemming/ID/BR

Reprodução dos desenhos de Walther Flemming ilustrando algumas fases da mitose. I, II e III: prófase; IV: metáfase; V e VI: anáfase; VII e VIII: telófase. Os cromossomos são as estruturas em destaque que se duplicam e se dividem entre as células-filhas resultantes.

AMOSTRA PARA DIVULGAÇÃO

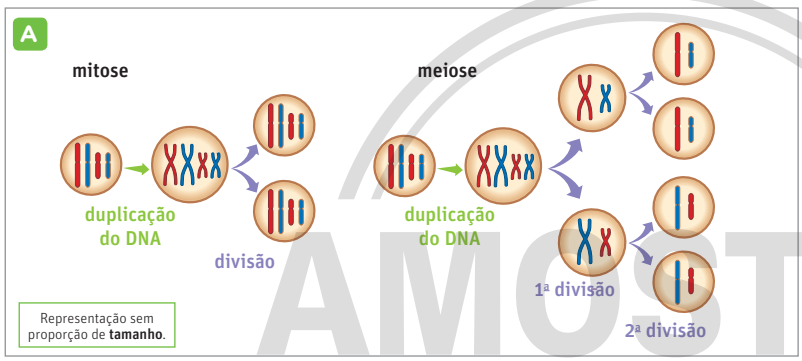
Não escreva no livro.

A meiose e os gametas

August Weismann (1834-1914) dedicou-se a estudar o comportamento do número de cromossomos nos gametas e como ele se mantém estável ao longo das gerações de indivíduos de uma mesma espécie. Em 1885, ele formulou a hipótese de que, durante a formação dos gametas, ocorreria uma redução do número de cromossomos para a metade do número presente na célula-mãe. Assim, se cada gameta tivesse metade do número cromossômico, o zigoto – célula resultante da fecundação dos gametas – teria a quantidade típica de cromossomos da espécie.

A hipótese de Weismann foi confirmada posteriormente, quando foi constatado que, no processo de formação dos gametas, ocorrem duas divisões sucessivas, resultando em quatro células-filhas. A meiose é o processo de divisão celular em que ocorre a duplicação do número de cromossomos apenas antes da primeira divisão; assim, após a segunda divisão, as quatro células resultantes contêm metade do número de cromossomos da célula-mãe (imagem **A**). Os gametas são, portanto, células haploides (n).

Reinaldo Vignati/ID/BR



Esquema simplificado representando a mitose (esquerda) e a meiose (direita). Note que a mitose mantém o número de cromossomos constante, enquanto a meiose reduz esse número à metade nas células-filhas. Cores-fantasia.

ATIVIDADES

2. Imagine que a quantidade de cromossomos observada nas células epiteliais de uma dada espécie é igual a X. Uma amostra de DNA, retirada do mesmo tipo de célula, foi analisada num laboratório, e o número de cromossomos observado foi 2X.

a) O que deve estar acontecendo com essa célula? Explique.

b) Qual a quantidade de cromossomos que deve ser encontrada nos gametas dessa espécie?

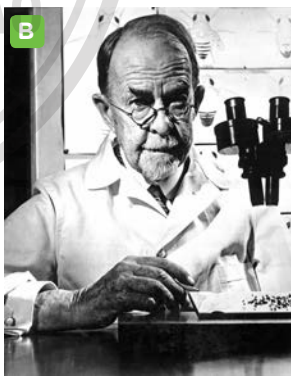
O papel dos cromossomos na hereditariedade

Os estudos sobre o comportamento dos cromossomos durante a divisão celular mostraram que os cromossomos duplicados nas células do corpo eram descendentes dos cromossomos do zigoto e que este era resultado da união dos gametas feminino e masculino, cada um com um conjunto de cromossomos. Contudo, era preciso reunir mais evidências sobre o papel dos cromossosmos na hereditariedade, já que não havia observações que relacionassem seu comportamento durante a mitose e a meiose à herança das características dos seres vivos.

Isso começou a mudar por volta de 1900, quando os estudos de Gregor Mendel (1822-1884) com ervilhas foram resgatados por cientistas que analisavam a hereditariedade em outros seres vivos. Eles perceberam que as leis de Mendel explicavam os resultados por eles obtidos experimentalmente, o que causou grande impacto no meio científico (as leis de Mendel são apresentadas nos capítulos 2 e 5 deste volume).

Entre 1902 e 1910, vários pesquisadores, inspirados nas análises de Mendel, dedicaram-se a estudar a localização dos fatores hereditários nos cromossomos. Entre eles destacam-se o alemão Theodor Boveri (1862-1915) e os estadunidenses Walter Sutton (1877-1916), Thomas Morgan (1866-1945) (imagem **B**) e Barbara McClintock (1902-1992) (imagem **C**), cujos estudos confirmaram a relação entre cromossomos e hereditariedade. Os resultados obtidos por esses pesquisadores ajudaram a estabelecer as bases da **teoria cromossômica da herança**, segundo a qual os fatores hereditários estão localizados nos cromossomos.

AKG/Latinstock



World History Archive/Alamy/Latinstock



Os estudos de Thomas Morgan (**B**) (foto sem data) e Barbara McClintock (**C**) (foto de 1947) contribuíram para a consolidação da teoria cromossômica da herança.

AMOSTRA PARA DIVULGAÇÃO

O DNA e o cromossomo

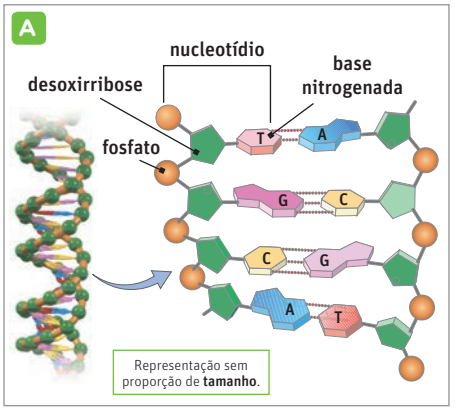
Após a segunda metade do século XX, a teoria cromossômica da herança impulsionou os estudos que levaram à elaboração de um modelo para a estrutura molecular do DNA e ao detalhamento de como essa molécula se organiza no cromossomo.

Estrutura da molécula de DNA

Segundo o modelo proposto em 1952 por James Watson (1928-) e Francis Crick (1916-2004), a molécula de DNA é formada por duas longas cadeias dispostas em dupla-hélice (imagem **A**). Cada cadeia apresenta uma sequência de nucleotídios formados por um grupo fosfato, uma desoxirribose (tipo de carboidrato) e uma base nitrogenada.

A base nitrogenada pode ser de quatro tipos: adenina (A), timina (T), citosina (C) ou guanina (G). As duas cadeias da dupla-hélice estão unidas por ligações de hidrogênio que se estabelecem entre certos pares de bases nitrogenadas. Assim, as adeninas sempre se ligam às timinas (A-T), enquanto as citosinas se ligam às guaninas (C-G).

Nos seres vivos, a estrutura da molécula de DNA é a mesma; o que muda é a sequência e a quantidade das bases nitrogenadas. Essas diferenças são usadas para determinar o grau de parentesco entre as espécies. Assim, supõe-se que, quanto maior a semelhança na composição do DNA entre duas espécies, maior seu grau de parentesco e vice-versa.



Reinaldo Vignati/ID/BR

Modelo de dupla-hélice do DNA (esquerda) e das cadeias que o formam (direita). Cores-fantasia.

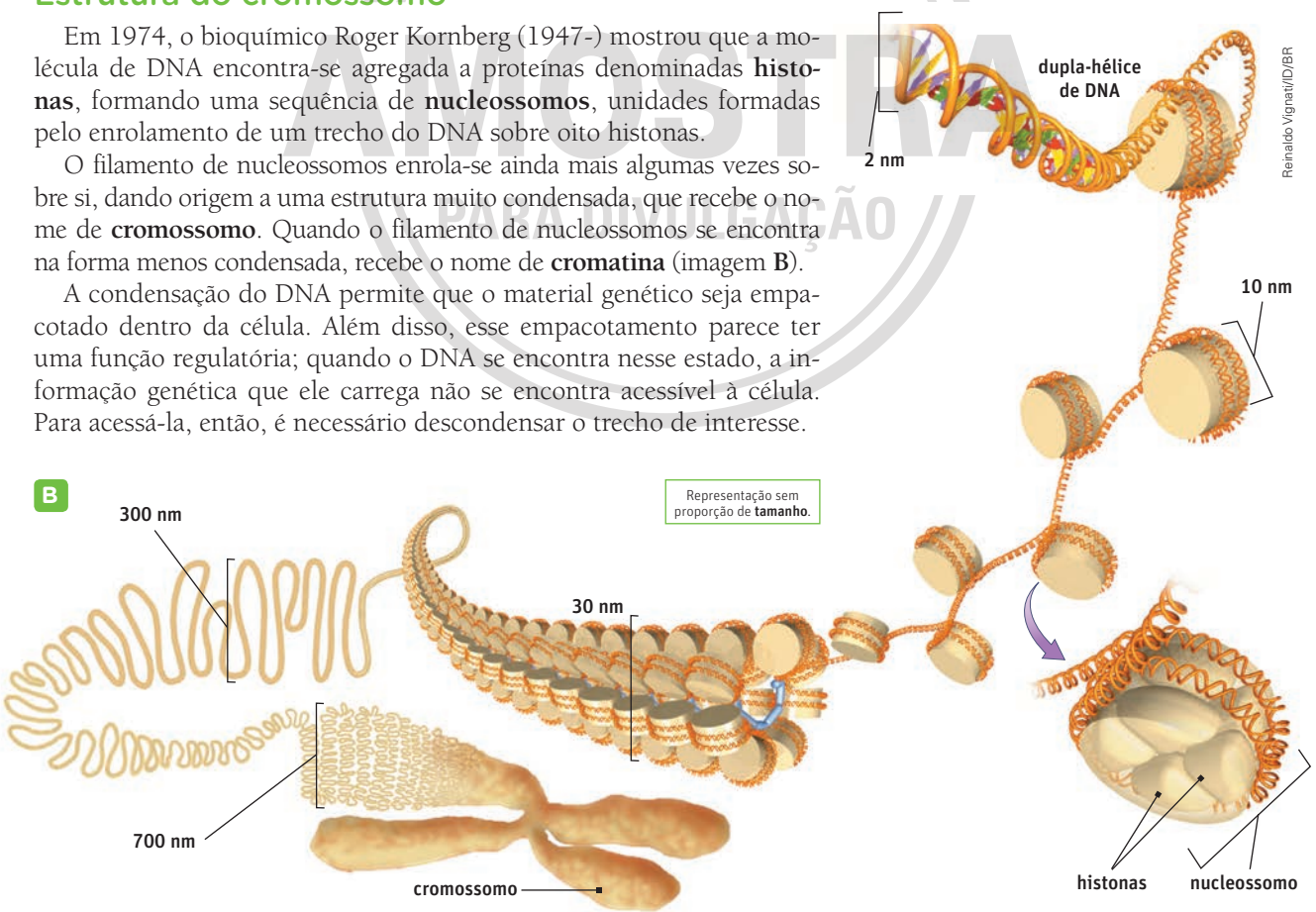
Fonte de pesquisa: Reece, J. B. et al. *Campbell Biology*. 10. ed. [S.l.]: Pearson, 2014. p. 317.

Estrutura do cromossomo

Em 1974, o bioquímico Roger Kornberg (1947-) mostrou que a molécula de DNA encontra-se agregada a proteínas denominadas **histonas**, formando uma sequência de **nucleossomos**, unidades formadas pelo enrolamento de um trecho do DNA sobre oito histonas.

O filamento de nucleossomos enrola-se ainda mais algumas vezes sobre si, dando origem a uma estrutura muito condensada, que recebe o nome de **cromossomo**. Quando o filamento de nucleossomos se encontra na forma menos condensada, recebe o nome de **cromatina** (imagem **B**).

A condensação do DNA permite que o material genético seja empacotado dentro da célula. Além disso, esse empacotamento parece ter uma função regulatória; quando o DNA se encontra nesse estado, a informação genética que ele carrega não se encontra acessível à célula. Para acessá-la, então, é necessário descondensar o trecho de interesse.



Reinaldo Vignati/ID/BR

Esquema da estrutura de um cromossomo mostrando os diferentes níveis de condensação do DNA. 1 nanômetro – ou 1 nm – é igual a 1×10^{-9} metros, ou seja, 1 bilionésimo de metro, ou 1 milionésimo de milímetro. Cores-fantasia.

Fonte de pesquisa: Reece, J. B. et al. *Campbell Biology*. 10. ed. [s. l.]: Pearson, 2014. p. 328-329.

AMOSTRA
PARA PRODUÇÃO

Não escreva no livro.

Os genes

Até o início do século XX, havia vários termos para se referir à unidade da hereditariedade, como "fatores" ou "elementos". Nenhum deles, contudo, correspondia a alguma estrutura encontrada dentro da célula, a exemplo do cromossomo. Esses termos eram usados pelos cientistas ao descrever padrões de herança sem que tivessem uma definição exata.

Da mesma forma, o termo "gene", proposto em 1909 por Wilhem Johannsen (1857-1927), não se referia, inicialmente, a uma estrutura celular específica. Tratava-se apenas de um sinônimo para "fator" ou "elemento". A nova terminologia, que incluía outros conceitos além de gene, foi criada por Johannsen para diferenciar a sua noção de hereditariedade daquelas que estavam em discussão na época.

Genótipo e fenótipo

Johannsen estudou a transmissão de algumas características no feijão comum (*Phaseolus vulgaris*) e constatou que a aparência de um ser vivo era resultante não apenas da manifestação de fatores genéticos, mas também da influência de fatores ambientais. Ao explicar essa relação entre hereditariedade e ambiente, ele empregou mais alguns outros termos novos, incluído o de gene.

Um deles foi o termo **fenótipo** (do grego *phainen*, "mostrar" ou "aparecer", e *typos*, "característico"), que ele usou para se referir ao conjunto de características observáveis de um organismo. Como bem pontuou Johannsen, as características observáveis em um indivíduo não são fixas; elas se alteram ao longo do desenvolvimento de cada ser vivo e por influência do ambiente.

Em contrapartida ao termo fenótipo, Johannsen também cunhou o termo **genótipo** (do grego *genos*, "origem","procedência", e *typos*, "característico") para se referir aos fatores genéticos, que ele havia chamado de genes. Esse conceito passou a designar, portanto, a soma de todos os genes em um gameta ou zigoto. Da mesma forma que o gene, o genótipo não correspondia, para Johannsen, a alguma estrutura específica na célula.

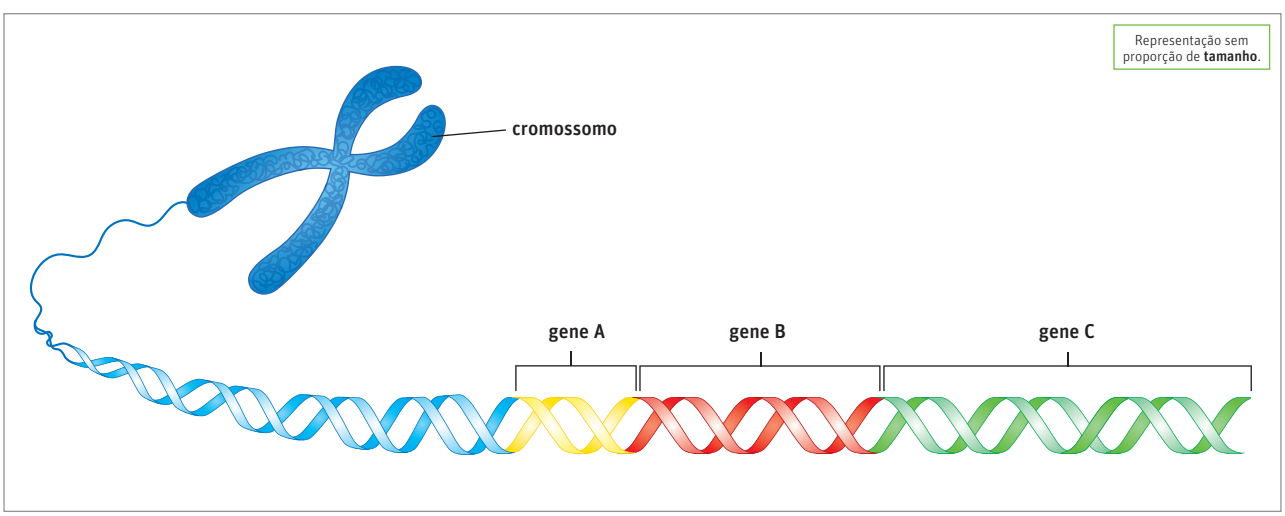
O conceito de gene

Com o estabelecimento da teoria cromossômica da herança, o gene passou a ser entendido como uma unidade estrutural, isto é, como uma estrutura presente no cromossomo. Uma das primeiras ideias nesse sentido comparava o cromossomo a um colar de contas no qual cada conta seria correspondente a um gene. Contudo, pouco se sabia ainda sobre a estrutura real e o funcionamento dos genes.

Mesmo assim, a teoria cromossômica da herança impulsionou uma nova forma de estudar e entender os genes. Muitos cientistas passaram a buscar as respostas para o funcionamento dos genes nos aspectos moleculares do material genético. Assim, identificaram o tipo de molécula constituinte do material genético – o DNA – entre 1911 e 1944, e descreveram sua estrutura molecular em dupla-hélice – modelo criado por Watson e Crick – em 1952.

Os conceitos de gene que surgiram sob essa nova concepção definem gene como um trecho da molécula de DNA (imagem abaixo) que contém informação necessária para a célula desempenhar alguma de suas funções, como a síntese de uma dada proteína. Ainda não há, porém, um consenso sobre a definição de gene, que mudou várias vezes desde 1941.

Inicialmente, dizia-se "um gene – uma enzima"; depois, "um gene – um polipeptídio", e, ainda, "um gene – um RNAm". Atualmente, um gene pode ser definido como uma sequência de nucleotídios do DNA capaz de gerar uma molécula de RNA, que pode ou não resultar na produção de um polipeptídio. É importante frisar que nenhuma dessas definições relaciona gene à produção de uma característica fenotípica.



Reinaldo Vignati/ID/BR

Um cromossomo pode ter milhares de genes, a depender da espécie.

AMOSTRA PARA DIVULGAÇÃO

A manifestação do fenótipo

A interação entre genótipo e ambiente é o que resulta na manifestação do fenótipo. Podemos concluir, então, que um mesmo genótipo pode resultar em mais de um fenótipo, dependendo do tipo de ambiente onde vive o indivíduo.

Assim, quando dizemos que "um gene determina uma dada característica", estamos fazendo uma simplificação, pois não levamos em conta todos os demais fatores que interagem com o genótipo e resultam na expressão do fenótipo. Mesmo gêmeos idênticos – ou seja, que possuem o mesmo genótipo – não necessariamente apresentam as mesmas características fenotípicas. Eles podem ter, por exemplo, alturas e/ou pesos diferentes na idade adulta em resposta ao estilo de vida que cada um deles adota (hábitos alimentares, prática de exercícios, exposição ao estresse, etc.). Até quando se mostram fisicamente "idênticos", é possível notar pequenas diferenças entre eles (imagem abaixo).

Os fatores ambientais podem inclusive alterar a maneira como os genes são expressos, resultando em fenótipos diferentes. Atualmente, sabe-se que existem marcadores genéticos que regulam a atividade gênica e que podem ser adquiridos ao longo da vida com a exposição a determinados fatores ambientais. Tais marcadores poderiam até ser transmitidos de uma geração a outra, o que explicaria alguns casos de herança (a herança epigenética é tratada no capítulo 6 deste volume).

ATIVIDADES

3. Uma pessoa de pele clara pode ficar com a pele mais escura depois de se expor ao sol. Nesse caso, você diria que a característica adquirida por essa pessoa pode ser transmitida para sua futura prole? Explique.



Jeanette Dietl/Alamy/Latinstock

Note as pequenas diferenças entre essas duas gêmeas idênticas. Essas diferenças sugerem que o fenótipo não é determinado apenas pelo genótipo.

AMOSTRA
GRATUITA

FERRAMENTAS DA CIÊNCIA

Sequenciamento do DNA

O sequenciamento do DNA é um método que envolve uma série de procedimentos para determinar a sequência das bases nitrogenadas de uma molécula de DNA.

Para realizá-lo, amostras de DNA são tratadas com compostos químicos e colocadas em um equipamento chamado sequenciador de DNA. Ao final do processo, um computador acoplado a esse equipamento transcreve a sequência das bases nitrogenadas com seus respectivos símbolos A, T, C e G.

O Projeto Genoma Humano, que teve início na década de 1990 e término em 2003, sequenciou todo o DNA humano e identificou mais de 30 mil genes. O projeto, que contou com o esforço de 18 países, incluindo o Brasil, descobriu ainda que grande parte do DNA humano não é constituído de genes, ou seja, não codifica alguma proteína, sendo sua função estrutural ou de regulação.



SPL/Latinstock

Laboratório de sequenciamento de DNA na Universidade de Dundee, no Reino Unido. Foto de 2012.

Não escreva no livro.

Diversidade dentro de uma espécie

Objetivo

Analisar as diferenças morfológicas entre os indivíduos de uma mesma espécie e refletir sobre a variabilidade genética dos seres vivos.

Material

- sementes de feijão-de-lima e vagens de amendoim torrado
- régua ou paquímetro

Procedimento

1. Com o auxílio do professor, formem grupos com cinco alunos.
2. Cada grupo deve analisar 20 sementes de feijão-de-lima e 20 vagens de amendoim torrado.
3. Com a régua, ou o paquímetro, meçam o comprimento de cada semente de feijão-de-lima e de cada vagem de amendoim (veja imagem abaixo). É importante que cada grupo escolha um dos integrantes para realizar todas as medições a fim de padronizar o erro inerente a esse procedimento.
4. Registrem os dados em uma tabela.



Eduardo Santaliestra/ID/BR

Ao usar a régua, considere o milímetro como unidade de medida. Assim, no caso de obter, por exemplo, uma medida entre 16 e 17 mm, escolha um desses valores como resultado em vez de registrar 16,5 mm.

Resultado

1. Com o auxílio do professor, reúnam os dados de todos os grupos e elaborem no caderno uma tabela como a apresentada a seguir. Os intervalos de medidas devem ser definidos de acordo com os dados obtidos.

Intervalos de medidas (mm)	Número de feijões-de-lima	Intervalos de medidas (mm)	Número de vagens de amendoim
15-17	IIIIIIIIIIIIIIIIIII	20-25	IIIIIIIIIIIIIIIIIIIIIIIIIII
18-20	IIIIIIIIIIIIIIIIIII	26-30	IIIIIIIIIIIIIIIIIIIIIIIIIII
...	IIIIIIIIIIIIIIIIIII	...	IIIIIIIIIIIIIIIIIIIIIIIIIII

2. Depois, construam um gráfico de colunas com os resultados anotados na tabela.

Discussão

1. Que conclusões você pode tirar a respeito do comprimento dos feijões-de-lima? E das vagens de amendoim?
2. Você observou outras diferenças morfológicas entre os indivíduos de cada espécie analisada? Descreva-as.
3. Como podem ser explicadas as semelhanças e diferenças entre os indivíduos de uma mesma espécie?

AMOSTRA PARA DIVULGAÇÃO

Não escreva no livro.

CAPÍTULO

2 Gregor Mendel e a genética

O QUE VOCÊ VAI ESTUDAR

Breve histórico sobre os trabalhos de Mendel.

A primeira lei de Mendel.

As ideias de Mendel e a genética moderna.



iStockphoto/Getty Images

Vagens de ervilha-de-cheiro (*Pisum sativum*), planta utilizada por Mendel em seus experimentos.

A todo momento, novas descobertas da genética são divulgadas em jornais, revistas, noticiários da televisão e *sites* da internet. As aplicações desses conhecimentos são as mais variadas possíveis, indo da medicina à agricultura. Organismos transgênicos, clonagem, testes de paternidade por DNA e aconselhamento genético são apenas algumas delas.

Os avanços recentes da genética devem-se, em grande parte, à contribuição de um monge do século XIX, que estudou o padrão de herança de algumas características da ervilha-de-cheiro (*Pisum sativum*). Os estudos de Gregor Mendel (1822-1894) foram fundamentais para a compreensão a respeito do mecanismo básico da hereditariedade, antes mesmo da descoberta dos cromossomos e da meiose.

Não escreva no livro.

Os trabalhos de Mendel

Como discutido no capítulo anterior, os conhecimentos gerados pela biologia celular a partir da segunda metade do século XIX foram essenciais para o surgimento da genética, a ciência que estuda os mecanismos da hereditariedade.

A descoberta do núcleo celular, dos cromossomos e dos processos de mitose e meiose, por exemplo, permitiram maior compreeensão a respeito da maneira como as informações são guardadas em cada indivíduo e transmitidas de uma geração para a outra.

Uma das contribuições mais relevantes para o entendimento da transmissões de características ao longo das gerações foi dada pelos trabalhos do monge austríaco Gregor Mendel (imagem **A**).

Mendel, um monge cientista

Filho de modestos agricultores, Mendel entrou aos 21 anos para a Ordem de Santo Agostinho no monastério de Brno, que fica atualmente na República Tcheca (imagem **B**). Esse monastério, assim como tantos outros na Europa, era um importante centro intelectual onde se desenvolviam atividades científicas e educacionais, além de contar com uma vasta biblioteca. Era o local ideal para alguém que não pertencia à elite, como Mendel, poder ter acesso aos estudos.

Por influência de seu mentor no monastério, Mendel estudou Física, Matemática e História Natural na Universidade de Viena e passou a integrar diversas sociedades científicas da época que tratavam da pesquisa e prática na agricultura. Seus experimentos com ervilhas tiveram início na universidade e prosseguiram posteriomente no monastério. A **hibridização** era um tema de bastante interesse dos agricultores da região da Morávia, onde ficava o monastério de Mendel, bem como dos botânicos acadêmicos com quem ele mantinha contato. Assim, não é de se estranhar que Mendel tenha se dedicado a estudar esse assunto.

Mendel trabalhou com mais de 10 mil plantas e realizou centenas de cruzamentos a fim de analisar a maneira como as características das ervilhas eram transmitidas ao longo das várias gerações. A abordagem experimental utilizada por Mendel, bem como os resultados obtidos por ele, contudo, não diferiam muito do que já era feito e observado pelos hibridizadores da época.

A grande particularidade dos estudos de Mendel foi a maneira como ele olhou para os resultados: ele avaliou apenas uma característica por vez e deu um tratamento estatístico aos dados encontrados. Assim, Mendel percebeu que, eventualmente, os descendentes apresentavam características diferentes dos seus genitores e que essas características não eram "intermediárias" às das plantas genitoras – ou seja, não representavam uma "mistura". Além disso, Mendel notou que a proporção em que cada característica se manifestava ao longo das gerações seguia padrões, os quais ele sistematizou na forma de leis, conhecidas posteriormente como leis de Mendel.

Apesar de Mendel ter sido o primeiro cientista a propor tal mecanismo para explicar a hereditariedade, suas descobertas tiveram pouco impacto no mundo científico da época, talvez por ele as ter publicado numa revista pouco conceituada em 1865. Seu reconhecimento veio quase 40 anos mais tarde, quando outros cientistas que estudavam mecanismos de hereditariedade descobriram os trabalhos de Mendel, resgatando-os e colocando-os em em evidência.



SPL/Latinstock

Gregor Mendel, monge que estudou a transmissão de algumas características da ervilha-de-cheiro durante o século XIX. Foto s. d.



Chris Howes/Wild Places Photography/Alamy Stock Photo/Latinstock

Museu de Mendel, inaugurado em 2007 em um dos prédios que pertenciam ao monastério de Brno, na Morávia, República Tcheca, onde Mendel realizou seus experimentos com ervilhas. Foto de 2013.

Hibridização: cruzamento entre variedades de uma espécie com o objetivo de obter descendentes com certas características desejadas.

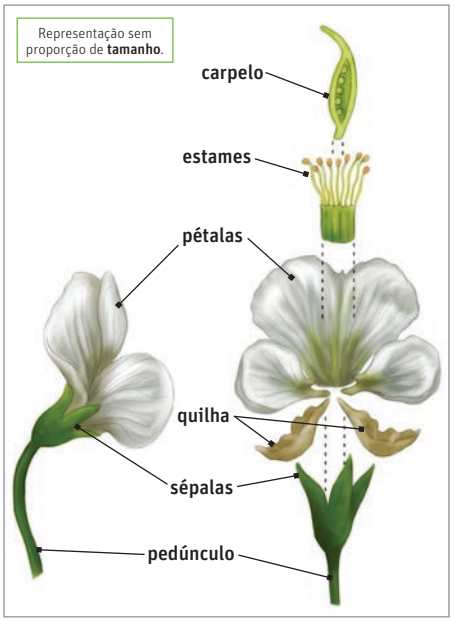
AMOSTRA PARA DIVULGAÇÃO

Os experimentos de Mendel

A ervilha-de-cheiro (*Pisum sativum*), com a qual Mendel trabalhou, é uma planta do grupo das leguminosas. Seu fruto é uma vagem, no interior da qual se encontram as sementes (ervilhas). Mendel escolheu essa planta como modelo devido a características que ela apresenta e que ele considerou desejáveis para seus experimentos: é de fácil cultivo; cresce rapidamente; produz numerosos descendentes; apresenta muitas variedades com características claramente distinguíveis; e é uma planta com a qual é fácil realizar polinização artificial.

A flor da ervilha-de-cheiro é **hermafrodita**, ou seja, os órgãos reprodutivos masculino e feminino estão presentes em uma mesma flor (imagem ao lado). Eles ficam abrigados em uma estrutura fechada, denominada quilha, que é formada por pétalas modificadas. A quilha impede a entrada de pólen proveniente das flores de outras plantas. Portanto, nesse tipo de flor, a reprodução por **autofecundação** ocorre naturalmente.

Mendel realizou a **fecundação cruzada** artificialmente, polinizando flores de um pé de ervilha com o pólen das flores de outro pé. Para controlar os cruzamentos, ele removia previamente as anteras (extremidades dos órgãos masculinos) das flores de um pé, impedindo assim que elas produzissem pólen. Depois, quando o estigma (extremidade do órgão feminino) dessas flores estivesse maduro, ele abria suas quilhas e introduzia o pólen das flores de outro pé de ervilha de seu interesse.



Petra Elster/ID/BR

Esquema da estrutura da flor de ervilha-de-cheiro. À esquerda, flor inteira e, à direita, suas partes. Os estames correspondem aos órgãos masculinos e produzem o pólen, enquanto o carpelo é uma das partes do órgão feminino e que abriga os óvulos.

Fonte de pesquisa: Raven, P. H. et al. *Biologia vegetal*. 8. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2014. p. 161.

Os preparativos

Antes de iniciar a polinização artificial, Mendel cultivou 34 variedades de ervilhas-de-cheiro e deixou que se reproduzissem por autofecundação por algumas gerações. Baseado no resultado desse cultivo inicial, ele decidiu estudar apenas características que se mantinham constantes geração após geração. Essa constância indicava que essas características eram herdadas dos pais pelos descendentes.

Além disso, Mendel escolheu características bem visíveis que se apresentavam em apenas duas formas facilmente identificáveis, mesmo considerando a variação existente em cada forma (tabela abaixo). Por exemplo, as ervilhas-de-cheiro podem ser facilmente identificadas como altas ou baixas, mesmo que ocorra uma variação em torno de uma média.

Mendel utilizou em seus experimentos seguintes plantas de linhagens que ele considerava **puras**, isto é, aquelas que por autofecundação produziam apenas plantas iguais a si mesmas.

Características estudadas por Mendel

Altura da planta	Posição das flores	Cor da vagem	Cor da semente
alta / baixa	axilar / terminal	amarela / verde	verde / amarela
		Aspecto da vagem	**Aspecto da semente**
		lisa / ondulada	lisa / rugosa
			Cor da flor
			púrpura / branca

Ilustrações: Reinaldo Vignati/ID/BR

A imagem mostra as sete características da ervilha-de-cheiro que foram estudadas por Mendel.

Fonte de pesquisa: Griffiths, A. J. F. et al. *Introdução à genética*. 9. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2011. p. 31.

AMOSTRA PARA DIVULGAÇÃO

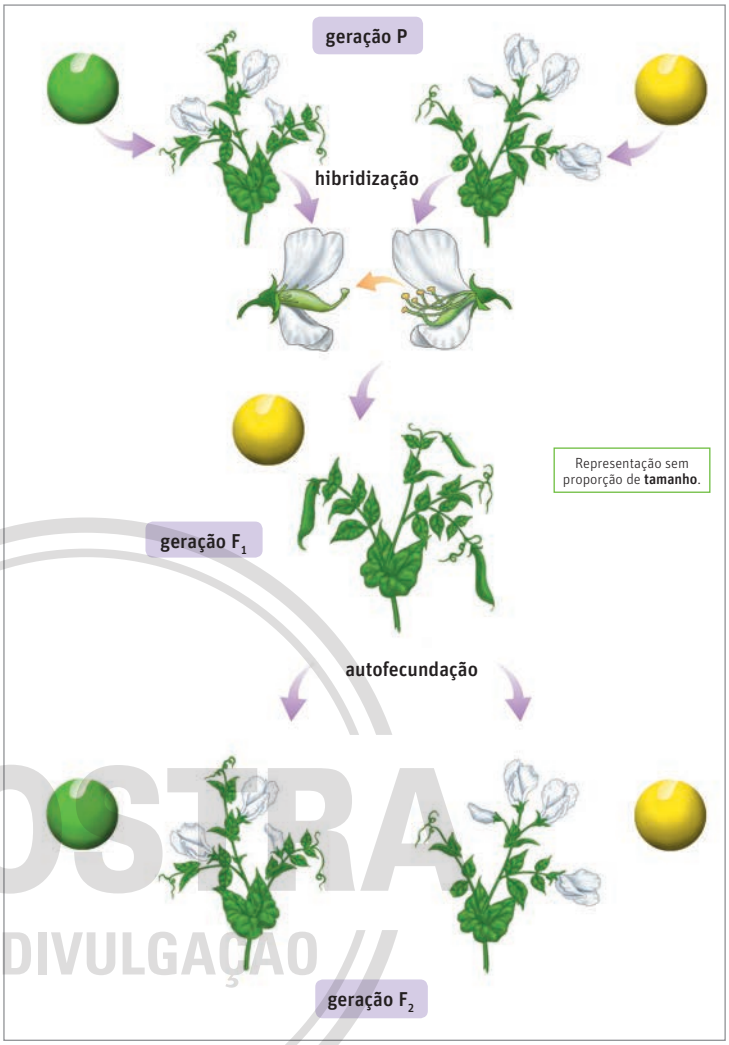
Não escreva no livro.

Cruzamentos e resultados

Terminados os preparativos, Mendel iniciou os cruzamentos entre as ervilhas-de-cheiro seguindo basicamente o mesmo procedimento experimental adotado pelos demais hibridizadores de sua época, mas com uma diferença: ele estudou cada característica separadamente. Assim, Mendel escolhia duas plantas puras, cada uma das quais apresentando uma variante de uma das características selecionadas previamente por ele (por exemplo, uma com sementes amarelas e outra com sementes verdes) e, em seguida, polinizava as flores de uma planta com o pólen produzido pela outra planta (imagem ao lado). Ao observar os descendentes de cada cruzamento, portanto, ele registrava apenas os resultados daquela característica em análise.

A geração de plantas puras foi denominada por Mendel de **geração parental** (**P**). Já os descendentes gerados pela polinização cruzada de plantas dessa geração receberam o nome de **primeira geração híbrida** ($\mathbf{F_1}$).

Mendel observou que a fecundação cruzada entre indivíduos da geração P com variantes distintas de uma característica sempre resultava em uma geração F_1 homogênea, em que todos os indivíduos apresentavam a variante de um dos pais. Por exemplo, ao cruzar plantas de sementes amarelas com plantas de sementes verdes (geração P), ele notou que todos os descendentes da geração F_1 apresentaram sementes amarelas. Portanto, a cor verde da semente não se manifestava nas plantas da geração F_1.



Reinaldo Vignati/ID/BR

Representação do cruzamento entre plantas de ervilhas verdes e plantas de ervilhas amarelas na geração parental (P) seguida de autofecundação das plantas da primeira geração híbrida (F_1). Note que a variante verde, que não se manifesta em F_1, volta a aparecer em F_2.

Fonte de pesquisa: RAVEN, P. H. et al. *Biologia vegetal*. 8. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2014. p. 162.

Essa observação levou Mendel a suspeitar que certas variantes, apesar de não se manifestarem de forma visível, continuariam presentes naquelas plantas. Para testar essa ideia, Mendel permitiu que os indivíduos da geração F_1 se reproduzissem por autofecundação.

Os resultados sugeriam que a hipótese de Mendel estava correta. O autocruzamento de plantas da geração F_1, que apresentavam apenas sementes amarelas, produziu descendentes com sementes amarelas e outros com sementes verdes. Mendel denominou a geração resultante da autofecundação da geração F_1 de **segunda geração híbrida** ($\mathbf{F_2}$).

Analisando esses resultados, ele chegou à conclusão de que nas plantas híbridas (geração F_1) a variante de um dos pais ficava "encoberta" ou em "recesso". As variantes que não se manifestavam em F_1 ele denominou de **recessivas**, e aquelas que estavam presentes em 100% dos indivíduos em F_1 ele chamou de **dominantes**.

Mendel realizou o mesmo procedimento para cada uma das sete características selecionadas na ervilha-de-cheiro e, assim, determinou quais eram as variantes dominantes e quais eram as recessivas. Além disso, ele quantificou o número de descendentes de cada geração com variantes dominantes e recessivas, e percebeu que na geração F_2 a variante dominante aparecia numa proporção constante em relação à recessiva.

ATIVIDADES

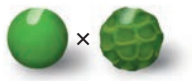
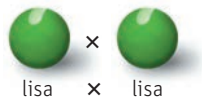
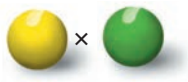
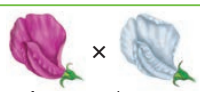
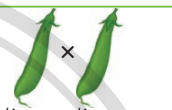
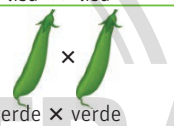
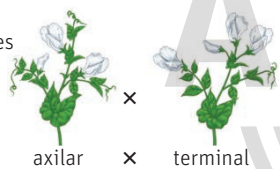
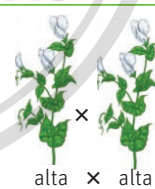
1. Assuma que o cruzamento entre dois animais de pelagem branca resulte em descendentes de pelagem preta. Sabendo disso, responda qual das variantes é dominante e qual é recessiva e justifique.

AMOSTRA PARA DIVULGAÇÃO

A proporção 3 : 1

O quadro a seguir apresenta os resultados obtidos por Mendel em cada geração de ervilhas e para cada característica estudada. Observe-o atentamente.

Resultados obtidos para as características estudadas

Geração P (variedade 1 × variedade 2)	Geração F_1	Geração F_1 × Geração F_1	Geração F_2	Proporção
semente  lisa × rugosa	todas lisas 	semente  lisa × lisa	5 474 lisas 1 850 rugosas 7 324 (total)	2,96 : 1 (≅ 3 : 1)
semente  amarela × verde	todas amarelas 	semente  amarela × amarela	6 022 amarelas 2 001 verdes 8 023 (total)	3,01 : 1 (≅ 3 : 1)
cor das pétalas da flor  púrpura × branca	todas púrpuras 	pétala  púrpura × púrpura	705 púrpuras 224 brancas 929 (total)	3,15 : 1 (≅ 3 : 1)
forma da vagem  lisa × ondulada	todas lisas 	vagem  lisa × lisa	882 lisas 299 onduladas 1 181 (total)	2,95 : 1 (≅ 3 : 1)
cor da vagem  verde × amarela	todas verdes 	vagem  verde × verde	428 verdes 152 amarelas 580 (total)	2,82 : 1 (≅ 3 : 1)
posição das flores  axilar × terminal	todas axilares 	posição das flores  axilar × axilar	651 axilares 207 terminais 858 (total)	3,14 : 1 (≅ 3 : 1)
altura da planta  alta × baixa	todas altas 	altura da planta  alta × alta	787 altas 277 baixas 1 064 (total)	2,84 : 1 (≅ 3 : 1)

Ilustrações: Reinaldo Vignati/ID/BR

Fonte de pesquisa: Griffiths, A. J. F. et al. *Introdução à genética*. 9. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2011. p. 33.

Você deve ter notado – assim como Mendel há mais de cem anos – quais são as variantes dominantes e as recessivas desse conjunto de características. As variantes dominantes são aquelas que se manifestaram em F_1, ou seja: semente lisa, semente amarela, flor com pétalas púrpuras, vagem lisa, vagem verde, flores em posição axilar e planta alta. As demais variantes são, portanto, recessivas, uma vez que "desapareceram" em F_1 e só voltaram a se manifestar em F_2.

Você deve ter observado também que, para cada característica estudada, as variantes se distribuem na geração F_2 numa proporção aproximada de três plantas com variante dominante para apenas uma planta com variante recessiva.

Para explicar esses resultados, Mendel propôs que cada uma das características analisadas era determinada por um par de **fatores hereditários**, presente nas células do indivíduo. Esse par de fatores seria formado por um fator herdado da mãe e outro do pai. Assim, plantas das geração P, que eram puras, possuíam dois fatores iguais, enquanto as plantas híbridas da geração F_1 possuíam dois fatores diferentes entre si.

Durante a formação dos gametas, ele supôs ainda que os fatores de cada par se separariam (ou se segregariam), o que faria cada gameta carregar apenas um fator. Portanto, se o indivíduo era puro para a característica em questão, produziria apenas um tipo de gameta; se o indivíduo era híbrido em relação a essa característica, produziria dois tipos de gametas, na mesma proporção.

Segundo Mendel, a combinação entre os diferentes tipos de gametas produzidos pelas plantas híbridas em F_1 é o que explicaria a proporção de 3 : 1 observada em F_2.

AMOSTRA PARA DIVULGAÇÃO

Não escreva no livro.

A primeira lei de Mendel

Para compreender o modelo teórico proposto por Mendel, vamos tomar a característica cor da semente como exemplo.

As plantas parentais são de linhagem pura. Assim, de acordo com o modelo mendeliano, aquelas com sementes amarelas apresentam dois fatores iguais para essa característica, que iremos simbolizar como **VV**. Os gametas por elas produzidos só podem ser de um tipo e, portanto, carregam o fator **V**. Do mesmo modo, as plantas de linhagem pura com semente verde têm dois fatores iguais, simbolizados aqui como **vv**, e produzem apenas gametas com o fator **v**.

Ao promover o cruzamento entre essas plantas, Mendel levou o pólen da planta com sementes verdes que produz gametas masculinos com o fator **v** para o estigma das plantas com sementes amarelas, cujos gametas femininos têm apenas o fator **V**. A fecundação desses gametas resultou em sementes portadoras dos dois fatores, isto é, híbridas, ou **Vv**. Como o fator amarelo é dominante sobre o verde, essas sementes eram todas amarelas.

Como se vê, o modelo de Mendel explica por que ele obteve 100% de plantas com a mesma variante em F_1 para todas as características analisadas. A presença de um fator dominante – indicado pela letra maiúscula (**V**) – sempre resulta na variante dominante, mascarando a presença do fator recessivo – indicado pela letra minúscula (**v**).

O modelo também explica os resultados obtidos em F_2. As plantas híbridas, **Vv**, produzem dois tipos de gametas: 50% com o fator **V** e os outros 50% com o fator **v**. O cruzamento por autofecundação das plantas de F_1 possibilita quatro resultados, como mostrado no quadro abaixo.

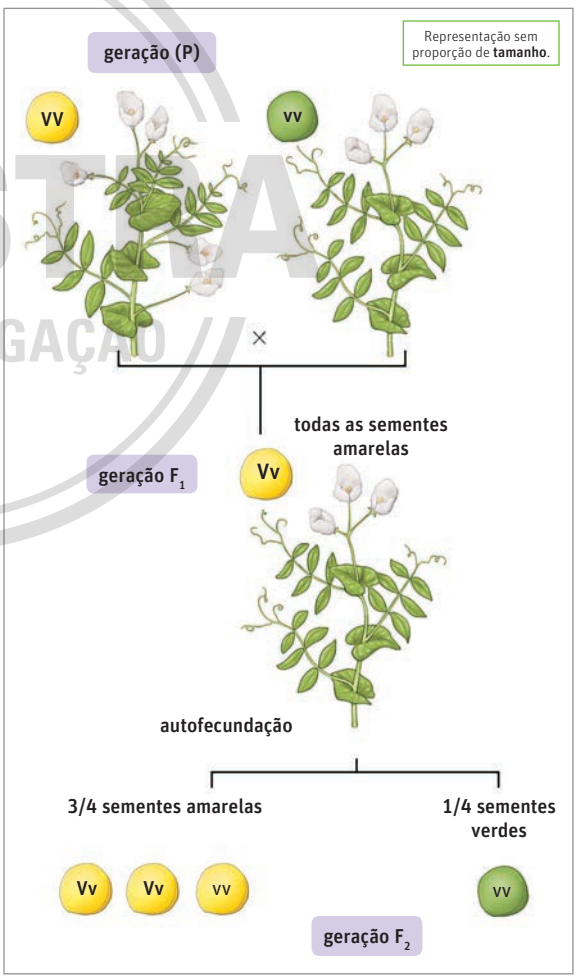
gameta masculino	gameta feminino	resultado da fecundação	Característica das plantas em F_2
V	V	VV	plantas puras com sementes amarelas
V	v	Vv	plantas híbridas com sementes amarelas
v	V	vV	plantas híbridas com sementes amarelas
v	v	vv	plantas puras com sementes verdes

Como os gametas com o fator **V** estão presentes na mesma quantidade dos gametas com fator **v**, e os cruzamentos listados anteriormente têm a mesma possibilidade de ocorrer, o cruzamento de plantas híbridas (**Vv**) entre si produz três plantas com sementes amarelas para cada planta com semente verde – exatamente a proporção de 3 : 1 encontrada por Mendel na geração F_2 (veja imagem ao lado).

Os princípios do modelo teórico de Mendel deram origem à **lei da segregação dos fatores**, mais tarde denominada **primeira lei de Mendel**, que pode ser enunciada da seguinte maneira:

Os fatores que determinam uma característica hereditária se segregam durante a formação dos gametas de modo que cada gameta contenha apenas um fator.

Com esse enunciado, Mendel explicava os resultados que observou, tanto com as diferentes características possíveis quanto com a proporção dos resultados dos cruzamentos. Atualmente, são conhecidos outros modelos de herança e diversos casos não explicados pela primeira lei de Mendel, que serão estudados nos próximos capítulos.



Reinaldo Vignati/MD/BR

Representação do cruzamento entre plantas com ervilhas verdes e plantas com ervilhas amarelas na geração parental (P) seguida de autofecundação das plantas da primeira geração híbrida (F_1). Note a proporção 3 : 1 obtida na geração F_2.

Fonte de pesquisa: Raven, P. H. et al. *Biologia vegetal*. 8. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2014. p. 162.

AMOSTRA PARA DIVULGAÇÃO

Redescoberta dos trabalhos de Mendel

Na década de 1890, os botânicos Hugo de Vries (1848-1935), na Holanda, e Carl Correns (1864-1933), na Alemanha, estudavam a hibridização de plantas e, de forma independente, chegaram a conclusões semelhantes àquelas a que Mendel havia chegado em 1865. Nessa época, nenhum deles conhecia os experimentos do monge cientista, o que aconteceu pouco antes de publicarem seus trabalhos, em 1900.

Ao conhecer os trabalhos de Mendel, os dois botânicos incorporaram aos seus próprios trabalhos as análises que ele havia feito e reconheceram seu pioneirismo na descoberta das leis da hereditariedade.

A publicação dos trabalhos de De Vries e Correns, confirmando a primeira lei de Mendel, despertou interesse na comunidade científica, gerando estudos que levaram ao estabelecimento do que hoje em dia é conhecido como **genética clássica**.

Relação entre meiose e a primeira lei de Mendel

Em 1902, o citologista Walter Sutton (1877-1916), que estudava cromossomos de gafanhotos, notou que havia grande semelhança entre o processo de separação dos cromossomos homólogos durante a meiose (a divisão celular é tratada com detalhes no volume 1 desta coleção) e a separação dos fatores hereditários na formação dos gametas, conforme proposto por Mendel. Sutton sugeriu, então, que os fatores de uma característica hereditária se encontravam pareados nos cromossomos homólogos que se segregavam durante a meiose (imagem abaixo).

Paralelamente, o zoólogo Theodor Boveri (1862-1915) sugeriu que cada cromossomo levava um conjunto específico de fatores hereditários, e que todo o conjunto de cromossomos com seus fatores específicos era necessário para a sobrevivência do organismo.

Sutton e Boveri foram, assim, os primeiros cientistas a relacionar o comportamento dos cromossomos durante a meiose às descobertas obtidas por Mendel em seus experimentos com ervilhas, isto é, às leis de Mendel. Suas conclusões foram apoiadas posteriormente pelos estudos de Thomas Morgan (1866-1945) e Barbara McClintock (1902-1992), que contribuíram para o estabelecimento da teoria cromossômica da herança na década de 1910 (essa teoria é abordada no capítulo 1).

SAIBA MAIS

As leis de Mendel aplicam-se à espécie humana?

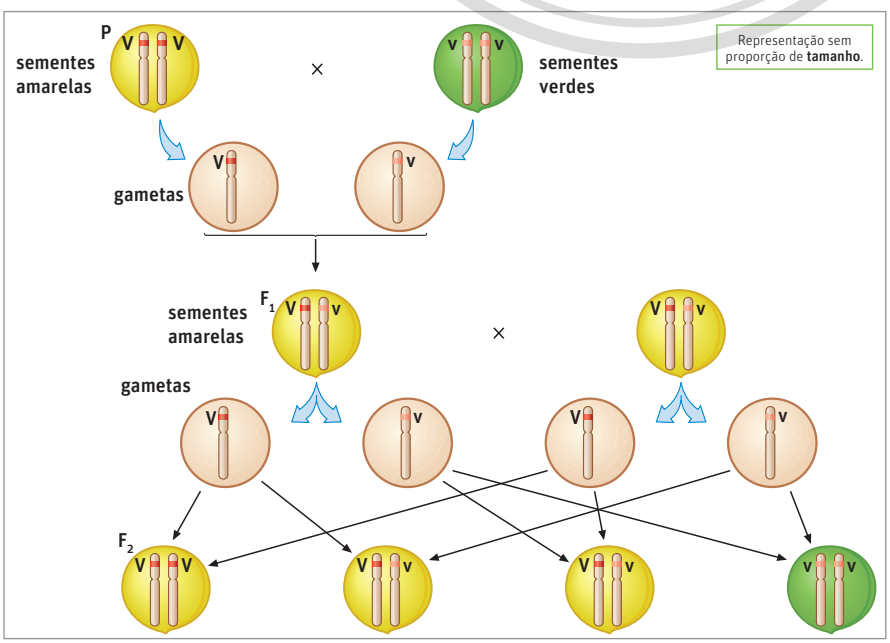
O padrão de herança de muitas características na espécie humana está de acordo com as leis de Mendel, como no caso do albinismo, condição que determina a ausência de pigmentação na pele.

No entanto, o estudo das características humanas hereditárias é especialmente difícil por vários motivos. Um deles é que não é possível ter controle sobre os cruzamentos, como fazia Mendel em seus experimentos com ervilhas. Outro é que as gerações humanas são longas, entre 25 e 30 anos, o que torna muito difícil acompanhar as características no decorrer dessas gerações. Além disso, cada casal produz poucos filhos, ao contrário do número de descendentes obtidos por Mendel em cada cruzamento de ervilhas.

Ao analisar a herança de uma característica, é preciso ainda contar com a colaboração dos familiares para obter informações sobre cada componente da família e, mesmo assim, não é possível garantir a veracidade das informações.

AMOSTRA
USO PARA DIVULGAÇÃO

Reinaldo Vignati/ID/BR



Representação do cruzamento entre plantas com ervilhas amarelas e plantas com ervilhas verdes na geração parental (P) seguida de autofecundação das plantas da primeira geração híbrida (F_1). Note que cada gameta contém apenas um dos cromossomos do par de homólogos. Cores-fantasia.

ATIVIDADES

2. Observe novamente o esquema desta página. Como são os gametas produzidos por cada descendente da geração F_2?

Não escreva no livro.

Conceitos aplicados à genética mendeliana

Como visto no capítulo 1, os fatores hereditários idealizados por Mendel foram batizados por Wilhem L. Johannsen de **genes**.

As variantes sob as quais um gene se apresenta são chamadas de **alelos**. Por exemplo, o gene que determina a cor da semente da ervilha possui dois alelos: o alelo recessivo (**v**) e o alelo dominante (**V**).

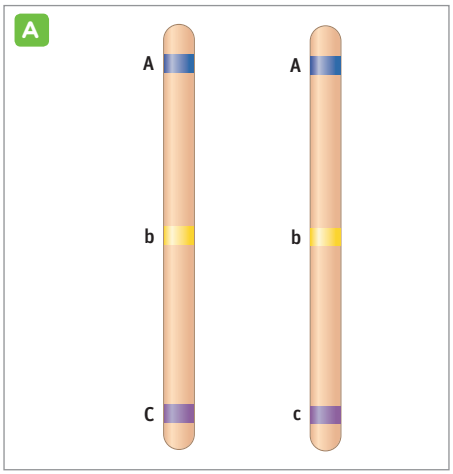
Quando um indivíduo apresenta um par de alelos iguais, fala-se que ele é **homozigoto**, sendo **homozigoto dominante** quando os dois alelos são dominantes (**VV**) e **homozigoto recessivo** quando ambos são recessivos (**vv**). O indivíduo que tem alelos diferentes, um recessivo e outro dominante, é chamado de **heterozigoto** (**Vv**). Cada cromossomo possui vários genes, cujos alelos podem estar em homozigose ou heterozigose (imagem **A**).

A constituição de genes e seus alelos em um indivíduo define seu **genótipo**, termo também cunhado por Johannsen. Assim, **VV**, **vv** ou **Vv** são os três genótipos que as ervilhas de Mendel podem ter quando pensamos no gene que condiciona a cor da semente nessas plantas.

O genótipo tem infuência sobre o **fenótipo**, isto é, nas características de um indivíduo. Contudo, a manifestação do fenótipo também é influenciada por fatores ambientais, motivo pelo qual se fala que o fenótipo é resultante da interação entre genótipo e ambiente. Portanto, dois indivíduos podem ter o mesmo genótipo, mas manifestar fenótipos diferentes.

Por outro lado, indivíduos com genótipos diferentes podem apresentar o mesmo fenótipo. Ervilhas que são homozigotas dominantes (**VV**) ou heterozigotas (**Vv**) para o gene que determina a cor da semente manifestam o fenótipo amarelo. Mas a tonalidade amarela pode variar de acordo com influências do ambiente.

Representação sem proporção de **tamanho**.



Reinaldo Vignati/ID/BR

Representação de um par de cromossomos homólogos. Note que esse indivíduo é homozigoto para os genes *a* e *b* e heterozigoto para o gene *c*. Cores-fantasia.

ATIVIDADES

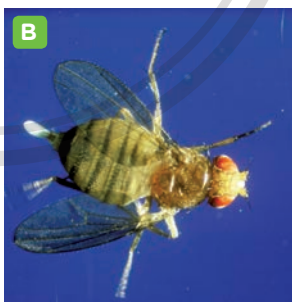
3. Como você faria para distinguir um homozigoto (**AA**) de um heterozigoto (**Aa**) em um caso de herança mono-híbrida?

Exemplos de heranças mendelianas

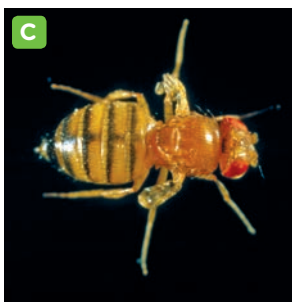
A primeira lei de Mendel explica a transmissão de características que apresentam fenótipos bem distintos e são produzidas por um único gene com dois alelos. Esse tipo de herança é chamado de **mono-hibridismo** e está presente em várias espécies.

Na mosca drosófila, por exemplo, o tipo de asa é condicionado por apenas um gene, que apresenta dois alelos: um alelo dominante (**V**), que condiciona asa com comprimento "normal" (imagem **B**), e um alelo recessivo (**v**), que em homozigose condiciona a variante de asa dita "vestigial" (imagem **C**). Ao cruzar uma drosófila homozigota com asa normal (**VV**) com uma drosófila homozigota com asa vestigial (**vv**), obtêm-se em F_1 apenas moscas heterozigotas (**Vv**) e, portanto, com asas normais. O cruzamento entre essas moscas produz em F_2 moscas de asas normais e de asas vestigiais na proporção de 3 : 1, como previsto por Mendel.

O formato do tomate-cereja é outro exemplo de característica com herança mono-híbrida (imagens **D** e **E**). Nessa variedade de tomate, o formato do fruto pode ser redondo (característica que se manifesta na presença do alelo dominante) ou alongado (característica que se manifesta com dose dupla do alelo recessivo). O cruzamento entre heterozigotos para essa característica resulta em frutos redondos e alongados na proporção mendeliana 3 : 1.



Phil Degginger/Animals Animals/Keystone Brasil



J.C. Revy/Science Photo Library/Latinstock

Drosófila com asa de comprimento normal (**B**) e com asa vestigial (**C**). O tipo de asa em drosófilas é uma característica que segue o padrão de herança previsto pela primeira lei de Mendel. Essas moscas costumam ter até 2 cm de comprimento.



Jane Norton/iStockphoto/Getty Images



Gabor Izso/iStockphoto/Getty Images

Tomate-cereja com formato redondo (**D**) e com formato alongado (**E**). O formato desses tomates é um exemplo de mono-hibridismo. Diâmetro e comprimento de cerca de 15 mm.

AMOSTRA PARA DIVULGAÇÃO

CAPÍTULO

3 Métodos usados em genética mendeliana

O QUE VOCÊ VAI ESTUDAR

O uso do cruzamento-teste.

Regras de probabilidade aplicadas em genética.

Como construir quadros de Punnet e heredogramas.

Exemplos resolvidos de problemas em genética.



Edward Kinsman/PR/Latinstock

AMOSTRA
PARA DIVULGAÇÃO

A variabilidade genética propicia a diversidade de formatos de orelha, sem que nenhum deles deixe de ser normal. As diferenças podem ocorrer em pessoas da mesma família e até mesmo entre irmãos. A probabilidade de uma pessoa nascer com lóbulo da orelha solto ou aderido, por exemplo, pode ser determinada pelos métodos usados na genética mendeliana.

O modelo experimental desenvolvido por Mendel para estudar a transmissão das características hereditárias em ervilhas diferenciou-se dos demais modelos adotados por hibridizadores da época pelo tratamento matemático que ele deu aos seus dados. Até hoje, alguns de seus métodos inspiram pesquisas nas áreas da genética e da estatística. A genética mendeliana pode ainda ser bastante útil quando se deseja, por exemplo, determinar a probabilidade de uma criança nascer com determinado fenótipo ou descrever como uma dada característica foi transmitida ao longo das várias gerações de uma família.

Não escreva no livro.

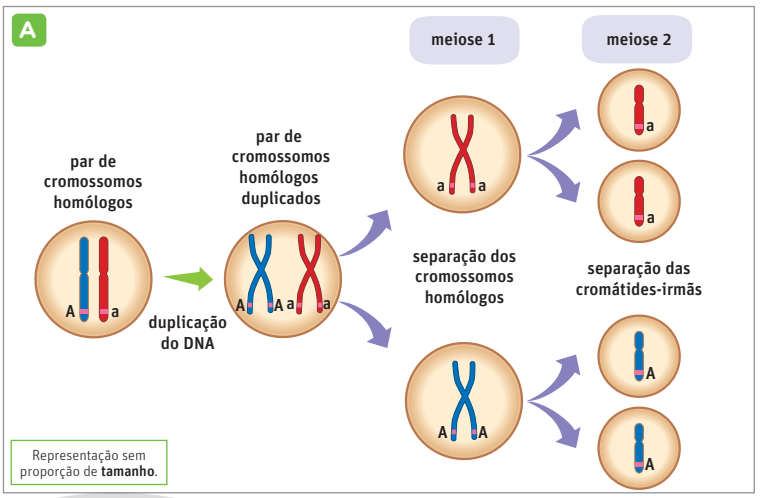
A determinação do genótipo

Atualmente, sabemos que os fatores previstos por Mendel são os genes, e que estes estão localizados nos cromossomos. Sabemos também que a segregação dos fatores da primeira lei de Mendel se relaciona à separação dos cromossomos homólogos durante a meiose (imagem **A**).

Considerando uma célula germinativa heterozigota (**Aa**) para uma dada característica, teremos ao final da meiose quatro gametas formados: dois com o alelo dominante (**A**) e outros dois com o alelo recessivo (**a**). Podemos dizer, então, que um indivíduo heterozigoto para uma característica produz dois tipos de gametas, na seguinte proporção: 50% dominantes e 50% recessivos.

Se a célula germinativa fosse homozigota dominante (**AA**), os quatro gametas resultantes da meiose carregariam o alelo dominante (**A**). Isto é, um indivíduo homozigoto dominante produz 100% de gametas dominantes. Da mesma forma, um indivíduo homozigoto recessivo (**aa**) produz 100% de gametas recessivos, ou seja, que carregam o alelo recessivo (**a**).

Contudo, nem sempre é possível determinar qual é o genótipo de um indivíduo e quais gametas ele pode produzir simplesmente olhando seu fenótipo. Nesses casos, o genótipo pode ser determinado observando o fenótipo dos descendentes de certos cruzamentos, como Mendel fez com as ervilhas-de-cheiro.



Reinaldo Vignati/ID/BR

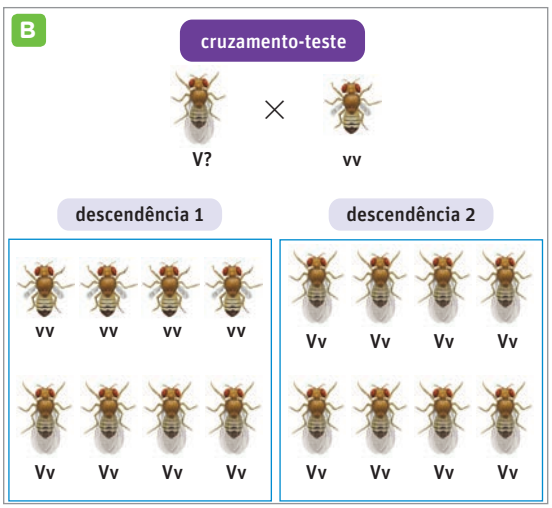
Esquema da meiose para a formação de gametas. Note que, quando a célula germinativa é heterozigota (**Aa**), são formados dois tipos de gametas em igual proporção. Cores-fantasia.

Cruzamentos-teste

No caso de características condicionadas por um alelo recessivo, como a cor verde das ervilhas estudadas por Mendel, o fenótipo não deixa dúvidas quanto ao genótipo, pois ele é sempre resultante de um genótipo homozigoto recessivo (**vv**). Já as características condicionadas por um alelo dominante, como a cor amarela das ervilhas, podem ser resultantes de dois genótipos: homozigoto (**VV**) ou heterozigoto (**Vv**).

Para determinar o genótipo de indivíduos que apresentam fenótipo dominante, usa-se o método do **cruzamento-teste**, que consiste em cruzar um indivíduo de fenótipo dominante e genótipo desconhecido com um indivíduo de fenótipo recessivo, necessariamente homozigoto (imagem **B**). Se entre os descendentes desse cruzamento houver indivíduos com o fenótipo recessivo (descendência 1), podemos concluir que o genótipo desconhecido é heterozigoto. Agora, se todos os descendentes apresentarem o fenótipo dominante (descendência 2), existem duas possibilidades. Uma delas é o genótipo desconhecido ser homozigoto (e todos os descendentes, portanto, são heterozigotos). A outra é o genótipo desconhecido ser heterozigoto, mas seus gametas com alelo recessivo não terem participado da fecundação, situação na qual não seriam observados descendentes com fenótipo recessivo. Como ter certeza, então, do genótipo?

Nesses casos, o procedimento usado é aumentar o tamanho da amostra, isto é, analisar um número maior de descendentes produzidos no cruzamento-teste. Quanto mais descendentes forem analisados, maior a chance de encontrar um com fenótipo recessivo, caso o indivíduo parental seja heterozigoto.



Petra Elster/ID/BR

Esquema de cruzamento-teste para verificar o genótipo de uma drosófila com asa normal, fenótipo condicionado por um alelo dominante (**V**). No caso de uma descendência como a mostrada em 1, pode-se concluir que o genótipo é **Vv**. Já no caso de uma descendência como a mostrada em 2, o genótipo tem grande chance de ser **VV**.

AMOSTRA PARA DIVULGAÇÃO

Noções de probabilidade

Quando Mendel calculava a chance de uma determinada característica ser transmitida de uma geração a outra, ele estava trabalhando com probabilidades. A **probabilidade** é uma área da Matemática que estuda a possibilidade de ocorrência de um determinado evento entre vários possíveis. Por exemplo, ao lançar uma moeda, qual é a chance de ela cair com o lado da coroa voltado para cima? Ou, ao lançar um dado, qual é a possibilidade de sair o número 2 voltado para cima?

No caso do lançamento da moeda, existem dois resultados possíveis: cara ou coroa (imagem **A**). Portanto, a probabilidade de a moeda cair com o lado da coroa voltado para cima é de uma em duas possibilidades, ou seja, é $\frac{1}{2}$.

A



Banco Central. Fotografias: ID/BR

A probabilidade de uma moeda cair com a face da coroa voltada para cima é a mesma que a de cair com a face da cara, ou seja, é $\frac{1}{2}$.

Já no caso do dado, existem seis resultados possíveis, um para cada uma de suas faces (imagem **B**). Assim, a probabilidade de sair a face do número 2 voltada para cima é de uma em seis possibilidades, isto é, $\frac{1}{6}$.

B



Gjermund Alsos/ Shutterstock.com/ID/BR

A probabilidade de um dado cair com a face do número 2 voltada para cima é de $\frac{1}{6}$.

A probabilidade de um evento ocorrer entre vários possíveis pode ser calculada da seguinte maneira:

$$P = n_d / n_p$$

Onde P é a probabilidade, n_d é o número de eventos desejáveis e n_p é o número de eventos possíveis.

É importante notar que a probabilidade lida com **eventos aleatórios** (do latim *alea*, "sorte"). Isso significa que, ao lançar uma moeda duas vezes, ela não cairá obrigatoriamente uma vez com a cara e a outra com a coroa para cima. Cada lançamento é um evento independente, que tem a mesma probabilidade de ocorrer. Assim, mesmo que a moeda seja lançada centenas de vezes, dificilmente ela cairá com a face da cara em exatamente metade dos lançamentos. Contudo, quanto maior o número de lançamentos realizados, mais próximos os resultados ficarão da proporção esperada.

Na genética, a distribuição das cromátides entre os gametas que se formam é um evento aleatório. Qualquer gameta pode receber, então, qualquer uma das cromátides do par de cromossomos homólogos.

Nos indivíduos heterozigotos, os gametas produzidos podem receber uma cromátide com o alelo recessivo ou com o alelo dominante. Portanto, há dois eventos possíveis. Assim, a probabilidade de um gameta conter, por exemplo, o alelo recessivo, é dada por $1 : 2 = \frac{1}{2}$.

Em indivíduos homozigotos, a probabilidade de um gameta ter um dos alelos é 0 ou 1, a depender do tipo de homozigoto (recessivo ou dominante) e do evento desejável (tipo de alelo).

Eventos independentes e a regra do "e"

Vamos imaginar agora a seguinte situação: qual é a probabilidade de se obter o número 2 **e** o número 4, lançando simultaneamente dois dados?

Ao lançarmos dois ou mais dados simultaneamente, o resultado obtido no lançamento de um dos dados não interfere no resultado do(s) outro(s). O mesmo ocorre se lançarmos um dado várias vezes. Quando a ocorrência de um evento não interfere na probabilidade de ocorrência de outro, eles são chamados de **eventos independentes**. Nesse caso, aplica-se a seguinte regra:

A probabilidade de dois ou mais ***eventos independentes*** *ocorrerem conjuntamente é igual ao* ***produto*** *das probabilidades desses eventos ocorrerem separadamente.*

Como vimos, a probabilidade de sair o número 2 num dado é $\frac{1}{6}$. Como o lançamento do segundo dado não interfere no lançamento do primeiro (é um evento independente), podemos calcular a probabilidade de sair o número 4 no segundo lançamento da mesma maneira, e seu resultado é também $\frac{1}{6}$. Aplicando-se a regra acima, popularmente conhecida como **regra do "e"**, temos que $\frac{1}{6} \times \frac{1}{6} = \frac{1}{36}$.

ATIVIDADES

1. Ao lançar uma moeda duas vezes, qual é a probabilidade de se obter cara no primeiro lançamento e cara no segundo?
2. Qual é a probabilidade de, ao lançar um dado, obter-se o mesmo número três vezes seguidas?
3. Se os dados de um jogo são mais pesados na face 6, os resultados do lançamento dos dados continuam sendo resultados de um evento aleatório? Explique.

AMOSTRA PARA DIVULGAÇÃO

Não escreva no livro.

Eventos mutuamente exclusivos e a regra do "ou"

Outra situação: qual é a probabilidade de se obter o número 2 **ou** o número 4 no lançamento de um dado?

Nesse caso, se sair o número 2, obrigatoriamente não sairá o número 4, e vice-versa. Quando a ocorrência de um evento exclui a possibilidade da ocorrência de outro e vice-versa, eles são chamados **eventos mutuamente exclusivos**. Nesse caso, aplica-se a seguinte regra:

*A probabilidade de dois ou mais **eventos mutuamente exclusivos** ocorrerem é igual à **soma** das probabilidades de cada evento ocorrer separadamente.*

Aplicando essa regra, popularmente conhecida como **regra do "ou"**, a probabilidade de sair o número 2 ou o número 4 em um lançamento de dado é dada por $\frac{1}{6} + \frac{1}{6} = \frac{2}{6} = \frac{1}{3}$.

A regra do "e" e a regra do "ou" na genética

Essas regras de probabilidade são bastante úteis quando estamos analisando a chance de uma determinada característica ser transmitida de uma geração a outra.

O albinismo, por exemplo, é uma condição que se caracteriza pela ausência de pigmentação na pele. Na espécie humana, o albinismo é condicionado por um alelo recessivo (**a**). Sabendo disso, imagine a seguinte situação: um casal, cuja mulher é albina e o homem é heterozigoto para essa condição, deseja ter dois filhos. Qual é a probabilidade de o primeiro **e** o segundo filhos nascerem com albinismo?

Para responder a essa questão, precisamos determinar primeiro o genótipo dos pais e dos gametas que eles podem produzir. Se a mulher é albina, então ela é homozigota recessiva (**aa**) e, portanto, só pode produzir gametas com alelo recessivo (**a**). Já o homem, sendo heterozigoto (**Aa**), pode produzir tanto gametas com o alelo dominante (**A**) quanto com o alelo recessivo (**a**).O nascimento de um albino ocorre quando o gameta recessivo do homem fecunda o gameta recessivo da mulher. A chance de isso ocorrer é de uma em duas possibilidades, ou seja, é de $\frac{1}{2}$.

Se a probabilidade de ter um filho albino é de $\frac{1}{2}$ nesse caso, então a probabilidade de ter dois filhos albinos pode ser calculada pela regra do "e", já que cada nascimento é um evento independente. Assim, a probabilidade de o primeiro e o segundo filho nascerem com albinismo é $\frac{1}{2} \times \frac{1}{2} = \frac{1}{4}$.

Agora, se a pergunta fosse "Qual é a probabilidade do primeiro **ou** do segundo filho nascer com albinismo?", a resolução seria diferente. Nesse caso, a probabilidade de ter o primeiro ou o segundo filho albino é calculada pela regra do "ou". Essa probabilidade é dada, portanto, por $\frac{1}{2} + \frac{1}{2} = \frac{2}{4} = \frac{1}{2}$.

ATIVIDADES

4. Qual é a probabilidade de, ao lançar um dado, obter um número par duas vezes seguidas?
5. Imagine que um casal heterozigoto para a condição albina deseje ter filhos. Qual é a probabilidade de eles terem um filho albino? E um filho não albino?

AMOSTRA
PARA DIVULGAÇÃO

BIOLOGIA NO COTIDIANO

Sensíveis ao sol

A melanina é uma proteína que dá pimentação à pele, cabelos e olhos nos mamíferos, conferindo proteção contra a ação dos raios ultravioleta do Sol. O albinismo é uma condição resultante da deficiência na produção dessa proteína, o que deixa o indivíduo mais vulnerável aos efeitos decorrentes da exposição solar, como o câncer de pele. Assim, pessoas albinas devem tomar cuidado ao se expor ao sol, especialmente nas horas com maior insolação, e usar protetores com alto fator de proteção solar, por exemplo.

Existem vários tipos de albinismo, dependendo do gene que sofreu mutação. Essa condição é observada ainda em quase todos os animais, incluindo o ser humano. Ainda não há uma maneira de suplementar a melanina em pessoas que sofrem de albinismo ou de estimular o corpo a produzi-la, mas os tratamentos disponíveis proporcionam uma vida praticamente normal aos albinos.



Patricia Willocq/Art in All of Us/Corbis/Fotoarena

Criança com albinismo (à esquerda) e seu irmão sem albinismo (à direita).

Quadro de Punnett

Uma maneira fácil de determinar a probabilidade de ocorrência de certos fenótipos em um dado cruzamento é construindo o **quadro de Punnett**, técnica desenvolvida pelo geneticista Reginald Punnett (1875-1967).

Trata-se de uma tabela na qual a primeira coluna e a primeira linha indicam os possíveis gametas produzidos por cada indivíduo em um dado cruzamento. O sexo masculino é representado pelo símbolo ♂, e o sexo feminino, por ♀. Já as células do meio da tabela indicam todos os genótipos possíveis da combinação desses gametas.

No caso de um casal cuja mulher é homozigota recessiva (**aa**) e o homem é heterozigoto para o albinismo (**Aa**), o quadro de Punnett ficaria assim:

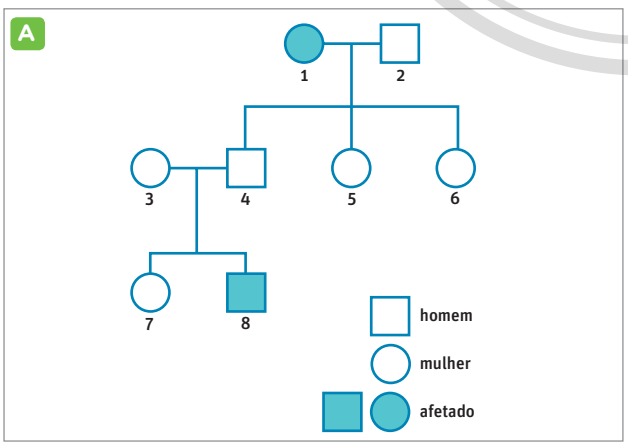
♂ \ ♀	a	a
A	Aa	Aa
a	aa	aa

Quadro de Punnett representando o cruzamento entre um homem com genótipo **Aa** e uma mulher com genótipo **aa**.

Ao olhar esse quadro, fica fácil perceber que a probabilidade de esse casal ter um filho albino é de $\frac{1}{2}$.

Heredogramas

Muitas vezes, para calcular a probabilidade de um indivíduo nascer com determinada característica, é preciso representar as relações de parentesco que ele estabelece com os demais indivíduos de sua família. O **heredograma** (do latim *heredium*, "herança") é uma espécie de árvore genealógica em que o padrão de herança de uma dada característica é representado graficamente (imagem **A**).



Reinaldo Vignati/ID/BR

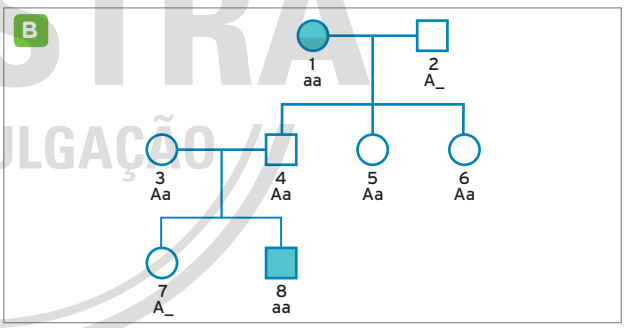
Exemplo de heredograma.

Note que os indivíduos do sexo masculino são representados com um símbolo diferente dos indivíduos do sexo feminino. Já a união entre um casal é representada por um traço horizontal (por exemplo, o casal formado pelos indivíduos 1 e 2), e a filiação, por um traço vertical que sai dos pais (caso dos indivíduos 4, 5 e 6). Além disso, os indivíduos de uma mesma geração (irmãos, primos, etc.) são sempre mostrados na mesma linha de um heredograma.

O heredograma mostra ainda qual é o fenótipo dos indivíduos para uma determinada característica. No caso do exemplo ilustrado, nota-se que os indivíduos 1 e 8 são afetados para a característica em análise.

Ao analisar um heredograma, é possível deduzir se uma característica é condicionada por um alelo recessivo ou dominante e determinar o genótipo de cada indivíduo. No exemplo, pode-se concluir que a característica em questão é condicionada por um alelo recessivo, uma vez que o casal da segunda geração (indivíduos 3 e 4) não são afetados, mas geraram um filho afetado (indivíduo 8). Portanto, podemos dizer que esse casal é heterozigoto para a característica, enquanto o seu filho afetado é homozigoto recessivo.

Sobre o casal da primeira geração, podemos afirmar que a mulher é homozigota recessiva, já que ela é afetada. Em relação ao homem, só podemos afirmar que ele não é homozigoto recessivo; logo, ele pode ser homozigoto dominante ou heterozigoto. O mesmo pode ser dito do indivíduo 7. Já na segunda geração, os indivíduos 5 e 6 são necessariamente heterozigotos, pois receberam o alelo recessivo da mãe (imagem **B**).



Reinaldo Vignati/ID/BR

O mesmo heredograma mostrado na imagem **A**, mas com os genótipos de cada indivíduo identificados. Note que a análise desse heredograma não permitiu desvendar os genótipos dos indivíduos 2 e 7, que podem ser homozigotos dominantes ou heterozigotos.

Os indivíduos representados em um heredograma geralmente têm seu fenótipo determinado, mas não necessariamente seu genótipo. No heredograma **B**, sabe-se que o indivíduo 7 não é afetado pela característica em questão, mas seu genótipo não pode ser determinado completamente. Assim, representa-se o alelo que ele com certeza tem (**A**) e um traço no local do outro alelo, que não pode ser determinado (**A_**).

ATIVIDADES

6. Elabore o quadro de Punnett para o casal formado pelos indivíduos 3 e 4 mostrado no heredograma desta página. Depois, determine a probabilidade de esse casal ter um filho afetado.

AMOSTRA PARA DIVULGAÇÃO

Não escreva no livro.

Resolução de problemas em genética

Para determinar a probabilidade de um casal ter um filho com uma determinada característica, usaremos um exemplo fictício para apresentar as várias etapas envolvidas na resolução do problema.

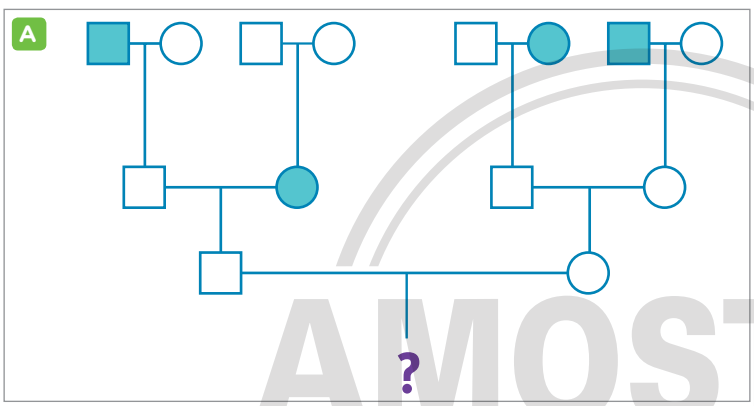
Avaliando o problema

Suponha que um casal deseje saber qual a chance de ter um filho afetado pela **fenilcetonúria**, considerando que ambos possuem parentes afetados por essa doença hereditária. Na família do homem, sabe-se que sua mãe e seu avô paterno têm a doença. Já na família da mulher, sua avó paterna e seu avô materno são afetados.

Fenilcetonúria: doença condicionada por um par de alelos que impede a pessoa de metabolizar a fenilalanina, um aminoácido presente em carnes e ovos. Se não for tratada no recém-nascido, a doença pode causar deficiência mental irreversível.

Preparativos para a resolução

O primeiro passo é construir o heredograma com base nas informações levantadas pelo casal. Para construí-lo, inicia-se com o casal em questão e segue-se em direção à geração dos seus pais e dos seus avós (imagem **A**).



Reinaldo Vignati/ID/BR

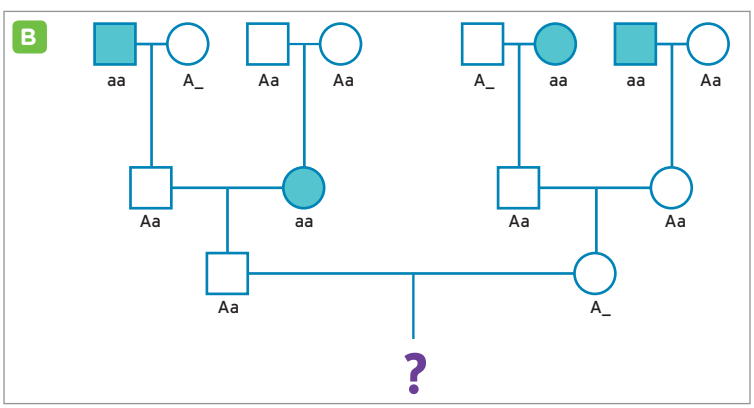
Heredograma construído com base nas informações levantadas pelo casal do exemplo fictício. Os indivíduos em destaque são afetados pela fenilcetonúria.

O segundo passo é observar o heredograma e identificar se a doença é condicionada por um alelo recessivo ou dominante. Como a mãe do homem tem fenilcetonúria, mas seus avós maternos não, conclui-se que essa doença é dada por um alelo recessivo.

Em seguida, determina-se o genótipo de cada indivíduo da família. A mãe do homem, que é afetada, só pode ser homozigota recessiva, assim como seu avô paterno. Da mesma forma, são homozigotos recessivos a avó paterna e o avô materno da mulher.

Os filhos não afetados desses indivíduos são necessariamente heterozigotos, pois herdaram um alelo recessivo. Este é o caso do homem que, portanto, também é heterozigoto. Os avós maternos do homem também são heterozigotos, pois só assim eles teriam uma filha afetada. Da mesma forma, os pais da mulher necessariamente são heterozigotos, pois cada um deles tem um pai homozigoto recessivo.

Os demais indivíduos dessa família, o que inclui a mulher, são homozigotos dominantes ou heterozigotos – as informações reunidas não permitem que esses genótipos sejam completamente determinados (imagem **B**).



Reinaldo Vignati/ID/BR

O mesmo heredograma mostrado na imagem **A**, mas com os genótipos de cada indivíduo identificados. Note que a análise desse heredograma não permitiu desvendar os genótipos de alguns membros da família, que podem ser homozigotos dominantes ou heterozigotos.

AMOSTRA PARA DIVULGAÇÃO

Resolução do problema

Depois de identificar todos os genótipos possíveis nos indivíduos representados no heredograma, pode-se calcular a probabilidade desejada.

Para o casal fictício tomado como exemplo, a análise do heredograma permitiu determinar que o homem é heterozigoto (**Aa**). Já a mulher pode ser homozigota dominante ou heterozigota (**A_**). Para determinar a probabilidade de o filho desse casal ter fenilcetonúria, deve-se construir o quadro de Punnett para cada um dos possíveis genótipos da mulher. Assim, no caso de ela ser homozigota dominante, temos que:

♂ \ ♀	A	A
A	AA	AA
a	Aa	Aa

Quadro de Punnett representando o casal fictício em que o homem é heterozigoto para a fenilcetonúria e a mulher é homozigota dominante. Note que nesse caso não há chance de o (a) filho(a) do casal nascer com a doença.

Nessa situação, portanto, não há chance de o casal ter um filho com fenilcetonúria, uma vez que ele sempre vai herdar um alelo dominante da mãe, o que impede que a doença se manifeste.

Caso a mulher seja heterozigota, temos o seguinte cruzamento:

♂ \ ♀	A	a
A	AA	Aa
a	Aa	aa

Quadro de Punnett representando o casal fictício em que ambos são heterozigotos para a fenilcetonúria. Note que nesse caso a chance de o casal ter um(a) filho(a) com a doença é de $\frac{1}{4}$.

Analisando os possíveis genótipos do filho, percebemos que a chance de ele nascer homozigoto recessivo, tendo os pais heterozigotos, é de $\frac{1}{4}$.

Portanto, para esse casal ter um filho com a doença, é preciso que dois eventos ocorram simultaneamente: a mãe precisa ser heterozigota e o filho precisa nascer homozigoto recessivo. A probabilidade de isso ocorrer pode ser calculada pela regra do "e", isto é, multiplicando-se a probabilidade de cada um desses eventos ocorrer separadamente.

Voltando ao heredograma da família, vemos que a mulher é filha de um casal heterozigoto. Assim, a chance de ela também ser heterozigota é de $\frac{2}{3}$, uma vez que certamente ela não pode ter o genótipo aa (pois não tem fenilcetonúria). Logo, a probabilidade de o casal gerar um filho com a doença é de $\frac{2}{3} \times \frac{1}{4} = \frac{2}{12} = \frac{1}{6}$ ou cerca de 16%.

AMOSTRA
PARA DIVULGAÇÃO

BIOLOGIA TEM HISTÓRIA

O "A" e o "a" em genética

Os alelos de um gene podem ser representados por qualquer letra, mas é comum que usemos o "a" maiúsculo (**A**) para representar o alelo dominante e o "a" minúsculo (**a**) para representar o alelo recessivo. Mas por quê?

O uso da notação "a" está relacionado ao binômio de Newton, que foi usado por Mendel para retratar os resultados obtidos por ele nos cruzamentos entre pés de ervilha. Ao desenvolver o binômio de Newton usado por Mendel, temos que:

$$(A + a)^2 = A^2 + 2Aa + a^2$$

Na expressão **A + 2Aa + a**, adaptação do binômio de Newton feita por Mendel, a letra **A** e a letra **a** simbolizavam os indivíduos puros, enquanto **Aa** simbolizava os indivíduos híbridos. Mais tarde, quando a noção de genótipo e de gene estava já bem estabelecida, passou-se a se referir aos indivíduos homozigotos ("puros") como **AA** (dominante) ou **aa** (recessivo).

Note ainda que essa expressão algébrica retrata também a proporção descrita na primeira lei de Mendel: **1**A + **2**Aa + **1**a, ou seja, a proporção genotípica de um indivíduo homozigoto dominante (**A**, "puro"), dois indivíduos heterozigotos (**Aa**, "híbridos") e um indivíduo homozigoto recessivo (**a**, "puro"), o que dá a proporção fenotípica de 3 : 1 (três indivíduos com a característica dominante para cada indivíduo com a característica recessiva).

Não escreva no livro.

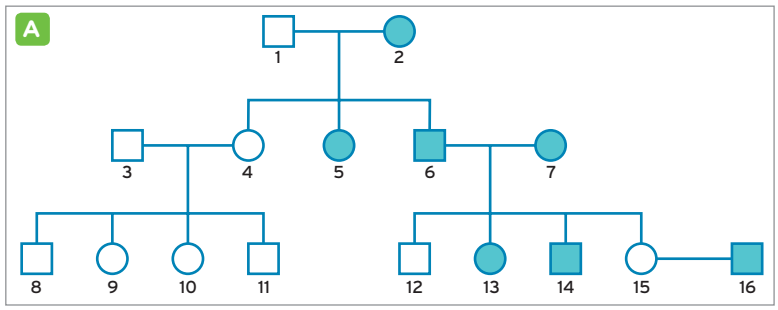
Avaliando outro problema

No heredograma ao lado (imagem **A**) estão representados os indivíduos portadores de uma doença hereditária monogênica (causada por um gene). Com base nesse heredograma, responda:

a) Qual é a probabilidade de os indivíduos 3, 4, 8, 9, 10 e 11 serem homozigotos?

b) Qual é a probabilidade de o casal 6–7 ter outro filho afetado pela doença?

c) Se o homem 16 for heterozigoto, qual é a probabilidade de o casal 15–16 ter o primeiro ou o segundo filho afetado?

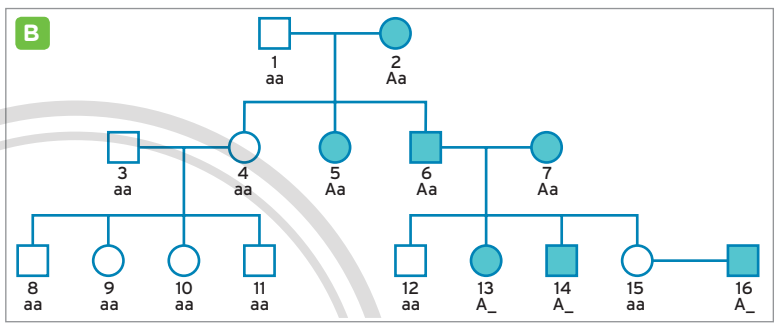


Ilustrações: Reinaldo Vignati/ID/BR

Heredograma da família citada no problema. Os indivíduos em destaque são afetados por uma doença genética.

Preparativos para a resolução

O enunciado não informa se a doença é condicionada por alelo dominante ou recessivo, mas o casal formado pelos indivíduos 6 e 7 nos dá a resposta: se ela fosse condicionada pelo alelo recessivo, todos os filhos do casal apresentariam a doença. Portanto, a doença é condicionada por um alelo dominante. Sabendo disso, é possível determinar os genótipos de diversos indivíduos mostrados no heredograma (imagem **B**).



O mesmo heredograma mostrado na imagem **A**, mas com os genótipos de cada indivíduo identificados. Note que a análise desse heredograma não permitiu desvendar os genótipos dos indivíduos 13, 14 e 16, que podem ser homozigotos dominantes ou heterozigotos.

Todos os indivíduos que não apresentam a doença em questão são necessariamente homozigotos recessivos (**aa**). Já a mulher número 2 deve ser heterozigota (**Aa**), pois só assim o casal 1–2 teria uma filha (4) sem a doença e, portanto, homozigota recessiva. O mesmo pode ser dito do casal 6–7, ambos obrigatoriamente heterozigotos. O indivíduo 5 também só pode ser heterozigoto, uma vez que ele é afetado pela doença e só pode ter herdado do pai um alelo recessivo. Os genótipos dos indivíduos 13, 14 e 16 não podem ser determinados completamente; eles podem ser tanto homozigotos dominantes quanto heterozigotos.

AMOSTRA PARA DIVULGAÇÃO

Resolução do problema

Resposta da questão *a*. Os indivíduos 3, 4, 8, 9, 10 e 11 não apresentam a doença e, portanto, são necessariamente homozigotos recessivos. Assim, a probabilidade de eles serem homozigotos é 1, ou seja, 100%.

Resposta da questão *b*. Para determinar essa resposta, é conveniente construir o quadro de Punnett, considerando que o casal é constituído por indivíduos heterozigotos (imagem **C**).

Como a doença se manifesta na presença de pelo menos um alelo dominante, conclui-se que um filho com genótipo **AA** ou **Aa** nasceria afetado pela doença. Assim, a probabilidade de esse casal ter outra criança com a doença é $\frac{3}{4}$, ou seja, 75%.

Resposta da questão *c*. Para responder essa questão, é preciso considerar dois eventos: o primeiro filho nascer com a doença e o segundo sem, **ou** o primeiro nascer sem doença e o segundo afetado por ela.

O enunciado da questão afirma que o pai é heterozigoto, e sabemos, pelo heredograma, que a mãe é homozigota recessiva. Assim, é possível construir o quadro de Punnett para obter a probabilidade de nascer um filho com a doença (imagem **D**)

A probabilidade de esse casal gerar um filho afetado pela doença é $\frac{1}{2}$, e a de gerar um filho sem a doença também é $\frac{1}{2}$. Portanto, a probabilidade de o primeiro filho ter a doença e o segundo não tê-la pode ser calculada pela regra do "e", multiplicando-se a probabilidade de cada um desses eventos ocorrer separadamente, o que é dado por $\frac{1}{2} \times \frac{1}{2} = \frac{1}{4}$. O mesmo cálculo se aplica ao caso de o primeiro filho nascer sem a doença e o segundo, com a doença. Dessa maneira, a probabilidade de o primeiro ou o segundo filho desse casal ter a doença é obtida pela regra do "ou", isto é, somando essas duas probabilidades: $\frac{1}{4} + \frac{1}{4} = \frac{1}{2}$, ou seja, 50%.

C

♂ \ ♀	A	a
A	AA	Aa
a	Aa	aa

Quadro de Punnett mostrando os possíveis genótipos de um futuro filho do casal 6–7, ambos heterozigotos para a doença em questão.

D

♂ \ ♀	a	a
A	Aa	Aa
a	aa	aa

Quadro de Punnett mostrando os possíveis genótipos de um futuro filho do casal 15–16, sendo a mulher homozigota recessiva e o homem heterozigoto para a doença em questão.

Probabilidade na prática

Objetivo

Investigar o quanto a probabilidade esperada para um evento se aproxima dos resultados obtidos.

Material

- moeda
- papel
- caneta

Procedimento

A critério do professor, a turma deve ser dividida em grupos de quatro alunos. Cada grupo deve receber uma moeda, uma folha de papel e uma caneta. Um dos alunos do grupo pode ficar encarregado de jogar a moeda, e os demais podem ficar responsáveis por anotar os resultados dos lançamentos.

Parte 1 – amostra pequena

1. O grupo deve escolher uma face da moeda (cara ou coroa). Um dos integrantes irá jogá-la seis vezes, enquanto outro aluno anota o resultado obtido em cada jogada no caderno, como mostrado na tabela ao lado.
2. Calculem a frequência relativa da face escolhida, utilizando a equação a seguir.

$$F_{rel} = n_o/n_t$$

em que
F_{rel} é a frequência relativa;
n_o é o número de vezes que a face escolhida foi obtida; e
n_t é o número total de jogadas (lançamentos).

3. Em seguida, calculem a probabilidade de ocorrência do evento desejado; nesse caso, que a moeda caia com a face escolhida para cima.

$$P = n_d/n_p$$

em que
P é a probabilidade;
n_d é o número de eventos desejáveis; e
n_p é o número de eventos possíveis.

Parte 2 – amostra grande

1. Repitam as etapas 1, 2 e 3 do item acima, desta vez jogando a moeda cem vezes.



Vinicius Tupinamba/Shutterstock

Ao lançar uma moeda, ela pode cair com a face da cara ou da coroa voltada para cima. Atualmente, considera-se a face da cara aquela em que aparece o rosto de uma autoridade ou de outra figura (como a efígie da República na moeda de 1 real), e a face da coroa aquela em que aparece escrito seu valor.

Jogadas	Face
1ª jogada	
2ª jogada	
3ª jogada	
4ª jogada	
5ª jogada	
6ª jogada	

Resultados

1. Copie o quadro abaixo em seu caderno e preencha-o com os resultados obtidos.

Amostra pequena		Amostra grande	
Resultado obtido (frequência relativa)	Resultado esperado (probabilidade)	Resultado obtido (frequência relativa)	Resultado esperado (probabilidade)

Discussão

1. Em qual das amostras o resultado obtido aproximou-se mais do resultado esperado?
2. Considerando os resultados obtidos nessa atividade, explique por que, em certas pesquisas, os cientistas procuram trabalhar com a maior amostra possível.

AMOSTRA PARA DIVULGAÇÃO

Não escreva no livro.

Entenda os malefícios dos casamentos consanguíneos

Há muito se sabe que casamentos consanguíneos estão por trás de anomalias genéticas responsáveis por diversas doenças e síndromes. Não à toa, na Idade Média, a Igreja católica proibiu a união entre parentes – embora não se desconfiasse das raízes biológicas por trás disso, era notório que filhos de uniões entre irmãos, primos e sobrinhas/tios geralmente apresentavam algum problema físico ou mental. No século XIX, o naturalista Charles Darwin foi um dos primeiros cientistas a reconhecer os efeitos adversos da consanguinidade na evolução das espécies.

Contudo, de certa forma, todos os humanos têm algum parentesco, ainda que muito distante. Até hoje, não estava claro como o nível de homozigosidade – quando se tem duas formas idênticas de um gene em particular – afeta determinados traços na população em geral. Usando dados de 350 mil indivíduos ao redor do globo, um consórcio internacional de cientistas liderados pela Universidade de Edimburgo, na Escócia, conseguiu associar as semelhanças genéticas a altura, função pulmonar, habilidades cognitivas e nível educacional. O resultado do estudo foi publicado na revista *Nature*.

Para isso, eles usaram uma nova técnica genômica, que permite quantificar o nível de parentesco, chamada homozigosidade ampla do genoma. Os pesquisadores estudaram pedaços do DNA em que sequências idênticas haviam sido herdadas do pai e da mãe, e, então, procuraram ligações entre essas coincidências genéticas e vários traços da saúde pública. Níveis mais altos de homozigosidade estavam correlacionados negativamente com a estatura, a capacidade pulmonar, os aspectos cognitivos e a escolaridade. Ou seja, quanto mais proximidade no perfil genético, piores os desempenhos nesses quesitos.

História evolutiva

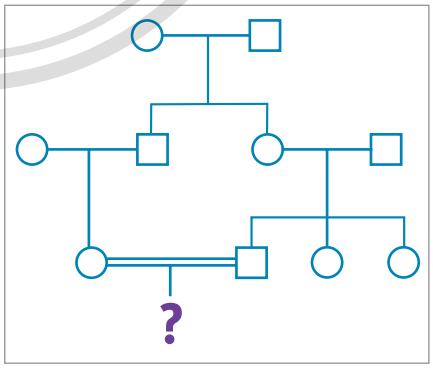
De acordo com eles, filhos de primos de primeiro grau são 1,2 cm mais baixos que a média e têm cerca de 10 meses de estudo a menos. Um efeito semelhante foi verificado quando se analisaram grandes amostras populacionais pelos quatro continentes, sugerindo que fatores como altura e habilidades cognitivas podem ter sido selecionados positivamente na história humana, pois, quanto maior a diversidade genética, maior a altura, o nível educacional, a cognição e a função pulmonar. Os pesquisadores observaram, contudo, que não foram encontradas correlações entre semelhança de genes e predisposição a condições como hipertensão e colesterol alto, que favorecem o surgimento de doenças complexas.

"Esse estudo destaca o poder das análises genéticas de grande escala para trazer à luz informações fundamentais sobre nossa história evolutiva", observou, em um comunicado de imprensa, o geneticista Jim Wilson, do Instituto Usher da Universidade de Edimburgo. "Nossa pesquisa responde perguntas propostas primeiramente por Darwin, como os benefícios da diversidade genética. Nosso próximo passo é concentrar em partes específicas do genoma que podem se beneficiar mais da diversidade", completou Peter Joshi, coautor do artigo.



Museu do Prado, Espanha. Fotografia: ID/BR

Carlos II da Espanha (1661-1700) foi um monarca espanhol conhecido por ter uma série de deficiências, provavelmente ligadas aos casamentos consanguíneos de sua família. (Pintura de Juan Carreño de Miranda, 1681. Óleo sobre tela, 232 cm × 125,5 cm.)



Reinaldo Vignati/ID/BR

Em um heredograma, os casamentos consanguíneos, como aqueles entre primos de primeiro grau, são representados por um traço duplo. Os casamentos consanguíneos podem aumentar a incidência de certas doenças genéticas na família.

Saúde Plena. Entenda os malefícios dos casamentos consanguíneos. 11 ago. 2015. Disponível em: <http://sites.uai.com.br/app/noticia/saudeplena/noticias/2015/08/11/noticia_saudeplena,154478/entenda-os-maleficios-dos-casamentos-consanguineos.shtml>. Acesso em: 29 mar. 2016.

PARA DISCUTIR

1. Com base nas informações do texto, relacione os conceitos de homozigosidade e diversidade genética.
2. Por que o texto afirma que os casamentos consanguíneos trazem malefícios?
3. O que se espera observar no heredograma de uma família em que os casamentos consanguíneos são comuns?

Não escreva no livro.

CAPÍTULO

4 Interações entre os alelos de um gene

O QUE VOCÊ VAI ESTUDAR

Padrão de dominância em genes com dois alelos.

Efeito letal de alguns alelos.

Genes com alelos múltiplos.

Interação entre produtos gênicos.



Na espécie conhecida como maravilha (*Mirabilis jalapa*), as flores podem ser de três cores, dependendo do genótipo: branca (quando a planta é homozigota para um dos alelos), rosa (quando ela é homozigota para o outro alelo) e branca e rosa (quando ela é heterozigota). Se os alelos dos genes que condicionam a cor dessas flores estabelecessem uma relação de dominância completa, haveria apenas dois fenótipos: um dominante e o outro recessivo. Assim, pode-se perceber que essa flor apresenta um padrão de herança diferente da mendeliana.

Seguindo os passos de Mendel, foram estudadas até agora características determinadas por genes que se apresentam com apenas dois tipos de alelos: o dominante e o recessivo. Nesses casos, o dominante, mesmo em heterozigose, produz um determinado fenótipo, e o duplo recessivo produz outro.

Contudo, nem sempre os alelos de um gene se comportam dessa maneira. Neste capítulo serão estudados diferentes padrões de dominância e ainda casos em que um mesmo gene apresenta mais de duas formas alélicas.

AMOSTRA DIVULGAÇÃO

Não escreva no livro.

Padrões de dominância entre dois alelos

Todas as sete características estudadas por Mendel nas ervilhas-de-cheiro apresentam apenas dois fenótipos bem definidos. A cor da semente, por exemplo, pode ser verde ou amarela. Tais características são condicionadas por apenas um par de alelos, e a presença do alelo dominante, tanto em homozigose como em heterozigose, determina um dos fenótipos, enquanto o duplo recessivo determina o outro. Esse padrão de herança é chamado de **dominância completa**.

Além dele, existem outros padrões de dominância que os alelos de um gene podem estabelecer entre si, como mostrado a seguir.

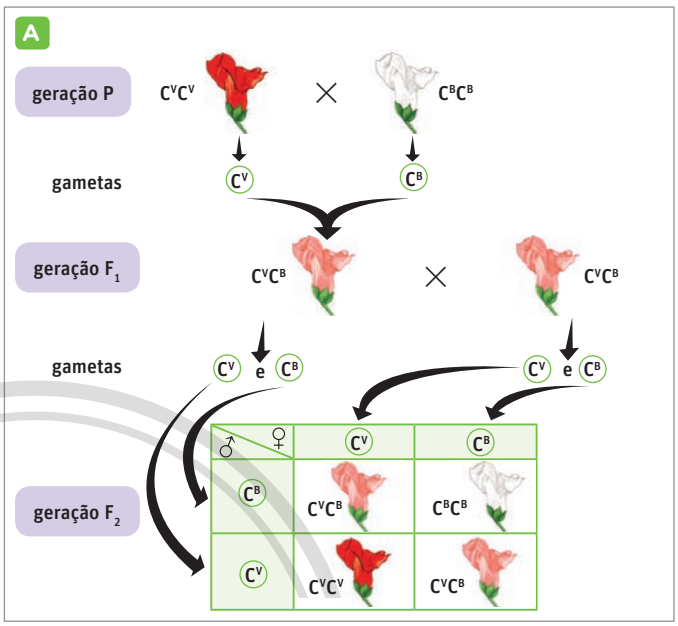
Dominância incompleta

Quando o genótipo heterozigoto resulta em um fenótipo intermediário aos fenótipos dos homozigotos, fala-se em **dominância incompleta**.

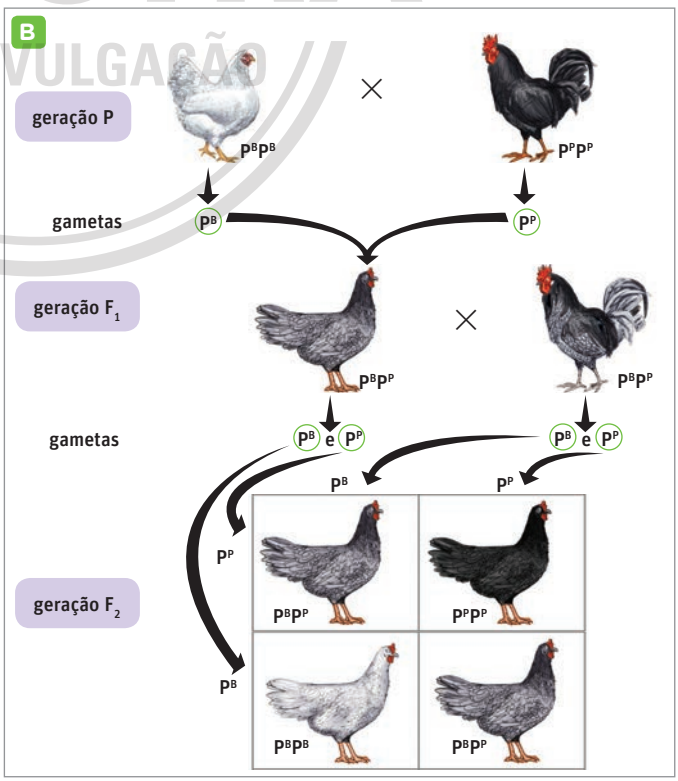
Um exemplo desse tipo de dominância é a cor das flores de uma planta ornamental popularmente conhecida como boca-de-leão (*Antirrhinum majus*). O cruzamento de plantas homozigotas de flores vermelhas com plantas homozigotas de flores brancas resulta em 100% de flores cor-de-rosa, heterozigotas, na geração F_1 (imagem **A**). O autocruzamento entre essas plantas heterozigotas produz descendentes com três fenótipos em F_2: cor vermelha, cor rosa e cor branca, na proporção 1 : 2 : 1. Note que a proporção esperada nos casos de dominância incompleta é derivada da proporção 3 : 1, que é aquela prevista pela primeira lei de Mendel, quando os alelos estabelecem relação de dominância completa.

Nos casos de dominância incompleta, os alelos são representados por uma letra maiúscula acompanhada de outra, também maiúscula, em sobrescrito. Para a planta boca-de-leão, o genótipo da planta com flores vermelhas é dado por $\mathbf{C^VC^V}$, em que a letra C representa o gene para a cor da flor, e a letra V, o alelo para o vermelho. Já o genótipo da planta com flores brancas é representado por $\mathbf{C^BC^B}$, em que o B representa o alelo para a cor branca. O genótipo da planta heterozigota com flores cor-de-rosa é representado por $\mathbf{C^VC^B}$.

Outro exemplo de dominância incompleta ocorre na cor da plumagem das galinhas andaluzas, uma variedade da galinha doméstica (*Gallus gallus domesticus*). O cruzamento de indivíduos de plumagem preta ($\mathbf{P^PP^P}$) com indivíduos de plumagem branca ($\mathbf{P^BP^B}$), ambos homozigotos, produz descendentes com plumagem cinza-azulada heterozigota ($\mathbf{P^PP^B}$). O cruzamento de um macho com uma fêmea, ambos com plumagem cinza-azulada ($\mathbf{P^PP^B}$), produz descendentes na proporção 1 : 2 : 1, ou seja: 25% com plumagem preta ($\mathbf{P^PP^P}$), 50% com plumagem cinza-azulada ($\mathbf{P^PP^B}$) e 25% com plumagem branca ($\mathbf{P^BP^B}$) (imagem **B**).



Representação do cruzamento de flores de boca-de-leão, espécie com padrão de dominância incompleta para os alelos que determinam a cor das pétalas. Note o fenótipo intermediário na geração F_1 e a proporção fenotípica obtida em F_2.



Representação do cruzamento de galinhas andaluzas. O padrão de herança da cor da plumagem nessas galinhas é mais um caso de dominância incompleta.

Ilustrações: Marcos Aurélio/ID/BR

AMOSTRA PARA DIVULGAÇÃO

Codominância

Quando não há relação de dominância de um alelo sobre o outro, fala-se em **codominância**. Nesse caso, os dois alelos de um gene se expressam igualmente em indivíduos heterozigotos, produzindo um terceiro fenótipo.

Um exemplo de codominância é o sistema sanguíneo MN em seres humanos. Todos os sistemas sanguíneos são determinados pela presença, nas membranas das hemácias, de um tipo de glicoproteína chamada de **aglutinogênio** (Ag). No caso do sistema MN, que é condicionado por um gene com dois alelos, o alelo $\mathbf{Ag}^{M}$ condiciona a presença do aglutinogênio do tipo M na membrana das hemácias de seu portador; o alelo $\mathbf{Ag}^{N}$ condiciona a presença de um aglutinogênio diferente, denominado N. Indivíduos homozigotos $\mathbf{Ag}^{M}\mathbf{Ag}^{M}$ apresentam apenas o aglutinogênio M em suas hemácias e pertencem ao grupo M, enquanto os homozigotos $\mathbf{Ag}^{N}\mathbf{Ag}^{N}$ têm apenas o aglutinogênio N e pertencem ao grupo N. Já os indivíduos heterozigotos, $\mathbf{Ag}^{M}\mathbf{Ag}^{N}$, têm aglutinogênios dos dois tipos em suas hemácias e pertencem ao grupo MN.

O cruzamento de um indivíduo do grupo M ($\mathbf{Ag}^{M}\mathbf{Ag}^{M}$) com outro do grupo N ($\mathbf{Ag}^{N}\mathbf{Ag}^{N}$) produz 100% de descendentes do grupo MN ($\mathbf{Ag}^{M}\mathbf{Ag}^{N}$). O cruzamento entre indivíduos MN produz descendentes na proporção 1 : 2 : 1 (tabela ao lado).

♂ \ ♀	Gametas	Ag^{M}	Ag^{N}
Gametas	Ag^{M}	$Ag^{M}Ag^{M}$	$Ag^{M}Ag^{N}$
	Ag^{N}	$Ag^{M}Ag^{N}$	$Ag^{N}Ag^{N}$

Quadro de Punnet representando o cruzamento de dois indivíduos com sangue do tipo MN.

Padrões de dominância e produtos gênicos

O termo "dominância" pode passar a ideia de que um alelo "domina" o seu par no cromossomo homólogo, isto é, inibe o outro. No entanto, essa ideia é errônea, pois a dominância depende dos produtos gênicos, ou seja, dos produtos codificados pelo gene, e de como eles atuam na fisiologia celular.

Em geral, nos casos de dominância completa, o indivíduo com genótipo homozigoto dominante apresenta uma proteína que está ausente no indivíduo homozigoto recessivo. Em relação à forma da semente da ervilha, lisa ou rugosa, observada por Mendel, os indivíduos homozigotos recessivos não produzem uma enzima relacionada aos açúcares encontrados na semente. Sem essa enzima, as sementes ficam sem armazenar o açúcar que impede a desidratação da semente no final do seu desenvolvimento. Assim, os indivíduos homozigotos recessivos produzem sementes que desidratam, o que produz o fenótipo rugoso. Nos indivíduos heterozigotos, a quantidade dessa enzima está reduzida à metade da encontrada nos homozigotos dominantes, mas é suficiente para manter a superfície da semente lisa.

A ação do alelo dominante não interfere na ação do alelo recessivo em indivíduos heterozigotos. O fenótipo condicionado pelo alelo dominante é que se sobrepõe ao fenótipo condicionado pelo alelo recessivo.

Nos casos de dominância incompleta, a quantidade de produto gênico nos indivíduos heterozigotos é insuficiente para produzir o fenótipo do homozigoto dominante. Por exemplo, no caso da cor das flores da planta boca-de-leão, os indivíduos homozigotos recessivos não apresentam o pigmento que confere cor vermelha às pétalas, e, na ausência desse pigmento, elas são brancas. Nos indivíduos heterozigotos, a quantidade do pigmento está reduzida à metade da encontrada nos homozigotos dominantes e não é suficiente para conferir cor vermelha às pétalas, que se apresentam cor-de-rosa.

No exemplo de codominância apresentado, os indivíduos com genótipos homozigotos produzem apenas um tipo de aglutinogênio, M ou N, enquanto os indivíduos heterozigotos produzem os dois tipos, M e N, cada um na metade da quantidade produzida pelos homozigotos.

ATIVIDADES

1. Determine as proporções genotípicas e fenotípicas dos descendentes dos seguintes cruzamentos de plantas boca-de-leão:

a) $\mathbf{C^{B}C^{B}} \times \mathbf{C^{V}C^{B}}$

b) $\mathbf{C^{V}C^{B}} \times \mathbf{C^{V}C^{B}}$

AMOSTRA
NÃO PARA DIVULGAÇÃO

Não escreva no livro.

Alelos letais

Em alguns genes, a presença de certos alelos pode provocar a morte precoce do indivíduo, razão pela qual são chamados de **alelos letais**. Quando a presença de um único alelo é suficiente para causar a morte, trata-se de um **alelo letal dominante**. Quando dois alelos são necessários, fala-se em **alelo letal recessivo**.

Um exemplo de letalidade herdada geneticamente foi verificado em camundongos, em 1905, pelo biólogo Lucien Cuenot (1866-1951). Ele cruzou camundongos heterozigotos para a cor da pelagem e obteve $\frac{2}{3}$ de camundongos amarelos e $\frac{1}{3}$ de camundongos cinzentos. A proporção obtida não era a esperada de 3 : 1, no caso de dominância completa, nem a proporção de 1 : 2 : 1, observada nos casos de dominância incompleta ou codominância.

Analisando cuidadosamente os resultados do cruzamento entre heterozigotos, Cuenot verificou que $\frac{1}{4}$ dos descendentes morriam no início do desenvolvimento embrionário, esclarecendo assim a proporção de 2 : 1 encontrada (quadro abaixo). Nesses camundongos, portanto, o alelo dominante para a cor da pelagem é letal quando em homozigose. Quando o indivíduo é heterozigoto, sua pelagem é amarela; quando ele é homozigoto recessivo, sua pelagem é cinza.

Reinaldo Vignati/ID/BR

♀ \ ♂	A	a
A	morte AA	Aa
a	Aa	aa

Quadro de Punnet representando o cruzamento de camundongos heterozigotos para o gene que condiciona a cor da pelagem. Note que o alelo dominante é letal quando em homozigose.

ATIVIDADES

2. Em gatos, o alelo Manx (M^L) em homozigose é letal, impedindo que o embrião complete seu desenvolvimento. Quando apenas um gene M^L está presente, o gato não desenvolve cauda.

Suponha que uma fêmea M^L/M (portanto sem cauda) tenha sido cruzada com um macho normal. Qual a probabilidade de se encontrar, entre os filhotes nascidos vivos, uma fêmea sem cauda?

AMOSTRA PARA DIVULGAÇÃO

BIOLOGIA NO COTIDIANO

Alelos letais contra o *Aedes aegypti*

Para conter a proliferação do mosquito *Aedes aegypti*, responsável por transmitir o vírus da dengue, da zika e da febre chikungunya, muitas estratégias têm sido adotadas. Uma delas é eliminar os criadouros do mosquito, que se reproduz em águas limpas e paradas. Outra estratégia é introduzir mosquitos transgênicos no ambiente.

Existem muitas maneiras de modificar geneticamente o mosquito *Aedes aegypti* de modo a torná-lo estéril, ou seja, incapaz de gerar descendentes. Uma delas consiste em inserir no macho um alelo dominante que é letal somente nas fêmeas, já que apenas elas são hematófagas, isto é, alimentam-se de sangue. Assim, quando os machos transgênicos são soltos no ambiente e se reproduzem com as fêmeas selvagens, todos os embriões do sexo feminino vão morrer antes de completar seu estágio larval. Os embriões do sexo masculino darão origem a mosquitos machos, que não se alimentam de sangue. Quanto mais mosquitos transgênicos forem liberados no ambiente, maior a chance de as fêmeas copularem com eles em vez de com os mosquitos selvagens.

Com essa estratégia, é possível reduzir consideravelmente a população do *Aedes aegypti*, o que ajudaria a diminuir os casos de dengue e de zika no Brasil. Contudo, é importante considerar que a introdução de animais geneticamente modificados no ambiente pode ter consequências negativas a longo prazo.



CDC/BSIP/Alamy/Latinstock

Fêmea do mosquito *Aedes aegypti* sugando o sangue de uma pessoa.

1. Que consequências negativas você acredita que a introdução, no ambiente, dos machos geneticamente modificados de *Aedes aegypti* poderia provocar?

Alelos múltiplos

Até agora foram estudados fenótipos condicionados por genes com apenas dois alelos. Entretanto, os genes podem ter mais de dois alelos. Nesses casos, fala-se em **alelos múltiplos**. Exemplos clássicos de herança por alelos múltiplos são a determinação da cor da pelagem dos coelhos e o sistema sanguíneo ABO em seres humanos.

É importante frisar que, embora um gene apresente vários alelos, os organismos diploides apresentam apenas dois alelos de cada gene: um de origem paterna e outro de origem materna.

Pelagem dos coelhos

A cor da pelagem dos coelhos é condicionada por um gene que apresenta quatro alelos. O alelo **C** condiciona pelagem castanho-acinzentada (denominada selvagem ou aguti); o alelo $\mathbf{C^{ch}}$ condiciona a pelagem cinzento-prateada (ou chinchila); o $\mathbf{C^{h}}$, a pelagem branca com extremidades escuras (ou himalaia); e o alelo **c** condiciona a pelagem branca (ou albina).

Os alelos múltiplos também apresentam dominância entre si. No caso da cor da pelagem dos coelhos, o alelo **C** é dominante sobre todos os outros. O alelo $\mathbf{C^{ch}}$ é recessivo em relação ao **C**, mas é dominante em relação ao $\mathbf{C^{h}}$ e ao **c**. O $\mathbf{C^{h}}$ é dominante apenas em relação ao **c** e, finalmente, o **c** é recessivo em relação a todos os outros três alelos. Essa hierarquia de dominância pode ser representada da seguinte maneira:

$$C > C^{ch} > C^{h} > c$$

A combinação desses quatro alelos, dois a dois, produz dez genótipos possíveis para esse gene (imagem **A**).

Sistema sanguíneo ABO

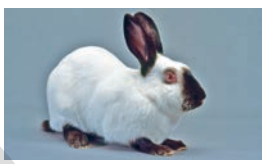
Atualmente a transfusão de sangue é rotina em hospitais. Entretanto, ela só se tornou uma prática relativamente segura depois de o médico Karl Landsteiner (1868-1943) observar que havia diferentes tipos de sangue. Com a colaboração de outros cientistas, ao longo da primeira década de 1900, foram identificados quatro tipos sanguíneos: A, B, AB e O.

As diferenças entre esses tipos sanguíneos se devem a dois tipos de proteínas: os **aglutinogênios**, glicoproteínas presentes nas membranas das hemácias; e as **aglutininas**, proteínas que se encontram dissolvidas no plasma – parte líquida do sangue (imagem **B**).

No sistema ABO, há dois tipos de aglutinogênios – o A e o B – e dois tipos de aglutininas – a anti-A e a anti-B. Uma pessoa com tipo sanguíneo **A** apresenta aglutinogênio A nas membranas das hemácias e aglutinina anti-B no plasma. Quem tem o sangue tipo **B** apresenta aglutinogênio B e aglutinina anti-A. As pessoas de tipo sanguíneo **AB** têm os dois tipos de aglutinogênio, o A e o B, e nenhum tipo de aglutinina. No caso do sangue tipo **O**, não há aglutinogênios, mas sim os dois tipos de aglutininas, anti-A e anti-B.

As aglutininas são anticorpos e reagem contra os aglutinogênios. A aglutinina anti-A reage com o aglutinogênio A, e a aglutinina anti-B reage com o aglutinogênio B, formando coágulos sanguíneos. Por essa razão, a transfusão de sangue só pode ser feita entre pessoas com tipos sanguíneos compatíveis.

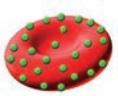
A

Fenótipos	Genótipos
 Teekaygee/Dreamstime.com/ID/BR aguti ou selvagem	CC CC^{ch} CC^{h} Cc
 John T. Fowler/Alamy/Latinstock chinchila	$C^{ch}C^{ch}$ $C^{ch}C^{h}$ $C^{ch}c$
 Grant Heilman Photography/Alamy/Latinstock himalaia	$C^{h}C^{h}$ $C^{h}c$
 Rzeszutek/Dreamstime.com/ID/BR albino	cc

Os quatro fenótipos da pelagem dos coelhos e seus respectivos genótipos.

B

Representação sem proporção de **tamanho**.

Sistema sanguíneo ABO		
Tipo sanguíneo	Aglutinogênios	Aglutininas
A		
B		
AB		–
O		

Marcos Aurélio/ID/BR

Os quatro tipos sanguíneos do sistema ABO. O aglutinogênio A e a aglutinina anti-A foram representados em verde; o aglutinogênio B e a aglutinina anti-B foram representados em laranja. Cores-fantasia.

AMOSTRA PARA DIVULGAÇÃO

Não escreva no livro.

Genética do sistema ABO

No sistema ABO, o gene que determina o tipo sanguíneo possui três alelos": $\mathbf{I^A}$, $\mathbf{I^B}$ e **i**. Os alelos $\mathbf{I^A}$ e $\mathbf{I^B}$ são dominantes em relação ao **i** e codominantes entre si.

Pessoas com os genótipos $\mathbf{I^AI^A}$ ou $\mathbf{I^Ai}$ têm apenas aglutinogênio A nas hemácias e, portanto, pertencem ao grupo sanguíneo **A**. Pessoas com genótipos $\mathbf{I^BI^B}$ ou $\mathbf{I^Bi}$ têm apenas aglutinogênio B e pertencem ao grupo sanguíneo **B**. Já aqueles com genótipo $\mathbf{I^AI^B}$ têm os aglutinogênios A e B e pertencem ao grupo **AB**, enquanto os portadores de genótipo **ii** não têm nenhum dos aglutinogênios e pertencem ao grupo sanguíneo **O** (tabela **I**).

Determinação do tipo sanguíneo

Para determinar o grupo do sistema ABO a que uma pessoa pertence, recorre-se a um teste simples (imagem ao lado). Colocam-se duas gotas de sangue numa lâmina de microscopia e, em seguida, adiciona-se em uma das gotas de sangue aglutinina anti-A e na outra gota aglutinina anti-B. Se ocorrer aglutinação do sangue na solução com aglutinina anti-A, o tipo sanguíneo é o **A**, pois o aglutinogênio tipo **A** liga-se à aglutinina anti-A. Se ocorrer aglutinação na solução com aglutinina anti-B, o tipo de sangue é o **B**. Quando há aglutinação de sangue nas duas soluções, então o tipo sanguíneo é o **AB**. Se não há aglutinação em nenhuma das soluções, o sangue é do tipo **O**.

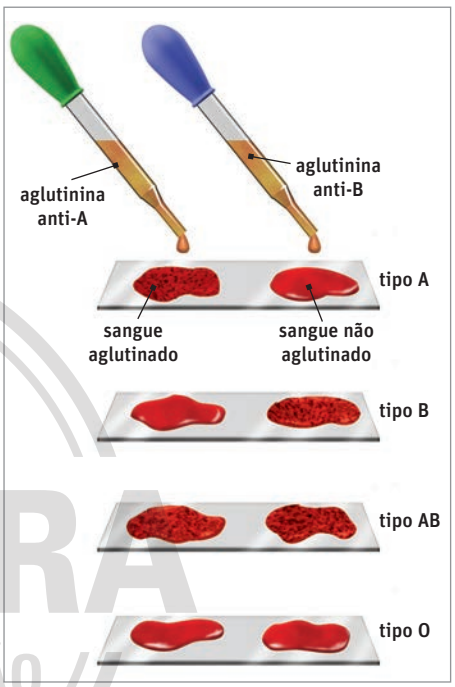
Compatibilidade sanguínea

A reação entre as aglutininas e os aglutinogênios correspondentes limita as possibilidades de doação de sangue em razão do tipo sanguíneo do doador e do receptor (tabela **II**). Por exemplo, pessoas com o sangue tipo **A** não podem receber sangue do tipo **B**, pois elas apresentam aglutinina anti-B. Nesse caso, elas só podem receber sangue de portadores do mesmo tipo sanguíneo e também daqueles com sangue do tipo **O**, pois estes não possuem aglutinogênios. Quanto à doação de sangue, os portadores do tipo sanguíneo **A** podem doar sangue para os portadores do mesmo tipo e para os que têm sangue **AB**, que não possuem nenhum tipo de aglutinina.

Entre as pessoas que necessitam receber sangue estão aquelas que passam por cirurgias nas quais ocorre perda de sangue; os hemofílicos, que estão sujeitos a hemorragias; e os portadores de doenças sanguíneas, a critério do médico.

Tabela I: Relação entre fenótipos e genótipos no sistema ABO

Fenótipo (tipo sanguíneo)	Genótipos
A	I^AI^A, I^Ai
B	I^BI^B, I^Bi
AB	I^AI^B
O	ii



Marcos Aurélio/ID/BR

Esquema do teste para a determinação do grupo sanguíneo ABO, com os possíveis resultados.

Tabela II: Possibilidades de doação de sangue no sistema ABO

Tipo	Pode receber de	Pode doar para
A	A e O	A e AB
B	B e O	B e AB
AB	A, B, AB e O	AB
O	O	A, B, AB e O

BIOLOGIA NO COTIDIANO

Sistema sanguíneo Rh

Além do sistema ABO, deve-se considerar outro sistema sanguíneo quando o assunto é transfusão de sangue: o sistema Rh. Esse sistema foi descoberto em 1940, durante experimentos com sangue de macacos reso (*Macaca mullata*).

Portadores do fator Rh possuem o sangue do tipo Rh^+ e apresentam esse aglutinogênio no sangue. Já aqueles sem esse fator são do tipo Rh^-. De modo geral, a referência ao sistema Rh é feita apenas pelo sinal "+" ou "−" sobre a letra que indica o tipo sanguíneo no sistema ABO. Por exemplo: sangue tipo A^+ e B^-.

O sistema Rh é condicionado por um gene com dominância completa entre seus dois alelos: o alelo dominante R, que produz o sangue tipo Rh^+, e o alelo recessivo r, que em homozigose produz o sangue tipo Rh^-, mais raro entre seres humanos.

ATIVIDADES

3. O grupo O é considerado "doador universal", enquanto o grupo AB é considerado "receptor universal". Explique a razão dessas denominações.

AMOSTRA PARA DIVULGAÇÃO

AÇÃO E CIDADANIA

O que falta para o Brasil doar mais sangue?

[...]

Dados da ONU apontam que o Brasil, apesar de coletar o maior volume em termos absolutos na América Latina, doa proporcionalmente menos do que outros países da região, como Argentina, Uruguai ou Cuba.

[...]

O estudo também revela outra particularidade da doação de sangue no Brasil: seis em cada dez doadores (59,52%) são voluntários (ou espontâneos, aqueles que doam com frequência sem se importar com quem vai receber o sangue), proporção inferior à de Cuba (100% são voluntários), Nicarágua (100%), Colômbia (84,38%) e Costa Rica (65,74%).

O restante (40,48%) é formado por doadores de reposição, ou seja, aqueles que doam por razões pessoais (quando um amigo ou parente precisa de sangue). [...]

[...] somente 1,8% da população brasileira entre 16 e 69 anos doam sangue – a ONU considera "ideal" uma taxa entre 3% a 5%, caso do Japão, dos Estados Unidos e de outras nações desenvolvidas.

[...]

A meta agora, segundo o Ministério da Saúde, é ampliar o número de doações dos atuais 1,8% da população para algo em torno de 2,2% a 2,3% [...].

Mas para alcançar tal objetivo será preciso enfrentar desafios que ainda atravancam o potencial das doações. Confira quais são eles:

1. Falta de conscientização

Especialistas apontam a falta de conscientização da população como um dos principais limitadores para o aumento da doação de sangue no Brasil.

Eles defendem que campanhas de incentivo à doação sejam feitas desde os primeiros anos de vida e que o assunto seja discutido nas escolas para reverter o atual cenário.

[...]

2. Estigma

Segundo Naura Faria, chefe de atendimento ao doador do HemoRio, hemocentro coordenador do Estado do Rio de Janeiro, a doação de sangue no Brasil ainda é cercada de "mitos".

"Infelizmente, ainda existem alguns mitos em relação à doação de sangue. Há pessoas que acreditam que se doarem uma vez, vão ter de doar sempre. Outras

SPL/Latinstock



Para doar sangue, é preciso ter entre 16 e 69 anos, pesar no mínimo 50 kg e estar em boas condições de saúde.

acham que doar sangue engorda. Existem ainda aquelas que temem contrair alguma doença infecciosa durante a coleta", enumera.

[...]

4. Deficiência estrutural

Segundo especialistas, não basta apenas elevar o volume de doações, sem aumentar a "eficiência do produto".

"Precisamos minimizar a possibilidade de um descarte eventual do sangue já que se trata de um material difícil de ser acondicionado", explica Yêda Maia de Albuquerque, do Hemope [Fundação de Hematologia e Hemoterapia de Pernambuco].

[...]

5. Normas e proibições

As normas e proibições – muitas delas polêmicas – também são consideradas por muitos um entrave ao aumento no número de doações no país. [...]

[Um] veto polêmico envolve homens que se relacionaram sexualmente com outros homens no período de 12 meses anteriores à coleta. Para ativistas de direitos LGBT, a norma é "discriminatória".

"O que deveria ser levado em consideração é o comportamento de risco e não a identidade sexual. Por que um gay que tenha um parceiro fixo não pode doar?", questiona Welton Trindade, ativista LGBT e coordenador de mídia do grupo Estruturação, sediado em Brasília.

Na América Latina, México, Chile e Uruguai já permitem a doação de sangue por "homens que se relacionaram com homens".

[...]

BARRUCHO, Luís Guilherme. O que falta para o Brasil doar mais sangue? *BBC Brasil*. 19 ago. 2015. Disponível em: <http://www.bbc.com/portuguese/noticias/2015/08/150812_sangue_doacoes_brasil_lgb>. Acesso em: 6 abr. 2016.

1. Você ou alguém da sua família já doou sangue? Em que circunstâncias?
2. O que você acha da norma que proíbe homossexuais de doar sangue? Justifique.

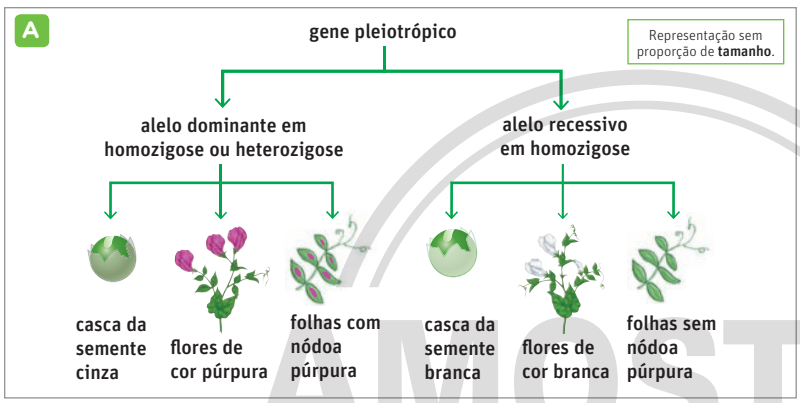
AMOSTRA PARA DIVULGAÇÃO

Não escreva no livro.

Pleiotropia

É comum que o produto de um gene influencie mais de uma característica no fenótipo de seu portador. Esses efeitos múltiplos de um gene são chamados de **pleiotropia** (do grego *pleio*, "muito", e *tropo*, "mudança"). O genoma dos seres vivos é constituído principalmente por genes pleiotrópicos.

Nas ervilhas estudadas por Mendel, verificou-se que o gene que condiciona a cor da casca da semente é um gene pleiotrópico, pois ele condiciona também a cor da flor e a presença de uma nódoa púrpura nas folhas (imagem **A**). Os pés de ervilha homozigotos dominantes para esse gene, bem como os heterozigotos, produzem casca da semente cinza e flores púrpura, e apresentam mancha arroxeada nas folhas. Os pés de ervilha homozigotos recessivos produzem casca da semente e flores brancas e não apresentam mancha nas folhas.



Reinaldo Vignati/ID/BR

Exemplo de pleiotropia nas ervilhas estudadas por Mendel. Cores-fantasia.

Genes pleiotrópicos em humanos

O **albinismo** é um exemplo de condição genética hereditária relacionada a um único gene, que é pleiotrópico. Quando esse gene sofre mutação, o organismo deixa de produzir melanina, o que provoca a despigmentação da pele. O gene mutado prejudica ainda a formação do olho durante o desenvolvimento embrionário, causando diversos problemas visuais.

Outro exemplo de pleiotropia é a **fenilcetonúria**, doença causada por uma mutação que acaba alterando a atividade da enzima fenilalanina, que catalisa a conversão do aminoácido fenilalanina em tirosina. O acúmulo da fenilalanina nas células de indivíduos homozigotos recessivos afeta vários órgãos, ocasionando diferentes sintomas, como atraso cognitivo, hiperatividade, convulsões e tremores.

A **anemia falciforme** também é uma doença que envolve a mutação de um gene com efeito pleiotrópico. Nesse tipo de anemia, as **hemácias** têm formato de foice (imagem **B**), em função da estrutura modificada da hemoglobina. Essa hemoglobina modificada consegue transportar o gás oxigênio, mas, ao chegar aos tecidos, aglutina-se e distorce as hemácias tornando-as duras e quebradiças. Além da anemia falciforme, as hemácias em foice provocam outros sintomas, como reumatismo, insuficiência cardíaca e insuficiência renal.

No entanto, a forma branda da anemia falcifome, que ocorre quando o alelo mutante está em heterozigose, pode ser vantajosa para indivíduos que vivem em locais com alta incidência de malária. Na África subsaariana, por exemplo, é comum a forma mais letal da malária, que é aquela causada pelo *Plasmodium falciparum*. Porém, este protozoário não consegue completar seu ciclo de vida nas hemácias falciformes, conferindo certa vantagem evolutiva aos portadores dessa característica.



Dr. Gopal Murti/SPL/Latinstock

Na anemia falciforme, as células vermelhas do sangue, que normalmente têm um formato discoide, assumem formas curvadas, que lembram foices, como pode ser visto no alto da imagem. (Foto ao microscópio eletrônico de varredura; imagem colorizada; aumento de cerca de 3 mil vezes.)

Hemácia: célula vermelha do sangue que possui milhões de moléculas de hemoglobina em seu interior, cada uma delas capaz de se ligar a quatro moléculas de gás oxigênio.

AMOSTRA
PARA DIVULGAÇÃO

Qual é o seu tipo sanguíneo?

Introdução

Cada pessoa possui um tipo sanguíneo dos sistemas ABO e Rh. Com frequência, campanhas públicas convocam doadores para repor os estoques de bancos de sangue, principalmente em situações de grandes tragédias, quando eles são rapidamente esgotados.

Na população brasileira, os tipos sanguíneos se distribuem como mostra a tabela ao lado.

Tipo sanguíneo	Frequência relativa (em %)
O^+	36
O^-	9
A^+	34
A^-	8
B^+	8
B^-	2
AB^+	2,5
AB^-	0,5

Distribuição aproximada dos tipos sanguíneos pela população brasileira.

Fonte de pesquisa: Centro de Hematologia e Hemoterapia de Santa Catarina. Disponível em: <http://www.hemosc.org.br/sangue>. Acesso em: 7 abr. 2016.

Objetivo

Calcular as frequências fenotípicas dos tipos sanguíneos do sistema ABO e Rh dos alunos da turma e de seus familiares mais próximos.

Procedimento

1. Faça um levantamento dos tipos sanguíneos dos sistemas ABO e Rh dos alunos da turma e dos membros de sua família. A informação sobre seu tipo sanguíneo pode ser obtida com seus pais ou responsáveis ou então em fichas médicas (exames de sangue, relatório da maternidade, carteira de vacinação, etc.). Se necessário, é possível procurar um posto de saúde para solicitar um exame de tipagem sanguínea.

Resultado

1. Com auxílio do professor, organize os dados obtidos em uma tabela, como a mostrada abaixo. Lembre-se de que existem quatro tipos sanguíneos dentro do sistema ABO, e dois tipos quanto ao sistema Rh. Por isso, cruzando-se os dois sistemas, serão calculadas as frequências para oito tipos de sangue (O^+, O^-, A^+, A^-, B^+, B^-, AB^+ e AB^-).
2. Para calcular a frequência absoluta, basta somar o número de alunos e familiares que possuem um determinado tipo sanguíneo.
3. Para calcular a frequência relativa, é só dividir a frequência absoluta obtida para cada tipo sanguíneo pelo total da amostra.

Tipo sanguíneo	Frequência absoluta	Frequência relativa (%)
O^+		
O^-		
A^+		
A^-		
B^+		
B^-		
AB^+		
AB^-		
Totais		100%

Discussão

1. Compare as frequências relativas de cada tipo sanguíneo encontrado no Brasil com aquelas obtidas nessa atividade. Houve divergências?
2. Qual é a importância de conhecer o próprio tipo sanguíneo? E o de nossos amigos e familiares?
3. Com base nas informações obtidas, verifique se é possível determinar o genótipo referente ao seu tipo sanguíneo e o de seus familiares.

AMOSTRA PARA DIVULGAÇÃO

Não escreva no livro.

Medicina personalizada

A medicina personalizada abrange o uso de biomarcadores, em sua maioria marcadores moleculares, para detectar traços genéticos específicos e orientar diferentes abordagens na prevenção e no tratamento de várias doenças. A identificação de vários genes relacionados a doenças hereditárias, oncológicas e infecciosas leva à detecção de polimorfismos genéticos, que estão envolvidos em diferentes evoluções clínicas dessas doenças e em variações nas respostas ao tratamento.

Atualmente, é possível detectar polimorfismos de ácidos nucleicos usando várias metodologias. A detecção rotineira de polimorfismos de nucleotídeos únicos [...] pode ser conseguida em laboratórios clínicos usando a reação em cadeia da polimerase (PCR) em tempo real. Outras técnicas, como detecção de microarranjos ou sequenciamento de ácidos nucleicos, também podem ser rotineiramente aplicadas, especialmente quando vários polimorfismos diferentes podem ser relevantes na previsão de um genótipo em particular. Métodos de sequenciamento de nova geração têm sido incorporados em laboratórios clínicos, já que permitem a análise simultânea de amplas regiões do genoma e até da sequência inteira dele, viabilizando, assim, a identificação concomitante de diferentes mutações em vários genes.

Os ensaios de medicina personalizada são focados na detecção de variações genéticas que alteram as interações de drogas com alvos ou as vias metabólicas das drogas [...], podendo ser utilizados para a seleção de formulações de drogas e detecção de diversas imunogenicidades de drogas.

O uso de ensaios de medicina personalizada está se ampliando e várias aplicações já foram descritas em diferentes áreas da medicina. A medicina personalizada permite que métodos terapêuticos específicos sejam usados para cada paciente e doença, conforme os resultados desses ensaios genéticos. A aplicação de tal protocolo demanda uma interação crescente entre o laboratório e a equipe clínica. Para sua implementação, é necessário contar com uma equipe coordenada, com pesquisadores de área básica e médicos altamente especializados em seus campos de estudo, com suporte de um time muito qualificado de analistas clínicos treinados, de forma específica, em ensaios de biologia molecular.

[...]

Câncer de mama

Para câncer de mama, diferentes marcadores imuno-histoquímicos e de biologia molecular são usados para indicar a opção de tratamento mais apropriada e avaliar os riscos de metástases ou recorrência.

[...]

O uso do tamoxifeno é a terapia padrão para câncer de mama [...] em mulheres na pré-menopausa. As proteínas codificadas [pelos] genes *CYP450*, *CYP2D6* e *CYP3A4* regulam o metabolismo do tamoxifeno. A eficácia da terapia com tamoxifeno depende do fenótipo de *CYP2D6* da paciente. [...] Pacientes com variações hereditárias no gene *CYP2D6* são fracos metabolizadores de tamoxifeno, o que resulta na diminuição da atividade terapêutica e no aumento do potencial para reações adversas às drogas [...].

[...]

Finalmente, o sequenciamento de alguns genes, particularmente de *BRCA* (*breast cancer*) *1* e *2*, orienta a vigilância e o tratamento preventivo, baseado em risco de suscetibilidade para câncer da mama e do ovário.

[...]

Health Protection Agency/SPL/Latinstock



Pesquisadora utilizando máquina que realiza a reação da cadeia da polimerase (PCR) em tempo real.

AMOSTRA PARA DIVULGAÇÃO

Pinho, João et al. Medicina personalizada e o laboratório clínico. *Einstein (São Paulo)*. São Paulo, v. 12, n. 3, p. 366-373, set. 2014. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S1679-45082014000300366&script=sci_arttext&tlng=pt>. Acesso em: 7 abr. 2016.

PARA DISCUTIR

1. Como você definiria o termo "polimorfismo genético"? É possível relacioná-lo com o conceito de alelos múltiplos? Dê um exemplo.
2. De que maneira os avanços da genética podem contribuir para a medicina personalizada?

Não escreva no livro.

CAPÍTULO

5 Segunda lei de Mendel

O QUE VOCÊ VAI ESTUDAR

A segunda lei de Mendel.

Exemplos de segregação independente e análise de cruzamentos genéticos.

Como genes podem interagir para determinar um fenótipo.



Martin Shields/PR/Latinstock

As ervilhas podem apresentar diferenças na cor (amarela ou verde) e na textura da casca (lisa ou rugosa). Essas duas características são hereditárias e foram estudadas por Mendel.

Em seus primeiros experimentos, Mendel estudou a transmissão hereditária de um único par de fatores. Para isso, utilizou duas linhagens puras (parentais homozigotas), que diferiam em apenas uma característica.

Depois, Mendel analisou os descendentes das linhagens homozigotas que diferiam em duas características, como cor e textura. Ao fazer essas análises, ele constatou outro importante princípio da hereditariedade, que ficou conhecido como segunda lei de Mendel.

AMOSTRA PARA DIVULGAÇÃO

Não escreva no livro.

Lei da segregação independente

Ao estudar a herança de duas características nas ervilhas, Mendel analisou simultaneamente a cor e a textura da semente. Nas ervilhas, a cor amarela é condicionada por um alelo dominante (**V**), enquanto a cor verde é condicionada por um alelo recessivo (**v**). Já o alelo que condiciona a textura lisa é dominante (**R**), e o que determina a textura rugosa é recessivo (**r**). Assim, indivíduos duplo-heterozigotos (com genótipo **Vv** e **Rr**) apresentam fenótipo amarelo e liso.

Em um dos experimentos, Mendel cruzou uma linhagem homozigota de sementes amarelas e lisas (**RRVV**) com outra linhagem homozigota de sementes verdes e rugosas (**rrvv**) e obteve em F_1 apenas plantas com sementes amarelas e lisas (**RrVv**) (imagem ao lado). Em seguida, as plantas de F_1 foram autofecundadas, e Mendel observou em F_2 quatro tipos de fenótipos: dois iguais aos da geração parental e dois novos (sementes amarelas rugosas e sementes verdes lisas). Mendel notou ainda que esses fenótipos apareciam na proporção 9 : 3 : 3 : 1.

O quadro a seguir representa os resultados obtidos por Mendel no cruzamento estudado.

Geração P	Geração F_1	Autofecundação de F_1	Geração F_2	Proporções em F_2
amarelas e lisas × verdes e rugosas	amarelas e lisas	amarelas e lisas × amarelas e lisas	315 amarelas e lisas 108 verdes e lisas 101 amarelas e rugosas 32 verdes e rugosas Total = 556 sementes	9,06 ≅ 9 3,10 ≅ 3 2,90 ≅ 3 0,92 ≅ 1

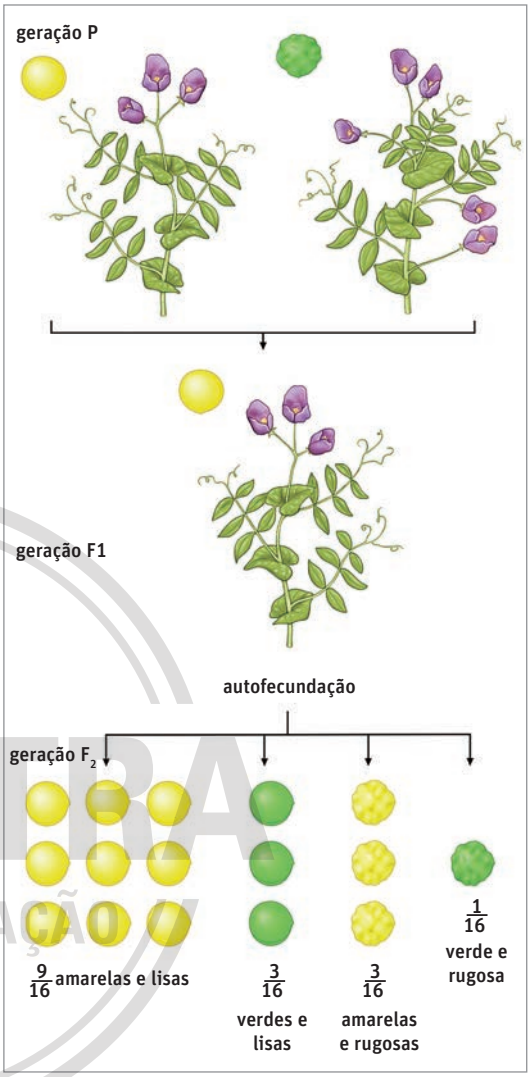
Fonte de pesquisa: Griffiths, A. J. F. et al. *Introdução à genética*. 9. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2011, p. 77.

A partir desses resultados, Mendel analisou separadamente cada característica – textura e cor da semente. Ao fazer isso, ele observou que a proporção entre sementes lisas e rugosas (ou verdes e amarelas) se aproximava de 3 : 1, a mesma proporção já encontrada em cruzamentos em que se considera apenas uma característica (tema abordado no capítulo 2). Assim, Mendel concluiu que o cruzamento em questão poderia ser dividido em dois cruzamentos simples, cada um considerando apenas uma característica, como mostrado no quadro abaixo.

Características das sementes	Fenótipos em F_2	Proporções em F_2
textura da semente	315 + 108 = 423 lisas 101 + 32 = 133 rugosas Total = 556 sementes	3,04 ≅ 3 0,95 ≅ 1
cor da semente	315 + 101 = 416 amarelas 108 + 32 = 140 verdes Total = 556 sementes	2,99 ≅ 3 1

Mendel constatou que a herança da textura da semente não dependia da herança de sua cor, e vice-versa. Portanto, essas duas características seriam transmitidas de maneira independente. Para isso, cada uma das características deveria ser condicionada por um par independente de fatores hereditários, o que ficou conhecido como **segunda lei de Mendel** ou **lei da segregação independente**.

Representação sem proporção de **tamanho**.



Ilustrações: Reinaldo Vignati/ID/BR

Representação do cruzamento de uma planta de ervilhas amarelas e lisas com outra de ervilhas verdes e rugosas. A autofecundação das plantas da geração F_1 gerou descendentes com quatro tipos de fenótipo para cor e textura da semente.

ATIVIDADES

1. Quais são os genótipos que condicionam cada fenótipo observado na geração F_2 dos cruzamentos de ervilhas realizados por Mendel?

AMOSTRA PARA DIVULGAÇÃO

Combinações de características

Mendel fez cruzamentos de linhagens homozigotas de ervilha com diversos outros caracteres combinados dois a dois. Em seus resultados, ele sempre observou que a autofecundação dos indivíduos de F_1 produzia em F_2 uma prole com fenótipos na proporção 9 : 3 : 3 : 1.

Ele também observou que a probabilidade de duas características ocorrerem juntas poderia ser obtida multiplicando-se as probabilidades de ocorrência de cada característica separadamente. Ou seja, a proporção 9 : 3 : 3 : 1 obtida em F_2 resultava da combinação das proporções obtidas em cruzamentos mono-híbridos que consideram apenas uma característica fenotípica. O quadro abaixo mostra esse procedimento.

Características das sementes	Proporções das características analisadas separadamente	Proporções em F_2
amarelas e lisas	$\frac{3}{4}$ amarelas × $\frac{3}{4}$ lisas	$\frac{9}{16}$
verdes e lisas	$\frac{1}{4}$ verde × $\frac{3}{4}$ lisas	$\frac{3}{16}$
amarelas e rugosas	$\frac{3}{4}$ amarelas × $\frac{1}{4}$ rugosa	$\frac{3}{16}$
verdes e rugosas	$\frac{1}{4}$ verde × $\frac{1}{4}$ rugosa	$\frac{1}{16}$

Proporções em F_2 de duas características fenotípicas obtidas por cruzamento mono-híbrido.

ATIVIDADES

2. Um geneticista colheu as sementes de uma planta de ervilha alta com flores púrpuras. Ele deseja saber se essa planta e seus descendentes correspondem a uma linhagem homozigota. Que tipo de teste ele poderia fazer para saber se as sementes colhidas são de linhagem homozigota? Sabendo que as características "planta alta" e "flor púrpura" são dominantes, descreva o teste e os resultados esperados, representando os genes por letras de sua escolha.

Meiose e segregação independente

Da mesma forma que na primeira lei, a explicação citológica para a segunda lei de Mendel baseia-se na segregação dos cromossomos homólogos durante a meiose para a formação dos gametas (imagem abaixo). Na meiose de uma célula di-híbrida (**AaBb**), os cromossomos homólogos separam-se ao acaso de duas maneiras, com igual probabilidade. Na primeira delas, os alelos **A** e **B** ficam juntos em uma célula, e os alelos **a** e **b** ficam em outra. Nesse caso, os gametas resultantes são **AB** e **ab**. Na segunda maneira, os alelos **A** e **b** ficam em uma célula, enquanto os alelos **a** e **B** ficam em outra. Os gametas resultantes são **Ab** e **aB**. Assim, formam-se quatro tipos de gametas em igual proporção.

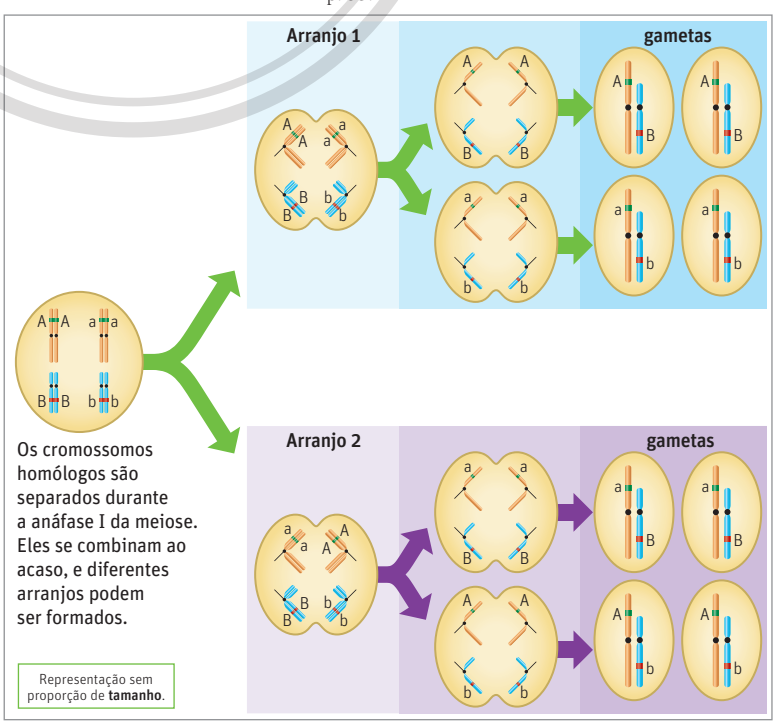
Observe que esses resultados são obtidos quando se analisam características condicionadas por genes situados em cromossomos diferentes. Genes localizados no mesmo cromossomo não se distribuem independentemente, ou seja, a herança das características condicionadas por eles não resulta nas proporções observadas por Mendel nos cruzamentos di-híbridos com ervilhas (a ligação gênica é tratada no capítulo 6).

Para marcar essa distinção, o enunciado da segunda lei de Mendel foi adaptado. A versão moderna passou a enunciar a lei da seguinte forma:

Pares de alelos que estão situados em cromossomos diferentes distribuem-se independentemente uns dos outros na meiose.

Representação dos dois resultados possíveis da meiose de uma célula di-híbrida em que os alelos dos genes em questão situam-se em cromossomos diferentes. Cores-fantasia.

Fonte de pesquisa: KLUG, W. C.; CUMMINGS, M. et al. *Conceitos de genética*. 9. ed. Porto Alegre: Artmed, 2010. p. 53.



Adilson Secco/ID/BR

AMOSTRA
PARA DIVULGAÇÃO

Não escreva no livro.

A interpretação da segunda lei de Mendel

O cruzamento inicial que levou Mendel à formulação de sua segunda lei da herança pode ser examinado considerando-se os conhecimentos trazidos pela teoria cromossômica da herança e pelos estudos sobre meiose. Assim, é possível afirmar que a segunda lei de Mendel é uma extensão da primeira lei de Mendel.

Pela primeira lei de Mendel, pode-se dizer que os dois alelos de um mesmo ***loci*** (do latim, plural de *locus*, "lugar") separam-se quando os gametas são formados. A segunda lei de Mendel afirma que a separação desses alelos é independente da separação dos alelos de outros *loci*.

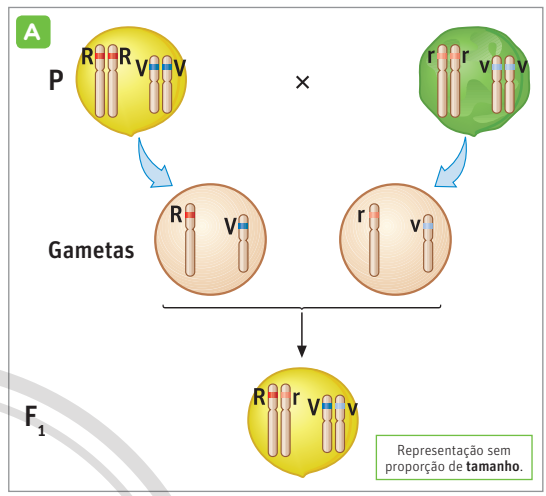
Locus: local que um gene ocupa em um cromossomo. Os alelos de um gene ocupam os mesmos *loci* em cromossomos homólogos.

Cruzamento parental

A textura e a cor das ervilhas são características condicionadas pelos genes **r** e **v** localizados em cromossomos diferentes. No cruzamento di-híbrido apresentado no início deste capítulo, as plantas da geração parental (P) eram homozigotas para ambas as características estudadas, e seus genótipos eram **RRVV** e **rrvv**.

Durante a meiose, os alelos para cada característica se separam um do outro. Assim, os gametas produzidos pela planta de fenótipo amarela e lisa (**RRVV**) têm genótipo **RV**, enquanto os gametas gerados pela planta genitora de fenótipo verde e rugosa (**rrvv**) têm genótipo **rv**.

As plantas da geração F_1 são resultado da união desses dois gametas, sendo, portanto, heterozigotas de genótipo **RrVv**. Como o alelo que condiciona a cor amarela é dominante em relação ao alelo que condiciona a cor verde, da mesma forma que o alelo que condiciona a textura lisa é dominante em relação ao alelo que condiciona a textura rugosa, as plantas heterozigotas da geração F_1 são amarelas e lisas (imagem **A**).



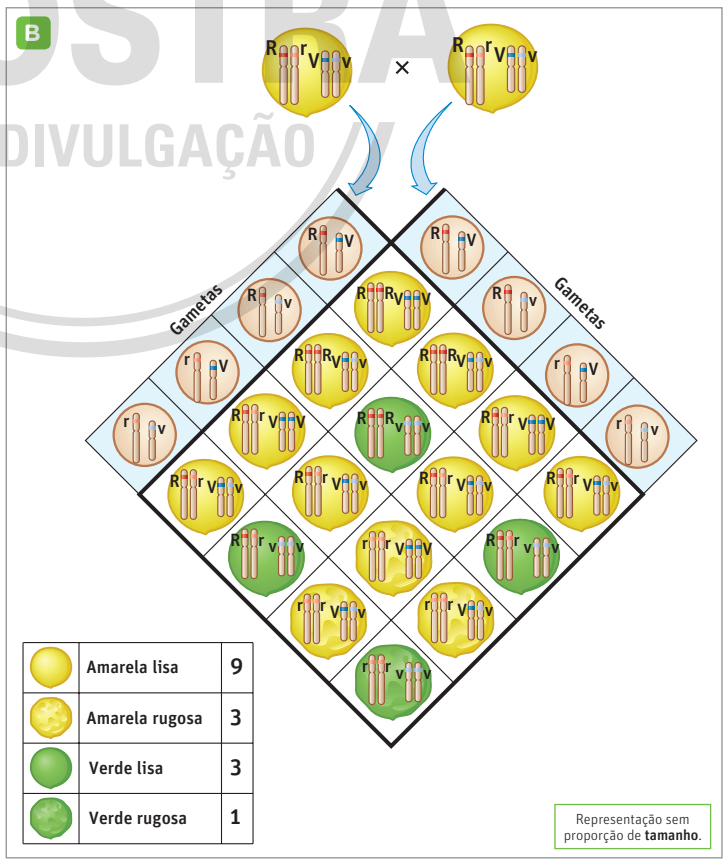
Ilustrações: Reinaldo Vignati/ID/BR

Representação do cruzamento de uma planta de ervilhas amarelas e lisas com outra de ervilhas verdes e rugosas, ambas homozigotas. Note que cada planta produz apenas um tipo de gameta e que a geração F_1 é heterozigota. Cores-fantasia.

Cruzamento F_1

Para entender os resultados da autofecundação das plantas da geração F_1, é preciso analisar os gametas formados. Essas plantas são heterozigotas para ambas as características (**RrVv**) e produzem quatro tipos de gametas em igual proporção: **RV**, **rv**, **Rv** e **rV**. Isso acontece porque os cromossomos que contêm os alelos **V** e **v** separam-se independentemente dos cromossomos que contêm os alelos **R** e **r** durante a meiose.

Como há quatro tipos de gametas, existem 16 combinações possíveis de gametas ao realizar a autofecundação das plantas da geração F_1 (imagem **B**). Assim, a prole em F_2 exibe os fenótipos na seguinte proporção: $\frac{9}{16}$ amarelas e lisas, $\frac{3}{16}$ amarelas e rugosas, $\frac{3}{16}$ verdes e lisas e $\frac{1}{16}$ verde e rugosa, como apresentado anteriormente.



Representação do autocruzamento da geração F_1. Note que são produzidos quatro tipos de gametas e que os fenótipos na geração F_2 seguem a proporção 9 : 3 : 3 : 1. Cores-fantasia.

AMOSTRA PARA DIVULGAÇÃO

Exemplo de segregação independente

A cor dos olhos e o tipo da asa na mosca drosófila (*Drosophila melanogaster*) são exemplos de caracaterísticas com padrão de herança que seguem a lei da segregação independente. Nesse tipo de mosca, o alelo que condiciona a cor vermelha (alelo **S**) é dominante em relação ao alelo que condiciona a cor sépia (**s**), e o alelo para asa longa (**V**) é dominante em relação ao alelo que condiciona o tipo vestigial (**v**).

Um indivíduo heterozigoto para os genes que condicionam a cor dos olhos e a forma da asa (**SsVv**), ou seja, com fenótipo olho vermelho e asa longa, pode formar quatro gametas distintos: **SV**, **Sv**, **sV** e **sv**.

O cruzamento entre um macho e uma fêmea de drosófilas heterozigotas resulta em uma prole com quatro fenótipos possíveis, na proporção 9 : 3 : 3 : 1. Isso ocorre porque os genes que condicionam a cor dos olhos e o tipo da asa segregam-se independentemente durante a meiose para a formação dos gametas (imagens **A** a **C**).







Fotografias: Martin Shields/Alamy/Latinstock

Exemplos de fenótipos dos descendentes do cruzamento de drosófilas di-híbridas para a cor dos olhos e tipo de asa. (**A**) olho sépia e asa longa; (**B**) olho vermelho e asa vestigial; (**C**) olho vermelho e asa longa.

O quadro a seguir apresenta a proporção esperada de fenótipos e genótipos em um cruzamento de duas drosófilas di-híbridas.

Gametas	SV	Sv	sV	sv
SV	SSVV olho vermelho e asa longa	SSVv olho vermelho e asa longa	SsVV olho vermelho e asa longa	SsVv olho vermelho e asa longa
Sv	SSVv olho vermelho e asa longa	SSvv olho vermelho e asa vestigial	SsVv olho vermelho e asa longa	Ssvv olho vermelho e asa vestigial
sV	SsVV olho vermelho e asa longa	SsVv olho vermelho e asa longa	ssVV olho sépia e asa longa	ssVv olho sépia e asa longa
sv	SsVv olho vermelho e asa longa	Ssvv olho vermelho e asa vestigial	ssVv olho sépia e asa longa	ssvv olho sépia e asa vestigial

Quadro de Punnett representando os resultados possíveis do cruzamento entre drosófilas heterozigotas. Fenótipos iguais foram representados com a mesma cor.

ATIVIDADES

3. Imagine que um geneticista tenha realizado o cruzamento entre uma drosófila de olhos vermelhos e asas longas, cujo genótipo é desconhecido, e uma drosófila de olhos cor sépia e asas vestigiais. Determine quais seriam os fenótipos e a proporção fenotípica dos descendentes desse cruzamento se o genótipo desconhecido for:

a) homozigoto para os dois genes;

b) homozigoto para o gene da cor dos olhos;

c) homozigoto para o gene do tipo de asa;

d) heterozigoto para os dois genes.

AMOSTRA PARA DIVULGAÇÃO

Não escreva no livro.

Analisando três ou mais características

Ao analisar o cruzamento de indivíduos com genótipos e fenótipos conhecidos, é possível inferir os genótipos e fenótipos dos descendentes. Para isso é preciso identificar os tipos de gametas que a geração parental produz e as possíveis combinações entre eles. Em seguida, pode-se deduzir quais são os genótipos e fenótipos possíveis para os descendentes, bem como suas frequências. Da mesma maneira, pela observação dos fenótipos dos descendentes, consegue-se descobrir os genótipos parentais.

Mas a identificação dos tipos de fenótipos e genótipos e de suas frequências é mais difícil quando se analisam três ou mais características. Nesses casos, o uso do quadro de Punnett não é prático, mas o uso de outra ferramenta, o **diagrama ramificado**, facilita a identificação dos gametas, bem como a determinação dos genótipos dos descendentes.

ATIVIDADES

4. Considere um indivíduo com o seguinte genótipo: **AaBbccDdEE**. Quais tipos de gametas ele pode produzir?

Determinando os tipos de gametas

O exemplo ao lado (imagem **A**) mostra os tipos de gametas que um indivíduo **AaBb** pode formar por meiose. Esse diagrama segue a premissa de que o gene *a* (alelo **A** ou **a**) segrega-se independentemente do gene *b* (alelo **B** ou **b**), de modo que qualquer um dos alelos do gene *a* possa ser combinado com qualquer alelo do gene *b*. Como resultado, há quatro gametas possíveis, com iguais probabilidades de ocorrência, ou seja, $\frac{1}{4}$ (ou 25%) cada.

Vejamos agora casos que envolvem um número maior de genes. As imagens **B** e **C** mostram as possibilidades de formação de gametas de um indivíduo **aaBbCC** e de outro **AabbCcDD**, respectivamente. Note que não há necessidade de abrir uma chave quando os dois alelos de um gene são iguais, como ocorre no caso dos genes *a* e *c* no exemplo mostrado em **B**, e também no caso dos genes *b* e *d* no exemplo em **C**. Além disso, os gametas de tipos diferentes ocorrem sempre com igual probabilidade.

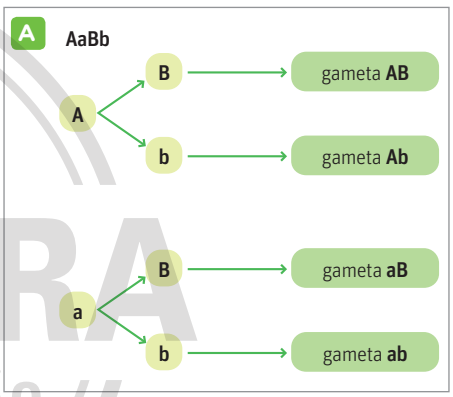
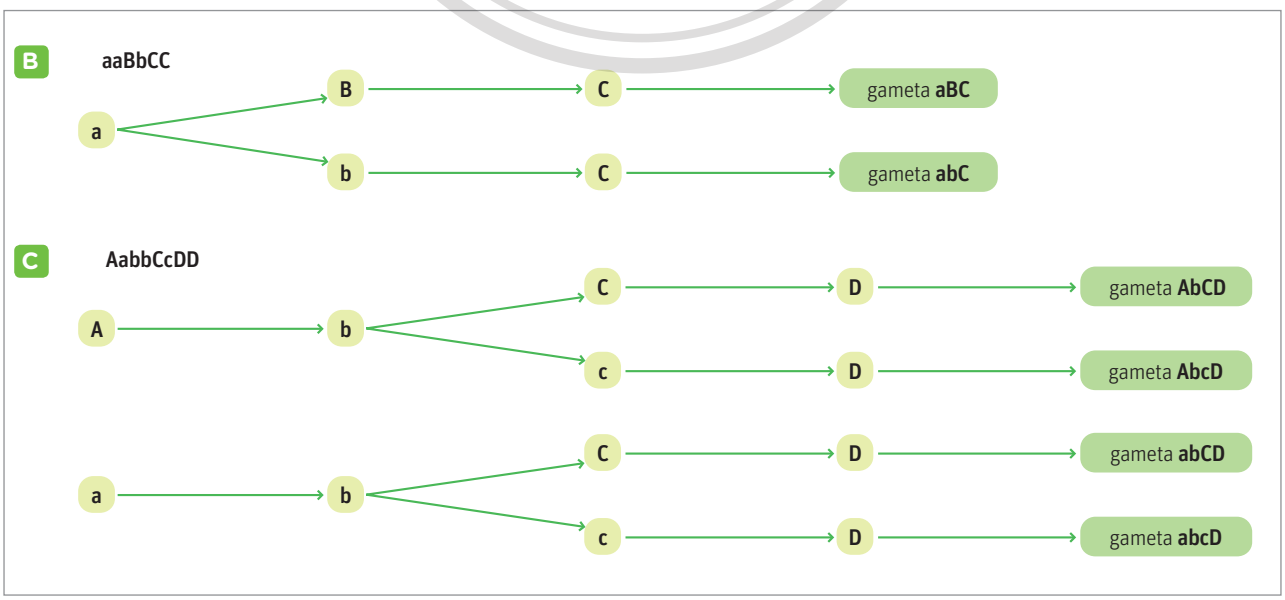


Diagrama ramificado representando os gametas possíveis formados pela segregação independente de alelos em um indivíduo di-híbrido **AaBb**.



Diagramas ramificados representando os gametas possíveis formados pela segregação independente de alelos em: (**B**) um indivíduo **aaBbCC** e (**C**) um indivíduo **AabbCcDD**.

AMOSTRA PARA DIVULGAÇÃO

Calculando a frequência dos gametas

Quando o genótipo de um indivíduo é conhecido, é possível saber rapidamente quantos tipos de gameta esse indivíduo pode produzir. Para isso, usa-se a seguinte expressão:

$$\textbf{tipos de gameta} = 2^{n},$$

em que n é o número de genes em heterozigose.

Por exemplo, indivíduos com genótipo **AaBb** têm dois genes em heterozigose, ou seja, $n = 2$. Portanto, eles formam $2^2 = 4$ tipos diferentes de gameta, como ilustrado na imagem **A** da página anterior. Pelo mesmo raciocínio, indivíduos com genótipo **AaBbCc** têm três genes em heterozigose ($n = 3$), e portanto formam $2^3 = 8$ tipos de gameta.

Perceba que os tipos de gameta possíveis estão relacionados ao número de genes em heterozigose, e não ao número total de genes em análise. No quadro abaixo, por exemplo, são considerados cinco tipos de genes ao mesmo tempo, mas o número de tipos de gametas formados é variável, dependendo do genótipo do indivíduo.

Exemplo A

Indivíduo: **VvrrCcttBb**
Nº de genes: 5
Nº de genes em heterozigose: 3
Nº de gametas possíveis: $2^3 = 8$

Exemplo B

Indivíduo: **VvrrccTtbb**
Nº de genes: 5
Nº de genes em heterozigose: 2
Nº de gametas possíveis: $2^2 = 4$

Exemplo C

Indivíduo: **vvRRccTTBB**
Nº de genes: 5
Nº de genes em heterozigose: 0
Nº de gametas possíveis: $2^0 = 1$

Exemplos do número de tipos de gametas produzidos por indivíduos com diferentes graus de heterozigose.

AMOSTRA PARA DIVULGAÇÃO

Calculando o número de combinações genotípicas em um cruzamento

Uma vez identificados o número e os tipos de gameta que cada indivíduo de certo cruzamento pode formar, o próximo passo é identificar as combinações genotípicas possíveis entre eles, para então verificar quais são os genótipos e fenótipos dos descendentes. Para calcular o total de combinações genotípicas possíveis em um dado cruzamento, basta multiplicar o número de tipos de gameta que cada indivíduo parental pode produzir.

Por exemplo, suponha o cruzamento entre os indivíduos **VvrrCcttBb** × **VvrrccTtbb**. O número de tipos de gameta que o primeiro indivíduo pode produzir é $2^3 = 8$, e o número de tipos de gameta que o segundo indivíduo pode produzir é $2^2 = 4$. Portanto, o número de combinações genotípicas possíveis em um cruzamento entre esses dois indivíduos é $8 \times 4 = 32$.

O número de combinações genotípicas em geral é maior que o número de genótipos, uma vez que várias combinações resultam no mesmo genótipo.

ATIVIDADES

5. Pensando em ambientes naturais, ou seja, sem a interferência humana, o que seria mais vantajoso para uma espécie: que seus representantes gerassem uma grande ou uma pequena variedade de gametas? Elabore uma hipótese para justificar sua resposta.

Não escreva no livro.

Calculando o número de genótipos diferentes na geração resultante

Na autofecundação de pés de ervilha com genótipo **RrVv**, por exemplo, os gametas podem se combinar de 16 maneiras diferentes (reveja a imagem **B** da página 51). Contudo, há apenas nove genótipos diferentes. Isso ocorre porque muitas dessas combinações resultam no mesmo genótipo, como é o caso do genótipo **RrVv**, que aparece quatro vezes.

Para obter o número de genótipos resultantes de um cruzamento deve-se calcular primeiro quantos genótipos resultam de cada *loci*. Quando há dois alelos alternativos para um gene, existem três genótipos possíveis nesse *loci* (RR, Rr e rr, por exemplo). Portanto, nos cruzamentos mono-híbridos são produzidos três genótipos em F_2. Já nos cruzamentos di-híbridos, como é o caso do exemplo citado, há dois *loci* envolvidos, cada um com três genótipos possíveis. O número de genótipos para esses dois *loci* é dado por $3 \times 3 = 9$, ou seja, nove genótipos em F_2.

Portanto, para determinar o número de genótipos distintos formados na geração resultante de um cruzamento poli-híbrido (ou seja, com três ou mais *loci* envolvidos), basta decompô-lo e analisar cada cruzamento separadamente. Determinado o número de genótipos para cada característica, efetua-se o produto deles.

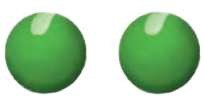
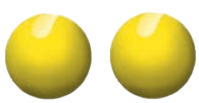
O número de genótipos produzidos na F_2 de um cruzamento entre dois indivíduos heterozigotos é dado pela expressão:

$$\text{nº de genótipos} = 3^n,$$

em que **3** representa o número de genótipos possíveis de cada *locus* e ***n*** é o número de *loci* em heterozigose.

Mendel analisou a herança simultânea de três características. Em um desses estudos, ele trabalhou com as características textura da semente (lisa ou rugosa), cor da semente (amarela ou verde) e cor da pétala (púrpura ou branca). O cruzamento tri-híbrido realizado por Mendel (**RrVvBb** × **RrVvBb**) pode ser decomposto nos três cruzamentos representados no quadro abaixo.

O número de genótipos diferentes na geração resultante desse cruzamento é portanto: $3 \times 3 \times 3 = 27$.

Cruzamentos	Número de genótipos possíveis		
Rr × Rr	**RR**	**Rr**	**rr**
			
lisa × lisa	lisa	lisa	rugosa
Vv × Vv	**VV**	**Vv**	**vv**
			
amarela × amarela	amarela	amarela	verde
Bb × Bb	**BB**	**Bb**	**bb**
			
púrpura × branca	púrpura	púrpura	branca

Reinaldo Vignati/ID/BR

O cruzamento tri-híbrido realizado por Mendel pode ser decomposto em três cruzamentos simples, cada um com três genótipos possíveis.

ATIVIDADES

6. Considere o seguinte cruzamento e suponha a segregação independente: **AaBbCcDdEe** × **aaBbccDdee**. Qual é o número de genótipos possíveis na descendência desse cruzamento? Justifique.

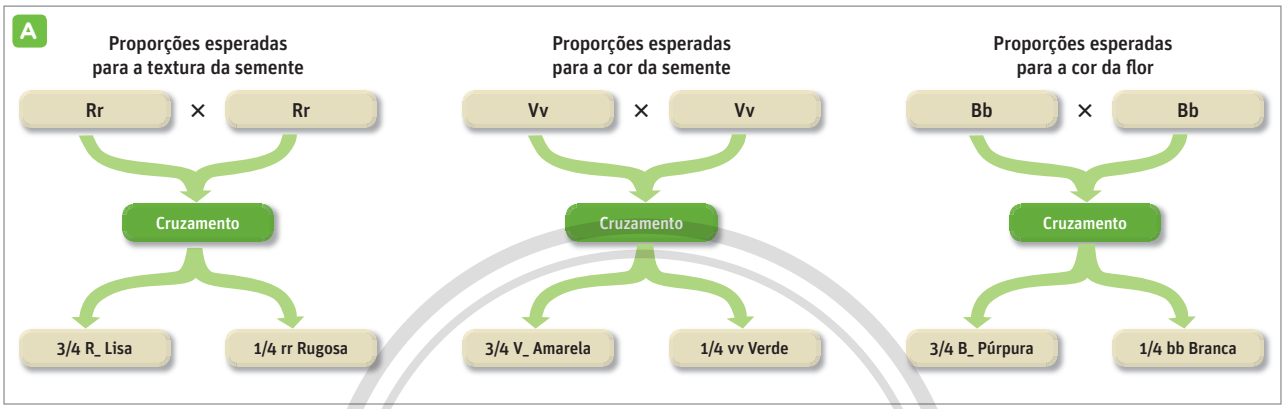
AMOSTRA PARA DIVULGAÇÃO

Calculando as proporções fenotípicas na geração resultante

A decomposição de um cruzamento poli-híbrido em seus cruzamentos individuais auxilia também na determinação das proporções fenotípicas esperadas para a geração resultante desse cruzamento.

No caso do mesmo cruzamento tri-híbrido descrito anteriormente, as proporções fenotípicas de cada cruzamento podem ser calculadas considerando a proporção 3 : 1 dada pela primeira lei de Mendel (imagem **A**).

Representação das proporções fenotípicas esperadas na prole de cada um dos cruzamentos individuais que compõem o cruzamento tri-híbrido realizado por Mendel.



Ilustrações: Adilson Secco/ID/BR

A identificação da proporção esperada para cada fenótipo específico é dada pela multiplicação das proporções esperadas nos cruzamentos individuais. Assim, o cruzamento **RrVvBb** × **RrVvBb** origina oito tipos de fenótipos na proporção 27 : 9 : 9 : 9 : 3 : 3 : 3 : 1 (imagem **B**).

Representação dos fenótipos e proporções fenotípicas esperadas na prole de um dos cruzamentos tri-híbridos realizados por Mendel.



AMOSTRA PARA DIVULGAÇÃO

Não escreva no livro.

Exemplo de resolução de problema

Considere três genes para as seguintes características nos seres humanos: o gene ***p*** determina o formato da orelha, sendo o alelo **P** (orelha com lóbulo solto) dominante sobre o alelo **p** (orelha com lóbulo aderido); o gene ***n*** determina se a mandíbula é proeminente, sendo o alelo **N** (face com prognatismo mandibular) dominante sobre o alelo **n** (face sem prognatismo mandibular); e o gene ***a*** determina o número de dedos nas mãos e nos pés, sendo o alelo **A** (polidactilia) dominante sobre o alelo **a** (cinco dedos) (imagens **A** a **C**).

Suponha agora que um casal em que o homem apresenta orelha com lóbulo aderido, face sem prognatismo mandibular e polidactilia (sendo heterozigoto para essa última característica) deseje ter filhos com uma mulher que tem orelha com lóbulo solto (sendo heterozigota para essa característica), prognatismo mandibular (sendo homozigota para essa característica) e mão com cinco dedos.

Sabendo que essas características têm segregação independente, qual seria a probabilidade de esse casal ter um(a) filho(a) com lóbulo da orelha solto, prognatismo mandibular e polidactilia?

Etapa 1: determinação dos genótipos parentais

Inicialmente, é preciso determinar os genótipos parentais. Com base nas informações, o genótipo do pai é **ppnnAa** e o da mãe é **PpNNaa**.

Etapa 2: identificação dos gametas

Em seguida, analisa-se cada característica separadamente para identificar os gametas possíveis em cada caso, como mostram os quadros abaixo.

Característica		Lóbulo da orelha	Mandíbula	Número de dedos
gametas formados	♂	p	n	A e a
	♀	P e p	N	a

Simultaneamente, pode-se aplicar a fórmula: número de tipos de gameta $= 2^n$. Assim, sabe-se que tanto o homem quanto a mulher citados no problema produzem dois tipos de gametas cada.

Etapa 3: identificação das combinações genotípicas

O próximo passo é identificar as combinações genotípicas possíveis entre os gametas de cada cruzamento, como mostram os quadros abaixo.

1. Lóbulo da orelha

♀ \ ♂	p
P	Pp
p	pp

2. Mandíbula

♀ \ ♂	n
N	Nn

3. Número de dedos

♀ \ ♂	A	a
a	Aa	
	aa	

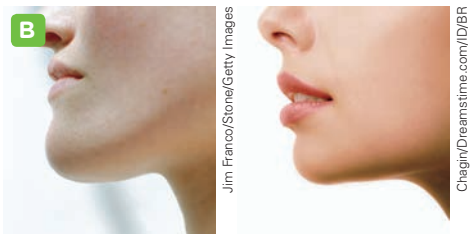
Etapa 4: identificação das proporções fenotípicas

Com base nos genótipos resultantes, determinam-se as probabilidades fenotípicas para cada um deles.

Para saber a probabilidade de a criança ter o lóbulo da orelha solto, ser portadora de prognatismo mandibular e ter polidactilia, multiplicam-se as probabilidades de cada evento (veja tabela ao lado). A probabilidade de esses três eventos ocorrerem juntos é dada por $\frac{1}{2} \times 1 \times \frac{1}{2}$. Assim, a probabilidade de a criança nascer com essas características é $\frac{1}{4}$, ou 25%.



Orelha com lóbulo solto (à esquerda) e com lóbulo aderido (à direita).



Face com prognatismo mandibular (à esquerda) e sem prognatismo mandibular (à direita).



Mão com polidactilia (à esquerda) e com cinco dedos (à direita).

ATIVIDADES

7. Determine o genótipo parental que originou uma geração F_1 de ervilha com as seguintes frequências fenotípicas: 1 flor branca e semente lisa : 1 flor branca e semente rugosa. As características "branco" e "rugoso" são recessivas.

Característica	Probabilidade
lóbulo solto (Pp)	$\frac{1}{2}$
prognatismo mandibular (Nn)	1
polidactilia (Aa)	$\frac{1}{2}$

AMOSTRA PARA DIVULGAÇÃO

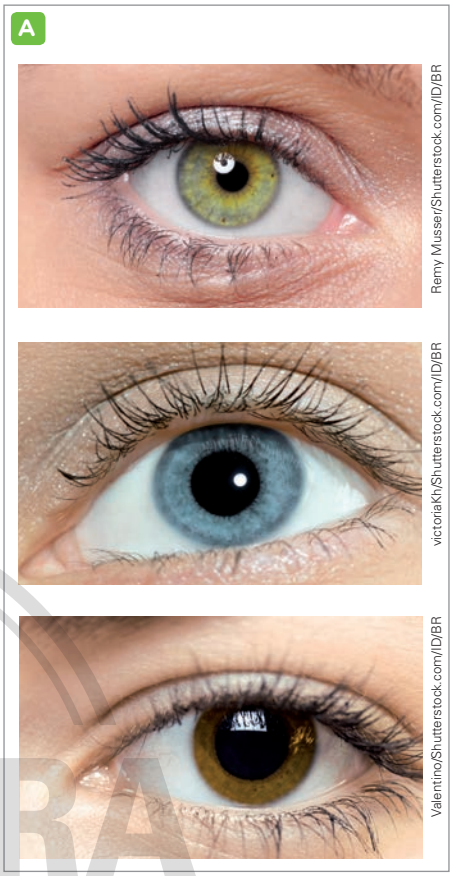
Interação gênica

Quando o(s) produto(s) de um ou mais genes interagem e afetam uma ou mais características fenotípicas, fala-se em **interação gênica**. Observe que, apesar do nome, a interação gênica não se refere à interação entre genes propriamente, mas sim à interação entre produtos que são codificados por genes.

Os genes relacionados com a interação gênica podem ou não estar localizados em um mesmo cromossomo, e podem ou não interagir na mesma via metabólica. A interação gênica leva à produção de fenótipos que não podem ser previstos pela análise de apenas um *locus*, caso da cor da íris nos seres humanos (imagem **A**).

A principal maneira de detectar um caso de interação gênica é pela observação de desvios na proporção 9 : 3 : 3 : 1, que é aquela prevista pela segunda lei de Mendel. Esses desvios ocorrem quando os efeitos dos alelos de um *locus* dependem da presença dos alelos de outros *loci*. Essa dependência pode ser de dois tipos: **interação aditiva**, quando os efeitos de dois ou mais genes se somam, afetando o fenótipo; ou **interação não aditiva**, quando o produto de um gene afeta o de outro, que por sua vez afeta o fenótipo. Esses exemplos são simplificações didáticas, pois, em geral, as interações gênicas são mais complexas.

A ocorrência da interação gênica mostra que a presença de um alelo não é a única condição necessária para a manifestação de um fenótipo. Por essa razão, é errado dizer, mesmo simplificadamente, que "um gene determina uma dada característica".

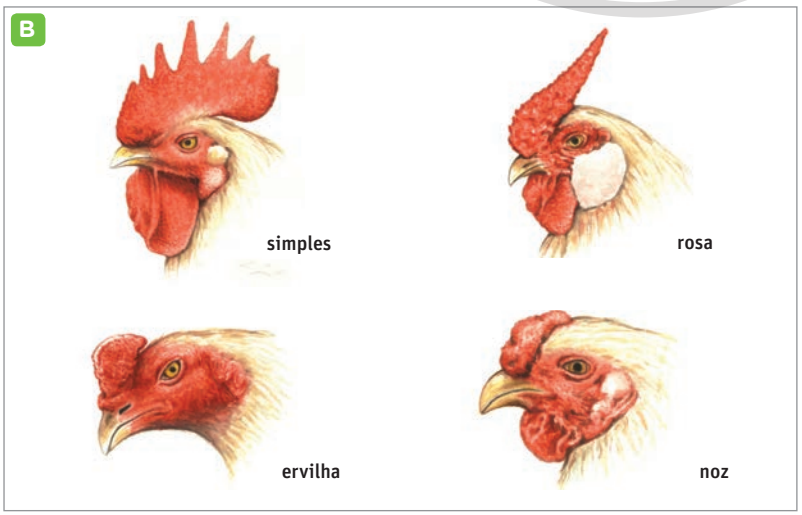


A cor da íris em seres humanos é um exemplo de característica resultante de interação gênica.

Forma da crista em galinhas

Os primeiros estudos que verificaram a ocorrência da interação gênica foram realizados pelo geneticista inglês William Bateson (1861-1926) e seus colaboradores, que analisaram a transmissão hereditária da forma da crista em cruzamentos de galos e galinhas.

Em 1905, Bateson e sua equipe verificaram que a forma da crista em galinhas é uma característica condicionada pela interação de genes em dois *loci* que se segregam independentemente. Esses genes, denominados ***r*** e ***e***, interagem determinando quatro formatos de cristas diferentes: simples, rosa, ervilha e noz (imagem **B**).



Jurandir Ribeiro/ID/BR

Diferentes formatos de crista em galinhas.

Fonte de pesquisa: Klug, W. C.; Cummings, M. et al. *Conceitos de genética*. 9. ed. Porto Alegre: Artmed, 2010. p. 97.

ATIVIDADES

8. Faça uma pesquisa em livros ou na internet e cite três exemplos de características humanas resultantes de interação gênica, além da cor dos olhos.

AMOSTRA PARA DIVULGAÇÃO

Não escreva no livro.

Cruzamentos entre galinhas

Bateson e seus colaboradores realizaram um cruzamento entre uma linhagem homozigota de aves com crista no formato ervilha com outra linhagem homozigota de aves com crista no formato simples. A geração F_1 era constituída apenas por aves de crista ervilha. Quando esses galos e galinhas de F_1 foram cruzados entre si, a descendência foi de 332 aves com crista ervilha e 110 com crista simples, uma proporção muito próxima de 3 : 1.

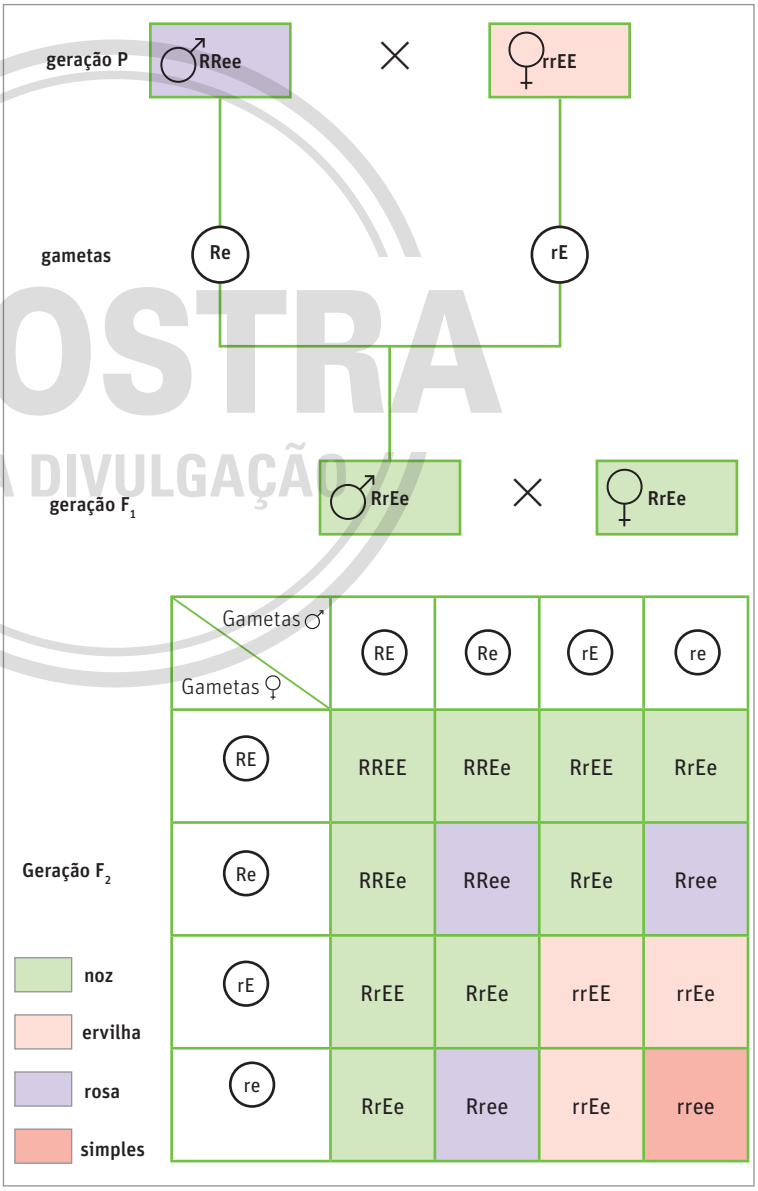
O mesmo foi observado quando os pesquisadores cruzaram galinhas homozigotas de crista rosa com galos homozigotos de crista simples. A F_1 produzida tinha 100% de galinhas e galos com crista no formato rosa. O cruzamento entre as aves da geração F_1 resultou em uma F_2 com 221 galinhas com crista no formato rosa e 83 galinhas com crista no formato simples, em proporção aproximada de 3 : 1.

No entanto, o cruzamento entre aves homozigotas de crista rosa e de crista ervilha produziu uma geração F_1 com um novo fenótipo: 100% de galinhas e galos com crista no formato noz. O cruzamento entre as aves de F_1 resultou em uma F_2 com galinhas e galos com os quatro tipos de crista, sendo 99 com crista noz, 38 com crista ervilha, 26 com crista rosa e 16 com crista simples, ou seja, uma proporção aproximada de 9 : 3 : 3 : 1. Como previsto na segunda lei de Mendel, essa é a proporção esperada para os descendentes de um cruzamento duplo-heterozigoto de dois pares de alelos com segregação independente.

Em seguida, a equipe de Bateson realizou um cruzamento-teste (conceito abordado no capítulo 3) entre galinhas com crista noz da geração F_1 e galinhas com crista simples de genótipo duplo-recessivo (**rree**). Como resultado desse cruzamento, foram obtidas 139 galinhas com crista noz, 142 com crista rosa, 112 com crista ervilha e 141 com crista simples, ou seja, uma proporção próxima de 1 : 1 : 1 : 1. Esses resultados confirmam que as galinhas de F_1 são duplo-heterozigotas (**RrEe**) e produzem quatro tipos de gametas em iguais proporções (**RE, Re, rE, re**), de acordo com a segunda lei de Mendel.

Bateson e seus colaboradores concluíram, então, que a forma da crista em galinhas é um caráter condicionado por dois genes que se segregam independentemente e se manifestam de quatro formas distintas, como explicado no quadro abaixo.

Tipo de crista	Manifestação do fenótipo	Genótipo
noz	requer ao menos um alelo dominante para cada *locus*	**R_E_**
rosa	requer ao menos um alelo dominante para o gene *r*	**R_ee**
ervilha	requer ao menos um alelo dominante para o gene *e*	**rrE_**
simples	ocorre somente quando todos os alelos são recessivos	**rree**



Esquema de cruzamento entre galos de crista rosa e galinhas de crista ervilha realizado por Bateson e seus colaboradores. Note que os fenótipos observados na geração F_2 seguem a proporção 9 : 3 : 3 : 1, como previsto pela segunda lei de Mendel.

AMOSTRA PARA DIVULGAÇÃO

Tipos de interação gênica

A seguir serão estudados três tipos de interação gênica: a **complementação gênica**, a **epistasia** e a **herança quantitativa**.

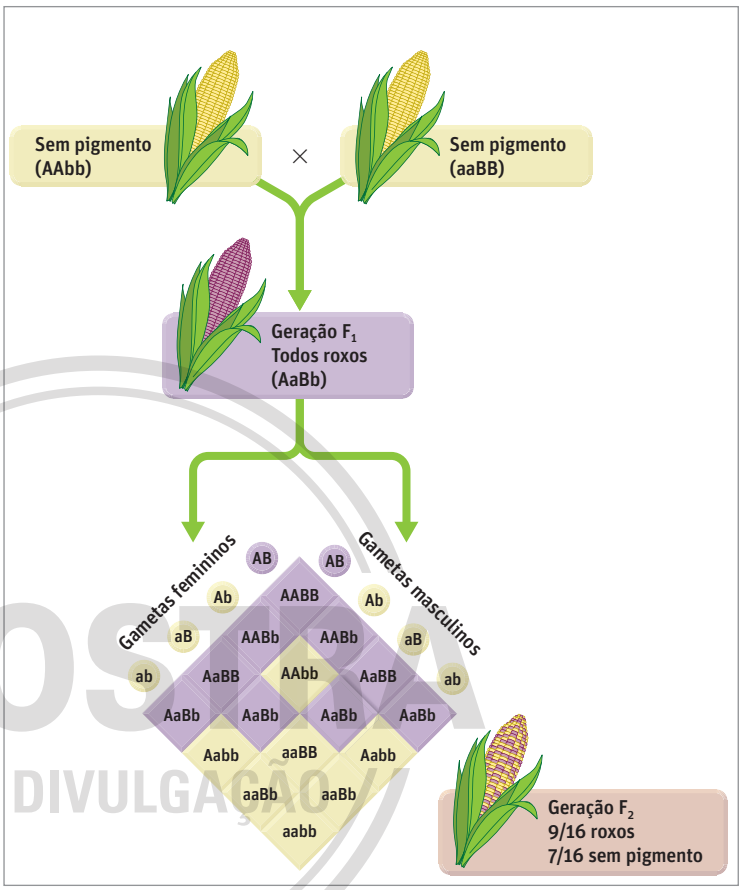
Complementação gênica

Esse tipo de interação gênica ocorre quando dois ou mais genes com segregação independente se complementam na produção do fenótipo, sem que haja relação de dominância ou recessividade entre eles.

Um exemplo de complementação gênica é o que acontece com a cor do grão de milho. Há dois genes que contribuem de maneira complementar para a coloração: o gene *b* é responsável pela produção de pigmento, e o gene *a* é responsável pela deposição do pigmento. Para apresentar fenótipo pigmentado, a planta deve ter ao menos um alelo dominante de cada gene.

Um cruzamento entre duas plantas homozigotas com grãos sem pigmento (**AAbb** × **aaBB**) produz uma F_1 inteiramente com grãos roxos. A autofecundação dessas plantas leva a uma proporção 9 : 7 em F_2 (imagem ao lado). Essa proporção resulta da ação complementar de dois alelos dominantes (**A_B_**), que originam o fenótipo grão roxo, enquanto os demais genótipos (**A_bb**, **aaB_** e **aabb**) condicionam o fenótipo grão sem pigmento. Assim, os alelos dominantes de dois genes diferentes apresentam atividade complementar.

Note que a proporção fenotípica observada nesse caso de complementação gênica é derivada da proporção 9 : 3 : 3 : 1, pois $\frac{7}{16}$ é igual a $\frac{3}{16} + \frac{3}{16} + \frac{1}{16}$. Isso permite dizer que os genes com interação do tipo complementar seguem o princípio da segregação independente, previsto pela segunda lei de Mendel para cruzamentos entre di-híbridos.



Adilson Secco/ID/BR

Representação do cruzamento de duas linhagens diferentes de milho com grãos sem pigmento, cujo padrão de cor é resultante da interação complementar entre dois genes.

Epistasia

Esse tipo de interação gênica ocorre quando um alelo de um gene altera a expressão dos alelos de outro gene. Há vários tipos de epistasia (do grego *epi*, "sobre", e *stasis*, "inibição"), mas todos eles se encaixam em uma das seguintes situações: 1) o efeito fenotípico de um alelo em um *locus* mascara os efeitos fenotípicos dos alelos em outros *loci*; 2) o efeito fenotípico de um alelo em um *locus* modifica os efeitos fenotípicos dos alelos em um ou mais *loci*; 3) um novo fenótipo é produzido pela interação dos produtos de dois ou mais genes;

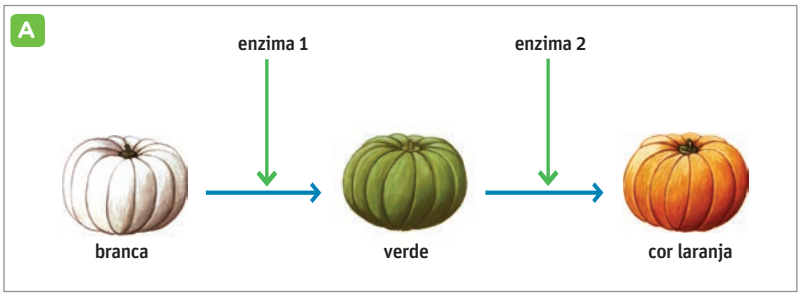
A epistasia é uma interação que ocorre entre os produtos gênicos. Portanto, o princípio da segregação independente descrita por Mendel pode valer para os genes envolvidos em determinada interação epistática. Contudo, da mesma forma que na complementação gênica, a proporção fenotípica nesses casos se desvia de 9 : 3 : 3 : 1.

AMOSTRA PARA DIVULGAÇÃO

Não escreva no livro.

A cor da abóbora

Um exemplo de epistasia entre dois *loci* ocorre na coloração da abóbora. Esse fruto pode ser da cor laranja, verde ou branco. Essas cores são determinadas por uma via metabólica que depende da ação de duas enzimas (imagem **A**).



Jurandir Ribeiro/ID/BR

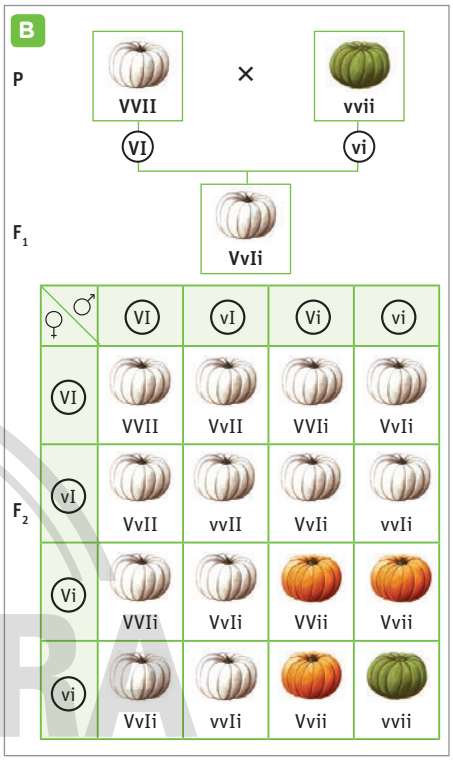
Nas abóboras, o pigmento laranja é produzido por uma via metabólica com duas etapas. A ausência de uma dessas enzimas é responsável pelo fenótipo branco ou verde.

Fonte de pesquisa: Pierce, B. *Genetics:* a conceptual approach. 3. ed. New York: W. H. Freeman and Company, 2008. p. 109.

Em um *locus*, a presença do alelo dominante **V** condiciona a cor laranja, e o duplo-recessivo **vv** condiciona a cor verde. Em outro *locus*, o alelo dominante **I** inibe a manifestação da cor e, portanto, sua presença resulta no fenótipo branco. Portanto, as abóboras portadoras de **ii** podem ser laranja (**V_ii**) ou verdes (**vvii**), a depender do alelo em *v*.

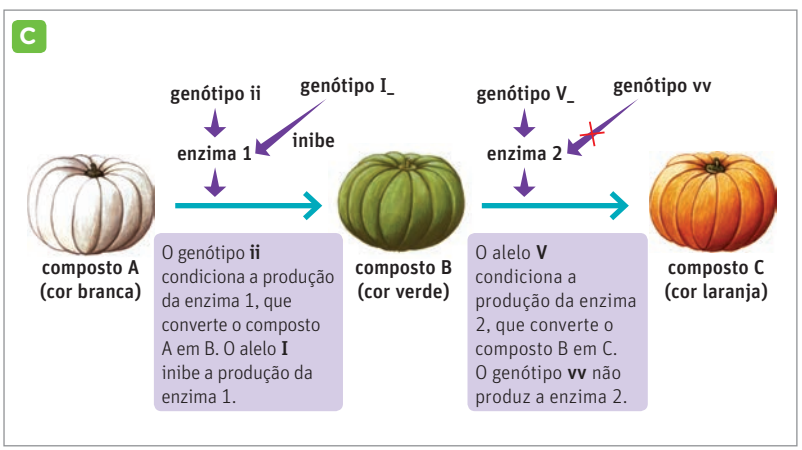
O cruzamento de plantas de abóboras duplo-homozigotas dominantes (abóboras de cor branca) com plantas duplo-homozigotas recessivas (de cor verde) gera em F_1 100% de plantas que produzem abóboras brancas, duplo-heterozigotas (imagem **B**). O entrecruzamento dessas plantas, por sua vez, gera uma descendência composta de $\frac{12}{16}$ plantas com abóboras brancas, $\frac{3}{16}$ com abóboras laranja e $\frac{1}{16}$ com verdes. Ou seja, uma proporção fenotípica de 12 : 3 : 1. Essa proporção é derivada da obtida por Mendel, de 9 : 3 : 3 : 1, pois $\frac{12}{16}$ é igual a $\frac{9}{16} + \frac{3}{16}$.

Com base nesses resultados, é possível propor uma hipótese para o funcionamento da via bioquímica relacionada à cor da abóbora (imagem **C**). Essa hipótese faz sentido se considerarmos que o alelo **I** é dominante, já que uma única cópia desse alelo é suficiente para inibir a produção de pigmentação condicionada pelo gene *v*.



Jurandir Ribeiro/ID/BR

Representação do padrão de herança da coloração em abóboras, que é resultante da epistasia entre os genes ***i*** e ***v***.



Jurandir Ribeiro/ID/BR

Esquema da interação gênica que resulta na cor do fruto em abóboras.

Fonte de pesquisa: Pierce, B. *Genetics:* a conceptual approach. 3. ed. New York: W. H. Freeman and Company, 2008. p. 109.

ATIVIDADES

9. Uma planta de abóbora que produz frutos discoides é cruzada com outra que produz frutos longos. Toda a F_1 resultante é discoide. Quando a F_1 é entrecruzada, a prole F_2 é produzida na seguinte proporção:

$\frac{9}{16}$ de frutos discoides

$\frac{6}{16}$ de frutos esféricos

$\frac{1}{16}$ de frutos longos.

Com base nessas informações, o que se pode afirmar sobre o padrão de herança observado para o formato da abóbora?

AMOSTRA
PARA DIVULGAÇÃO

Herança quantitativa

Os exemplos estudados até agora mostram a herança de **características discretas**, ou seja, que podem ser expressas em classes fenotípicas distintas (imagem **A**). Esse é o caso da textura das ervilhas estudadas por Mendel (lisa ou rugosa), da crista de galinhas (pode ser ervilha, noz, rosa ou simples), da cor do fruto de abóbora (pode ser branca, verde ou laranja), etc.

Há diversas características que apresentam, porém, fenótipo com variação contínua, ou seja, com vários fenótipos intermediários entre os fenótipos extremos. Essas características são chamadas de **características quantitativas**, e sua variação fenotípica é chamada de variação quantitativa. É o caso, por exemplo, da massa, altura e cor da pele em seres humanos, da quantidade de leite produzida pelas vacas, do tamanho dos ovos das galinhas, etc. Essas características geralmente são controladas por alelos de diversos genes, e por isso recebem também o nome de **características poligênicas**.

As características quantitativas são também influenciadas por fatores ambientais, o que aumenta ainda mais a gama de variação fenotípica. Um exemplo é a estatura nos seres humanos. Mesmo se considerarmos gêmeos idênticos – com o mesmo genótipo –, é possível haver diferenças fenotípicas entre as estaturas deles devido a fatores ambientais a que foram expostos, como a alimentação ou a prática de atividade física.

Ao elaborar um gráfico com os fenótipos observados para uma característica quantitativa que sofre influência do ambiente, nota-se que eles se distribuem em uma curva simétrica, na qual os fenótipos extremos (mínimos e máximos) são observados em menor frequência do que os fenótipos intermediários (imagem **B**).

Outra peculiaridade da herança quantitativa reside no fato de ser uma herança sem dominância. Por exemplo, os genótipos **AABB** e **AaBB** resultam em fenótipos diferentes quando se trata de uma característica quantitativa. Se houvesse dominância, os indivíduos com esses dois genótipos apresentariam o mesmo fenótipo.

ATIVIDADES

10. Suponha que a altura de uma dada espécie de planta varia entre 100 e 160 cm e que essa característica é condicionada por dois genes (*a* e *b*). Quando presentes, os alelos **A** e **B** acrescentam 15 cm cada à altura da planta. Sabendo disso, determine a altura esperada dos descendentes de um cruzamento entre uma planta com genótipo **AaBB** e uma planta com genótipo **aabb**.

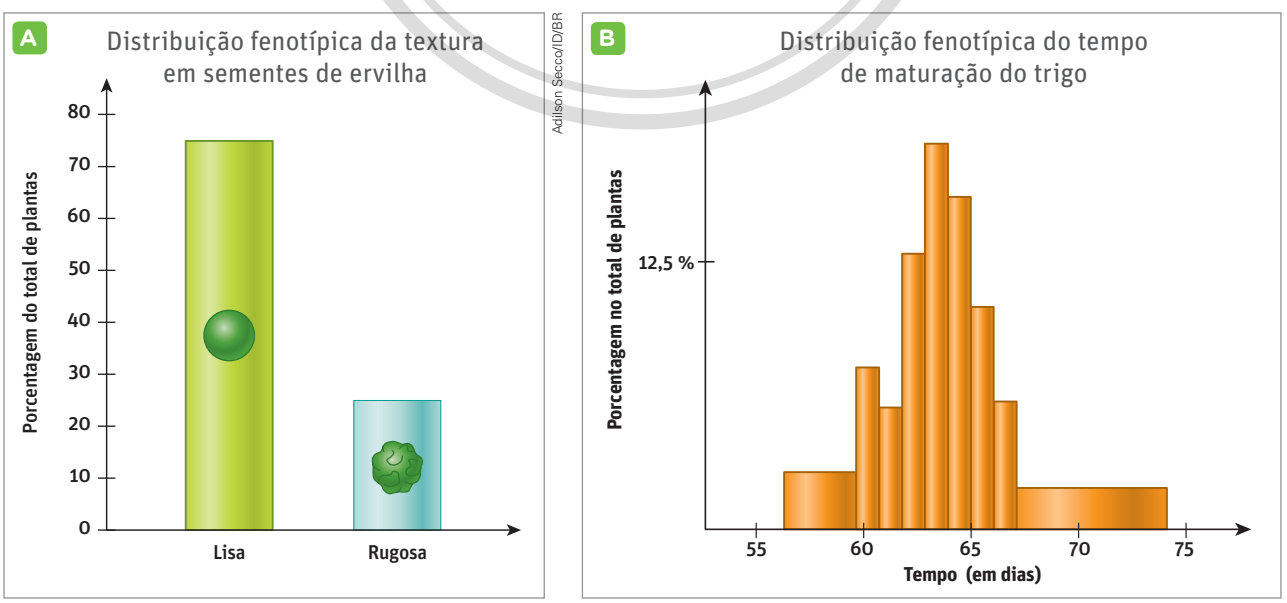


Gráfico mostrando a variação fenotípica para uma característica (**A**) discreta e (**B**) quantitativa. O gráfico **A** foi elaborado com base nos resultados obtidos por Mendel em seus estudos com ervilhas. O gráfico **B** foi elaborado como base nos resultados obtidos na geração F_2 de um cruzamento entre trigos homozigóticos para os genes relacionados ao tempo de maturação.

Fonte de pesquisa: Snustad, D.; Simmons, M. *Fundamentos de genética*. 6. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2013. p. 602.

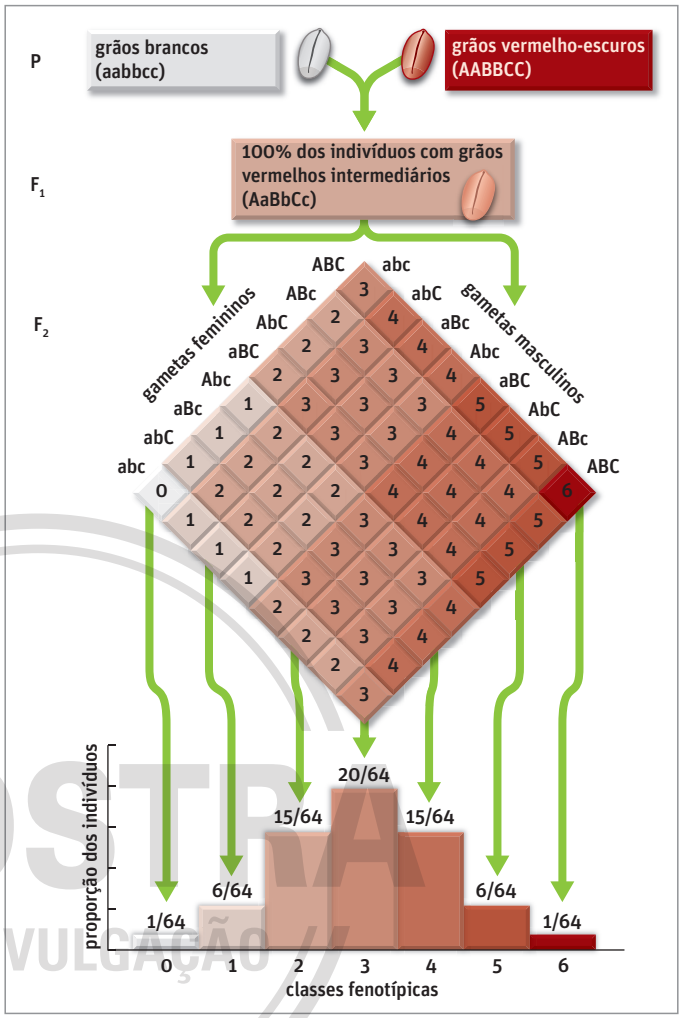
AMOSTRA PARA DIVULGAÇÃO

Não escreva no livro.

A cor dos grãos no trigo

Em 1909, o geneticista sueco Herman Nilsson-Ehle (1873-1949) publicou um trabalho com as primeiras evidências de que a herança de caracteres quantitativos poderia ser explicada pelas leis de Mendel. Nesse estudo, ele cruzou uma linhagem homozigota de trigo de grãos brancos com uma linhagem homozigota de trigo de grãos vermelho-escuros. A geração F_1 era composta exclusivamente de trigo de grãos com cor vermelho intermediário. A autofecundação dessas plantas resultou em uma F_2 com sete classes fenotípicas, com uma gradação de cores que ia de grãos brancos até grãos vermelho-escuros (imagem ao lado).

Nilsson-Ehle notou, então, que as plantas de F_2 com fenótipos parentais (grãos brancos ou grãos vermelho-escuros) ocorreram na frequência de $\frac{1}{64}$. Para explicar esses resultados, ele propôs que três genes estariam envolvidos no condicionamento da cor dos grãos do trigo, e que cada um deles apresentaria dois alelos: um capaz de produzir o pigmento vermelho (alelo contribuinte) e outro incapaz de produzir esse pigmento (alelo não contribuinte). A gradação da cor dos grãos de trigo seria decorrente do número de alelos contribuintes, ou seja, quanto mais alelos contribuintes estivessem presentes no genótipo de determinada planta, mais intensa seria sua cor. Já quanto menor o número de alelos contribuintes no genótipo de uma planta, menos intensa seria sua cor.



Adilson Secco/ID/BR

Representação dos resultados obtidos por Nilsson-Ehle ao cruzar trigos com grãos brancos e trigos com grãos vermelho-escuros. Os algarismos dentro do quadro indicam o número de alelos contribuintes em cada genótipo.

Fonte de pesquisa: Snustad, D.; Simmons, M. *Fundamentos de genética*. 6. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2013. p. 600.

Os alelos contribuintes foram representados com letras maiúsculas, e os não contribuintes, com letras minúsculas (é importante lembrar que a herança quantitativa é uma herança sem dominância e, portanto, os alelos designados por letras maiúsculas não são dominantes em relação ao alelos designados por letras minúsculas). Assim, as plantas parentais que produziam grãos brancos teriam genótipo **aabbcc**, ou seja, sem alelos contribuintes, e as plantas parentais que produziam grãos vermelho-escuros teriam genótipo **AABBCC**, ou seja, apresentariam todos os seis alelos do tipo contribuinte. A geração F_1 triplo-heterozigótica (**AaBbCc**) teria três alelos contribuintes e três alelos não contribuintes, o que lhe conferiria cor intermediária entre os fenótipos parentais.

Os fenótipos de F_2 ocorreram na proporção de 1 : 6 : 15 : 20 : 15 : 6 : 1, sendo cada um resultante do número de alelos contribuintes no genótipo. Cada indivíduo ou grupo de indivíduos que expressam o mesmo fenótipo constitui uma classe fenotípica. Nos casos de herança quantitativa, portanto, se existem *n* genes com alelos contribuintes que se segregam independentemente, esperam-se $2n + 1$ classes fenotípicas e 3^n classes genotípicas em F_2. Assim, para um gene há três classes fenotípicas e três genotípicas; para dois genes há cinco classes fenotípicas e nove classes genotípicas; para três genes há sete classes fenotípicas e 27 classes genotípicas; e assim por diante.

ATIVIDADES

11. Sabendo que a cor do trigo é uma característica de herança quantitativa determinada por 3 genes (*a*, *b* e *c*), considere o seguinte cruzamento: **AABbcc** × **aaBBCc**. Quantos tipos de fenótipos podem ser observados nos descendentes possíveis desse cruzamento?

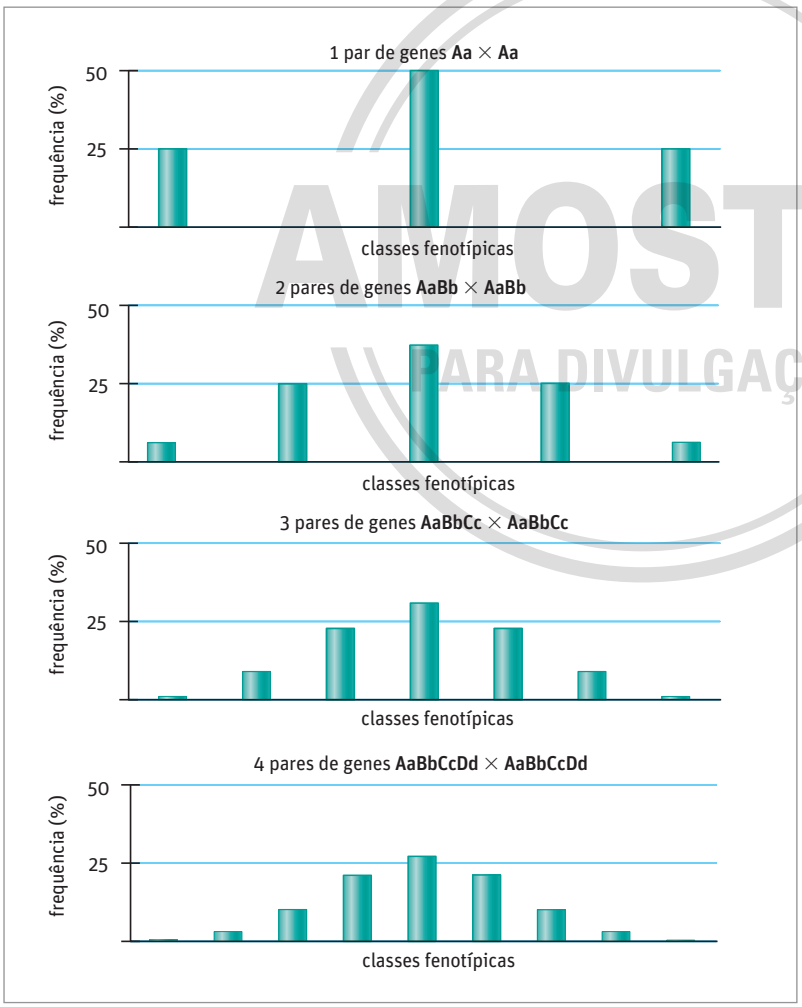
AMOSTRA PARA DIVULGAÇÃO

Cor da pele em seres humanos

A primeira teoria para explicar a herança da cor da pele em seres humanos foi apresentada em 1913. Similar à teoria poligênica de Nilsson-Ehle, essa teoria propôs que a cor da pele na espécie humana seria condicionada pela ação de dois pares de genes (*a* e *b*) sem dominância e situados em pares de cromossomos diferentes. Os alelos **A** e **B** condicionariam a produção do pigmento melanina e teriam efeito aditivo.

De acordo com essa teoria, a tonalidade de cor na pele humana varia segundo a quantidade de alelos **A** e **B** que os indivíduos apresentam em seus genótipos, sendo portanto uma ocorrência de herança quantitativa. No caso de dois genes aditivos que se segregam independentemente, há em F_2 nove classes genotípicas e cinco classes fenotípicas esperadas, que vão do negro ao branco.

Entretanto, a variação dos tons da pele humana é maior do que a proposta por esse modelo, e novos estudos levam a crer que quatro ou mais pares de genes participam da herança dessa característica. Quanto mais genes estiverem envolvidos na herança quantitativa, mais difícil se torna a distinção entre as classes fenotípicas (imagem abaixo).



Adilson Secco/ID/BR

Gráficos hipotéticos que relacionam o número de classes fenotípicas (colunas) ao número de pares de genes envolvidos na herança de uma característica quantitativa. Note que, quanto maior o número de genes envolvidos na determinação do fenótipo, maior é o número de classes fenotípicas encontradas em F_2.

Fonte de pesquisa: Pierce, B. *Genetics:* a conceptual approach. 3. ed. New York: W. H. Freeman and Company, 2008. p. 651.

AÇÃO E CIDADANIA

Ser negro no Brasil

[...]

No Brasil, após a abolição [da escravatura], não houve segregação pública como aconteceu nos EUA até os anos 60. Também nunca foi proibido aqui casamento entre pessoas de etnias diferentes. Com a maior população negra fora da África, o país nunca separou, legalmente, grupos por cor. Porém, os negros brasileiros enfrentaram – e ainda enfrentam – outras formas de discriminação e preconceito.

Direitos coletivos e/ou individuais não foram negados, porém, de uma forma nem sempre tão sutil, os negros eram vítimas de insulto moral e racial. Hoje acontece bem menos, visto que é crime e as pessoas temem as punições. Mas grande parte desses insultos são situações nas quais o preconceito está embutido em atitudes racistas, sem se materializar. [...]

O Brasil mostra seu racismo em dois momentos: no desfavorecimento do negro quando das oportunidades sociais, e nas experiências cotidianas, que enfatizam a inferiorização em diversos contextos. [...]

Nossas relações étnicas chegaram a ser vistas como solução de concretização dos direitos humanos no mundo. Houve até quem pensasse que a miscigenação e a "cordialidade" brasileira pudessem servir de exemplo contra o racismo na América. Mas, desde a abolição, os negros continuam a ter trabalhos menos qualificados e salários mais baixos. Afinal, a nossa democracia racial mostra sua cara: uma cordialidade ideológica a cobrir uma dura realidade.

[...]

Alves, E. Ser negro no Brasil – Parte 5: Hipocrisia à brasileira. 7 jul. 2012. *Leia Agora*. Disponível em: <http://www.leiaagora.com.br/portal/vercoluna.php?cod_ced=238>. Acesso em: 25 fev. 2016.

1. Você já presenciou alguma situação de discriminação racial? Descreva-a, em caso afirmativo.

AMOSTRA PARA DIVULGAÇÃO

Não escreva no livro.

Um gene de peso

O DNA atua, com mais ou menos intensidade, em todos os aspectos da fisiologia humana. E a obesidade não é exceção. Aliada a maus hábitos, há uma clara contribuição genética que ajuda o ponteiro da balança a subir e ainda não foi totalmente desvendada pelos especialistas. Agora, uma equipe de pesquisa da qual participa um brasileiro apresenta um grande avanço na compreensão desse mecanismo hereditário. Em um estudo publicado na [...] revista *Nature*, o grupo mostra como a interação de dois genes – o FTO e o IRX3 – favorece o ganho de peso. E mais: ao inibir a expressão do segundo em ratos, os cientistas tornaram os animais mais resistentes ao acúmulo de gordura [...].

Há algum tempo, pesquisadores perceberam que mutações no FTO eram acompanhadas de um risco maior de obesidade em humanos. Isso fez com que a maior parte da origem genética do excesso de peso fosse atribuída a ele. O novo trabalho, contudo, mostra que o gene é um mero coadjuvante. Conforme mostra a pesquisa, uma estrutura existente no FTO desencadeia a ação do IRX3, esse sim com papel fundamental no controle da massa e da composição corporal. Portanto, qualquer associação entre o FTO e a obesidade é influenciada pelo novo "gene da obesidade".

Segundo Marcelo Nóbrega, geneticista brasileiro que trabalha na Universidade de Chicago (EUA) e um dos principais autores do artigo, o maior feito da descoberta é mostrar que centenas de laboratórios espalhados pelo mundo que focaram os estudos sobre a regulação de massa corpórea no FTO estavam, provavelmente, analisando o gene errado. "Muitos deles vão redirecionar os esforços para entender como o IRX3 regula o metabolismo", aposta o pesquisador, formado em medicina pela Universidade Federal de Pernambuco (UFPE). [...]

A descoberta abre portas para o desenvolvimento de drogas que poderiam reprimir a ação do IRX3. [...]

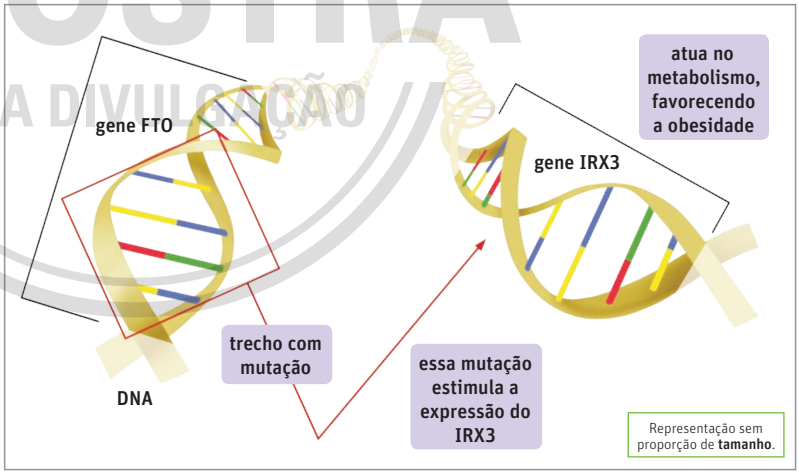
[...] Análises tanto em animais quanto em 153 amostras do cérebro de indivíduos de ascendência europeia mostraram que a mutação do FTO, na verdade, regula a expressão do IRX3, o verdadeiro responsável pelo ganho de peso. "Os elementos reguladores são interruptores que ligam e desligam os genes. O que descobrimos é que os interruptores do IRX3 estão longe, dentro do FTO", diz Nóbrega. [...]

Para comprovar a participação do IRX3 no surgimento da obesidade, os pesquisadores criaram em laboratório ratos sem esse gene. Depois de receber a mesma dieta e a mesma oportunidade de realizarem atividades físicas que roedores normais, as cobaias modificadas apresentaram-se 30% mais magras e com índice de gordura menor.

Quando alimentados com uma dieta rica em gordura, os ratos sem IRX3 mantiveram os mesmos níveis de peso e de gordura, como se tivessem sido submetidos a uma dieta equilibrada. Já os camundongos normais sob o mesmo regime alimentar ganharam quase o dobro do peso. [...]

[...]

Ainda que as vias genéticas da obesidade sejam cada vez mais conhecidas, as escolhas do dia a dia são determinantes para o desenvolvimento ou não da doença. [...] sedentarismo, má alimentação e transtornos alimentares integram a lista de fatores que elevam, e muito, a massa corporal. [...]



Vagner Coelho/ID/BR

Esquema mostrando a interação entre o gene FTO e o gene IRX3, que contribui para o ganho de peso em seres humanos. Cores-fantasia.

Eu estudante. Um gene de peso. *Correio Braziliense*, 13 mar. 2014. Disponível em: <http://www.correiobraziliense.com.br/app/noticia/eu-estudante/me_gerais/2014/03/13/me_gerais_interna,417241/um-gene-de-peso.shtml>. Acesso em: 24 fev. 2016.

PARA DISCUTIR

1. De que maneira o mecanismo de regulação gênica apresentado no texto se diferencia das formas de interação gênica estudadas ao longo do capítulo?
2. Você concorda com a afirmação "o novo trabalho, contudo, mostra que o gene [FTO] é um mero coadjuvante"? Justifique sua resposta.
3. A expressão "gene da obesidade", frequentemente usada na mídia, aparece também nessa notícia, embora entre aspas. Por que o uso dessa expressão é problemática?

AMOSTRA
PARA DIVULGAÇÃO

Não escreva no livro.

Probabilidade em casos de herança quantitativa

A probabilidade é muito útil para prever as proporções fenotípicas ou genotípicas na prole de um cruzamento.

Contudo, aplicar as regras da probabilidade pode ser complicado em alguns casos, como, por exemplo, naqueles que envolvem herança quantitativa. Nessas situações, existem outras ferramentas matemáticas mais indicadas.

Uma delas é o **binômio de Newton**, que permite determinar as probabilidades de uma combinação de eventos.

O binômio de Newton é o binômio na forma:

$$(p + q)^n$$

em que ***p*** é a probabilidade de um evento; ***q*** é a probabilidade do evento alternativo; e ***n*** é o número de vezes que o evento ocorre (*n* é sempre um número natural e é chamado ordem do binômio).

Para calcular as probabilidades, é necessário desenvolver o binômio de Newton. Considerando $n = 2$, temos:

$$(p + q)^2 = 1p^2 + 2pq + 1q^2$$

Os coeficientes do binômio de Newton desenvolvido, isto é, os números que vêm antes de cada termo ($\mathbf{1}p^2 + \mathbf{2}pq + \mathbf{1}q^2$) indicam a frequência esperada para cada evento, que no caso é 1: 2: 1. Essa proporção equivale àquela esperada para os fenótipos possíveis de um cruzamento entre dois indivíduos heterozigotos (**Aa** × **Aa**) em que não há dominância entre os alelos.

Ao aplicar o binômio de Newton nos casos de herança quantitativa, considera-se que *p* representa a probabilidade de ocorrência dos alelos contribuintes; *q* representa a probabilidade de ocorrência dos alelos não contribuintes; e *n* representa o número de *loci* envolvidos (ou seja, o dobro do número de tipos de genes envolvidos, em organismos diploides).

Tomando como exemplo a herança de uma característica que envolva dois tipos de genes, tem-se $n = 4$. Logo:

$$(p + q)^4 = 1p^4 + 4p^3q + 6p^2q^2 + 4pq^3 + 1q^4,$$

ou seja, a proporção fenotípica esperada para o cruzamento de um casal heterozigoto em F_2 é 1 : 4 : 6 : 4 : 1.

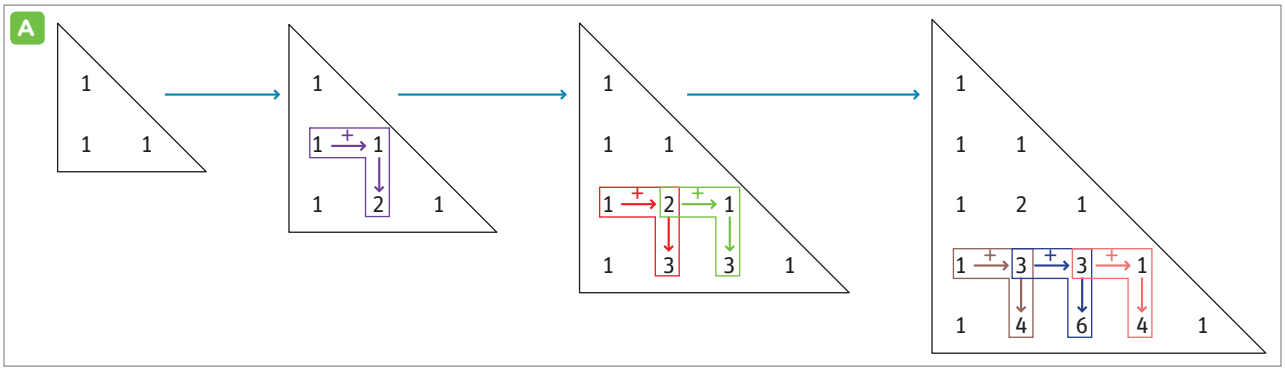
Já no caso da cor dos grãos de trigo, que é determinada pela interação de três genes, tem-se $n = 6$. Ao desenvolver o binômio $(p + q)^6$, obtém-se a proporção 1 : 6 : 15 : 20 : 15 : 6 : 1. Nesse caso, o desenvolvimento do binômio de Newton é trabalhoso em função do alto valor de *n*. Mas há uma outra maneira de determinar a frequência fenotípica esperada em um caso como esse: o **triângulo de Pascal.**

Em torno de 1650, o matemático francês Blaise Pascal (1623-1662) escreveu o *Traité du triangle arithmétique* (*Tratado do triângulo aritmético*), publicado em 1665, e, com Pierre Fermat, estabeleceu os fundamentos da teoria da probabilidade. Embora Pascal não tenha sido o primeiro a trabalhar com o triângulo, este se tornou conhecido como triângulo de Pascal devido ao desenvolvimento e às aplicações que o matemático francês fez de muitas de suas propriedades.

Ao construir o triângulo de Pascal, cada elemento é obtido pela soma de dois elementos da linha superior: o que está exatamente acima e o antecessor deste (imagem **A**, na página ao lado). A exceção fica para o primeiro e último elemento de cada linha, que são sempre "1".

AMOSTRA PARA DIVULGAÇÃO

Não escreva no livro.

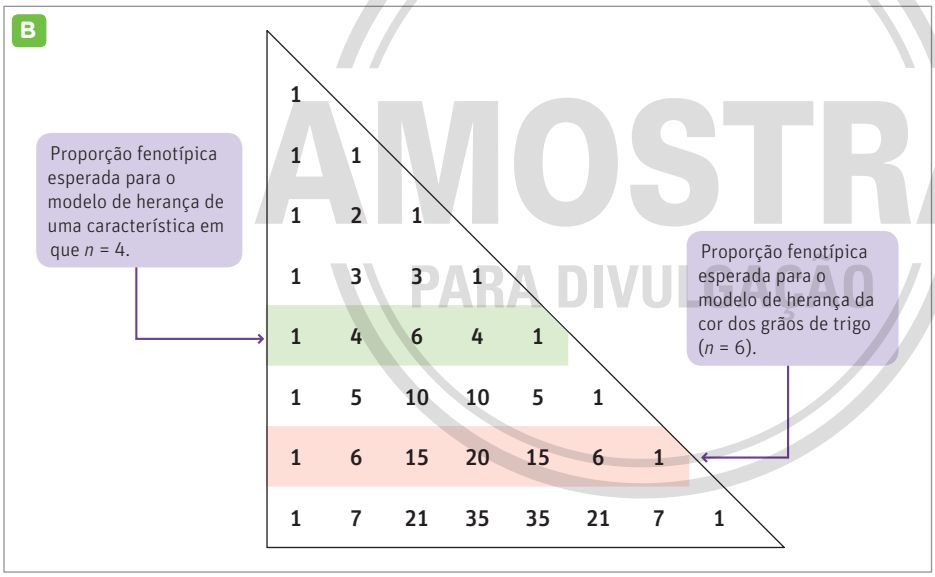


Ilustrações: Reinaldo Vignati/ID/BR

Esquema de construção do triângulo de Pascal.

Cada linha do triângulo de Pascal representa todas as classes fenotípicas possíveis para o cruzamento de heterozigotos para caracteres quantitativos. Essas classes fenotípicas se distribuem de acordo com os coeficientes do binômio de Newton, os quais são fornecidos diretamente pelo triângulo de Pascal.

Portanto, para sabermos as proporções das classes fenotípicas, basta saber o número de *loci* relacionados a determinada característica. Por exemplo, quando $n = 4$, as proporções fenotípicas equivalem à quinta linha do triângulo de Pascal (imagem **B**).



Triângulo de Pascal. As proporções fenotípicas nos casos de herança quantitativa são obtidas em cada linha, de acordo com o número de *loci* envolvidos.

AMOSTRA PARA DIVULGAÇÃO

ATIVIDADES

1. Observe novamente o triângulo de Pascal mostrado nesta página e responda às questões a seguir.

a) Que genótipos são representados pelo primeiro e pelo último elemento de cada linha?

b) Se *n* = número de *loci* envolvidos em uma herança quantitativa, de que maneira podemos representar o número de fenótipos expressos em cada linha do triângulo de Pascal?

c) Existe alguma situação na qual as linhas pares do triângulo de Pascal são usadas para se obter a proporção fenotípica de uma característica quantitativa em organismos diploides? Explique.

2. Suponha que uma característica humana tem herança quantitativa determinada por ação de 4 genes. Responda como seriam os descendentes de um casal heterozigoto para esses genes quanto:

a) ao número de fenótipos observados;

b) à proporção esperada para cada fenótipo;

c) à proporção do fenótipo que se caracteriza por possuir 4 alelos contribuintes.

CAPÍTULO

6 Além da genética mendeliana

O QUE VOCÊ VAI ESTUDAR

A herança de genes situados em um mesmo cromossomo.

A construção de mapas cromossômicos.

Alterações cromossômicas em seres humanos.

Herança de genes mitocondriais.

A função de íntrons e éxons.

Herança epigenética.



Eye of Science/SPL/Latinstock

Drosófila (*Drosophila melanogaster*) em uma folha. Há mais de cem anos essa espécie de mosca é utilizada em experimentos genéticos. (Foto ao microscópio eletrônico de varredura; imagem colorizada; aumento de cerca de 40 vezes.)

Será que as leis de Mendel explicam a transmissão de todas as características dos seres vivos? Estudos posteriores a Mendel, que analisaram o padrão de herança de várias características em moscas drosófilas, mostraram que a segunda lei de Mendel é válida apenas quando os genes estão situados em cromossomos diferentes, o que faz seus alelos se comportarem independentemente durante a meiose. Quando os genes estão em um mesmo cromossomo, o padrão de herança depende da distância entre eles.

Esses estudos levaram ao desenvolvimento de um método para o mapeamento dos genes nos cromossomos. O mapeamento gênico é uma etapa importantíssima para a compreensão, o diagnóstico e o possível tratamento de doenças genéticas.

Além disso, existem outras formas de herança e campos de estudo que ajudam a explicar as características dos indivíduos, como veremos neste capítulo.

Não escreva no livro.

Ligação gênica

A partir de 1910, poucos anos após a redescoberta dos trabalhos de Mendel, o cientista estadunidense Thomas Morgan (1866-1945) e seus colaboradores realizaram uma série de experimentos com a mosca drosófila (*Drosophila melanogaster*) e acabaram por mostrar que a lei da segregação independente só é válida quando os genes estão localizados em cromossomos diferentes.

Em uma de suas experiências, Morgan cruzou moscas de corpo cinza e asas longas com moscas de corpo preto e asas vestigiais, ambos homozigotos (imagem **A**). Todos os descendentes em F_1 apresentavam corpo cinza e asas longas, o que mostrou que os alelos que condicionam corpo cinza (**B**) e asas longas (**V**) são dominantes sobre os alelos para corpo preto (**b**) e asas vestigiais (**v**).

Em seguida, Morgan realizou o cruzamento entre os indivíduos de F_1, mas o resultado obtido foi diferente da proporção 9 : 3 : 3 : 1, que é aquela esperada pela segunda lei de Mendel.

Buscando entender esses resultados, Morgan fez um cruzamento-teste entre os descendentes de F_1 e indivíduos homozigóticos recessivos (imagem **B**). De acordo com as leis de Mendel, a proporção esperada para a geração F_2 desse cruzamento seria de 1 : 1 : 1 : 1. Morgan obteve, contudo, uma proporção aproximada de 5 : 1 : 1 : 5, como mostram os resultados no quadro a seguir.

Resultados obtidos por Morgan no cruzamento-teste de drosófilas

Fenótipo	Genótipo	Frequência
corpo cinza e asas longas	BbVv	41,5%
corpo cinza e asas vestigiais	Bbvv	8,5%
corpo preto e asas longas	bbVv	8,5%
corpo preto e asas vestigiais	bbvv	41,5%

Fonte de pesquisa: Reece, J. B. et al. *Campbell Biology*. 10. ed. [S.l.]: Pearson, 2014. p. 299-300.

Para explicar essa diferença, Morgan propôs que os genes *b* e *v* estivessem no mesmo cromossomo. Desse modo, esses genes tendem a se manter juntos durante a formação dos gametas, ou seja, não se distribuem independentemente como os genes estudados por Mendel.

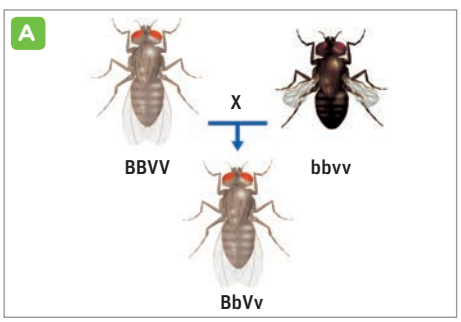
Segundo a terminologia moderna, dizemos que os genes localizados num mesmo cromossomo são **genes ligados**, ou genes em ***linkage*** (ligação gênica, em inglês).

FERRAMENTAS DA CIÊNCIA

Drosófilas como modelo animal em estudos genéticos

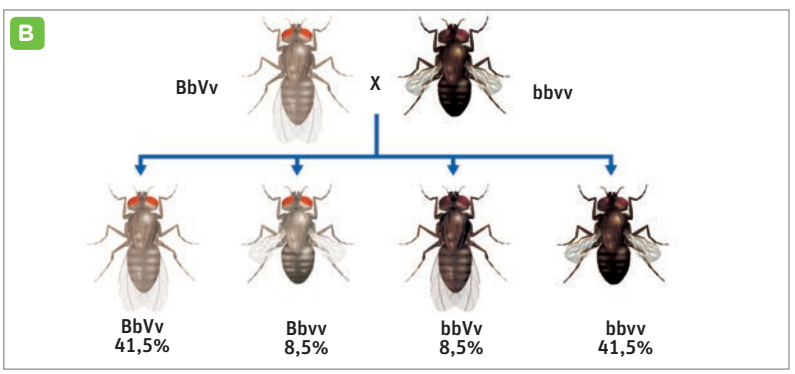
A mosca-das-frutas *Drosophila melanogaster* foi um dos primeiros organismos-modelo usados em genética, escolhida em parte por ser facilmente obtida em frutas maduras, ter um ciclo de vida diploide curto e ser fácil de cultivar e cruzar em recipientes ou frascos contendo uma camada de alimento. A análise genética inicial mostrou que seus mecanismos de herança têm grandes similaridades com os de outros eucariotas, justificando sua utilização como organismo-modelo. Sua popularidade como organismo-modelo diminuiu quando *E. coli*, levedura e outros microrganismos estavam sendo desenvolvidos como ferramentas moleculares. No entanto, a *Drosophila* foi redescoberta por ter servido muito bem ao estudo da base genética do desenvolvimento, uma das questões centrais da Biologia. A importância da *Drosophila* como modelo para a genética humana é demonstrada pela descoberta de que aproximadamente 60% dos genes considerados causadores de doença em seres humanos, bem como 70% dos genes de câncer, têm contrapartes na *Drosophila*. [...]

Griffiths, A. J. F. et al. *Introdução à genética*. 10. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2013. p. 664.



Representação do cruzamento realizado por Morgan entre moscas cinza com asas longas e moscas pretas com asas vestigiais. Cores-fantasia.

Fonte de pesquisa das imagens: Reece, J. B. et al. *Campbell Biology*. 10. ed. [S.l.]: Pearson, 2014. p. 299.



Resultados do cruzamento-teste realizado por Morgan. Note que os fenótipos observados nos descendentes desse cruzamento não seguem a proporção esperada pela segunda lei de Mendel de 1 : 1 : 1 : 1. Cores-fantasia.

Ilustrações: Reinaldo Vignati/ID/BR

AMOSTRA PARA DIVULGAÇÃO

Grupo de ligação

Em 1903, o geneticista Walter Sutton (1877-1916) propôs a teoria cromossômica da herança, cuja tese central é a de que os genes estão localizados nos cromossomos. Com base nessa teoria, Morgan concluiu que cada cromossomo deve possuir muitos genes, uma vez que há muito mais genes que cromossomos em um organismo. Cada cromossomo possui, então, vários genes ligados, formando o que se denomina **grupo de ligação**.

Assim, Morgan interpretou que os resultados obtidos por sua equipe refletiam um padrão de herança de genes localizados em um mesmo cromossomo. Nesse caso, os genes ligados são transmitidos em conjunto durante a meiose para formação de gametas, e a proporção fenotípica obtida é diferente daquela prevista pela segunda lei de Mendel, que só é válida para genes situados em cromossomos diferentes e que, portanto, segregam-se de maneira independente

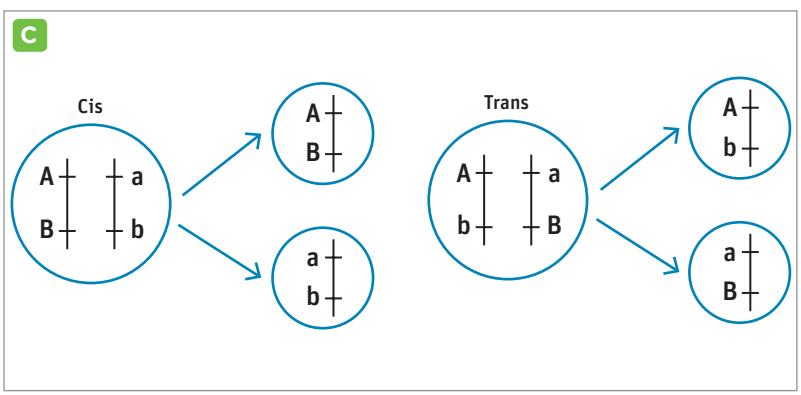
Para entender melhor, vamos identificar os gametas produzidos por um indivíduo duplo heterozigoto (**AaBb**) no caso de haver ou não ligação gênica. Quando os genes *a* e *b* estão situados em cromossomos diferentes (imagem **A**), os alelos se segregam de maneira independente, o que resulta em quatro tipos de gametas na proporção de 25% cada (**AB**, **Ab**, **aB** e **ab**). Quando esses genes estão ligados no mesmo cromossomo (imagem **B**), esse indivíduo **AaBb** produzirá gametas em proporções diferentes, dependendo da disposição dos alelos nos cromossomos.

Configurações cis e trans

Os genes localizados em um mesmo cromossomo podem estar ligados de duas maneiras distintas. No caso do exemplo ilustrado na imagem **B**, os gametas formados são **AB** e **ab**. Mas outro indivíduo **AaBb** poderia carregar os alelos **A** e **b** em um cromossomo e os alelos **a** e **B** no cromossomo homólogo. Assim, os gametas formados seriam **Ab** e **aB**.

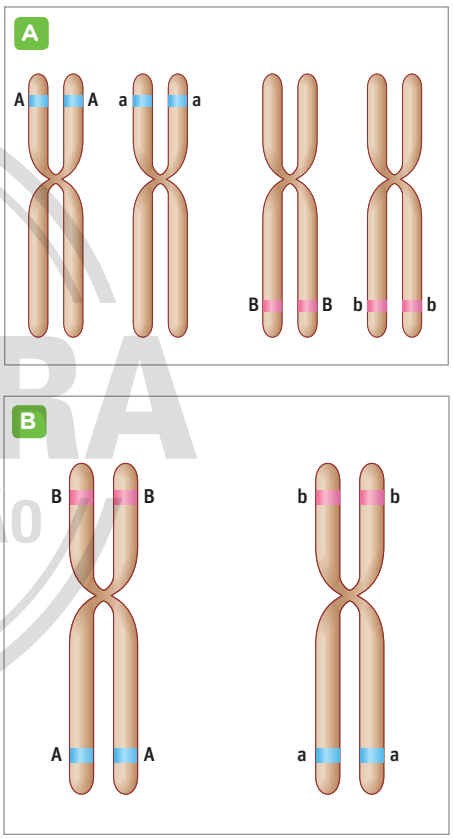
Quando um dos cromossomos carrega dois alelos dominantes e o outro carrega dois alelos recessivos, a disposição é denominada configuração **cis**. Já quando cada cromossomo contém um alelo dominante e um alelo recessivo, a configuração é denominada configuração **trans** (imagem **C**).

Portanto, a análise de cruzamentos que envolvem genes ligados deve levar em consideração não só os genótipos dos indivíduos cruzados, como também a disposição dos alelos nos cromossomos. Essa disposição pode ser indicada com um barra no genótipo (**AB/ab** para o caso de uma configuração cis e **Ab/aB** para o caso de uma configuração trans).



Representação dos tipos de gametas formados para os genes *a* e *b* ligados em configuração cis (à esquerda) e configuração trans (à direita).

Representação sem proporção de **tamanho**.



Ilustrações: Reinaldo Vignati/ID/BR

Representação dos alelos dos genes *a* e *b* situados em cromossomos diferentes (**A**) e em um mesmo par de cromossomos homólogos (**B**). Cores-fantasia.

AMOSTRA PARA DIVULGAÇÃO

Não escreva no livro.

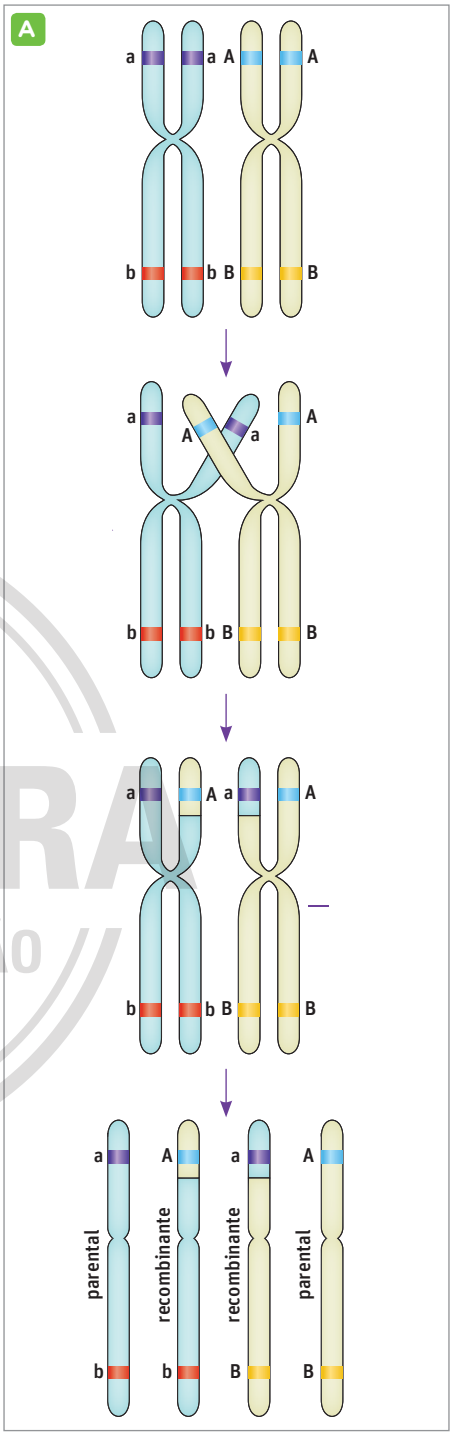
Ligação gênica com permutação

Antes mesmo dos trabalhos de Morgan, citologistas que estudavam a meiose observaram entrelaçamentos entre as cromátides de cromossomos homólogos, que foram chamados de **quiasmas**. Em 1909, o citologista Frans Janssens (1865-1924) propôs que esses quiasmas fossem um ponto onde ocorria troca de fragmentos entre os cromossomos homólogos. Esse fenômeno, que ocorre durante a prófase I da meiose, ficou conhecido como **permutação**, ou ***crossing-over***.

Morgan valeu-se dessa observação e concluiu que, quando ocorrem genes ligados em um mesmo cromossomo, nem sempre os alelos permanecem juntos após a meiose. Durante a prófase I, podem ocorrer permutações entre as cromátides dos cromossomos homólogos. Assim, os alelos mudam de posição e são formadas cromátides **recombinantes**, que apresentam novas combinações alélicas (imagem **A**).

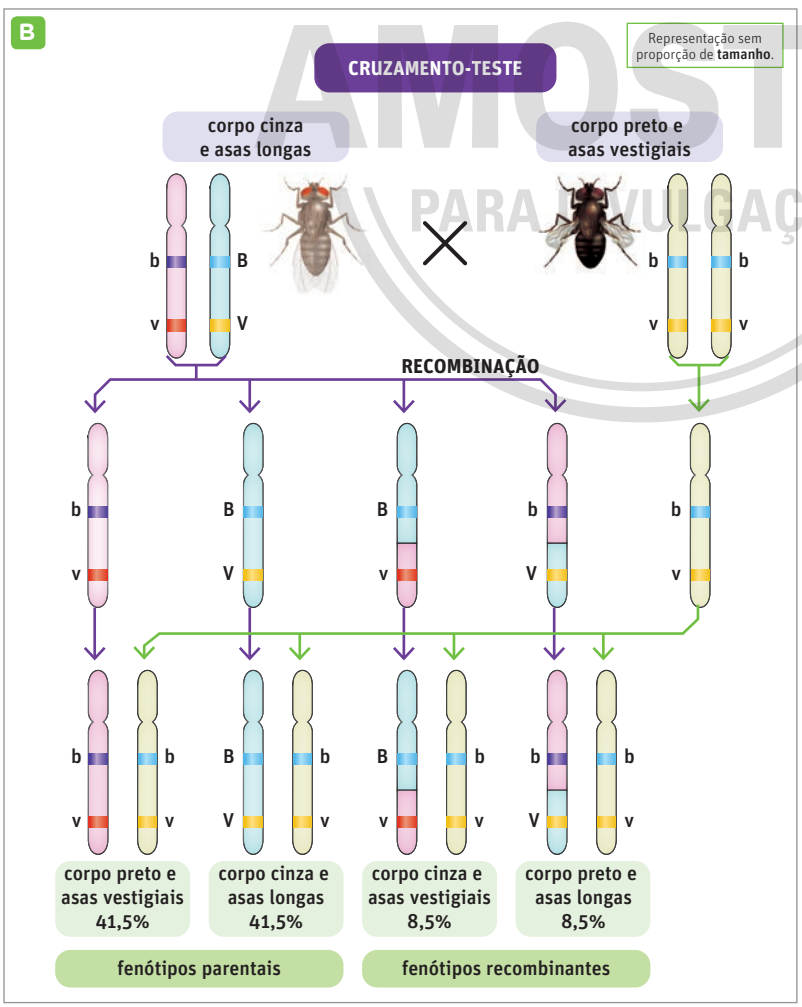
A recombinação era o que faltava para Morgan explicar os resultados obtidos por sua equipe no cruzamento-teste entre drosófilas duplo heterozigóticas (**BbVv**) e drosófilas duplo recessivas (**bbvv**). A ligação gênica explica por que os fenótipos parentais apareceram em maior proporção nesses cruzamentos, mas não explica a ocorrência de fenótipos diferentes dos parentais (corpo preto/asas longas e corpo cinza/asas vestigiais). Esses fenótipos deviam-se, então, à ocorrência de permutação durante a meiose para formação dos gametas em drosófilas com genótipo **BbVv** (imagem **B**).

Representação sem proporção de **tamanho**.



Reinaldo Vignati/ID/BR

A permutação entre as cromátides de cromossomos homólogos resulta em duas cromátides idênticas às parentais e em duas cromátides recombinantes. Cores-fantasia.



Reinaldo Vignati/ID/BR

Representação das cromátides geradas por cada indivíduo no cruzamento-teste realizado por Morgan e os genótipos resultantes da combinação entre elas em F_2 para os genes *b* e *v* em ligação gênica. Cores-fantasia.

Fonte de pesquisa: REECE, J. B. et al. *Campbell Biology*. 10. ed. [S.l.]: Pearson, 2014. p. 301.

AMOSTRA PARA DIVULGAÇÃO

Recombinação

Vimos que a ligação gênica determina que os genes sejam herdados juntos, enquanto a permutação altera as combinações entre os alelos, aumentando a variabilidade genética na espécie (imagem **A**).

O termo **recombinação** é usado para se referir a essas novas combinações de alelos resultantes da permutação (*crossing-over*) na prófase I da meiose. Como essa troca de material genético ocorre entre os alelos de genes situados em um mesmo cromossomo, fala-se em **recombinação intracromossômica**.

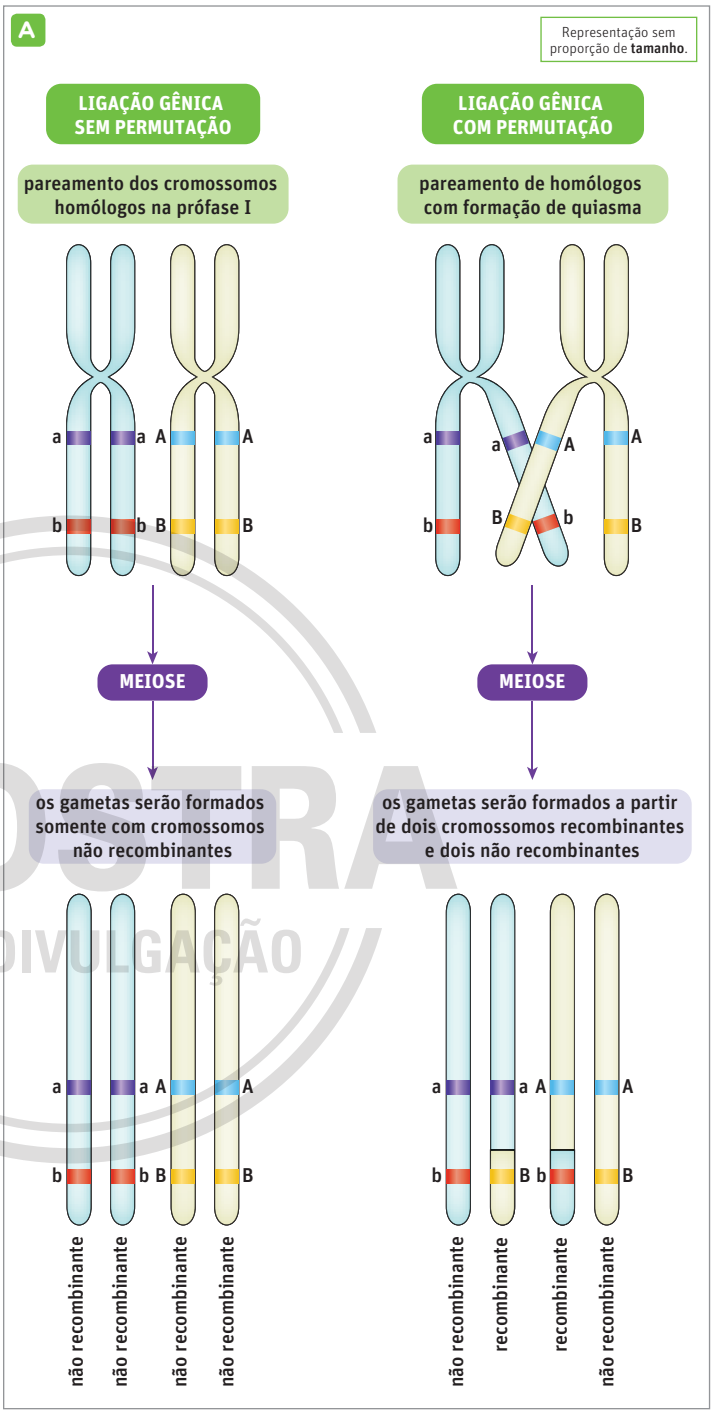
O termo recombinação também é usado para se referir às diferentes combinações de alelos resultantes da segregação dos cromossomos na anáfase I da meiose. Nesse caso, trata-se das diferentes combinações entre alelos de genes localizados em cromossomos diferentes, ou seja, quando há segregação independente, o que é também chamado de **recombinação intercromossômica**.

O tipo de recombinação pode ser detectado pela comparação dos genótipos das células antes e depois da meiose. A proporção de gametas recombinantes é que vai indicar se estes se originaram pela permutação entre genes ligados ou pela segregação independente.

Mutações

As alterações no material genético de um organismo são chamadas de mutações. Elas podem ocorrer espontaneamente ou como resultado da exposição a agentes mutagênicos do ambiente (por exemplo, a radiação). Essas alterações podem ocorrer na sequência de DNA ou no número e/ou formato dos cromossomos e podem levar à expressão de fenótipos diferentes (imagem **B**).

As mutações constituem uma importante fonte de variabilidade genética sobre a qual a seleção natural pode agir. Em organismos que realizam reprodução sexuada, a variabilidade genética gerada pelas mutações é ampliada pelos mecanismos de recombinação.



Reinaldo Vignati/ID/BR

Comparação entre os resultados genotípicos de ligação gênica sem e com permutação. Note que uma única permutação dobra a quantidade de gametas diferentes produzidos na meiose. Cores-fantasia.

Fonte de pesquisa: Griffiths, A. J. F. et al. *Introdução à genética*. 9. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2011. p. 115.



Pascal Goetgheluck/SPL/Latinstock

Drosófilas com fenótipo selvagem (à esquerda) e com fenótipo mutante (à direita) para as asas. A mutação desta última gerou um fenótipo com quatro asas em vez das duas habituais.

AMOSTRA
PARA DIVULGAÇÃO

Não escreva no livro.

A influência da distância gênica na permutação

Como resultado da permutação durante a meiose, os genes ligados em um mesmo cromossomo podem manifestar novas combinações de alelos nos gametas. A prole, então, pode apresentar os mesmos fenótipos que ocorreriam no caso de segregação independente dos genes. Contudo, a permutação ocorre apenas em parte das células em meiose e, portanto, os gametas com cromátides recombinantes são menos frequentes que aqueles com cromátides parentais. Por isso, embora seja possível obter as mesmas classes fenotípicas esperadas pela segregação independente, elas surgem em proporções distintas das esperadas pela segunda lei de Mendel. O quadro abaixo compara as diferenças e semelhanças entre os três tipos de herança estudados até o momento.

Comparação entre os três tipos de herança

	Segregação independente	Ligação gênica sem permutação	Ligação gênica com permutação
Localização dos genes	Em cromossomos diferentes.	No mesmo cromossomo.	No mesmo cromossomo.
Ocorrência de recombinação	Sim, por meio da segregação independente dos genes e seus alelos.	Não, os genes são herdados juntos.	Sim, por meio da ocorrência de permutação entre cromossomos homólogos.
Resultado	Gametas apresentam todas as combinações entre os alelos, em proporções que obedecem à segunda lei de Mendel.	Gametas apresentam apenas as combinações de alelos parentais, sendo 50% de cada tipo.	Parte dos gametas apresenta recombinação alélica, e a porcentagem de gametas recombinantes é menor que a porcentagem de gametas parentais.

Quanto maior a distância entre os genes, mais pontos existem entre eles onde é possível ocorrer permutação. Quando os genes estão muito próximos, essa probabilidade é pequena (veja imagem abaixo). Em outras palavras, a frequência de permutação entre os alelos de genes situados em um mesmo cromossomo é diretamente proporcional à distância entre eles.

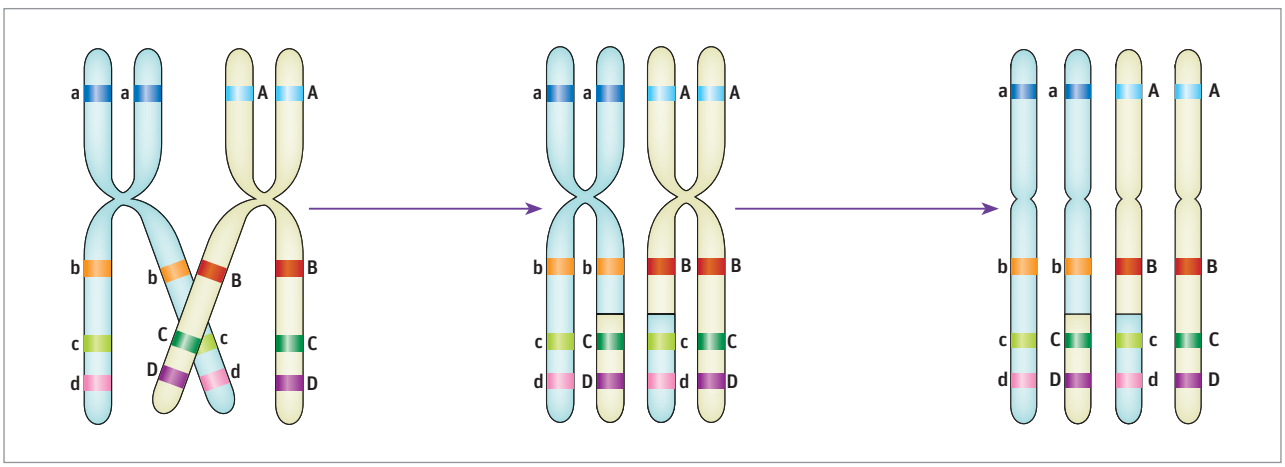
ATIVIDADES

1. Suponha que um indivíduo heterozigoto para dois pares de genes (*a* e *b*) seja submetido a um cruzamento-teste. Indique qual é o resultado genotípico se os pares de genes estiverem localizados:

a) em cromossomos distintos e segregarem-se independentemente;

b) no mesmo cromossomo e não ocorrer permutação;

c) no mesmo cromossomo e ocorrer permutação.



Reinaldo Vignati/ID/BR

Esquema de permutação entre cromossomos homólogos. Note que os alelos dos genes *c* e *d* foram herdados juntos nesses exemplo, ao contrário dos alelos dos genes *b* e *c* e dos genes *b* e *d*, cujas distâncias gênicas são maiores. Cores-fantasia.

AMOSTRA PARA DIVULGAÇÃO

Mapeamento cromossômico

Desde os estudos da equipe de Morgan, é possível determinar a posição relativa dos genes nos cromossomos por meio de um **mapa cromossômico**. Para isso, as frequências de permutação são usadas para estabelecer a ordem dos genes ligados e as distâncias relativas entre eles. Isso é possível porque a permutação é mais frequente entre os genes mais distantes do que entre os mais próximos.

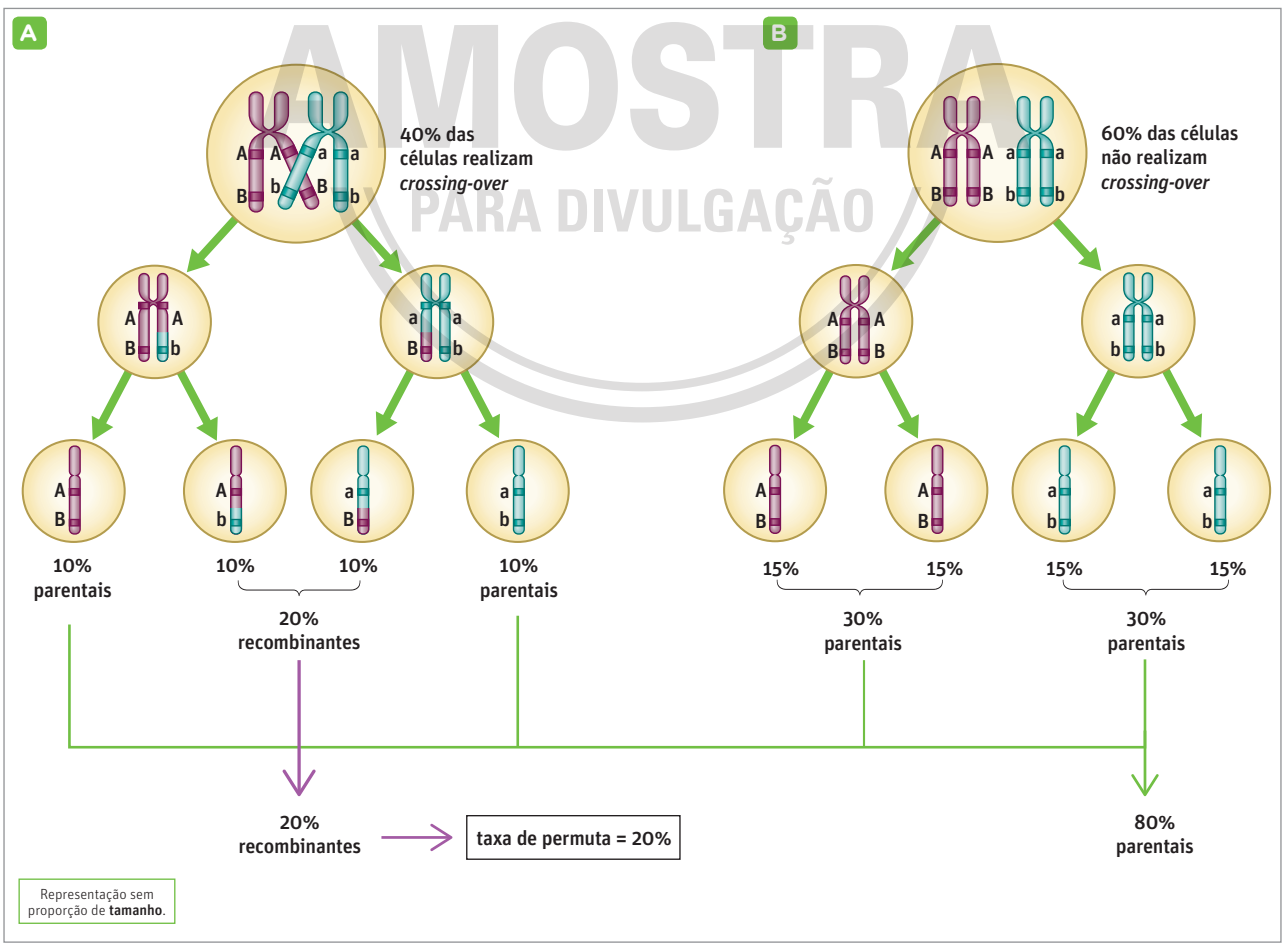
Frequência de gametas recombinantes

Nas meioses em que não ocorre permutação, são produzidos gametas não recombinantes, isto é, com cromátides iguais às parentais. Nas meioses em que ocorre uma única permutação, metade dos gametas é recombinante e metade é não recombinante. Assim, a porcentagem total de gametas recombinantes é igual à metade da porcentagem das meioses nas quais ocorre permutação. Isso significa que, mesmo ocorrendo permutação entre os alelos de dois genes em todas as meioses, apenas 50% dos gametas resultantes serão recombinantes.

A permutação, contudo, pode ocorrer apenas em uma parte das células que sofrem meiose. Considerando uma situação em que houve permutação em 40% das células em que ocorreu meiose (imagens **A** e **B**), tem-se ao final 20% de gametas recombinantes e 80% de gametas parentais.

ATIVIDADES

2. Se a taxa de permutação entre os genes *a* e *b* localizados no mesmo cromossomo for de 30%, qual será a porcentagem de gametas recombinantes e de gametas parentais?



Adilson Secco/ID/BR

Representação da formação de gametas em: (**A**) 40% das células que sofreram permutação na meiose e (**B**) 60% das células que não sofreram permutação na meiose. Cores-fantasia.

AMOSTRA PARA DIVULGAÇÃO

Não escreva no livro.

Frequência de recombinação

A frequência de recombinação indica a probabilidade de aparecerem novas combinações de alelos nos gametas, isto é, a frequência de gametas recombinantes. Essa frequência pode ser obtida da seguinte forma:

$$\text{Frequência de recombinação} = \frac{\text{nº de descendentes recombinantes}}{\text{nº total de descendentes}}$$

Para entender como é feito esse cálculo, tomemos como exemplo um cruzamento-teste fictício **AB/ab** × **ab/ab**, cujos resultados são mostrados no quadro a seguir.

Genótipo	Número de indivíduos
AB/ab	903
Ab/ab	98
aB/ab	102
ab/ab	897

Nesse caso, os descendentes recombinantes são os que têm genótipos **Ab/ab** e **aB/ab**. Portanto, ao aplicar a fórmula, temos que (98 + 102) / 2000 = 0,10 ou 10% de frequência de recombinação. Isso significa que apenas 10% dos gametas produzidos nesse cruzamento serão recombinantes.

Mapas genéticos

As observações experimentais feitas por Morgan e sua equipe levaram Alfred Sturtevant (1891-1970), aluno de Morgan, a relacionar a frequência de recombinação com a distância entre os *loci* de diferentes genes.

Essa ideia estava fundamentada em duas premissas: a primeira, de que os genes estão dispostos linearmente nos cromossomos. A segunda premissa era de que os genes que estão mais próximos uns dos outros apresentam taxas de recombinação inferiores às dos genes que se encontram mais distantes uns dos outros.

Com base nisso, notou-se que era possível usar as frequências de recombinação para determinar a posição dos genes em um cromossomo e estimar as distâncias relativas entre eles.

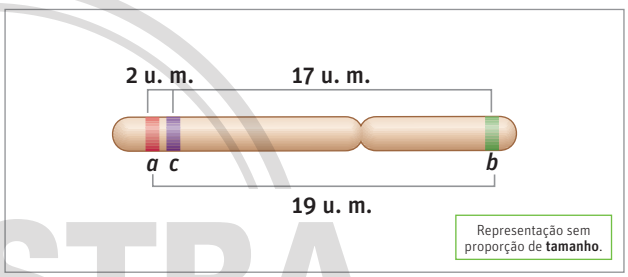
Os mapas cromossômicos feitos a partir do cálculo das frequências de permutação entre os *loci* são chamados de **mapas genéticos** ou **mapas de ligação**. Esses mapas fornecem as distâncias relativas entre os *loci*.

Atualmente há também os mapas cromossômicos, obtidos por meio de técnicas citogenéticas e moleculares, que determinam os locais físicos exatos dos genes ao longo do cromossomo. Em geral, os genes são expressos em número de bases de DNA. Esses mapas são denominados **mapas físicos**.

Posição relativa dos genes com base nas distâncias gênicas

Com o objetivo de localizar diversos genes nesses mapas, foi definido como unidade o **centimorgan** (**cM**), também chamado de uma **unidade de mapa** (**u. m.**). Um centimorgan equivale à distância entre dois pontos do cromossomo que apresentam uma frequência de recombinação igual a 1%. Assim, por exemplo, dois genes com uma frequência de recombinação de 25% estariam separados por 25 cM, ou 25 u. m.

As distâncias entre os genes no mapa podem ser usadas para localizá-los em um cromossomo. Suponha que a distância entre dois genes *a* e *b* seja de 19 u. m.; entre os genes *a* e *c* seja de 2 u. m.; e entre os genes *b* e *c* seja de 17 u. m. Nesse caso, é possível concluir que o gene *c* está localizado entre *a* e *b* (imagem abaixo).



Reinaldo Vignati/ID/BR

Exemplo de mapa genético construído com base nas distâncias entre três genes (*a*, *b* e *c*). Cores-fantasia.

Um mapa como o ilustrado acima não coloca os *loci* em lugares específicos dos cromossomos. A análise das frequências de recombinação permite apenas determinar a posição dos genes uns em relação aos outros. Esse agrupamento de três genes poderia estar em qualquer lugar do cromossomo. Contudo, todo o cromossomo pode ser mapeado conforme aumenta a quantidade de genes cuja frequência de recombinação é analisada. Assim, pode-se determinar a posição exata de cada gene no cromossomo.

ATIVIDADES

3. Copie em seu caderno o mapa genético mostrado nesta página e posicione sobre ele um gene *d* considerando que ele está a 4 u. m. do gene *c* e a 13 u. m. do gene *b*.

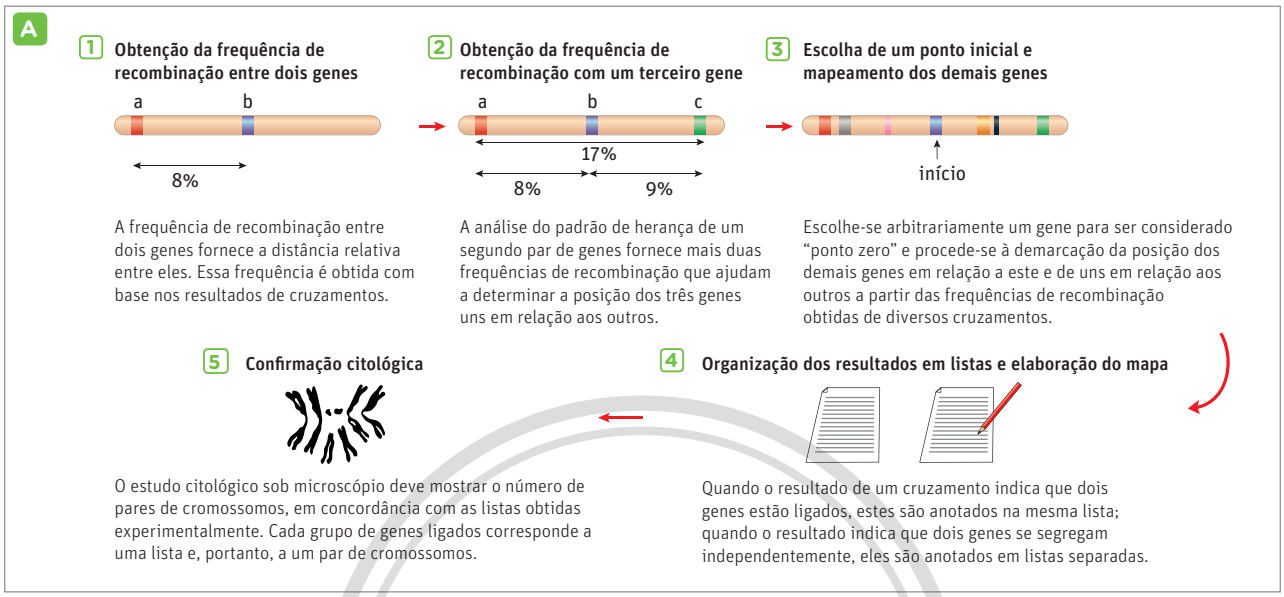
4. Para quatro genes localizados no mesmo cromossomo, encontramos nos descendentes de um cruzamento-teste as seguintes frequências de permutação: 50% entre *A* e *D*; 20% entre *A* e *B*; 20% entre *C* e *D*; e 10% entre *C* e *B*.

Desenhe um mapa genético indicando a localização desses genes e a distância entre eles.

AMOSTRA PARA DIVULGAÇÃO

Construção de mapas genéticos

Os estudos de Morgan e seus colaboradores ajudaram a desenvolver um método para a construção de mapas genéticos (imagem **A**). Esses estudos também ajudaram a confirmar a teoria cromossômica da herança, isto é, a ideia de que os genes se localizam nos cromossomos.

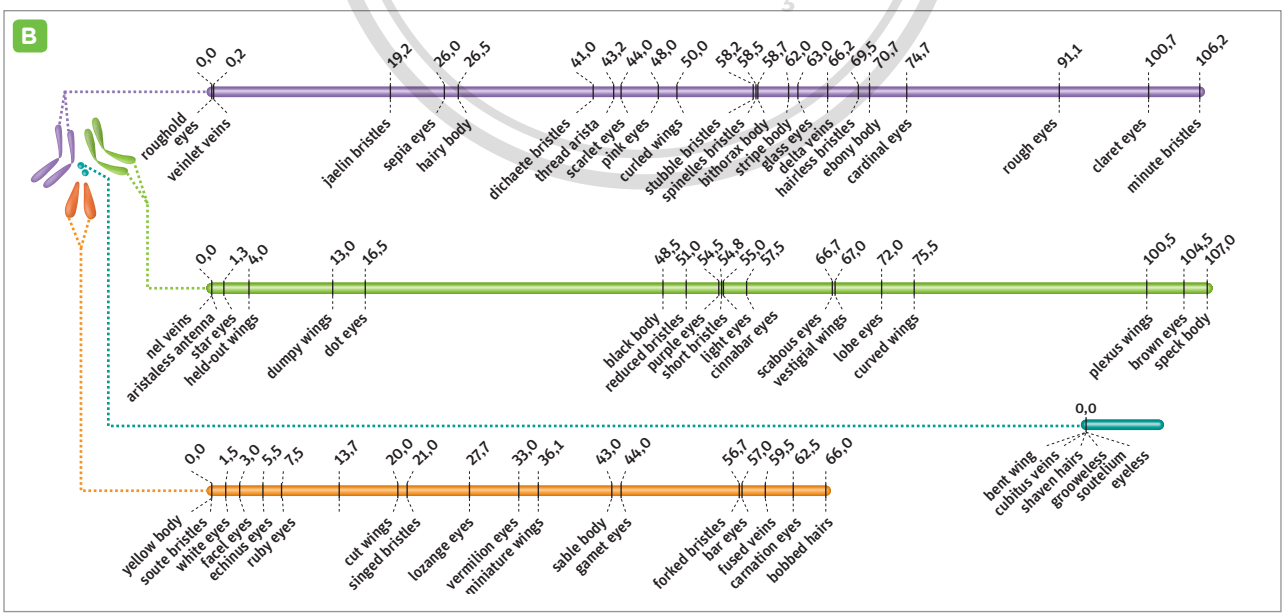


Reinaldo Vignati/ID/BR

Etapas para elaboração de um mapa genético com base nas frequências de recombinação obtidas em diversos cruzamentos.

Atualmente, contudo, são utilizados procedimentos mais sofisticados para determinar a posição dos genes nos cromossomos, bem como para decifrar sua sequência das bases nitrogenadas (sequenciamento genético). Tais técnicas foram a base do **Projeto Genoma Humano** e de diversos outros projetos genômicos já concluídos ou em andamento, como é caso do mapeamento cromossômico em drosófilas (imagem **B**).

AMOSTRA PARA DIVULGAÇÃO



Adilson Secco/ID/BR

Representação do mapa genético da drosófila (*Drosophila melanogaster*). Essa espécie de mosca apresenta quatro pares de cromossomos, cada um representado aqui com uma cor distinta. As linhas verticais indicam a localização dos genes nos cromossomos. Os valores, dados em unidades de mapa (u. m.), são medidos a partir do gene mais próximo de uma das pontas de cada cromossomo. Os termos em inglês não foram traduzidos porque, em muitos casos, não existe correspondência em português. Cores-fantasia.

Fonte de pesquisa: Memorial University of Newfoundland, Canadá. Disponível em: <https://www.mun.ca/biology/scarr/Drosophila_map.html>. Acesso em: 28 abr. 2016.

Não escreva no livro.

Alterações cromossômicas

Mutações podem causar diversos tipos de alterações cromossômicas que são responsáveis por manifestar doenças genéticas. Essas alterações nos cromossomos podem ser numéricas ou estruturais.

Alterações cromossômicas numéricas

São aquelas que alteram o número do cariótipo normal de uma espécie. As alterações cromossômicas numéricas podem ser provocadas pela presença de um conjunto extra, completo, de cromossomos (**poliploidia**) ou pela deleção ou adição de um cromossomo (**aneuploidia**).

Poliploidias

A espécie humana se caracteriza por um cariótipo com 23 pares de cromossomos, ou seja, 46 cromossomos em suas células diploides. Contudo, casos de triploidia (69 cromossomos) e tetraploidia (92 cromossomos) já foram descritos para muitos embriões humanos que sofreram aborto espontâneo.

As poliploidias são resultantes de erros durante a fecundação ou durante a meiose para a formação dos gametas. Por exemplo, um embrião triploide (imagem **A**) pode ser formado quando um óvulo é fecundado acidentalmente por dois espermatozoides ou, então, quando uma falha na meiose resulta em um gameta diploide que, ao se unir a um gameta normal (haploide), forma um zigoto triploide.

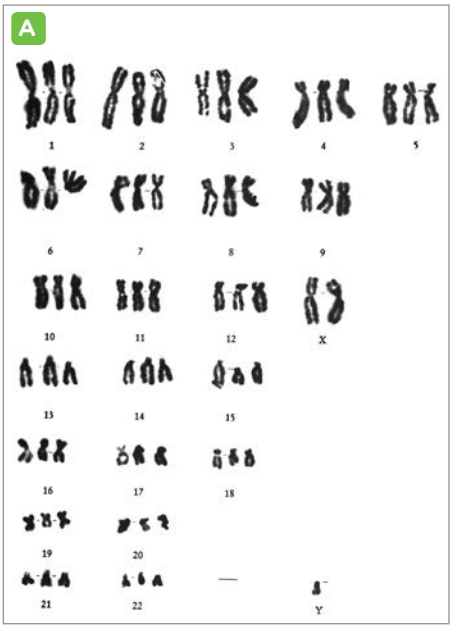
Aneuploidias

Em uma espécie diploide, como o ser humano, é possível que um dos pares de cromossomos apresente uma cópia a menos ou a mais. As aneuploidias que se caracterizam pela ausência de uma das cópias são chamadas de **monossomias**. As monossomias autossômicas são geralmente letais e, por isso, são pouco observadas em indivíduos nascidos vivos. Já a monossomia do cromossomo sexual **X**, que define o sexo feminino quando em homozigose (a determinação do sexo é tema do capítulo 7), embora também reflita uma alta taxa de aborto espontâneo, é bem conhecida por provocar a síndrome de Turner (45, **X0**).

As aneuploidias que se caracterizam por apresentar uma cópia a mais de algum dos cromossomos são chamadas de **trissomias**. As trissomias são mais frequentes que as monossomias entre os nascidos vivos, indicando que o organismo humano pode tolerar o excesso de material genético mais facilmente do que a deficiência dele.

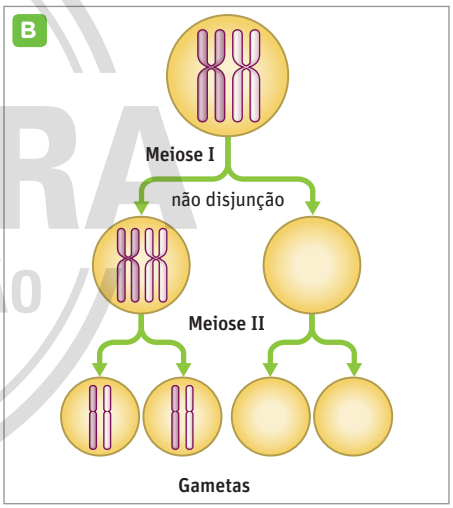
Dentre as diversas trissomias conhecidas, a **trissomia do cromossomo 21** ou **síndrome de Down** é a mais comum. Embora o diagnóstico definitivo seja feito após o nascimento (os portadores da síndrome de Down apresentam os olhos oblíquos, orelhas pequenas e de implantação baixa, mãos curtas e largas etc), alguns exames do pré-natal podem avaliar a chance de o bebê ter a síndrome (ver página 79). A síndrome de Down costuma causar algum grau de comprometimento intelectual, mas estímulos adequados podem ajudar seus portadores a se tornarem cidadãos plenamente integrados à sociedade.

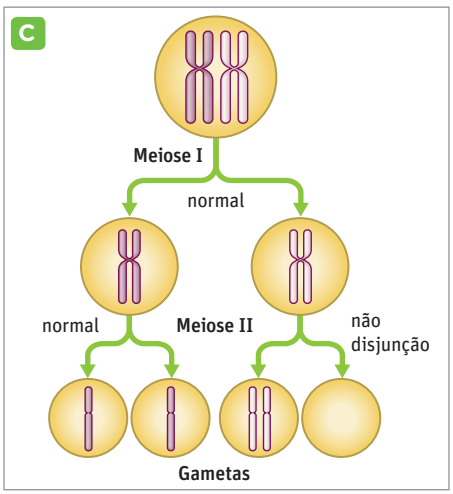
A causa mais frequente das aneuploidias é a **não disjunção meiótica**, uma falha da separação de um par de cromossomos durante uma das duas divisões meióticas (imagens **B** e **C**). Esses erros resultam em gametas sem cromossomos e com duas cópias de um dado cromossomo, o que por sua vez pode levar à formação de indivíduos com monossomia ou trissomia, respectivamente.



CNRI/SPL/Latinstock

Cariótipo de um embrião humano do sexo masculino com triploidia (69, **XXY**).





Ilustrações: Adilson Secco/ID/BR

Meiose sem disjunção na etapa I (**A**) e na etapa II (**B**). Note que os gametas não afetados tem um único cromossomo de cada tipo. Cores-fantasia.

AMOSTRA PARA DIVULGAÇÃO

Alterações cromossômicas estruturais

São aquelas que envolvem alteração na estrutura de um ou mais cromossomos. As alterações cromossômicas estruturais ocorrem quando os cromossomos homólogos ficam desalinhados ou são quebrados durante as divisões celulares. Nessas situações, partes dos cromossomos podem ser perdidas, duplicadas, realocadas ou invertidas.

Deleção

É causada pela quebra cromossômica com consequente perda de material genético (imagem **A**). Quando a deleção é acentuada, ou seja, quando envolve a perda de múltiplos genes, ela costuma ser letal. Uma exceção é a síndrome do *cri-du-chat*, causada por uma deleção do braço curto do cromossomo 5. O nome da síndrome vem do francês "miado de gato", em referência ao choro característico da criança afetada.

Duplicação

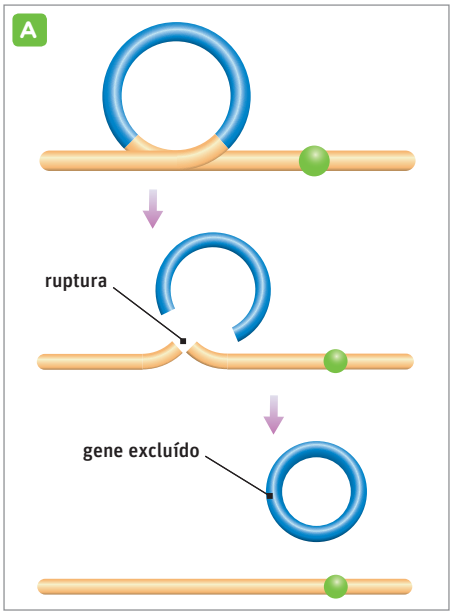
Ocorre quando há a formação de um segmento adicional em um cromossomo. As duplicações geralmente têm consequências menos graves do que as deleções, reforçando a indicação de que o organismo humano pode ser mais tolerante ao excesso de material genético do que à deficiência dele (imagem **B**).

Translocação recíproca

Consiste na troca de material genético entre cromossomos não homólogos (imagem **C**). No momento do pareamento meiótico, os dois pares de cromossomos não homólogos que sofreram translocação recíproca formam uma figura em forma de cruz ao emparelhar os trechos homólogos que agora compartilham.

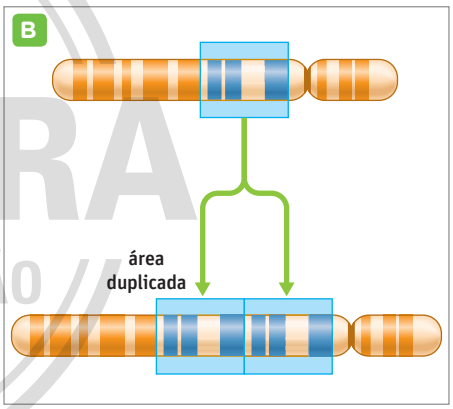
Inversão

É resultante de duas quebras em um cromossomo e da reinserção desse fragmento na mesma posição, porém em ordem invertida. As inversões podem interferir na meiose, produzindo alterações cromossômicas na prole. Por causa da alteração da ordem dos genes, um cromossomo com uma inversão acaba formando uma alça ao parear com seu homólogo não afetado durante o alinhamento da prófase I. Mas, se durante a meiose ocorrer permutação nesse cromossomo, os gametas formados terão deleções ou duplicações cromossômicas (imagem **D**).

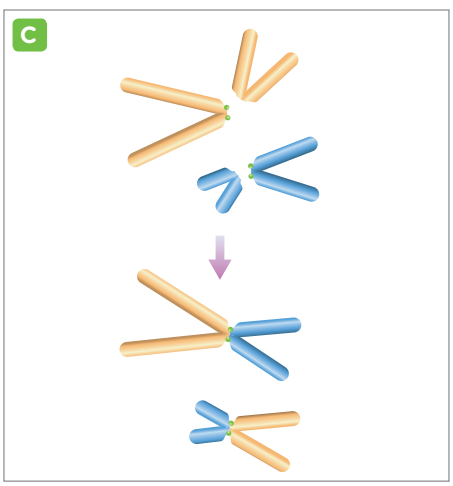


Ilustrações: Adilson Secco/ID/BR

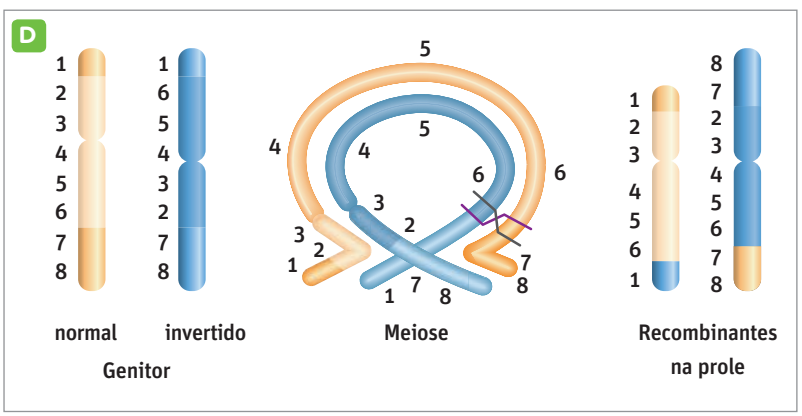
Esquema da deleção de um gene em um cromossomo. Cores-fantasia.



Esquema da duplicação de um pedaço do cromossomo. Cores-fantasia.



Esquema do processo de translocação recíproca entre dois cromossomos não homólogos. Cores-fantasia.



Adilson Secco/ID/BR

Esquema da inversão. Durante a meiose, o pareamento de um cromossomo que sofreu inversão com seu homólogo não alterado forma uma alça. A ocorrência de permutação nessa alça resulta em deleções ou duplicações nos cromossomos das células-filhas. Cores-fantasia.

AMOSTRA PARA DIVULGAÇÃO

Não escreva no livro.

Avaliação de doenças genéticas

Atualmente, muitas doenças genéticas podem ser detectadas antes mesmo do nascimento. O **diagnóstico pré-natal**, por exemplo, serve para avaliar o estado geral de saúde do feto em gestação e pode ajudar os pais a se preparar para o caso de o bebê nascer com alguma doença que exija cuidados intensivos.

Já o **aconselhamento genético** costuma ser realizado por um grupo mais restrito de pessoas, como casais com histórico de alguma doença hereditária e/ou congênita na família, em casamentos consanguíneos, por mulheres que já tiveram mais de um aborto espontâneo, etc. Além de confirmar o diagnóstico de muitas doenças, o aconselhamento genético pode ser usado para o planejamento familiar.

ATIVIDADES

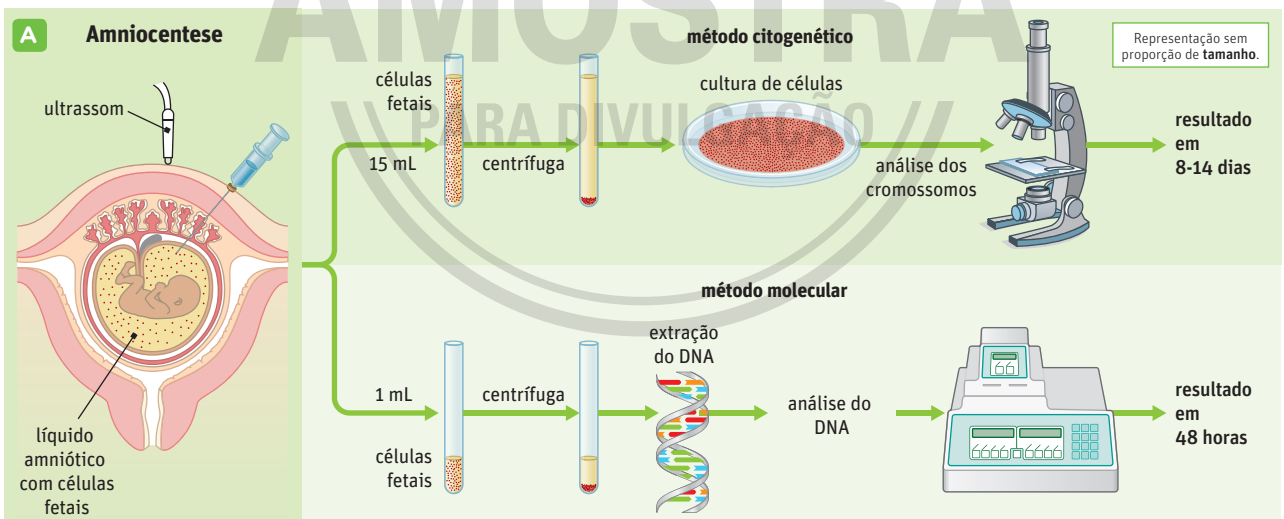
5. Ao realizar a amniocentese por meio do método convencional, que tipo de resultado espera-se encontrar para um bebê com síndrome de Down? Explique.

Diagnóstico pré-natal

O principal exame realizado durante o diagnóstico pré-natal é o **ultrassom**. Por meio desse exame, é possível descobrir se o feto apresenta, por exemplo, alguma má-formação no cérebro ou no coração, muitas das quais são consequências de doenças genéticas. Nesses casos, outros exames mais específicos podem ser realizados.

Entre esses exames mais específicos, estão a **amniocentese** (imagem **A**) e a **biopsia do vilo corial**, exames que analisam a probabilidade de o feto manifestar alguma doença genética, como a síndrome de Down, com base em amostras do líquido amniótico e da placenta, respectivamente. Ambos os exames são bastante invasivos e podem causar sequelas no bebê e até mesmo aborto em alguns casos.

AMOSTRA PARA DIVULGAÇÃO



Esquema de amniocentese realizada por dois métodos diferentes. A amniocentese é um exame que permite diagnosticar vários tipos de doenças genéticas, como a síndrome de Down. Cores-fantasia.

Fonte de pesquisa: Reece, J. B. et al. *Campbell Biology*. 10. ed. [S.l.]: Pearson, 2014. p. 287.

Adilson Secco/ID/BR

Diagnóstico pós-natal

O exame conhecido popularmente como "**teste do pezinho**" (imagem **B**) é realizado em recém-nascidos logo após o nascimento. Esse teste permite detectar diversas doenças de origem genética, como a fenilcetonúria, que afeta um a cada 12 mil recém-nascidos no Brasil.

A fenilcetonúria é uma doença que se caracteriza pela incapacidade de metabolizar a fenilalanina, um aminoácido presente em carnes e ovos. Ao se acumular no organismo, a fanilalanina é convertida em uma substância tóxica que compromete o desenvolvimento neurológico da criança. Entretanto, quando a fenilcetonúria é identificada precocemente, a doença pode ser controlada e a pessoa pode levar uma vida saudável.



Enfermeira coletando sangue de um recém-nascido para realizar o "teste do pezinho".

Alamy/Latinstock

Aconselhamento genético

Casais com histórico de alguma doença genética na família costumam procurar aconselhamento quando desejam ter filhos. Assim, eles podem avaliar as chances de terem um bebê com a doença e tomar decisões a respeito, como recorrer à inseminação artificial para selecionar embriões saudáveis, à adoção ou mesmo não ter filhos.

No aconselhamento genético, é comum que o especialista faça um levantamento do histórico familiar para identificar os indivíduos afetados, bem como familiares assintomáticos. Exames clínicos e genéticos também podem ser feitos para confirmar diagnósticos e determinar o genótipo de certos indivíduos na família. Com base nessas informações, o especialista pode avaliar a chance de o casal transmitir a doença para seus descendentes e discutir com os pais as alternativas para evitá-la.

Além da parte técnica, o aconselhamento genético também envolve questões éticas. Uma delas é quando são detectados casos de incesto ou infidelidade, por exemplo. Nesses casos, os especialistas precisam decidir se essas informações serão reveladas aos envolvidos.

No Brasil, o Centro de Pesquisas sobre o Genoma Humano e células-tronco (SP), coordenado pela geneticista Mayana Zatz (1947-), é referência em aconselhamento genético.

AÇÃO E CIDADANIA

Doenças raras ainda representam desafio para saúde pública

[...] De acordo com dados da Organização Mundial de Saúde (OMS), cerca de 400 milhões de pessoas no mundo sofrem com doenças raras (DR). O desafio torna-se ainda maior considerando que 95% delas não possuem tratamento específico e dependem de uma rede de cuidados paliativos bem estruturada, que assegure uma melhor qualidade de vida aos pacientes atendidos. Mas a questão reside também no significado do termo, não havendo unanimidade em torno do conceito "doença rara".

[...]

Analisando os conceitos adotados em diversos países, é possível situar as doenças raras na faixa das que possuem prevalência máxima variável de 0,5 a 7 por 10 000 habitantes. Apesar da denominação geral, algumas doenças podem ser consideradas "menos" raras em uma população do que na outra [...] explica a professora titular do Departamento de Pediatria da Faculdade de Medicina da Universidade de São Paulo (FMUSP), Magda Carneiro Sampaio. [...]

De acordo com a médica geneticista e coordenadora clínica do Centro de Genética Médica do Instituto Nacional de Saúde da Mulher, da Criança e do Adolescente Fernandes Figueira (IFF), Dafne Horovitz, existem mais de 7 mil doenças raras, sendo que 80% delas são de origem genética: as demais podem ser ocasionadas por infecções [...] ou causas degenerativas.

Elas afetam, sobretudo, crianças de 0 a 5 anos, contribuindo para a mortalidade nos primeiros 18 anos de vida. "Lidamos com estas doenças no dia a dia. Algumas já são tão frequentes que não podem mais ser consideradas raras, como a Síndrome de Down", pondera.

A especialista explica que, para ser considerada rara, uma doença deve atingir 1,3 pessoa a cada duas mil. De acordo com dados da Associação da Indústria Farmacêutica de Pesquisa (Interfarma), há 13 milhões de pessoas com doenças raras no Brasil.

[...]

Madga Sampaio destaca que os grandes progressos da genética molecular têm permitido a identificação das mutações gênicas que causam muitas dessas enfermidades. "Com isso, o aconselhamento genético, fundamental para a prevenção do aparecimento de novos casos, pode ser feito de forma mais segura", afirma.

[...]

O diagnóstico precoce e preciso, a qualificação de profissionais, a existência de infraestrutura adequada e o acesso garantido a medicamentos e tratamentos seguros são alguns dos caminhos que podem contribuir para a melhoria da qualidade de vida dos pacientes com doenças que, em alguns casos, não são mais tão raras e demandam políticas específicas de atenção, prevenção e promoção da saúde.

PIMENTEL, Isabela. Doenças raras ainda representam desafio para saúde pública. Disponível em: <http://portal.fiocruz.br/pt-br/content/doencas-raras-ainda-representam-desafio-para-saude-publica>. Acesso em: 3 fev. 2016.

1. No Brasil, estima-se que 1 a cada mil nascimentos resultem em um bebê com síndrome de Down. Com base nesses dados, faz sentido remover essa síndrome da lista de doenças raras? Justifique.

AMOSTRA
PARA DIVULGAÇÃO

Não escreva no livro.

Além dos genes ligados

A herança de genes ligados não explica todos os resultados de cruzamentos que fogem aos padrões de herança mendeliana. Por isso, outros mecanismos vêm sendo estudados pelos cientistas, inclusive em fatores extracromossômicos.

Genes mitocondriais

As **mitocôndrias** – e também os cloroplastos, presentes em plantas e outros seres fotossintetizantes – são organelas citoplasmáticas que possuem DNA próprio. Os genes contidos no interior dessas organelas estão relacionados à síntese de proteínas diferentes daquelas codificadas por genes situados nos cromossomos.

Nos seres humanos, há 37 genes identificados no DNA mitocondrial, sendo 22 relacionados ao RNAt, dois relacionados ao RNAr e 13 relacionados a enzimas que participam da respiração celular. Assim, as doenças transmitidas via mitocondrial geralmente se referem a genes que codificam componentes da cadeia transportadora de elétrons, responsável por gerar a maior parte da energia nos organismos aeróbios. Alterações nesses genes costumam provocar danos nos tecidos com grande demanda energética, como músculos e nervos, provocando encefalopatias e cardiomiopatias. A gravidade dessas enfermidades depende da quantidade de DNA mitocondrial mutante contida no ovócito que será fecundado e dará origem ao zigoto (imagem abaixo).

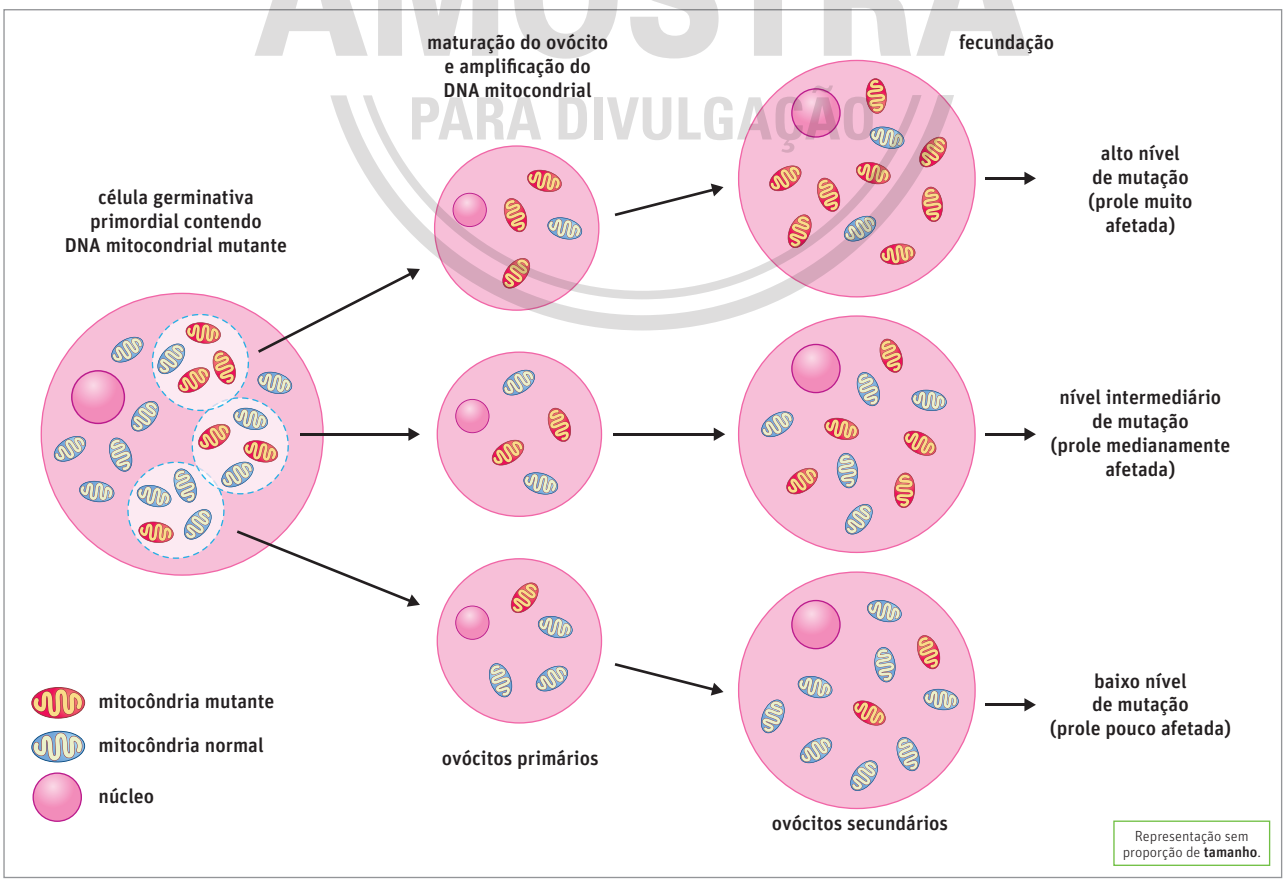
O genoma mitocondrial é herdado da mãe nos seres humanos, uma vez que somente o ovócito contribui com citoplasma na formação do zigoto. O espermatozoide introduz somente seu núcleo na fecundação. Portanto, as características determinadas por genes mitocondriais apresentam um padrão de **herança materna**.

Efeito materno

A contribuição diferencial do ovócito e do espermatozoide para formação do núcleo e do citoplasma do zigoto tem outra consequência importante além da transmissão de mitocôndrias somente por via materna. O citoplasma do ovócito, que será o citoplasma do zigoto, contém elementos, como RNAs mensageiros e proteínas, que podem contribuir para a determinação de alguns fenótipos no indivíduo que se desenvolverá a partir do zigoto.

É importante observar que esses elementos são produto do núcleo materno. Isso é diferente do caso anterior, uma transmissão citoplasmática dos genes contidos no DNA mitocondrial proveniente da mãe.

AMOSTRA PARA DIVULGAÇÃO



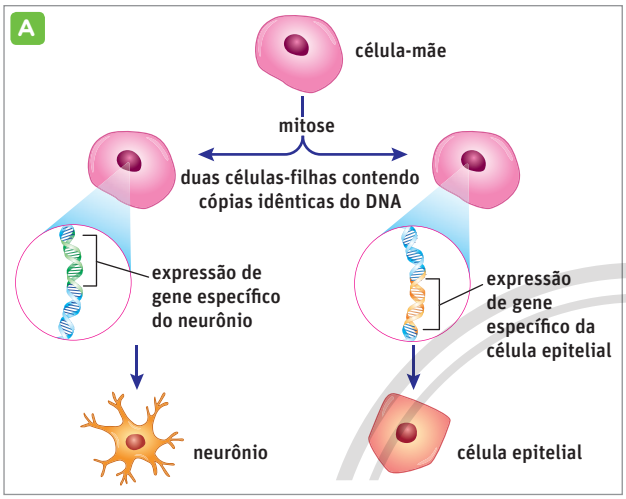
Reinaldo Vignati/ID/BR

Esquema de possível distribuição de mitocôndrias com mutação em ovócitos, células que darão origem aos óvulos. Cores-fantasia.

Impressão genômica

Todas as células de um indivíduo possuem cópias idênticas do mesmo DNA. Contudo, cada célula apresenta características próprias, tanto de morfologia quanto de funcionalidade. Essa diferenciação celular decorre principalmente do padrão de **expressão gênica**, ou seja, de quais genes estão ativos e quais genes estão inativos em cada tipo de célula (imagem **A**).

Reinaldo Vignati/ID/BR



A diferenciação celular é explicada com base no padrão de expressão gênica que ocorre em cada célula.

Por exemplo, genes que codificam enzimas envolvidas nas reações de desintoxicação estão ativos apenas em células hepáticas, uma vez que essas enzimas seriam inúteis em células musculares ou neurônios. Da mesma forma, genes que codificam proteínas envolvidas na contração muscular estão ativos somente nas células musculares.

Para alguns genes, apenas um de seus alelos é expresso (ativado), enquanto o outro é impresso (inativado), processo conhecido como **impressão genômica**. Nos genes em que ocorre impressão genômica, uma mutação no alelo que deveria se expressar pode resultar em disfunções genéticas. A síndrome de Prader-Willi, por exemplo, manifesta-se quando ocorre deleção do braço longo do cromossomo 15 de origem paterna, que fica sem material genético para expressar quando os alelos correspondentes no cromossomo de origem materna estão impressos.

A impressão genômica é uma forma reversível de ativação do gene e, portanto, não é considerada uma mutação.

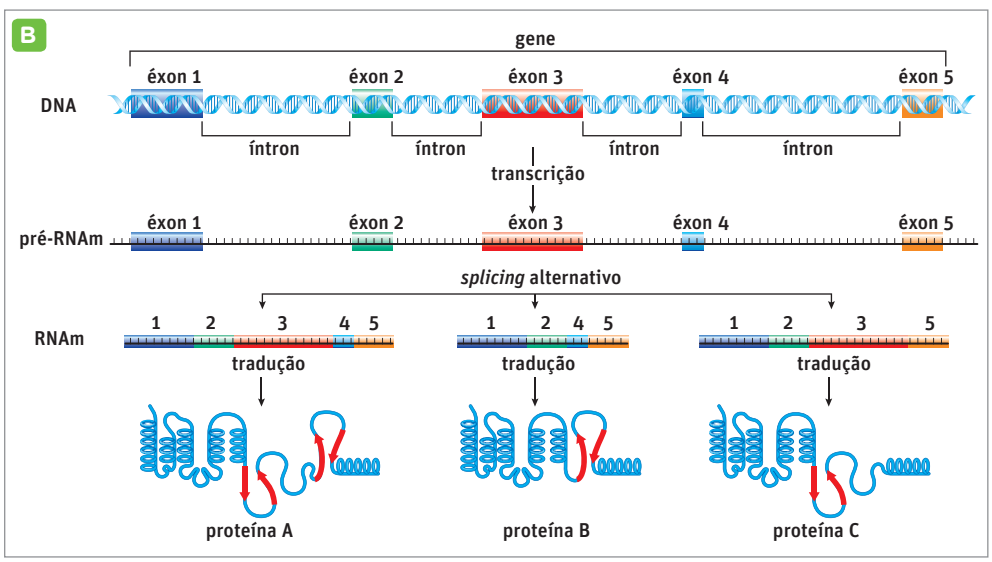
Íntrons e éxons

Na maioria dos organismos eucarióticos, os transcritos de RNA são mais curtos do que a sequência de DNA correspondente. Verificou-se que, nesses casos, os genes apresentam diversos trechos de DNA que não codificam uma cadeia polipeptídica. Esses trechos, chamados **íntrons**, encontram-se intercalados com fragmentos responsáveis por codificar partes de proteínas, os **éxons**. Portanto, apenas os éxons têm sua sequência de nucleotídios traduzida em uma sequência de aminoácidos.

Durante algum tempo, o conjunto de íntrons foi denominado "DNA-lixo" por não ter função conhecida. Pesquisas mais recentes identificaram, porém, sua participação na regulação gênica, na formação do centrômero e na estruturação cromossômica, indicando que essa denominação não é adequada.

O mecanismo de separação entre íntrons e éxons que ocorre durante a transcrição é chamado de ***splicing*** (imagem **B**). Nesse mecanismo, um pré-RNAm é transcrito a partir de um gene com íntrons e éxons. Somente após a remoção dos trechos do pré-RNAm equivalentes aos íntrons é que se forma o RNAm, que deixará o núcleo e será traduzido em uma proteína no citoplasma. O processamento do pré-RNAm, contudo, pode ser feito de diferentes formas, caracterizando o ***splicing* alternativo**.

AMOSTRA PARA DIVULGAÇÃO



Reinaldo Vignati/ID/BR

Esquema de *splicing* alternativo, mecanismo de transcrição em que diferentes tipos de proteínas são obtidos a partir de um mesmo gene. Note que apenas os éxons são traduzidos.

Fonte de pesquisa: Reece, J. B. et al. *Campbell Biology*. 10. ed. [S.l.]: Pearson, 2014. p. 372.

Não escreva no livro.

Epigenética

Trata-se de um campo de estudos recente que reúne pesquisadores de diversas áreas e que busca compreender a hereditariedade de características que não é explicada pela genética. O termo "epigenética" (do grego *epi*, "acima de") foi dado justamente para frisar que essa área estuda padrões de herança não relacionados à sequência de bases nitrogenadas, alvo da genética.

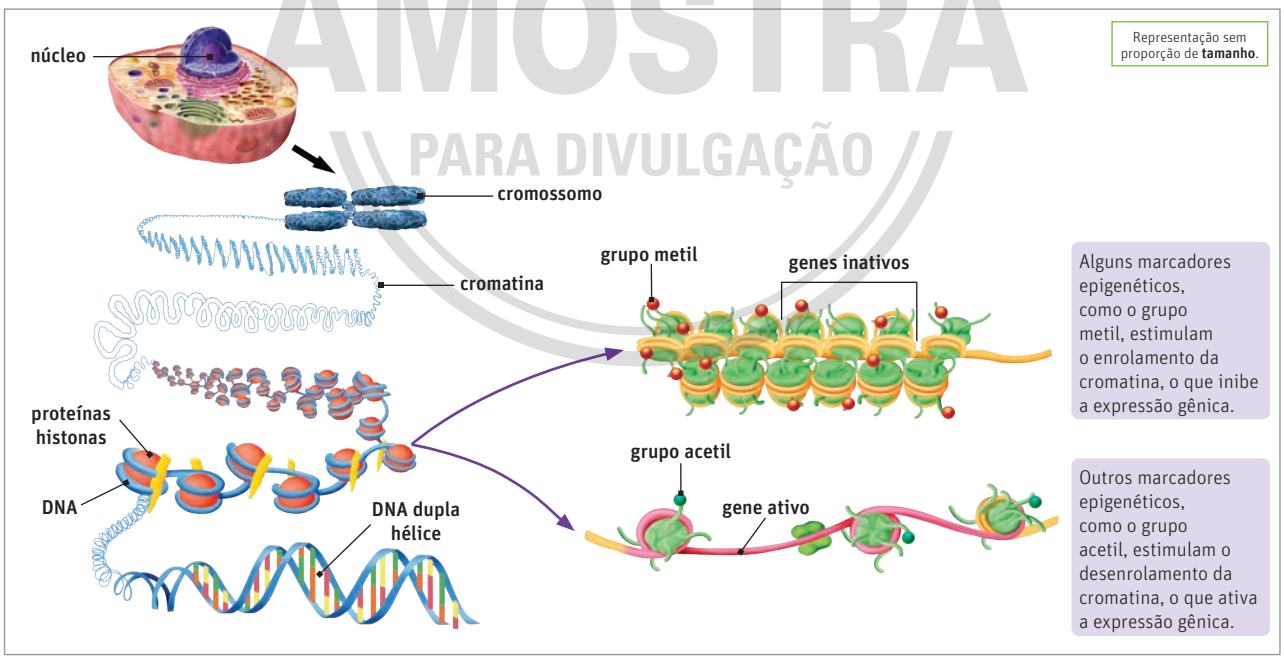
Uma das questões estudadas pela epigenética é o mecanismo de espressão gênica, ou seja, a maneira pela qual os genes são ativados ou desativados em cada célula. Sabe-se, por exemplo, que muitos genes são desativados pela adição de um grupo metil (CH_3^-) em seu trecho de DNA, mecanismo conhecido como **metilação**. O grupo metil funciona, portanto, como um **marcador epigenético** que impede a expressão de um gene.

Outra questão é determinar a função dos íntrons, antes chamados de "DNA-lixo". Atualmente, muitos pesquisadores estão tentando entender como esses trechos de DNA não codificante participam da marcação epigenética e, portanto, do controle da expressão gênica.

O estudo da influência de fatores ambientais nos processos de ativação e desativação dos genes também é do escopo da epigenética. Ao longo do desenvolvimento embrionário, alguns genes podem ser ativados durante certo tempo e, então, desativados posteriormente, quando as proteínas que ele codifica não são mais necessárias. Essa desativação, contudo, pode ser revertida sob influência de certos fatores ambientais (hábitos alimentares, tabagismo, nível de atividade física, etc.), o que faria o metabolismo da célula "voltar" ao estágio inicial do desenvolvimento embrionário. Num indivíduo adulto, isso pode provocar o desenvolvimento de certos tipos de tumor.

Outro processo já bem descrito que interfere na expressão gênica é o **grau de compactação** da fita de DNA em torno das proteínas histonas (imagem abaixo). Alguns marcadores epigenéticos, como o grupo metil, estimulam o enrolamento da cromatina, o que impede certos genes de serem transcritos. Outros marcadores, a exemplo do grupo acetil, fazem o inverso, ou seja, ajudam a desenrolar a cromatina, facilitando a transcrição dos genes.

AMOSTRA
PARA DIVULGAÇÃO



Vagner Coelho/ID/BR

Esquema mostrando como determinados marcadores genéticos podem alterar o grau de compactação do DNA, ativando ou desativando genes.

Fonte de pesquisa: Nestler, Eric J. Comutadores ocultos do cérebro. *Scientific American Brasil*, ano 10, n. 116, p. 67-73, jan. 2012.

Uma importante contribuição da Epigenética é o projeto ENCODE (The Encyclopedia of DNA Elements), que teve início em 2003. Com o objetivo de mapear os elementos funcionais do genoma humano e compreender como eles participam dos processos de hereditariedade, esse projeto é um importante complemento ao Projeto Genoma Humano. Alguns pesquisadores até dizem que o Projeto Genoma Humano permitiu o conhecimento do "livro da vida", enquanto o ENCODE tem permitido o conhecimento do "manual de leitura do livro da vida".

Simulação de ligação gênica

Objetivo

Simular uma divisão meiótica com ocorrência de permutação e identificar o comportamento de três genes ligados durante esse processo.

Material

- pedaços de barbante de aproximadamente 50 cm (um por aluno)
- formas geométricas, com 5 cm a 10 cm de lado ou diâmetro (veja imagem ao lado), feitas em papel colorido da seguinte forma: quatro losangos verdes, quatro retângulos amarelos, quatro triângulos vermelhos, um trapézio preto e diversos círculos rosa e quadrados azuis (a quantidade dependerá do número de alunos na turma)



Eduardo Santaliestra/D/BR

Material sugerido para realizar a simulação de ligação gênica. Os círculos rosa e os quadrados azuis representarão as cromátides de origem paterna e materna. As demais formas geométricas coloridas representarão os alelos dos genes ligados. O trapézio preto representará uma "tesoura" que quebra o cromossomo no momento da permutação.

Procedimento

1. Cada aluno deve escolher uma figura geométrica, prendê-la a um pedaço de barbante e, então, pendurá-la no pescoço como se fosse um colar.
2. Os quatro alunos com os losangos verdes, os quatro alunos com os retângulos amarelos e os quatro alunos com os triângulos vermelhos representarão, cada um, um gene distinto; esses três genes estarão ligados em um mesmo cromossomo nessa simulação. O aluno com o trapézio preto representará uma "tesoura" que quebra o cromossomo no momento da permutação. Os demais alunos, que estão com os círculos rosa ou os quadrados azuis, representarão as cromátides paternas e maternas.
3. Em um local com espaço amplo, os alunos com círculos rosa deverão formar duas fileiras de modo a representar um cromossomo duplicado. Os alunos de cada fileira devem ficar de mãos dadas para representar uma das cromátides-irmãs; um dos alunos desse grupo deve se agachar entre as fileiras para representar o centrômero. O mesmo deve ser feito com os alunos que estão com os quadrados azuis, que irão representar o cromossomo homólogo àquele formado pelos alunos com círculos rosa. As duas fileiras de alunos com quadrados azuis devem estar ao lado das duas fileiras de alunos com círculos rosa a fim de simular o emparelhamento do par de cromossomos homólogos no início da meiose.
4. Em seguida, os alunos com losangos verdes, retângulos amarelos e triângulos vermelhos deverão se acomodar entre os alunos que representam o par de cromossomos homólogos de modo que cada cromátide-irmã tenha três alelos, um de cada tipo. Essa simulação deve ainda considerar que os genes representados pelos retângulos amarelos e triângulos vermelhos ficam mais próximos do centrômero do que o gene representado pelo losango verde.
5. O aluno com o trapézio preto escolherá o ponto de quebra dos cromossomos entre os três genes ligados (verde, vermelho e amarelo) e coordenará a junção dos pedaços cromossômicos, a qual consistirá na migração de uma parte dos alunos de uma fileira para a outra e vice-versa. Outras permutações devem ser simuladas, sempre variando o local de quebra dos cromossomos, e todos devem observar as diferenças em cada situação.

Fonte de pesquisa: Vilas-Boas, A.; Bucciarelli-Rodriguez, M. Entendendo a ligação gênica: uma simulação. Revista *Genética na Escola*, v. 1, n. 1, p. 16, 2006.

Discussão

1. Em que situações a ocorrência de permutação foi possível e em quais não? Como essas diferenças podem ser explicadas?
2. Qual é a consequência observável das permutações simuladas? E qual seria a sua consequência em termos genéticos e evolutivos se essas permutações fossem meioses reais?
3. Quais são as principais características da herança representada nessa simulação?

AMOSTRA PARA EDUCAÇÃO

Não escreva no livro.

Obesidade masculina afeta espermatozoides e pode ser "herdada" por filhos, diz estudo

Uma pesquisa realizada na Dinamarca sugere que o peso do homem afeta as informações contidas nos espermatozoides e pode fazer com que os filhos tenham propensão à obesidade.

Os cientistas da Universidade de Copenhague sugerem que os espermatozoides de homens magros e gordos têm marcadores epigenéticos diferentes, o que talvez possa mudar o comportamento dos genes.

"Quando uma mulher está grávida, ela precisa se cuidar. Mas, se a implicação de nosso estudo for verdadeira, então as recomendações devem ser dirigidas aos homens também", disse Romain Barres, autor da pesquisa.

No estudo, publicado na revista especializada Cell Metabolism, foram examinados os espermatozoides de seis homens obesos, que estavam passando pelos procedimentos necessários para cirurgia de perda de peso.

Os cientistas analisaram material colhido dos pacientes antes do tratamento, uma semana depois da cirurgia e um ano depois do procedimento.

Mudanças

Barres afirmou que as mudanças nos espermatozoides podiam ser notadas já na semana seguinte à operação.

O pesquisador afirmou que, apesar da configuração genética dos espermatozoides provavelmente permanecer a mesma, foram notadas "mudanças epigenéticas", que podem mudar a forma como um gene se manifesta no corpo.

Barres admite que ainda é necessária uma conclusão científica definitiva para descobrir como essas mudanças afetam o gene.

No entanto, as alterações nos espermatozoides registradas pela equipe de cientistas estão ligadas aos genes conhecidos por controlarem o apetite e por regularem o desenvolvimento do cérebro.

O estudo, de cinco anos, também registrou mudanças semelhantes ao comparar espermatozoides de 13 homens magros – todos tinham IMC (Índice de Massa Corporal) abaixo de 30 – com os de dez homens moderadamente obesos.

Barres disse que as descobertas já tinham sido verificadas em camundongos e ratos.

O cientista sugeriu possivelmente existir uma razão evolucionária para a informação do peso do pai ser importante para os descendentes.

Segundo a teoria de Barres, em tempos de abundância isso poderia ser uma forma instintiva de estimular os filhos a comer mais e ficarem maiores.

"Só recentemente a obesidade deixou de ser uma vantagem. Há algumas décadas apenas, a habilidade de acumular energia era uma vantagem para resistir a infecções e períodos de fome", afirmou.

Allan Pacey, professor da Universidade de Sheffield, na Grã-Bretanha, descreveu o estudo dinamarquês como "interessante" e afirmou que ele fornece mais provas para dar base à teoria de que algumas características podem ser passadas pelos espermatozoides sem que seja alterada a estrutura básica do código genético.

"O estudo examina uma número relativamente pequeno de indivíduos, mas o fato de que estas diferenças significativas podem ser encontradas nos marcadores epigenéticos de homens magros e obesos é intrigante. E, na minha opinião, vale a pena uma investigação mais detalhada", disse.

"Até descobrirmos mais, quem quer ser pai ou mãe deve tentar ser mais saudável possível no momento da concepção e não ser atraído por dietas da moda ou outras atividades para tentar influenciar a saúde de seus filhos de maneiras que ainda não compreendemos completamente", acrescentou.



SPL/Latinstock

Espermatozoides humanos. (Foto ao microscópio eletrônico de varredura; imagem colorizada; aumento de cerca de 2 300 vezes.)

Obesidade masculina afeta espermatozoides e pode ser "herdada" por filhos, diz estudo. *BBC Brasil*, 4 dez. 2015. Disponível em: <http://www.bbc.com/portuguese/noticias/2015/12/151204_peso_espermatozoide_heranca_fn.shtml>. Acesso em: 28 abr. 2016.

AMOSTRA PARA DIVULGAÇÃO

PARA DISCUTIR

1. Que detalhes do arranjo experimental da pesquisa levam à conclusão preliminar de que "os espermatozoides de homens magros e gordos têm marcadores epigenéticos diferentes, o que talvez possa mudar o comportamento dos genes"? E por que essas conclusões ainda são preliminares?
2. A matéria comete um equívoco frequentemente verificado quando da divulgação científica relacionada aos estudos genéticos: o uso inadequado do conceito "código genético". Localize no texto onde essa expressão aparece de forma equivocada e substitua pelo conceito correto naquele contexto.

Não escreva no livro.

CAPÍTULO

7

Determinação do sexo e influência na herança

O QUE VOCÊ VAI ESTUDAR

Sistemas de determinação do sexo.

Cromossomos sexuais humanos.

Herança dos genes localizados nos cromossomos sexuais.

Genes com expressão influenciada pelo sexo.



Biophoto Associates/PR/Latinstock

No ser humano, existe um par de cromossomos que difere em homens e mulheres. Enquanto eles possuem um cromossomo de cada um dos tipos mostrados na imagem acima, elas possuem duas cópias do cromossomo mostrado à esquerda. (Foto ao microscópio eletrônico de varredura; imagem colorizada; aumento de cerca de 36 mil vezes.)

Muitas características humanas não se expressam na mesma proporção em homens e mulheres. Esse é o caso do daltonismo verde-vermelho, condição em que a pessoa confunde essas duas cores. Esse tipo de daltonismo é determinado geneticamente e observado com maior frequência em indivíduos do sexo masculino. Por quê?

Se todos os indivíduos da espécie humana possuíssem os mesmos tipos de cromossomos, então seria de se esperar que não houvesse diferença na maneira como os genes se expressam em cada sexo. Contudo, existe um par de cromossomos que é diferente em homens e em mulheres, e essa diferença é o que explica condições como o daltonismo citado. Esse par de cromossomos está relacionado, ainda, à determinação do sexo, como veremos neste capítulo.

Não escreva no livro.

A determinação do sexo

O sexo de um organismo, também chamado de fenótipo sexual, relaciona-se ao tipo de gameta produzido. No animais, os indivíduos de uma espécie que produzem espermatozoides são considerados machos, enquanto aqueles que produzem óvulos são considerados fêmeas. Os fenótipos sexuais são observados em outros seres vivos, como plantas.

A determinação do sexo biológico deve-se a diferentes mecanismos. Em algumas espécies, o sexo é determinado por fatores ambientais – é o caso de diversas espécies de tartarugas, cujo sexo é definido pela temperatura de incubação do ovo. Mas, na maioria dos seres vivos, o sexo é determinado por um par de cromossomos diferenciados, os **cromossomos sexuais**. Os demais cromossomos são chamados **autossomos**.

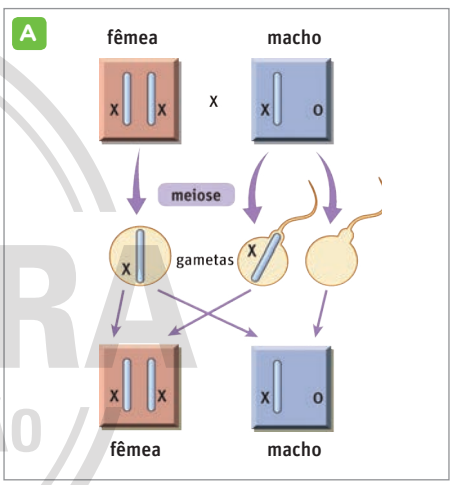
A seguir, serão descritos alguns dos sistemas mais comuns de determinação do sexo por cromossomos sexuais.

Sistema XX-X0

Em vários insetos, em nematódeos e em alguns mamíferos ocorre uma das formas mais simples de determinação sexual: as fêmeas têm um par de cromossomos sexuais (**XX**), e os machos têm apenas um cromossomo sexual. Nesse caso, o sexo masculino é representado por **X0**, em que o zero indica a ausência de um cromossomo sexual.

Durante a divisão meiótica em fêmeas, os cromossomos **X**, homólogos, são separados. Ao final do processo são formados quatro óvulos, todos com um cromossomo **X**. Nos machos, o único cromossomo **X** segrega-se durante a meiose. Como resultado, metade dos espermatozoides produzidos apresentam um cromossomo **X**, enquanto a outra metade não carrega cromossomos sexuais. (imagem **A**).

Como os machos produzem dois tipos de gametas com relação à presença ou ausência de cromossomos sexuais, eles são chamados de **sexo heterogamético**. As fêmeas, que produzem gametas iguais quanto aos cromossomos sexuais, constituem o **sexo homogamético**. Nesse sistema é o gameta masculino, portanto, que determina o sexo da prole.



Ilustrações: Studio Caparroz/ID/BR

Esquema do mecanismo de determinação sexual no sistema **XX-X0**.

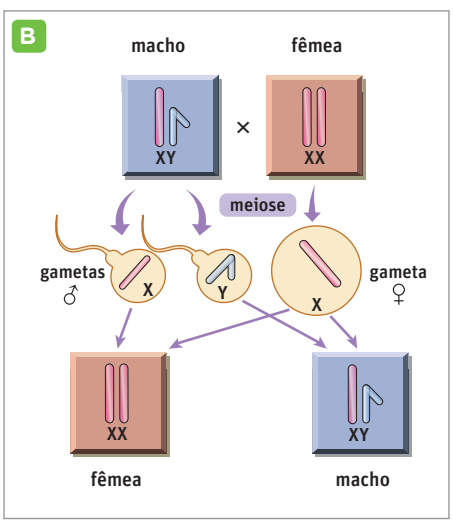
Sistema XX-XY

Em diversas espécies, incluindo o ser humano, machos e fêmeas apresentam o mesmo número de cromossomos sexuais. Assim, a diferença entre eles é dada pelo tipo de cromossomo sexual.

No sistema **XX-XY**, as fêmeas apresentam dois cromossomos sexuais do mesmo tipo, chamados de cromossomos **X**, enquanto os machos apresentam dois tipos de cromossomos sexuais: o **X** e o **Y**. O sexo masculino é, portanto, o sexo heterogamético, uma vez que metade de seus gametas tem um cromossomo **X**, e a outra metade, um cromossomo **Y**. O sexo feminino, ao contrário, é homogamético, e todos os seus gametas contêm apenas cromossomos **X**.

Assim como no sistema **XX-X0**, o sexo de um indivíduo é determinado no sistema **XX-XY** pelo gameta masculino. Se um espermatozoide que contém um cromossomo **Y** se unir ao gameta feminino, que tem cromossomo **X**, o resultado será um macho (**XY**). Se, ao contrário, um espermatozoide que contém um cromossomo **X** se unir ao gameta feminino, o resultado será uma fêmea (**XX**) (imagem **B**).

Nos seres humanos, o genoma masculino é representado por 46, **XY**, e os espermatozoides são representados por 23, **X**, e 23, **Y**. O genoma e os gametas femininos são representados por 46, **XX**, e 23, **X**, respectivamente.



Esquema do mecanismo de determinação sexual pelo sistema **XX-XY**.

AMOSTRA PARA DIVULGAÇÃO

McClung e a teoria cromossômica

O modo como as características dos progenitores são transmitidas a seus descendentes foi uma questão que preocupou os estudiosos desde a Antiguidade. Na segunda metade do século XIX, para explicar a herança, foram feitas várias tentativas por meio de modelos hipotéticos que envolviam partículas microscópicas. Entre elas podemos citar a pangênese de Charles Darwin (1809-1882), as unidades fisiológicas de Herbert Spencer (1820-1903) e as estirpes de Francis Galton (1822-1911). Porém, essas propostas não eram baseadas em conhecimentos sobre a célula.

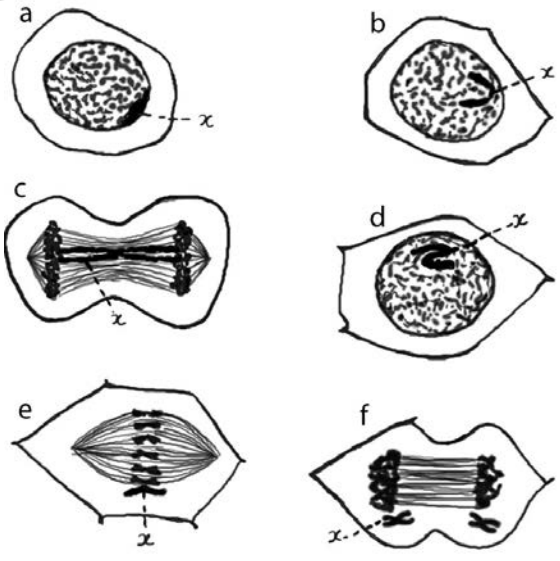
No início do século XX, foi apresentada a chamada hipótese cromossômica de Sutton-Boveri, baseada em estudos citológicos. Ela admitia que os elementos responsáveis pela transmissão das características dos progenitores a seus descendentes eram entidades físicas (os "fatores", mais tarde chamados de "genes") localizadas ao longo dos cromossomos presentes no núcleo. Além disso, era possível estabelecer uma relação entre o comportamento dos cromossomos durante a divisão celular (o que podia ser observado microscopicamente nos estudos citológicos) e os princípios de Mendel (o que podia ser percebido macroscopicamente nos resultados dos cruzamentos experimentais).

Essa hipótese, porém, apresentava muitos problemas. Os cromossomos pareciam se dissolver na interfase e depois apareciam novamente nos mesmos lugares. Como saber se eles conservavam sua individualidade? Não se sabia se durante a divisão celular os cromossomos se pareavam ponta a ponta ou lado a lado. Os princípios de Mendel não se aplicavam a muitos casos estudados em animais e plantas. Devido a esses problemas, que abalavam a credibilidade da hipótese de Sutton-Boveri, vários cientistas, como William Bateson (1861-1926) e Thomas Hunt Morgan (1866-1945), não a aceitaram até 1910. Nessa época, era muito importante que alguma característica externa visível fosse associada a um cromossomo. É dentro desse contexto que se insere a contribuição do zoólogo estadunidense Clarence E. McClung (1870-1946).

No final do século XIX, estavam sendo desenvolvidos estudos citológicos sobre o núcleo e o citoplasma. Além disso, diversos biólogos investigavam a espermatogênese em insetos. Em 1891, Hermann Henking (1858-1942) identificou, no núcleo de espermatócitos de um hemíptero (inseto do grupo que inclui a cigarra), um corpúsculo que se distribuía desigualmente durante a divisão celular. Ele constatou que somente metade dos espermatozoides o recebia. Como não tinha certeza se era um cromossomo ou alguma variação do núcleo, chamou-o de "nucléolo", "elemento cromático" ou "corpúsculo de cromatina". Anos depois, ao estudar a espermatogênese em outro hemíptero, Thomas Harrison Montgomery (1873-1912) se deparou com o mesmo corpúsculo e considerou tratar-se de um nucléolo de cromatina, mas não fez considerações sobre sua função.

Em 1899, McClung, que tinha tido um excelente treino em microscopia, muito provavelmente motivado pelo trabalho de Montgomery, fez um estudo semelhante na espermatogênese de um gafanhoto. Porém, ele descreveu o corpúsculo de modo diferente em relação a seus colegas, pois notou que ele aparecia no estágio de repouso das espermatogônias. Além disso, o corpúsculo corava fortemente, tinha forma arredondada, mas se alongava e adquiria a forma de U durante a prófase; era bem perceptível durante a anáfase e no estágio de repouso dos espermatócitos primários e, durante a anáfase dos espermatócitos, assumia a forma de X (imagem ao lado).

Diferentemente de Henking e Montgomery, McClung considerou que se tratava de um cromossomo e não de um tipo especial de nucléolo. Ele o representou em seus desenhos pela letra X e o chamou de cromossomo acessório.



Coleção particular. Fac-símile: ID/BR

Representação dos desenhos feitos por McClung em 1889.

AMOSTRA PARA DIVULGAÇÃO

Não escreva no livro.

Antes de discutir esses pontos, algumas poucas palavras em relação ao nome do elemento seriam cabíveis. HENKING, quem por primeiro o notou durante os estágios iniciais dos espermatócitos, o chama de "nucléolo" e depois de "elemento de cromatina". MONTGOMERY, quem o observou a seguir em Hemiptera, prefere chamá-lo de "nucléolo de cromatina", enquanto Paulmier, trabalhando com a mesma ordem de insetos, o chama de "pequeno cromossomo". Logo de início escolhi o nome "cromossomo acessório" e ainda o considero preferível em relação aos outros que foram sugeridos. Minhas razões para isso são as seguintes: Todos os observadores concluíram que o elemento é constituído por cromatina e se divide nas mitoses de modo análogo aos elementos constituídos por cromatina. A única característica que o diferencia dos outros cromossomos é que, durante a prófase dos espermatócitos primários, ele não perde sua identidade no espirema e, além disso, não se divide durante as mitoses dos espermatócitos.

Trata-se, portanto, de um cromossomo e não de um nucléolo, o que faz com que as denominações utilizadas por HENKING e MONTGOMERY sejam inválidas.

McClung, Clarence Erwin. Notes on the accessory chromosome. [Notas sobre o cromossomo acessório]. *Anatomischer Anzeiger*, v. 20, p. 220-226, 1901. Disponível em: <http://www.esp.org/foundations/genetics/classical/cem-01.pdf>. Acesso em: 14 maio 2016.

Montgomery criticou a denominação dada por McClung e continuou a afirmar que se tratava de um nucléolo de cromatina. McClung manteve sua posição nos trabalhos que publicou a seguir e propôs a hipótese de que o cromossomo acessório era um determinante do sexo masculino e estava ausente nas fêmeas. Montgomery estudou 42 espécies de hemípteros e encontrou o corpúsculo em todas elas, mas ele continuou considerando que não se tratava de um cromossomo.

Nem McClung e nem seus colegas tinham estudado a ovogênese em hemípteros. Isso pode ter ocorrido devido à dificuldade de acompanhar esse processo no ovário de insetos, ao contrário da espermatogênese, que ocorre continuamente. Mas o que o teria levado McClung a supor que esse cromossomo acessório estava presente apenas nos machos e ausente nas fêmeas, já que ele só tinha estudado a gametogênese nos machos? Talvez o antigo preconceito de que os machos são superiores às fêmeas e por isso, no caso estudado, seriam dotados de algo a mais – o cromossomo acessório. Como se pode perceber, muitas vezes os cientistas não são guiados apenas pelos fatos.

Hoje sabemos que o "cromossomo acessório" descrito por McClung é o cromossomo X. Apesar de equivocada, a hipótese de McClung foi muito importante para a teoria cromossômica, pois relacionava uma característica externa visível (o sexo masculino) a um cromossomo especial (o cromossomo acessório). Se ele admitisse ser um nucléolo, não teria a mesma relevância para a hipótese cromossômica. Além disso, as pesquisas de McClung estimularam os estudos citológicos feitos por outros autores. Esses estudos não só esclareceram o caso apresentado por McClung, mas também mostraram a existência de diversos modelos cromossômicos de determinação sexual em diferentes ordens de insetos.

Somente em 1905, Edmund Wilson e Nettie Maria Stevens (1861-1912), investigando tanto a espermatogênese como a ovogênese no gafanhoto *Brachystola magna*, perceberam que as fêmeas apresentavam dois cromossomos X, enquanto o macho apresentava apenas um, contrariando a hipótese de McClung. Desse modo, eles concluíram que o cromossomo X não determinava a masculinidade, como pensava McClung, mas a feminilidade.

AMOSTRA
PROIBIDO A CÓPIA

PARA DISCUTIR

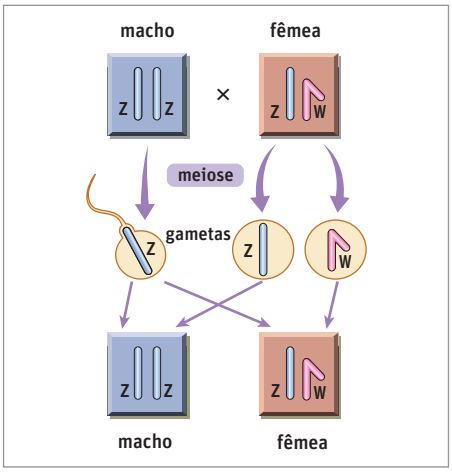
1. Henking, Montgomery e McClung estavam investigando a espermatogênese da mesma ordem de insetos (Hemiptera) e observaram o mesmo corpúsculo, porém caracterizaram-no de modo diferente. O que levou McClung a caracterizá-lo como um cromossomo?
2. Uma hipótese equivocada, muitas vezes, pode contribuir para o desenvolvimento da ciência. Indique elementos presentes no texto que corroborem essa ideia.

Não escreva no livro.

Sistema ZZ-ZW

Nesse sistema, machos e fêmeas também apresentam o mesmo número de cromossomos sexuais, mas o sexo heterogamético é o feminino, ou seja, são as fêmeas que têm dois tipos de cromossomo sexual. Os machos apresentam dois cromossomos sexuais do mesmo tipo e, portanto, constituem o sexo homogamético.

Com o objetivo de marcar a distinção com o sistema **XX-XY**, os cromossomos sexuais nesse sistema são chamados de **Z** e **W**. Assim, as fêmeas são **ZW** e, portanto, formam óvulos **Z** e óvulos **W**, enquanto os machos são **ZZ** e produzem apenas espermatozoides **Z** (imagem ao lado). Esse sistema ocorre em aves, em muitos répteis e anfíbios e em alguns insetos, como mariposas e borboletas.



Studio Caparroz/ID/BR

Esquema do mecanismo de determinação sexual pelo sistema **ZZ-ZW**.

SAIBA MAIS

Determinação do sexo nas plantas

Em muitas espécies de plantas, o mesmo indivíduo apresenta estruturas reprodutoras masculinas e femininas. Essas espécies são chamadas de **monoicas** (do grego *mono*, "unidade", e *oikos*, "casa"). Os organismos monoicos não apresentam um sistema de determinação cromossômica do sexo, e todos os indivíduos da espécie têm cariótipo semelhante. Esse é o caso da maioria das plantas e também dos animais **hermafroditas**, como minhocas, caramujos e caracóis.

Nas espécies de plantas que apresentam sexos separados, há indivíduos que produzem apenas flores masculinas e indivíduos que produzem apenas flores femininas. Essas espécies são denominadas **dioicas** (do grego *di*, "dois", e *oikos*, "casa"). Nas plantas dioicas, o sexo é determinado de forma semelhante ao que ocorre nos animais. O espinafre e o cânhamo, por exemplo, apresentam sistema **XX-XY** de determinação do sexo. Já o morango apresenta o sistema **ZZ-ZW**.

Fabio Colombini/Acervo do fotógrafo



Silvestre Silva/Buriti



Os mamoeiros podem produzir flores femininas (**A**), masculinas (**B**), ou ainda hermafroditas.

ATIVIDADES

1. Com relação aos cromossomos sexuais, indique quantos tipos de espermatozoides e quantos tipos de óvulos serão produzidos na gametogênese de um animal com determinação sexual do tipo:

a) XX-XY;

b) XX-XO;

c) ZZ-ZW.

2. Analise as afirmações a seguir e julgue quais são verdadeiras e quais são falsas. Depois, corrija aquelas que considerar falsas.

I. Nas aves e nos mamíferos, os espermatozoides carregam sempre um cromossomo sexual de um mesmo tipo.

II. Nos seres humanos, o cromossomo X é responsável pela diferenciação em machos e fêmeas.

III. No caso dos animais com determinação sexual do tipo XX-XO, o cromossomo X não tem homólogo nos machos.

AMOSTRA PARA DIVULGAÇÃO

Não escreva no livro.

Determinação do sexo em seres humanos

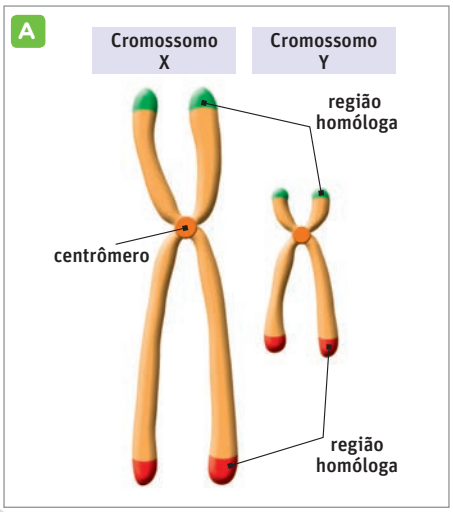
Na espécie humana, o sexo é determinado pelo sistema **XX-XY**. O cromossomo **X** é um dos maiores cromossomos humanos. Ele contém muitas centenas de genes, e a maior parte deles não apresenta função sexual. O cromossomo **Y**, ao contrário, apresenta poucas dezenas de genes, e vários deles estão relacionados a características sexuais masculinas.

Os cromossomos sexuais humanos

Os cromossomos **X** e **Y** são bem diferentes e, portanto, não são homólogos. No entanto, eles têm pequenas regiões homólogas que permitem o emparelhamento correto durante a meiose (imagem **A**).

Os genes encontrados nessas regiões apresentam o mesmo padrão de herança dos genes situados nos cromossomos autossômicos. Os genes das demais regiões apresentam um padrão característico de herança, relacionado ao cromossomo **X** ou ao **Y**. Por isso, o mecanismo de determinação do sexo está diretamente relacionado à herança das características ligadas ao sexo.

Nos seres humanos, a determinação do sexo masculino depende mais especificamente do **gene SRY** (sigla para a expressão em inglês ***S**ex-determining **R**egion **Y***), situado na região do **Y** determinante do sexo. Embora o SRY seja determinante para a constituição do sexo masculino, outros genes – ligados ao **X**, ao **Y** e até mesmo aos autossomos – também desempenham um papel na determinação do sexo e no desenvolvimento do fenótipo sexual.



Studio Caparroz/ID/BR

Os cromossomos **X** e **Y** apresentam pequenas regiões homólogas. Nos seres humanos, essas regiões estão presentes em ambas as extremidades dos cromossomos sexuais. Cores-fantasia.

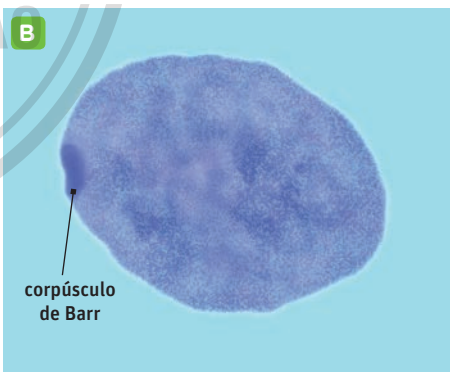
Fonte de pesquisa: Pierce, B. *Genetics:* a conceptual approach. 3. ed. New York: W. H. Freeman and Company, 2008. p. 76.

O mecanismo de compensação de dose

Em 1949, cientistas observaram diferenças nas células interfásicas de gatos machos e fêmeas. As células das fêmeas apresentavam uma massa de cromatina que não era encontrada nas células dos machos. Essa cromatina – que possibilita identificar o sexo dos indivíduos pelo exame dos núcleos interfásicos – recebeu o nome de **cromatina sexual** ou **corpúsculo de Barr** (imagem **B**), em homenagem ao seu descobridor, Murray Barr (1908-1995).

A função do corpúsculo de Barr foi esclarecida com os trabalhos da geneticista inglesa Mary Lyon (1925-2014). Na década de 1960, Lyon propôs a hipótese de que haveria apenas um cromossomo **X** ativo nas fêmeas de mamíferos. Isso explicaria por que elas não produzem RNA e proteínas condicionados por genes do **X** em dobro quando comparadas com as quantidades produzidas por um macho, que possui apenas um cromossomo **X**. Essa hipótese ficou conhecida como mecanismo de compensação de dose.

Por esse mecanismo, em todas as células do corpo de uma fêmea de mamífero, um dos cromossomos **X** é inativado ao acaso, não importando de qual dos progenitores ele provém. Por isso se diz que as fêmeas são "mosaicos" para algumas características ligadas ao **X**, já que em seu corpo existem dois tipos de células quanto aos cromossomos sexuais: em algumas, o **X** ativo é herdado da mãe e, em outras, o **X** ativo é herdado do pai. Como cada cromossomo **X** herdado pode ter alelos diferentes, a expressão gênica das células das fêmeas costuma ser diferente. O cromossomo **X** inativo nas fêmeas é o corpúsculo de Barr.



Chris Bjornberg/Photoresearchers/Latinstock

O corpúsculo de Barr é o cromossomo **X** inativado, que pode ser visualizado como uma massa densa de cromatina no núcleo interfásico de células femininas. (Foto ao microscópio de luz; uso de corantes; aumento de cerca de 23 600 vezes.)

ATIVIDADES

3. A análise do cariótipo de uma pessoa do sexo feminino mostrou que suas células possuem dois corpúsculos de Barr. O que isso significa?

AMOSTRA PARA DIVULGAÇÃO

Alterações numéricas nos cromossomos sexuais

Algumas síndromes se caracterizam pela alteração no número de cromossomos sexuais. Esse é caso da **síndrome de Turner**, doença rara que atinge uma a cada 3 mil meninas nascidas vivas (essa síndrome costuma provocar aborto em 90% dos casos). A síndrome de Turner é causada pela ausência de um dos cromossomos **X** (imagem **A**), e as portadoras são geralmente estéreis, apresentam baixa estatura e não desenvolvem os caracteres sexuais secundários femininos (desenvolvimento das mamas, crescimento de pelos pubianos, etc.).

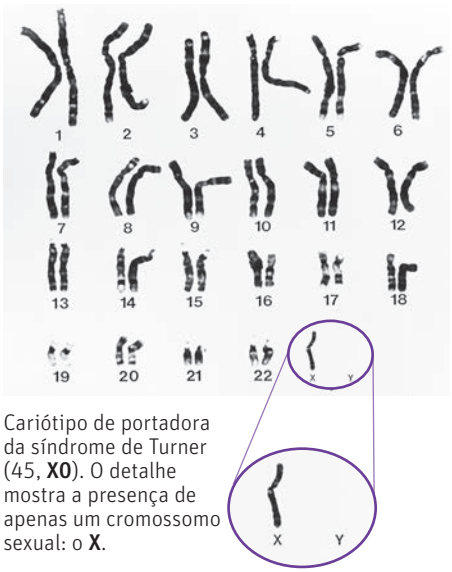
Outro exemplo é a **síndrome de Klinefelter**, doença que atinge um a cada 1 500 meninos e é caracterizada pelo cromossomo **X** adicional ao cariótipo masculino normal (imagem **B**). Os portadores dessa síndrome costumam ser estéreis, mais altos do que a média e apresentar testículos pequenos, além de exibir os caracteres sexuais secundários masculinos pouco desenvolvidos (poucos pelos no rosto e no púbis, por exemplo).

O acompanhamento de pessoas com essas síndromes permitiu entender melhor o papel dos cromossomos sexuais. Por exemplo, sabe-se que no cromossomo **X** estão localizados genes que contêm informações essenciais para ambos os sexos – não são conhecidos casos de pessoas vivas sem nenhum cromossomo **X**, o que indica que a presença de ao menos um cromossomo **X** é fundamental para o desenvolvimento humano. Por outro lado, cópias adicionais do cromossomo **X** podem perturbar o desenvolvimento de homens e mulheres.

Sabe-se ainda que no cromossomo **Y** está localizado o gene SRY determinante do fenótipo masculino. Assim, uma única cópia desse cromossomo, mesmo na presença de diversos cromossomos **X**, determina fenótipo masculino. Na ausência do cromossomo **Y**, o resultado é um fenótipo feminino.

Além disso, o estudo dessas síndromes permitiu entender que há genes relacionados ao desenvolvimento das características sexuais secundárias em todos os cromossomos, e não apenas nos cromossomos sexuais. Permitiu ainda compreender que há genes que afetam a fertilidade localizados em ambos os cromossomos sexuais. Assim, uma mulher precisa de duas cópias do cromossomo **X** para ser fértil e a fertilidade de um homem depende de genes que controlam a expressão do SRY, os quais estão localizados no cromossomo **X**.

A



Dept. of Clinical Cytogenetics, Addenbrookes Hospital/SPL/Latinstock

Cariótipo de portadora da síndrome de Turner (45, **XO**). O detalhe mostra a presença de apenas um cromossomo sexual: o **X**.

B



Biophoto Associates/PR/Latinstock

Cariótipo de portador da síndrome de Klinefelter (47, **XXY**). O detalhe evidencia a presença de três cromossomos sexuais: dois **X** e um **Y**.

AMOSTRA
PARA DIVULGAÇÃO

SAIBA MAIS

O papel dos cromossomos sexuais na determinação do sexo

A diferenciação de um feto em menino ou menina é um processo complexo, constituído de vários eventos que atuam em cadeia.

Por volta da oitava semana, se o feto for do sexo masculino (46, **XY**), os genes presentes no cromossomo **Y** induzirão as gônadas fetais a se desenvolver em testículos; no feto de sexo feminino (46, **XX**) não ocorre essa indução, e as gônadas dão origem aos ovários.

As diferenças externas surgem após a décima semana, depois que os testículos passam a produzir alguns hormônios, entre os quais a testosterona. Esses hormônios induzem o desenvolvimento dos órgãos genitais masculinos. No feto feminino, a ausência de testosterona leva ao desenvolvimento dos ovários.

Algumas vezes, o processo de diferenciação sexual pode levar à formação de genitais ambíguos, cuja aparência não permite dizer se são femininos ou masculinos. O pseudo-hermafroditismo é caracterizado pela discrepância entre os genitais externos, que são de um sexo, e o material genético e as gônadas, que são de outro. Há também casos de hermafroditismo verdadeiro. Eles são raríssimos e caracterizados pela presença de tecido testicular e ovariano em uma mesma pessoa.

A decisão de adotar medidas cirúrgicas para a definição do sexo de uma criança com hermafroditismo é bastante polêmica entre os especialistas, uma vez que o sexo biológico escolhido pode não corresponder ao gênero com o qual a pessoa se sentirá identificada mais tarde.

Não escreva no livro.

Padrões de herança influenciados pelo sexo

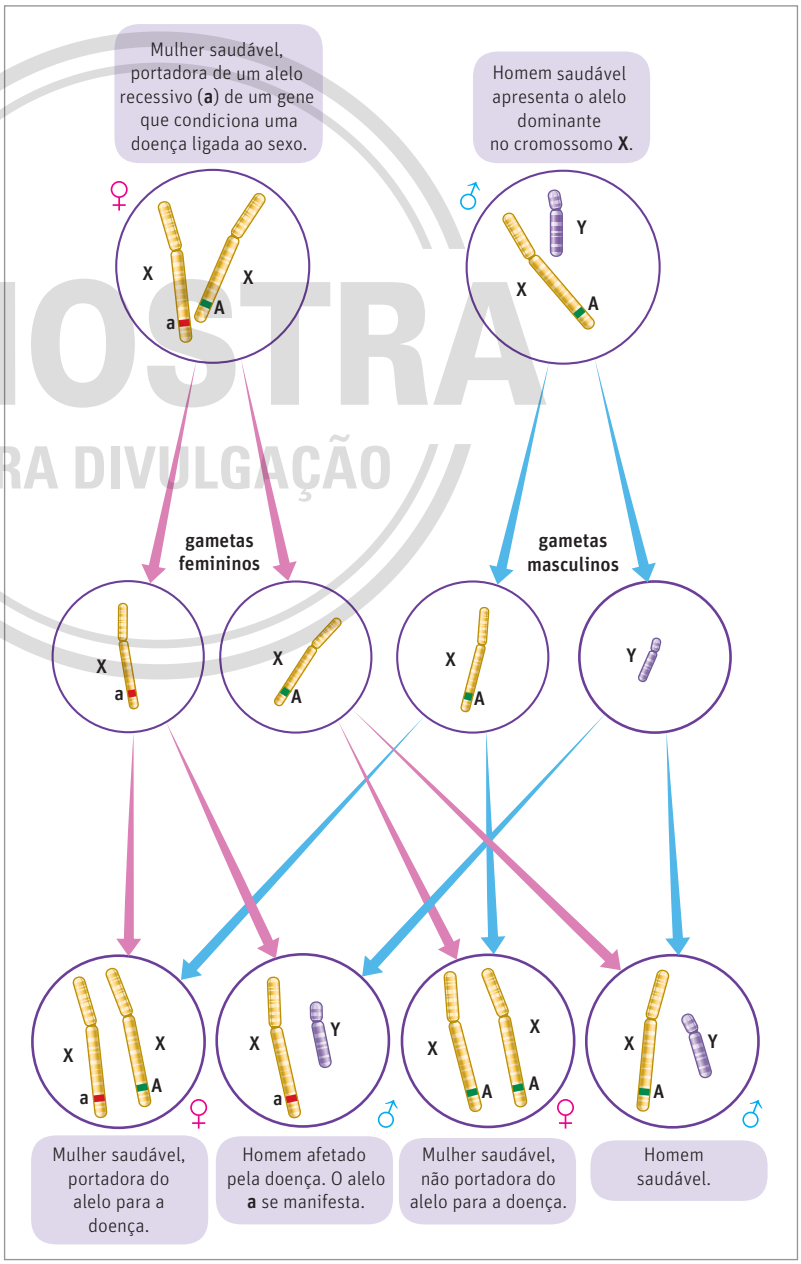
Os genes localizados na região diferencial do cromossomo **X** (isto é, região que não é homóloga ao **Y**) apresentam um padrão de **herança ligada ao X**, também chamada simplesmente de **herança ligada ao sexo**, enquanto os genes localizados na região diferencial do cromossomo **Y** apresentam um padrão de **herança ligada ao Y**, também chamada de **herança restrita ao sexo**.

Herança ligada ao X

Nas espécies com sistema **XY** de determinação de sexo, os machos apresentam apenas um cromossomo **X**. Como consequência, nos machos, os alelos ligados ao **X** são sempre herdados da mãe, ao passo que, nas fêmeas, os alelos ligados ao **X** são herdados de ambos os genitores. Portanto, na herança ligada ao **X**, os termos "dominante" e "recessivo" são aplicáveis somente às fêmeas.

Há poucos exemplos de características dominantes ligadas ao **X** na espécie humana. Uma das mais conhecidas é o raquitismo hipofosfatêmico, uma enfermidade em que os rins não desempenham adequadamente sua habilidade de reabsorver fosfato, causando problemas ósseos. Esse e os demais casos de características dominantes ligadas ao **X** manifestam-se cerca de duas vezes mais em mulheres que em homens. Os homens também não transmitem essa característica para os descendentes do sexo masculino, uma vez que seus filhos recebem o cromossomo **Y**.

Por sua vez, as características recessivas ligadas ao **X** são mais frequentes na população humana. O daltonismo, a hemofilia e a distrofia muscular de Duchenne são alguns exemplos. Nesses casos, nota-se que não ocorre transmissão de pai para filho, uma vez que o pai transmite o cromossomo **Y** para os descendentes masculinos. Além disso, há uma maior incidência dessas características em homens: por terem apenas um cromossomo **X**, eles expressam características recessivas ligadas ao sexo, mesmo com uma só cópia do gene (imagem ao lado).



Studio Caparroz/D/BR

Esquema do padrão de herança de uma doença recessiva ligada ao **X**. Note a proporção de homens afetados entre os possíveis descendentes de um casal com fenótipo normal cuja mãe é portadora do alelo recessivo. Cores-fantasia.

ATIVIDADES

4. No caso de uma doença dominante ligada ao X, qual é a probabilidade de ela se manifestar nos filhos de um casal cujo homem é afetado por ela e a mulher não?

AMOSTRA PARA DIVULGAÇÃO

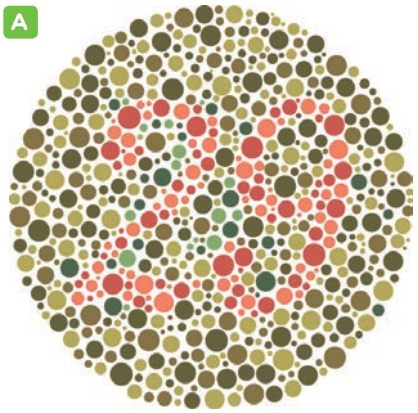
Daltonismo

É uma condição hereditária resultante de um defeito na retina que afeta os cones, fotorreceptores responsáveis pela percepção das cores. Como consequência, a pessoa com daltonismo não distingue com precisão determinadas cores. Um dos tipos mais frequentes de daltonismo é o verde-vermelho, uma condição recessiva ligada ao **X**. Os indivíduos portadores dessa forma de daltonismo não distinguem claramente o vermelho do verde (imagem **A**).

As mulheres têm três genótipos possíveis para o daltonismo verde-vermelho, enquanto os homens apresentam apenas dois, como mostrado no quadro a seguir.

Mulheres		Homens	
Genótipos	Fenótipos	Genótipos	Fenótipos
X^DX^D e X^DX^d	visão normal para cores	X^DY	visão normal para cores
X^dX^d	daltônica para verde-vermelho	X^dY	daltônico para verde-vermelho

A

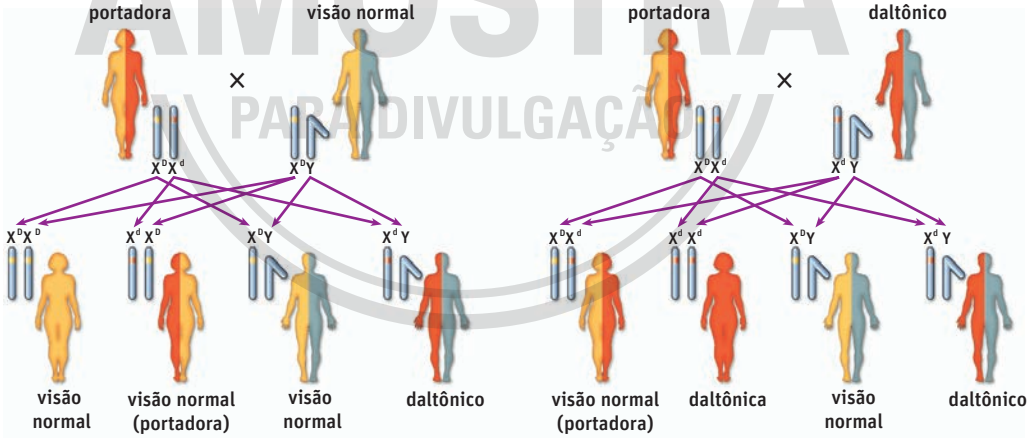


Reinaldo Vignati/ID/BR

Exemplo de diagrama utilizado para avaliar o daltonismo. Indivíduos com visão normal para cores enxergam o número 29, enquanto os daltônicos não.

Para um homem ser daltônico, basta que ele herde o alelo recessivo da mãe, que pode ser daltônica ou portadora do alelo para daltonismo (imagem **B**). Já para que uma mulher seja daltônica, é preciso que o pai seja daltônico e que a mãe seja daltônica ou portadora. Assim, a frequência de mulheres com esse tipo de daltonismo é menor do que a frequência de homens.

B



Reinaldo Vignati/ID/BR

Esquema do padrão de herança do daltonismo verde-vermelho, uma doença recessiva ligada ao **X**. Cores-fantasia.

Distrofia muscular de Duchenne

É uma doença causada por mutações no gene DMD, responsável por codificar a síntese de distrofina. Essa proteína está localizada na camada que reveste os feixes de fibras musculares e é indispensável para o bom funcionamento dos músculos esqueléticos. Na ausência de distrofina, ocorre degeneração progressiva e irreversível da musculatura esquelética, levando a uma fraqueza muscular generalizada.

O gene DMD está localizado no braço curto do cromossomo **X**, o que faz com que a distrofia muscular de Duchenne seja mais frequente em homens. Sabe-se que em cerca de 2/3 dos casos da doença a mutação do gene DMD é herdada da mãe. Os casos restantes são provocados por mutações novas.

ATIVIDADES

5. Discuta se a seguinte afirmação é verdadeira: "Todos os filhos homens de uma mulher daltônica serão portadores de daltonismo, independentemente das características do pai".

AMOSTRA PARA DIVULGAÇÃO

Não escreva no livro.

Hemofilia

É também uma doença recessiva ligada ao **X**. A hemofilia se caracteriza pelo mau funcionamento ou pela ausência de uma das proteínas que promovem a coagulação do sangue. A consequência da hemofilia é, portanto, uma coagulação sanguínea deficiente, o que pode levar a hemorragias.

A hemofilia já foi uma condição potencialmente fatal, mas atualmente pode ser tratada pela reposição do fator anti-hemofílico que está ausente ou é deficiente.

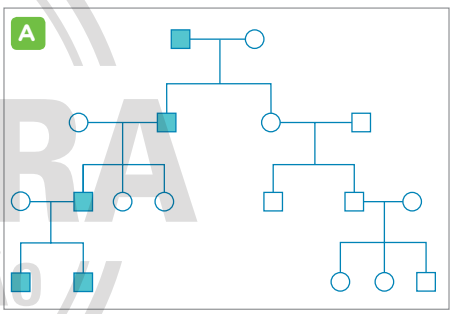
O padrão de herança da hemofilia é o mesmo do daltonismo. Assim, os indivíduos afetados pela hemofilia geralmente são do sexo masculino e recebem da mãe o alelo que condiciona a doença. O quadro a seguir apresenta os genótipos e fenótipos de homens e mulheres com relação à hemofilia.

Mulheres		Homens	
Genótipos	Fenótipos	Genótipos	Fenótipos
X^HX^H e X^HX^h	coagulação normal	X^HY	coagulação normal
X^hX^h	hemofílica	X^hY	hemofílico

Herança ligada ao Y

Conhecida também como **herança restrita ao sexo**, a herança ligada ao **Y** se refere às características determinadas por genes localizados na região diferencial do cromossomo **Y**, ou seja, a região que não é homóloga ao cromossomo **X**. Por essa razão, os fenótipos decorrentes dessa herança ocorrem somente em indivíduos do sexo masculino e são transmitidos exclusivamente de pai para filho (imagem **A**).

Há poucos genes relacionados a esse tipo de herança. Um desses genes é o SRY, responsável por determinar o fenótipo masculino. Geralmente, os genes com herança ligada ao **Y** condicionam características relacionadas à constituição e ao funcionamento dos testículos.



Reinaldo Vignati/ID/BR

Heredograma hipotético de uma característica ligada ao **Y**. Note que os indivíduos afetados sempre têm o pai afetado.

Genes com expressão influenciada pelo sexo

Algumas características autossômicas ocorrem em ambos os sexos, mas são mais frequentes em um deles. Isso acontece quando os hormônios sexuais influenciam a expressão da característica, o que faz os alelos dos genes localizados nos autossomos se comportarem como dominantes em um sexo e recessivos no outro.

Um exemplo desse tipo de herança é a calvície (imagem **B**). Nesse caso, o alelo relacionado à calvície se comporta como dominante no homem e recessivo na mulher. Assim, um indivíduo homozigoto para esse alelo será calvo independentemente do sexo (ainda assim, as mulheres não costumam apresentar calvície completa). Já um indivíduo heterozigoto só será calvo se for homem – as mulheres heterozigotas podem transmitir a característica, mas não manifestam a calvície.

A relação de genótipos e fenótipos está listada no quadro a seguir.

Genótipos para calvície	Fenótipos no homem	Fenótipos na mulher
CC	calvo	calva
Cc	calvo	não calva
cc	não calvo	não calva



Creatista/Shutterstock.com/ID/BR

A calvície, condição caracterizada pela falta ou inexistência de cabelos, é mais frequente nos homens do que nas mulheres.

ATIVIDADES

6. Os pais, os avós maternos e os avós paternos de um homem hemofílico não têm hemofilia. Explique, então, como ele pode ter herdado essa doença.

7. Tradicionalmente, a hipertricose, ou seja, a presença de pelos na orelha externa dos homens, era citada como um exemplo de herança restrita ao sexo. No entanto, descobriu-se que pais com hipertricose podem ter filhos homens sem pelos na orelha. Sabendo disso, que conclusões podem ser inferidas a respeito dessa condição?

AMOSTRA PARA DIVULGAÇÃO

Ringo e Suflair mostram caminho para proteção contra distrofia muscular

Ringo e Suflair, dois cães da raça Golden Retriever tratados pela equipe da bióloga Mayana Zatz, da USP, foram diagnosticados com distrofia muscular desde que eram filhotes. Ao longo da vida, porém, não tiveram quase nenhum sintoma da doença. Depois de mais de 8 anos investigando o que protege a musculatura desses cachorros, os pesquisadores encontraram um responsável: o gene *Jagged1*. Em Ringo e Suflair, esse gene está mais ativado e produz mais proteínas que o normal. Isso desencadeia um mecanismo que ajuda a mascarar a distrofia.

[...]

A distrofia é causada por uma falha no gene que produz a distrofina, uma proteína fundamental para manter a fibra muscular inteira. A falta dessa proteína leva à perda progressiva de musculatura, inclusive do coração e do diafragma, músculo responsável pela respiração.

Em pessoas, a forma mais grave – e mais frequente – da doença é a distrofia muscular de Duchenne, em geral diagnosticada em meninos aos 3 ou 4 anos de idade. Com cerca de 12 anos, a maioria dos garotos não consegue mais andar. A degeneração muscular continua, levando à morte precoce.

[...]

A descoberta do estudo abre novas possibilidades de alvos terapêuticos, a partir de intervenções ou medicamentos que reproduzam, nos meninos afetados, o mesmo efeito de compensação provocado pelo gene *Jagged1* nos cães que escaparam da doença. [...]

[...]

Alguns animais que não produzem distrofina são usados como modelos para os estudos da distrofia muscular. No mundo, o mais presente nos laboratórios é o modelo do camundongo MDX, útil para pesquisar o que acontece dentro das células e testar se um tratamento age na produção de distrofina. Ele tem, porém, uma limitação: como não apresenta sintomas da doença nos músculos, nem expectativa de vida reduzida, não é capaz de mostrar se o tratamento tem efeitos clínicos – se recupera a força muscular ou diminui a gravidade da doença, por exemplo. [...]

[Outro] animal é o Golden Retriever com distrofia muscular (GRMD, na sigla em inglês). Esses cães têm sintomas muito semelhantes aos dos meninos com Duchenne, como a degeneração dos músculos [...]. Os cães também sustentam uma massa corporal similar à dos pacientes. Por todos esses aspectos, são o modelo ideal para verificar se os tratamentos devem ou não ter efeitos em seres humanos. O aspecto negativo é o custo alto para cuidar dos cachorros. [...]

[...] Em 2003, entre os cães com distrofia muscular [tratados pela equipe de Zatz], um nasceu mais ativo, sem a fraqueza e a apatia dos irmãos. Os cientistas do grupo testaram o DNA de Ringo no laboratório e constataram que, apesar da falta de sintomas, o Golden Retriever carregava o mesmo defeito no gene da distrofina que os outros cães afetados pela doença.

[...]

[Em 2006], Ringo cruzou com quatro fêmeas e, em uma das ninhadas, nasceu Suflair. Ele tem as mesmas características do pai: possui a alteração no gene da distrofina, mas se movimenta como cães sem a doença. Ficou claro que a solução deles para a distrofia era genética e tinha sido passada de pai para filho.

[...]

A hipótese formulada pelos cientistas, a ser verificada nos próximos trabalhos, é que a proteína [codificada pelo gene] *Jagged1* provoque uma reação em cadeia que estimula a divisão da própria célula ou das células vizinhas. Com mais produção dessa proteína, os músculos dos cachorros especiais conseguiriam se recompor mais rapidamente do que se degeneram por causa da distrofia. Talvez seja isso que mantém a musculatura funcionando e permite que os cães atinjam a expectativa de vida normal para a raça. [...]

Chinelli, A. P. Ringo e Suflair mostram caminho para proteção contra distrofia muscular. Disponível em: <http://sites.usp.br/distrofia/pesquisadores-brasileiros-descobrem-gene-e-mecanismo-que-compensa-distrofia-muscular-em-caes/>. Acesso em: 29 fev. 2016.

AMOSTRA
PARA DIVULGAÇÃO

PARA DISCUTIR

1. Por que a distrofia muscular de Duchenne é uma doença diagnosticada principalmente em meninos?
2. De que maneira Ringo e Suflair "mostram caminho para proteção contra distrofia muscular", como afirma o título dessa notícia?
3. O texto apresenta as vantagens e desvantagens de alguns modelos animais que vêm sendo usados no estudo da distrofia muscular. Na sua opinião, qual a importância dos modelos animais para a investigação científica?

Não escreva no livro.

Aconselhamento genético

Objetivo

Simular uma situação de aconselhamento genético para uma doença com padrão de herança ligada ao sexo.

Procedimento

1. Formem grupos de quatro ou cinco alunos.
2. Cada grupo deve ler as três fichas abaixo, as quais trazem informações sobre o filme *O óleo de Lorenzo* e sobre a doença abordada nele. Se possível, indica-se que a turma assista antes ao filme.
3. Cada grupo deve simular uma situação de aconselhamento genético entre um grupo de especialistas e os pais de uma criança com a doença tratada no filme. Os especialistas devem conduzir a conversa esclarecendo os pais sobre as questões da Discussão.



Eduardo Santaliestra/D/BR

Capa do DVD do filme *O óleo de Lorenzo*. Direção: George Milles. EUA, 1992 (129 min).

Sinopse. O filme é baseado em uma história real que teve seu início em 1983. Lorenzo levava uma vida normal até que, aos 6 anos, passou a ter diversos problemas de ordem mental que foram diagnosticados como adrenoleucodistrofia (ALD), uma doença hereditária rara e incurável que provoca degeneração no sistema nervoso, levando à morte em pouco tempo. Os pais não se conformaram com os prognósticos e começaram a estudar a doença. Depois de muita pesquisa, desvendaram o mecanismo bioquímico da ALD e desenvolveram um tratamento à base de ácido oleico, presente no azeite de oliva, e de ácido erúrico – mistura que ficou conhecida como óleo de Lorenzo. Os pais então começaram a tratar Lorenzo com o óleo.

Atualização: Lorenzo morreu em maio de 2008, aos 30 anos, em consequência de uma pneumonia. Viveu vinte anos a mais do que previram os médicos com base nos conhecimentos que tinham na época a respeito da evolução da ALD.

Caracterização da doença. A ALD é uma doença genética rara ligada ao sexo, de caráter recessivo, transmitida por mulheres e que afeta fundamentalmente homens. O gene associado à ALD está localizado na região não homóloga do cromossomo **X** e codifica a síntese da proteína ALDP, relacionada com o metabolismo lipídico. Na ausência ou deficiência da ALDP, uma pessoa fica incapaz de degradar e oxidar ácidos graxos de cadeia muito longa. O acúmulo de ácidos graxos no corpo provoca a desestabilização da bainha de mielina (substância que recobre os axônios das células nervosas, essencial para uma transmissão eficiente dos impulsos nervosos). A atrofia dos neurônios e a perda da capacidade de transmissão de impulsos nervosos provocam uma falência generalizada do sistema nervoso.

Caracterização do tratamento. Não existe cura para essa doença. O primeiro tratamento proposto consistia em uma dieta com baixa ingestão de ácidos graxos de cadeia longa, mas não era muito eficiente. O óleo de Lorenzo mostrou-se eficaz para impedir a progressão dos sintomas neurológicos em muitos casos. Embora não seja ainda a cura definitiva, o óleo tem se mostrado eficaz em retardar o desenvolvimento da doença.

Discussão

1. Qual é o mecanismo de herança da doença?
2. Como identificar a possibilidade de ocorrência da doença em outros membros da família e qual a importância disso?
3. Qual é a chance de um casal como o mostrado no filme ter outro filho com ALD?
4. Que orientações psicossociais podem ser fornecidas à família?

AMOSTRA
NÃO PARA DIVULGAÇÃO

Não escreva no livro.

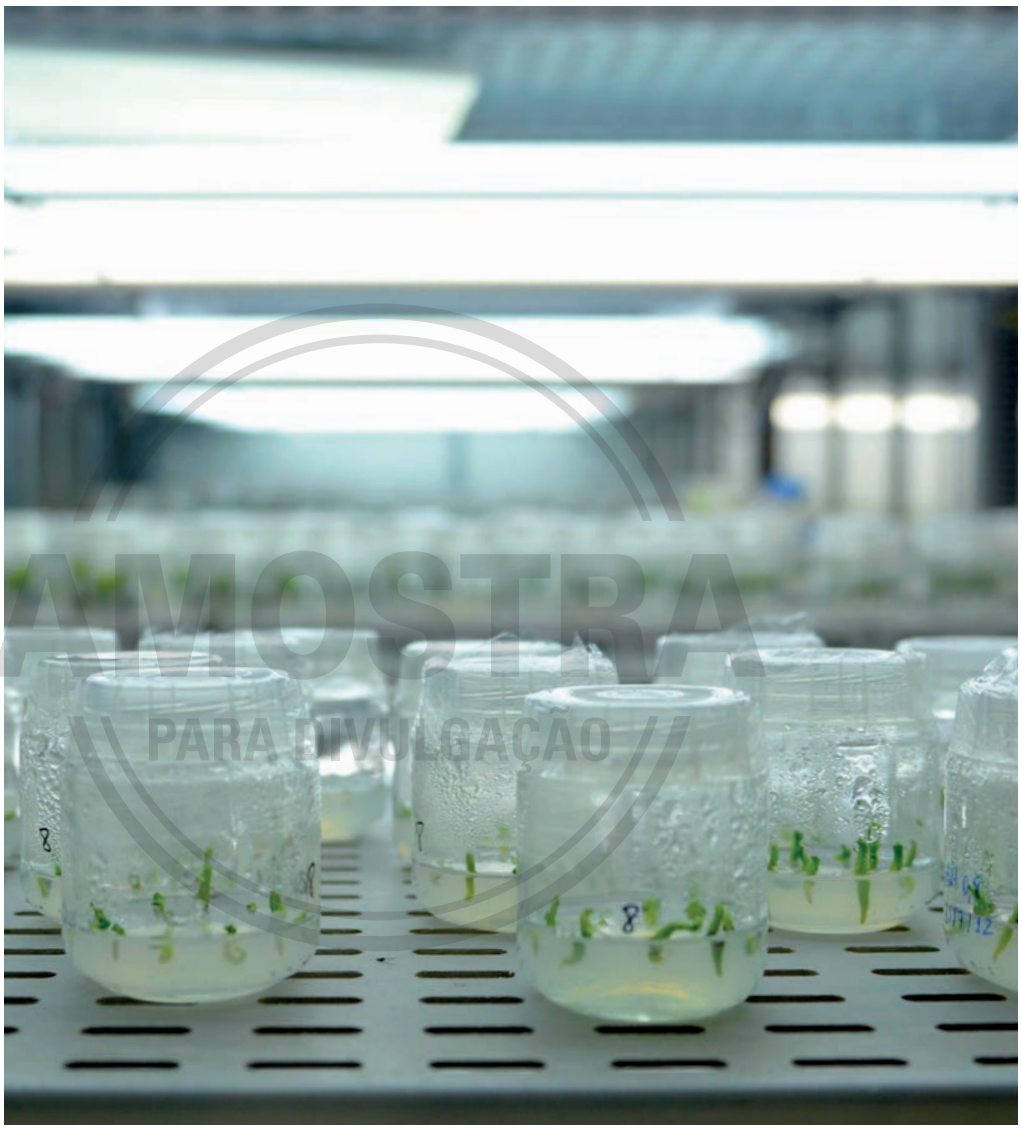
CAPÍTULO

8 Biotecnologia

O QUE VOCÊ VAI ESTUDAR

Técnicas de melhoramento genético, clonagem e terapia gênica.

O que são organismos geneticamente modificados.



Zineb Benchekchou/Embrapa

AMOSTRA PARA DIVULGAÇÃO

Soja geneticamente modificada em laboratório para tolerar a escassez de água. A biotecnologia é atualmente muito usada para obter plantas com características de interesse.

A Convenção sobre Diversidade Biológica das Nações Unidas definiu biotecnologia como "qualquer aplicação tecnológica que usa sistemas biológicos, seres vivos ou seus derivados para fazer ou modificar produtos ou processos".

Este capítulo trata de algumas dessas aplicações tecnológicas. O emprego dessas técnicas remonta há milhares de anos, antes que as bases da hereditariedade fossem compreendidas.

O desenvolvimento da biologia e da genética moleculares proporcionou um novo enfoque à biotecnologia, bem como o desenvolvimento de práticas como a transgenia e a clonagem.

Não escreva no livro.

Melhoramento genético

As técnicas de melhoramento genético incluem desde a seleção artificial utilizada na domesticação de plantas e animais até as tecnologias mais modernas de engenharia genética. Em todos os casos, a intenção é produzir variedades de organismos com características de interesse para o ser humano.

Seleção artificial

O melhoramento de espécies por meio da seleção artificial e do aprimoramento de variedades vem sendo realizado pelos seres humanos há milhares de anos. No início, o melhoramento era realizado de forma intuitiva. Assim, por exemplo, eram cruzados apenas os animais mais robustos, que produziam maior quantidade de leite, carne mais macia, etc.; ou eram plantadas somente as sementes obtidas de plantas que apresentavam melhor sabor ou maior número de grãos. Um exemplo é o caso do milho: o ancestral silvestre do milho, o teosinto (imagem **A**), apresenta pequeno porte e cerca de 5 a 12 grãos pequenos, duros e que caem quando maduros. Com a seleção artificial das variedades mais interessantes, que teve início há mais de 7 500 anos, o milho passou a ser uma planta com até quinhentos grãos por espiga, que não caem, são bem maiores e muito mais tenros.



John Doebley/Acervo do fotógrafo

O teosinto, à esquerda, uma gramínea nativa das Américas Central e do Sul, é o ancestral silvestre do milho (à direita; cerca de 20 cm de comprimento). No centro, é mostrado um híbrido dessas duas variedades.

Heterose e vigor híbrido

Uma maneira de obter variedades melhoradas consiste no cruzamento entre linhagens homozigóticas distintas, processo denominado **heterose**. Por vezes, esse cruzamento resulta em organismos com algumas características superiores aos indivíduos parentais, situação conhecida como **vigor híbrido**.

Um exemplo de vigor híbrido ocorre na produção da raça bovina Girolando (imagem **B**). O cruzamento entre as raças Gir e Holandês tem como resultado a raça Girolando, que conciliou a aptidão para boa produção de leite da raça Holandês com a rusticidade da raça Gir, que é ideal para as condições climáticas e o modo de criação de gado brasileiros.



Gerson Sobreira/Terrastock

Vaca da raça Girolando, híbrido obtido pelo cruzamento entre as raças Gir e Holandês. Grandes Rios (PR), 2015.

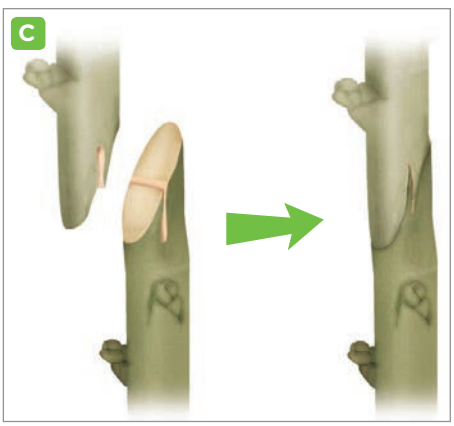
Endogamia

Dependendo da situação e dos objetivos, o melhoramento genético também pode ser feito de maneira oposta à heterose, ou seja, preservando-se a homogeneidade genética em uma linhagem por meio da manutenção de genes em homozigose. Nesse caso, o procedimento é também chamado de **endogamia**.

Em plantas hermafroditas, a endogamia pode ser obtida pela autofecundação. Já nas demais plantas ou em animais, isso é feito por meio de cruzamento entre poucos indivíduos selecionados, ao longo de várias gerações. Assim, as características hereditárias de interesse sofrem pouca modificação.

Enxertia

Outro método muito empregado em técnicas de melhoramento genético é a **enxertia**, uma forma de propagar assexuadamente as plantas de interesse. Nesse método, parte de uma planta viva é implantada em outra (imagem **C**). Pode-se, por exemplo, pegar um galho de uma laranjeira que produz bons frutos e enxertá-lo ao de outra laranjeira que, apesar de não fornecer frutos de boa qualidade, cresce bem e é mais resistente a pragas. Assim, a parte de baixo da planta cresce e nutre a metade enxertada, que produz frutos com as características desejadas.



Reinaldo Vignati/ID/BR

A enxertia pode ser realizada por vários métodos, e cada espécie se adapta melhor a um tipo. Acima, o broto de uma planta é enxertado em outra. Cores-fantasia.

AMOSTRA PARA DIVULGAÇÃO

Domesticação e melhoramento genético

Muito antes dos trabalhos de Mendel, os seres humanos já realizavam cruzamentos de plantas e de animais. Ao longo de milhares de anos, certas características presentes em espécies selvagens foram selecionadas, em detrimento de outras características. Dessa forma, surgiram variedades domesticadas, muitas vezes de aparência diferente das variedades selvagens iniciais.

O melhoramento genético – isto é, a obtenção de variedades com características desejáveis – é provavelmente tão antigo quanto a própria agricultura. Mas como o ser humano aprendeu a desenvolver variedades mais produtivas de plantas, por exemplo? Esse processo também pode ter consequências negativas?

Leia os textos a seguir, que tratam da história dessas técnicas de melhoramento genético, e responda às questões propostas.



Erika Craddock/SPL/Latinstock

Ao selecionar características de interesse, o melhoramento genético produz variedades distintas da mesma espécie. Brócolis, couve-flor, repolho, couve e couve-de-bruxelas são variedades da mesma espécie, *Brassica oleraceae*.

Escolher, cultivar e criar

Para compreender bem como foram constituídas as espécies domésticas, lembremos que, por milhões de anos, os hominídeos se contentaram em explorar, pela predação, as populações vegetais e os animais selvagens, pertencentes a espécies escolhidas entre milhares de outras por sua utilidade e facilidade de exploração. No Neolítico, grupos humanos sedentários começaram a mudar essa maneira de agir. Eles selecionavam pequenas coleções de indivíduos que pertenciam a uma ou outra dessas espécies para submetê-las a condições de crescimento e de reprodução novas, artificiais, resultantes de práticas da protoagricultura*. [...] Após várias gerações, as linhagens de algumas dessas espécies submetidas à protoagricultura perderam algumas de suas características genéticas, morfológicas e comportamentais selvagens originais, pouco compatíveis com seu novo modo de vida. Ao mesmo tempo elas adquiriam outros caracteres que [...] foram desde então conservados. A partir desse momento, mesmo se elas continuassem a assemelhar-se de mil maneiras a seus ancestrais e às populações selvagens persistentes, as novas formas "domésticas" assim obtidas se distinguiam por um pequeno número de caracteres, formando o que se convencionou a chamar de "síndrome de domesticação". Mas vejamos mais precisamente por quais mecanismos essa transformação pôde ocorrer.

* Nesse texto, a protoagricultura pode ser entendida como o conjunto de técnicas, ainda rudimentares, que precedeu a agricultura.

Mazoyer, Marcel; Roudart, Laurence. *História das agriculturas no mundo:* do Neolítico à crise contemporânea. São Paulo: Ed. da Unesp; Brasília: Nead, 2010. p. 120.

AMOSTRA PARA DIVULGAÇÃO

ATIVIDADES

1. Em sua opinião, quais características vegetais teriam desaparecido ou surgido durante o processo de domesticação? Cite um exemplo de característica vantajosa para uma variedade cultivada.
2. Embora tenham aparência bastante diferente, a acelga e a beterraba pertencem à mesma espécie, *Beta vulgaris*. Que características provavelmente foram selecionadas para a obtenção dessas variedades?

Não escreva no livro.

A domesticação dos cereais

Toda população de uma espécie de cereal selvagem é heterogênea. Por exemplo, certos grãos caídos no solo germinam desde a primeira estação muito úmida e muito quente, enquanto [outros] começam a vingar duas ou três estações mais tarde. Esse atraso em germinar (dormência) é condicionado por substâncias inibidoras da germinação [...]. Enquanto que uma população se reproduz espontaneamente, essas disposições, variáveis de uma planta a outra, contribuem para repartir a germinação das sementes por várias estações consecutivas mais ou menos favoráveis, aumentando assim as chances de reprodução e de multiplicação da espécie.

Ao contrário, desde que são cultivadas, quer dizer, semeadas em conjunto na primeira estação das chuvas e colhidas em conjunto durante a colheita seguinte, somente os grãos sem dormência podem ser colhidos e semeados mais tarde novamente. A semeadura e a colheita de maneiras agrupadas de uma população de cereal inicialmente selvagem tendem assim a eliminar as linhagens de grãos com dormência [...].

Além disso, os primeiros grãos que germinam e produzem as plântulas mais vigorosas ganham na competição acirrada entre as plantas [...] e obtêm, por essa razão, uma descendência mais numerosa que as outras. [...] A semeadura agrupada tende, portanto, a selecionar linhagens de germinação rápida [...]. Assim sendo, a colheita, quando realizada de uma só vez, no momento da maturidade do maior número de grãos, tende a eliminar as linhagens de maturidade tardia, cujos grãos colhidos demasiadamente cedo são infecundos. [...]

Além do mais, a colheita agrupada tende a eliminar as formas [...] cujos grãos, muito facilmente destacáveis, caem precocemente no solo e escapam, assim, à colheita.

Dessa forma, toda uma série de características [...] que favorecem a reprodução e a difusão espontânea das populações selvagens tornam-se antiperformantes nas condições de reprodução impostas pelas práticas de cultivo humanas e tendem, por essa razão, a ser eliminadas. [...]

AMOSTRA PARA DIVULGAÇÃO

MAZOYER, Marcel; ROUDART, Laurence. *História das agriculturas no mundo*: do Neolítico à crise contemporânea. São Paulo: Ed. da Unesp; Brasília: Nead, 2010. p. 121-122.

ATIVIDADES

3. No primeiro parágrafo do texto, encontre uma palavra que indique a variabilidade genética das populações de plantas selvagens.

4. Explique por que as características abaixo, vantajosas em variedades selvagens, tornaram-se antiperformantes (isto é, desvantajosas) nas variedades domesticadas.

a) Dormência das sementes.

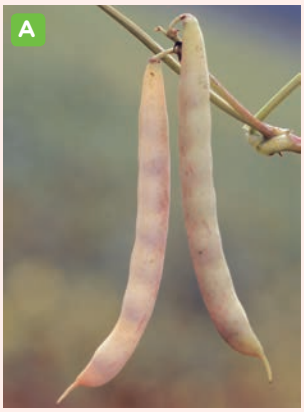
b) Grãos facilmente destacáveis da planta-mãe.

Genes pouco numerosos e transmissíveis em bloco

[...] Para o milho e para o milheto africano, os genes que comandam [...] [as características da] domesticação são pouco numerosos, agrupados em um mesmo cromossoma, logo, transmissíveis "em bloco", facilitando muito a passagem da forma selvagem à forma doméstica. Entretanto, como o milho, o sorgo, o milheto, o trigo, a cevada e o arroz se reproduzem preferencialmente por autofecundação (fecundação de cada planta pelo seu próprio pólen), os riscos de hibridação com as formas selvagens se reduzem, enquanto que o isolamento e a conservação dos caracteres domésticos adquiridos são facilitados.

[...]

Nas plantas com grãos distintas dos cereais, a forma geral do processo de domesticação é bastante semelhante. Por exemplo, enquanto as populações de leguminosas selvagens dispõem geralmente de vagens que se abrem facilmente quando maduras para facilitar a disseminação das sementes, e de sementes com dormência [...], as populações domesticadas perderam essas características. [...]



Fabio Colombini/Acervo do fotógrafo



Fabio Colombini/Acervo do fotógrafo



Fabio Colombini/Acervo do fotógrafo



Fabio Colombini/Acervo do fotógrafo

As vagens (frutos) de plantas como feijão (**A**) e soja (**B**) não se abrem espontaneamente, mesmo quando maduras. Essa característica, selecionada nas variedades cultivadas, evita que os grãos (**C** e **D**) caiam ao solo e sejam perdidos antes da colheita.

MAZOYER, Marcel; ROUDART, Laurence. *História das agriculturas no mundo*: do Neolítico à crise contemporânea. São Paulo: Ed. da Unesp; Brasília: Nead, 2010. p. 122-123.

AMOSTRA PARA DIVULGAÇÃO

ATIVIDADES

5. O texto afirma que vários genes que condicionam características desejáveis no milho domesticado estão localizados no mesmo cromossomo. Por que isso facilita a transmissão dessas características?
6. Em seus estudos sobre a hereditariedade, Mendel utilizou plantas com autofecundação. Explique a vantagem dessa escolha para esse tipo de estudo.

Plantas de multiplicação vegetativa

Nas plantas de multiplicação vegetativa que os cultivadores reproduzem por estaquia de um fragmento do caule (mandioca) ou enterrando um fragmento de tubérculo (batata, inhame), por plantio de um pedaço de rizoma ou rebento lateral (bananeira), cada planta cultivada herda de forma idêntica os caracteres genéticos da planta-mãe. De tal maneira que é comum supor que as qualidades aparentes de uma planta-mãe selvagem, escolhida por ter dado bons e belos tubérculos, frutos ou raízes, [...] [sejam transmitidas] integralmente aos seus descendentes cultivados.

Ora, não é tão simples assim. Certas plantas proporcionam boas colheitas devido às suas características genéticas próprias, e essa qualidade é, desde então, transmissível. No entanto, outras plantas que não possuem essas características genéticas vantajosas dão resultados tão bons ou ainda melhores quando se desenvolvem em condições microlocais muito favoráveis de solo, de exposição à luz, de umidade ou ausência de concorrência.

Ao contrário, plantas geneticamente vantajosas podem encontrar-se em condições desfavoráveis que as impedem de manifestar suas qualidades intrínsecas. Foi, portanto, preciso tempo e atenção para separar as plantas geneticamente vantajosas das plantas simplesmente favorecidas por suas condições de desenvolvimento.

MAZOYER, Marcel; ROUDART, Laurence. *História das agriculturas no mundo*: do Neolítico à crise contemporânea. São Paulo: Ed. da Unesp; Brasília: Nead, 2010. p. 123-124.

Não escreva no livro.

ATIVIDADES

7. Faça um resumo das ideias do trecho anterior utilizando os conceitos de genótipo e fenótipo.

8. Como você faria para selecionar boas mudas de plantas cultivadas por multiplicação vegetativa?

Consequências negativas do melhoramento genético

[...]

O manejo da diversidade genética de plantas requer uma constante interação do homem com o ambiente, influenciando a construção dos agroecossistemas. Em áreas tropicais, os estresses abióticos e bióticos produzem seus efeitos sobre tais práticas. Por outro lado, os métodos ditos "modernos" de manejo da diversidade genética acabam por dilapidá-la, ao promover a uniformidade genética e o desenvolvimento de materiais genéticos altamente dependentes de insumos externos.

Os primeiros sistemas de manejo da agrobiodiversidade com enfoque agroecológico surgiram nos centros de origem da revolução agrícola neolítica, onde teve início a domesticação das plantas cultivadas. Muitos modelos descritos hoje pela agroecologia se baseiam em culturas milenares desenvolvidas pelos povos que habitavam esses locais. Como exemplo, podemos citar os povos americanos, que vivem em uma região que vai do México até os Andes, na América do Sul, que domesticaram o feijão, a pimenta, o milho, a batata, a quinoa, o tremoço, além de outras espécies agrícolas. Em outras áreas, como no cerrado brasileiro, nas savanas africanas e em outras fitofisionomias asiáticas, ocorreu recentemente uma ruptura dos sistemas agrícolas tradicionais, provocada tanto por estresses ambientais quanto pela interferência da agricultura "moderna". Verifica-se uma forte erosão da biodiversidade, que acarretou o desaparecimento de sistemas de cultivo e de práticas socioculturais mantidas milenarmente por agricultores e povos indígenas.

A erosão genética tornou-se uma preocupação mundial amplamente debatida durante a RIO 92. Em 1996, foi aprovado, em Leipzig, na Alemanha, o Plano de Ação Global sobre Conservação e Utilização Sustentável de Recursos Genéticos de Plantas para Alimentação e Agricultura. A questão da segurança alimentar foi fortemente abordada nesse documento, além de outros temas de extrema importância para a conservação e uso sustentável da biodiversidade, como a valorização dos conhecimentos e saberes agrícolas desenvolvidos por pequenos agricultores e povos indígenas; o reconhecimento da importância dessas comunidades para a conservação dos recursos genéticos; a importância da utilização de práticas agrícolas sustentáveis e a valorização das variedades locais. Inclui também a recomendação para o uso de metodologias participativas em pesquisas agrícolas, entre outras.

A fome nos países em desenvolvimento deve-se em grande parte à erosão genética, ao estresse ambiental, à infraestrutura deficitária, à falta de água e a problemas socioeconômicos que afetam o desenvolvimento das atividades agrícolas. A perda de variedades locais altamente adaptadas a esses agroecossistemas, associada à perda de valores culturais, afetam gravemente as populações que vivem nessas regiões. Fala-se muito em ações contra a pobreza, mas pouco se faz pela agrobiodiversidade e pela agricultura sustentável nas áreas marginais, onde vivem a maior parte das comunidades agrícolas e indígenas. É nas zonas rurais que vivem 70% dos pobres [...].

MACHADO, Altair Toledo. Construção histórica do melhoramento genético de plantas: do convencional ao participativo. *Revista Brasileira de Agroecologia*. v. 9, n. 1, p. 35-50, 2014. Disponível em: <http://www.aba-agroecologia.org.br/revistas/index.php/rbagroecologia/article/view/15278/9973>. Acesso em: 15 fev. 2016.

ATIVIDADES

9. O que você entendeu por "erosão genética"? Como ela pode ser relacionada com as práticas tradicionais de cultivo de vegetais?

AMOSTRA
PARA DIVULGAÇÃO

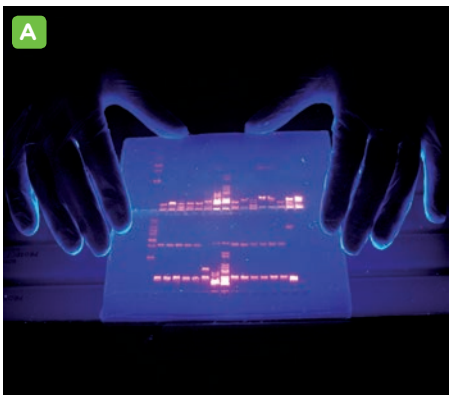
Engenharia genética

Atualmente, técnicas mais convencionais de melhoramento genético convivem com as técnicas da engenharia genética (ou tecnologia do DNA recombinante), que permitem manipular diretamente o genoma dos organismos e também construir sequências de DNA em laboratório.

Enzimas de restrição e eletroforese

As **enzimas de restrição** são capazes de "cortar" uma molécula de DNA em pontos específicos. Existem centenas de tipos, e cada um se liga a certa sequência de bases nitrogenadas. Uma molécula de DNA cortada com determinado tipo de enzima de restrição fornece pedaços de DNA que podem ser separados, de acordo com o seu tamanho e carga elétrica, por meio da **eletroforese**.

A eletroforese é uma técnica que consiste em colocar uma amostra de alguma substância – DNA, por exemplo – em uma placa de gel associada a eletrodos. No caso do DNA, todos os fragmentos percorrem o gel em direção ao eletrodo positivo, mas os menores se movimentam mais rapidamente que os maiores. Quando a corrente elétrica é desligada, os fragmentos param em posições diversas, de acordo com seus tamanhos. Então é aplicada uma substância que permite visualizar as faixas de DNA sob luz ultravioleta (imagem **A**). A distribuição dessas faixas é característica de cada molécula de DNA.



SPL/Latinstock

A eletroforese permite separar fragmentos de DNA de tamanhos diferentes, formando bandas. Para visualizá-las, é preciso usar um corante e luz ultravioleta.

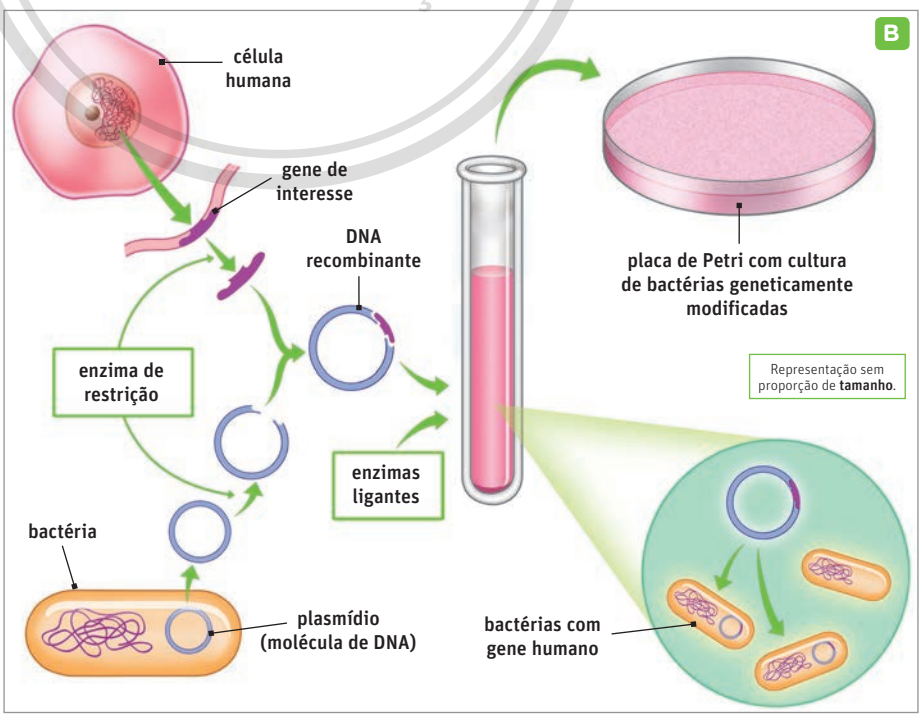
Organismos geneticamente modificados

Organismos geneticamente modificados (OGMs) são aqueles cujo genoma foi alterado por meio de técnicas de engenharia genética. Pode-se inserir um gene no genoma de um indivíduo, por exemplo. Para isso, é preciso primeiro isolar um fragmento de DNA contendo um ou mais genes de interesse. Em seguida, esse fragmento é introduzido em uma célula-alvo ou é incorporado a plasmídios (posteriormente inseridos em bactérias). Enzimas ligantes unem os segmentos formando um **DNA recombinante** (imagem **B**). O objetivo é que esse gene inserido se expresse no organismo modificado, sintetizando uma proteína que ele não produzia anteriormente, e também que seja copiado normalmente para as células-filhas durante a mitose.

A manipulação genética por meio da tecnologia do DNA recombinante é uma forma de melhoramento genético com a qual se pode obter, de maneira rápida e controlada, organismos com as características de interesse. Assim, é possível, por exemplo, desenvolver variedades mais resistentes a doenças, a herbicidas, a geadas, a secas, com menos necessidade de adubo, com frutos maiores, mais doces, mais nutritivos, etc.

ATIVIDADES

1. Para criar um OGM, geralmente utiliza-se a mesma enzima de restrição para isolar o gene de interesse e para abrir o plasmídeo ou DNA do organismo onde esse gene será inserido. Qual o motivo para isso?



Roberto Higa/ID/BR

Representação do processo de geração de DNA recombinante a partir de DNA humano e da bactéria *Escherichia coli*. Cores-fantasia.

AMOSTRA PARA DIVULGAÇÃO

Não escreva no livro.

Organismos transgênicos

Um tipo específico de OGM são os **organismos transgênicos**, que são criados quando o fragmento de DNA inserido em algum organismo desejado provém de outra espécie.

A primeira aplicação comercial de um organismo transgênico talvez seja a que ocorreu em 1978, quando Herbert Boyer (1936-), nos Estados Unidos, conseguiu produzir insulina humana após inserir o gene responsável pela produção desse hormônio na bactéria *Escherichia coli*. A insulina sintética é hoje muito usada no tratamento de diabetes.

Existem outras aplicações farmacêuticas interessantes para produtos transgênicos. Um exemplo é a introdução, em vacas e cabras, do gene que produz o fator anti-hemofílico, proteína importante para a coagulação sanguínea. Assim, obteve-se um método barato para produção e distribuição dessa substância, já que esses animais passam a liberá-la no leite.

Outros animais transgênicos vêm sendo desenvolvidos com a finalidade de criar modelos de estudo para doenças que afetam humanos. Por exemplo, atualmente já são utilizados ratos transgênicos em laboratórios que realizam pesquisas sobre diversos tipos de câncer. Esses ratos carregam em seu genoma genes humanos que provocam câncer, e assim se pode investigar quando e como esses genes são ativados. Também existem organismos transgênicos para o estudo de outras doenças.

Entre os transgênicos produzidos no Brasil estão variedades de feijão e batata resistentes a diferentes vírus, o algodão com resistência a insetos e a soja com tolerância a herbicidas (imagem acima).



Sérgio Lima/Folhapress

Cultivo *in vitro* de mudas de soja (*Glycine max*) transgênica.

ATIVIDADES

2. Entre as características incorporadas a plantas transgênicas, podem ser citadas a resistência a insetos, a tolerância a alguns herbicidas, fungos e vírus.

a) Que tipo de vantagens econômicas a incorporação dessas características poderia trazer para o produtor agrícola?

b) Que desvantagens podem existir no plantio e no consumo de alimentos transgênicos?

BIOLOGIA SE DISCUTE

O debate em torno dos transgênicos

A discussão sobre os possíveis riscos ao ambiente e à saúde representados pelos OGMs vem crescendo com os avanços tecnológicos para o desenvolvimento desses produtos.

Entre os riscos decorrentes da inserção de genes no genoma de um organismo está o da produção de novas proteínas alergênicas ou de substâncias que provoquem efeitos tóxicos não identificados em testes preliminares. Também são avaliadas as possibilidades de que os OGMs possam prejudicar outras espécies, ou de que genes que confiram resistência a herbicidas possam emigrar para o genoma de ervas daninhas por hibridização entre as espécies.

Para evitar que problemas desse tipo aconteçam, os países vêm adotando protocolos de biossegurança para controle e vigilância antes de autorizar a liberação de OGMs no ambiente.

No Brasil, a regulamentação para produção e comercialização de transgênicos é estabelecida pela Lei de Biossegurança, implementada em 2005. Essa lei determina que as variedades de transgênicos sejam analisadas e aprovadas por duas comissões antes de serem produzidas em escala comercial: a Comissão Técnica Nacional de Biossegurança (CTNBio) e o Conselho Nacional de Biossegurança (CNBS).

Além de passar pela aprovação dessas comissões, os produtos transgênicos devem atender às exigências de mais quatro órgãos: a Agência Nacional de Vigilância Sanitária (Anvisa), o Instituto Brasileiro de Meio Ambiente e Recursos Naturais Renováveis (Ibama), o Ministério do Meio Ambiente (MMA) e o Conselho Nacional de Meio Ambiente (Conama).

O debate na sociedade em torno dos transgênicos envolve representantes de diferentes setores, como a comunidade científica, políticos, empresários e religiosos.

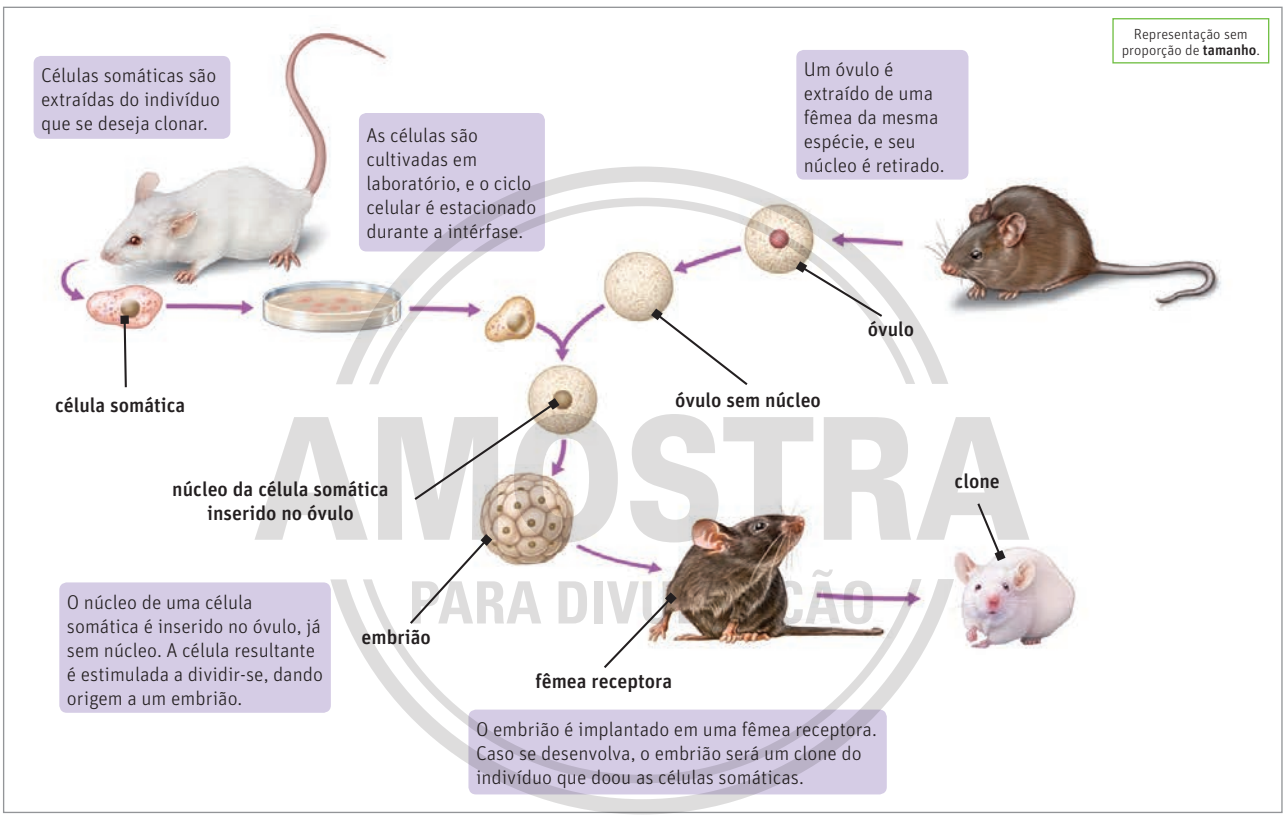
AMOSTRA PARA DIVULGAÇÃO

Clonagem

Organismos que apresentam o mesmo material genético são chamados de clones. A clonagem ocorre de maneira natural em espécies que se reproduzem assexuadamente. Nesse caso, o novo indivíduo é um clone de seu progenitor, uma vez que se origina a partir de mitoses das células do corpo deste.

A clonagem também pode acontecer artificialmente por meio de técnicas que permitem desenvolver um animal ou uma planta a partir de uma célula somática (ou seja, diferenciada) ou do núcleo de uma célula desse tipo.

A clonagem em animais consiste em inserir o núcleo de uma célula somática no citoplasma de um óvulo, cujo núcleo foi previamente retirado. As etapas do processo de clonagem são resumidamente apresentadas a seguir.



Reinaldo Vignati/ID/BR

AMOSTRA PARA DIVULGAÇÃO

Representação do processo de clonagem em ratos. Note que o clone é branco, tal como o rato doador da célula somática.
Fonte de pesquisa: Reece, J. B. et al. *Campbell Biology*. 10. ed. [S.l.]: Pearson, 2014. p. 424.

A clonagem tem aplicações em diversos campos, como agricultura, pecuária e medicina.

A **clonagem de plantas** é utilizada para obter cópias de indivíduos com alguma característica de interesse, como maior resistência às pragas. As técnicas de clonagem vegetal são mais simples e utilizadas há mais tempo que as técnicas de clonagem animal. Elas envolvem a produção de indivíduos a partir de células ou segmentos de vegetais como galhos, folhas ou brotos.

A **clonagem de animais** também visa obter cópias idênticas de indivíduos que apresentam características de interesse, como, por exemplo, maior produção de leite ou carne.

A **clonagem em seres humanos** tem apenas fins terapêuticos, como a produção de órgãos ou tecidos para transplantes, evitando-se, assim, a rejeição. A clonagem reprodutiva de humanos é proibida na maioria dos países.

É importante lembrar que um clone é um ser vivo com genoma idêntico ao do organismo do qual ele foi clonado. Isso não quer dizer, necessariamente, que eles são organismos idênticos. A influência ambiental no fenótipo de um clone – como, por exemplo, o tipo de alimentação que ele possui – pode torná-lo diferente do organismo clonado. Após a clonagem também podem ocorrer alteações no material genético tanto do clone como do organismo clonado, diferenciando-os.

Não escreva no livro.

BIOLOGIA SE DISCUTE

Clonagem reprodutiva

Há cerca de 20 anos, um marco biotecnológico foi atingido: a geração de uma ovelha por meio de uma técnica de clonagem, ou seja, a produção de um indivíduo igual a outro preexistente pela substituição do material nuclear. O processo em si não era novidade: foi proposto teoricamente em 1938, e o primeiro experimento com sucesso havia sido realizado em 1952, quando os pesquisadores Robert Briggs (1911-1983) e Thomas J. King (1921-2000) obtiveram os primeiros clones de rãs, por substituição de núcleos celulares. Durante muitos anos isso foi testado em diferentes espécies animais.

Mas a ovelha Dolly, fruto dos trabalhos do embriologista britânico Ian Wilmut (1944-) e seus colaboradores, representou uma grande novidade por ter sido o primeiro mamífero gerado por clonagem reprodutiva. Eles realizaram a substituição do núcleo de um ovócito de uma ovelha pelo núcleo de uma célula mamária proveniente de outra ovelha adulta, obtendo o nascimento da ovelha Dolly. Embora pareça simples, o processo é, na prática, muito difícil e delicado. Dolly nasceu após testes com 834 núcleos de células, 276 tentativas de clonagem e 156 óvulos efetivamente implantados.

Os resultados desses experimentos foram divulgados na revista britânica *Nature* em 1997. Desde então, muitas questões éticas a respeito do processo de clonagem têm sido levantadas, especialmente diante da possibilidade de expandir os experimentos para clonagem humana. Problemas pulmonares e de artrite – característicos de ovelhas mais velhas, mas que acometeram Dolly em seus últimos meses de vida, quando ainda era bastante jovem – levantaram novas questões na discussão sobre os processos de clonagem. Desde então, outras técnicas vêm sendo desenvolvidas, mas as questões éticas centrais permanecem: A clonagem de humanos deveria ser legal? Com quais finalidades? Quem deveria ou poderia ser clonado? O que fazer com clones que possam nascer defeituosos?



Najlah Feanny/Corbis/Fotoarena

Ovelha Dolly, primeiro mamífero que nasceu a partir da técnica de clonagem reprodutiva, e Ian Wilmut, cientista responsável pelo experimento que a originou. Escócia, 1997.

1. Qual sua opinião sobre a clonagem reprodutiva em humanos? De que forma você responderia às perguntas acima?

Terapia gênica

Após localizar um gene envolvido na expressão de uma doença genética, é possível estudar sua sequência de nucleotídios e seu produto proteico. Com a compreensão dos mecanismos genéticos e moleculares de uma doença, pode ser possível desenvolver a **terapia gênica**.

Esse tipo de terapia utiliza a tecnologia do DNA recombinante para alterar o genoma do indivíduo que se pretende curar. O objetivo é reparar as deficiências de um gene (ou de um grupo de genes) afetado ou até mesmo inibir a expressão de certos genes nas células-alvo. Para isso, a terapia gênica pode envolver:

- a substituição de um gene não funcional por uma cópia funcional;
- a deleção de um gene não funcional;
- a introdução de uma cópia gênica normal sem modificação do gene original;
- a adição de um gene ausente no genoma.

Em comparação com a criação de OGMs, que pode ser feita com óvulos fertilizados, uma grande dificuldade de implementar a terapia gênica é inserir o gene desejado em um grande conjunto de células de um indivíduo já desenvolvido.

Vetores de DNA

O transporte de genes às células somáticas é feito por meio de vetores, que funcionam como veículos carregadores de genes para o interior das células (imagem abaixo). Em geral, esses vetores são de natureza biológica, como os vírus e as bactérias.

O tratamento de doenças humanas por meio da transferência de genes foi originalmente direcionado para doenças hereditárias, como é o caso das hemofilias e hemoglobinopatias (problemas nas hemoglobinas). Atualmente, a maioria dos experimentos clínicos de terapia gênica em curso está direcionada para o tratamento de doenças adquiridas, como é o caso da aids, de doenças cardiovasculares e de diversos tipos de câncer.

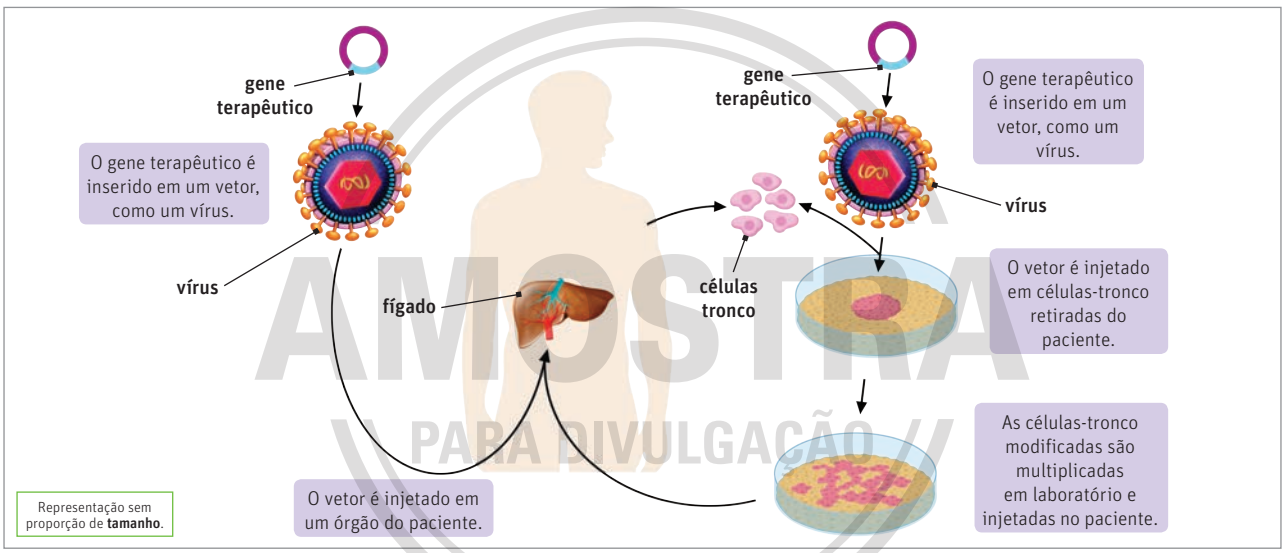
Embora as pesquisas para desenvolvimento de terapias gênicas venham se intensificando, essa é uma área nova do conhecimento, e ainda enfrenta importantes obstáculos: além da dificuldade de inserir o novo fragmento de DNA em muitas células, há o fato de que muitas enfermidades não são decorrentes de problemas em um único gene.

ATIVIDADES

3. Considerando as informações do texto ao lado, indique dois riscos que precisam ser minimizados antes de se aplicar a terapia gênica em um paciente.

Fonte de pesquisa: National Institutes of Health, Estados Unidos. Disponível em: <http://stemcells.nih.gov/StaticResources/info/scireport/images/figure111.jpg>. Acesso em: 28 abr. 2016.

Esquema representativo de dois tipos possíveis de terapia gênica. Cores-fantasia.



Vagner Coelho/D/BR

AMOSTRA PARA DIVULGAÇÃO

BIOLOGIA SE DISCUTE

Doping genético

Utilizando-se técnicas de terapia gênica é possível também promover o *doping* genético. O termo foi cunhado pela Agência Mundial Antidoping (World Anti-Doping Agency – WADA) em 2003, e se refere à utilização não terapêutica de genes, elementos genéticos, elementos de modulação da expressão gênica e/ou de células para melhoria do desempenho esportivo.

Especificamente para o esporte, a terapia gênica oferece um caminho promissor na recuperação de tendões, cartilagens e músculos esqueléticos, cuja lesão é frequente em práticas esportivas diversas. Isso poderia ser feito, por exemplo, pela produção aumentada de fatores de crescimento que estimulem a cicatrização. Diferentemente do objetivo da terapia gênica, que consiste em alterar genes ou elementos genéticos com objetivo de cura, o *doping* genético tem a intenção de melhorar o desempenho esportivo em detrimento da ética esportiva.

Há muitos genes que, se modificados, podem levar ao aumento do desempenho esportivo. Um dos mais estudados é o EPO, que leva à produção do hormônio proteico eritropoietina. A eritropoietina é o principal regulador da produção de glóbulos vermelhos. Com seu aumento, eleva-se o número de glóbulos vermelhos (também chamados de hemácias ou eritrócitos) no sangue e a produção de hemoglobina, molécula transportadora de gás oxigênio. Dessa forma, uma alteração no gene EPO pode levar a um aumento na produção de eritropoietina no organismo e, consequentemente, aumentar sua capacidade de transporte de gás oxigênio, levando a melhor desempenho em atividades esportivas de longa duração.

Estabelecer o limite entre os benefícios promovidos por uma técnica e seus possíveis usos antiéticos é o desafio de qualquer produto tecnológico. No caso da terapia gênica, esses desafios estão só começando.

Não escreva no livro.

Superbebês para todos

[...] A humanidade está prestes a modificar para sempre o patrimônio genético que a trouxe até aqui. O passo enorme pode até demorar, se vingar uma proposta de moratória, mas será dado. Mais dia, menos dia.

A tecnologia já existe e se chama CRISPR. [Ela] permite alterar os genes de células de maneira precisa, ou seja, cortar, colar, inserir e deletar letras ou vocábulos inteiros do código genético de organismos vivos.

Nada impede que isso seja feito com óvulos, espermatozoides ou embriões. Estas alterações da chamada linha germinativa, se bem-sucedidas, seriam então transmitidas pelo indivíduo geneticamente modificado para seus descendentes.

Não, contudo, se depender de Edward Lanphier. Ele e quatro colegas lançaram [...], no periódico científico *Nature*, um manifesto pelo adiamento dessas pesquisas e por mais discussão sobre implicações éticas e legais.

Os temores são de que geneticistas não se limitem a fazer modificações de DNA só para curar ou evitar doenças genéticas como fibrose cística ou coreia de Huntington. Estaria aberto o caminho para a chamada eugenia positiva, vale dizer, para a escolha de características como cor dos olhos, inteligência, estatura etc.

O fato de isso não ser hoje exequível não quer dizer grande coisa. Há um século não se sabia como fazer bebês de proveta, e há meio século ninguém tinha ferramentas para manipular DNA. Mas chegamos lá. Os superbebês, "*designer babies*", são uma possibilidade real.

Lanphier e cia. receiam que a previsível reação negativa da opinião pública acabe por banir alterações genéticas também do arsenal biotecnológico já mobilizado, ainda em escala experimental, para atacar moléstias em indivíduos adultos. Hemofilia, anemia falciforme e alguns cânceres estão na mira.

Lanphier preside a empresa californiana Sangamo Biosciences, que desenvolve uma técnica para editar o DNA de células do sangue de adultos com aids e municiá-las no combate ao HIV. Seu objetivo, portanto, é também comercial: manter ao largo de regulamentações restritivas o próprio campo de pesquisa.

Ele e seus colegas não estão sozinhos. Em torno de 40 países baniram ou ergueram barreiras contra a modificação da linhagem germinativa. Na Europa, 15 de 22 países a proíbem. Nos EUA não há lei contra, mas os Institutos Nacionais de Saúde (NIH) não financiam estudos nessa seara.

[...]

A sugestão de moratória tem um precedente célebre, a Conferência de Asilomar, em fevereiro de 1975. Menos de dois anos antes, a descoberta de técnicas para misturar genes de bactérias e vírus semeara dúvidas sobre a segurança biológica dos experimentos. Temia-se que surgissem supergermes e que eles escapassem para o ambiente.

Sob a liderança de Maxine Singer e Paul Berg (Nobel de Química em 1980), as pesquisas com DNA recombinante foram suspensas até que se chegasse a um consenso sobre medidas de precaução nos laboratórios de engenharia genética. Surgia o alicerce de boas práticas que sustenta a pesquisa até hoje.

Supondo que as questões da segurança e da eficiência (só 20% a 40% das células submetidas à CRISPR terminam de fato modificadas) sejam resolvidas, resta a da equidade. Quem vai poder pagar para escolher os genes dos filhos?

[...]



Pascal Goetgheluck/SPL/Latinstock

Manipulação de embrião humano. No início do desenvolvimento embrionário, quando o organismo é composto de poucas células, é mais fácil aplicar técnicas de engenharia genética.

Leite, Marcelo. Superbebês para todos. *Folha de S.Paulo*, 16 mar. 2015. Disponível em: <http://www1.folha.uol.com.br/colunas/marceloleite/2015/03/1603277-superbebes-para-todos.shtml>. Acesso em: 13 abr. 2016.

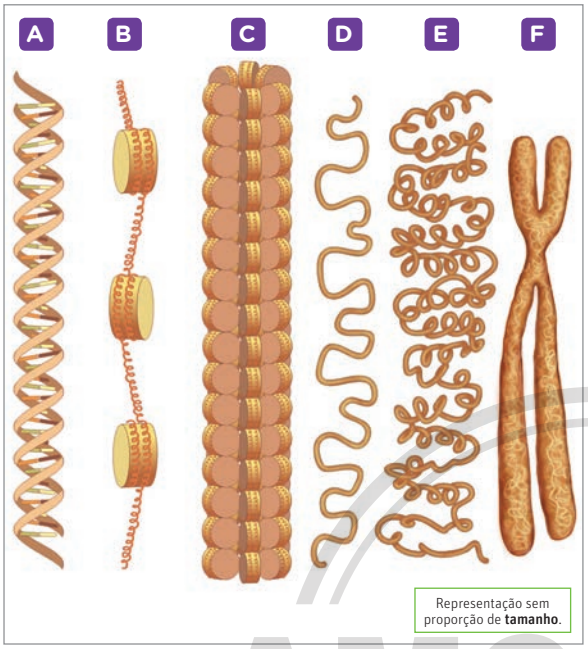
AMOSTRA PARA DIVULGAÇÃO

PARA DISCUTIR

1. O que significa dizer que Lanphier e seus colaboradores querem dar uma moratória no desenvolvimento de tecnologia para manipulação genética?
2. Você acha aceitável ou correto que os genitores possam escolher as características do filho, como cor dos olhos, estatura e outras? Que consequências esse tipo de escolha pode gerar?
3. Atualmente, diversas aplicações biotecnológicas estão sendo desenvolvidas e geram possibilidades de cura de doenças e melhoria de qualidade de vida. Porém, elas tendem a ser extremamente caras, o que disponibilizaria suas aplicações apenas a uma pequena parcela da população. Como é possível garantir o acesso a essas aplicações para o maior número possível de pessoas?

Não escreva no livro.

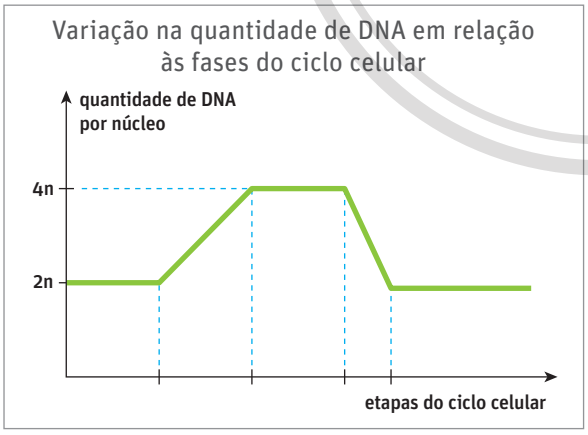
1. No desenho a seguir, reconheça em qual das estruturas a cromatina está mais condensada. Justifique sua resposta.



Petra Elster/ID/BR

Esquema mostrando diferentes graus de condensação da molécula de DNA. Cores-fantasia.

2. Observe o gráfico abaixo, que mostra a variação da quantidade de DNA em relação às fases do ciclo celular, e responda às questões a seguir.



Adilson Secco/ID/BR

a) Qual tipo de divisão celular está ocorrendo? Explique.

b) Descreva a variação da quantidade de DNA durante o ciclo celular.

3. Sabendo que as quatro bases nitrogenadas (A, T, C e G) estão presentes no DNA de todos os seres vivos, como se podem explicar as diferenças entre as proteínas codificadas pelo DNA de cada um dos seres vivos existentes?

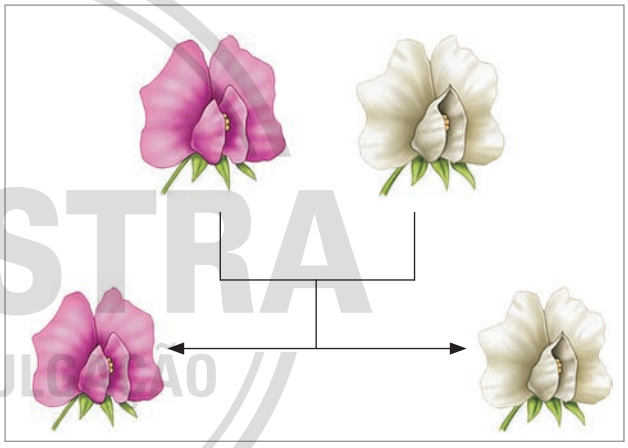
4. Ao cruzar uma planta de ervilha de flores púrpura com outra de flores brancas, um pesquisador obteve uma F_1 formada apenas por plantas de flores púrpura. A F_2 era composta de plantas de flores púrpura e outras de flores brancas na proporção de 3 : 1.

a) Represente, com letras, os dois alelos do gene que controla a cor em flores de ervilha.

b) Qual dos dois alelos é o dominante? Justifique.

c) Represente os cruzamentos descritos.

5. Na F_2 do cruzamento do exercício anterior, as flores púrpuras podem ser tanto homozigotas quanto heterozigotas. O pesquisador selecionou uma delas ao acaso e, para deduzir seu genótipo, realizou um cruzamento-teste entre essa planta e outra, de flores brancas, homozigota recessiva. A ilustração a seguir mostra o resultado desse cruzamento.



Reinaldo Vignati/ID/BR

a) A planta de flores púrpura da F_2 escolhida era homozigota ou heterozigota? Por quê?

b) Como teria sido a descendência, caso contrário?

6. Em um cruzamento entre um camundongo preto e outro branco, todos os indivíduos da geração F_1 nasceram pretos. A geração F_2 é formada, aproximadamente, por $\frac{3}{4}$ de camundongos pretos para $\frac{1}{4}$ de camundongos brancos.

a) Faça um esquema dos cruzamentos descritos indicando os genótipos e os fenótipos.

b) Se ocorrer um cruzamento entre camundongos brancos da F_2, qual será o fenótipo dos descendentes?

7. Um pesquisador realizou diversos cruzamentos diferentes entre indivíduos da mesma espécie e obteve os seguintes resultados:

Cruzamento 1

Realizado entre drosófilas heterozigotas para determinada característica dominante. O resul-

AMOSTRA PARA DIVULGAÇÃO

tado mostrou que cerca de 75,5% do total de descendentes apresentaram a característica fenotípica condicionada pelo alelo dominante, enquanto 24,5% apresentaram a característica fenotípica condicionada pelo alelo recessivo.

Cruzamento 2

Realizado entre uma mosca macho heterozigota para determinada característica dominante e uma fêmea homozigota recessiva. A prole apresentou o fenótipo recessivo e o dominante na proporção 1 : 1.

Os resultados obtidos aplicam-se ao esperado pela primeira lei de Mendel? Justifique sua resposta.

8. Em uma de suas experiências, Mendel cruzou duas plantas de ervilha, ambas de linhagens puras para a forma das vagens. Uma tinha vagens lisas, e a outra, vagens onduladas. Obteve em F_1 apenas vagens lisas e, ao permitir a autofecundação, obteve uma geração F_2 formada por 882 plantas com vagens lisas e 299 com vagens onduladas.

a) Como proceder para comprovar se uma planta de ervilha com vagens lisas é uma linhagem pura para esse caráter?

b) Por que todas as plantas de F_1 têm vagens lisas?

c) Qual é a proporção dos dois tipos obtidos em F_2?

d) As plantas de vagens lisas da geração P e aquelas da geração F_1 têm o mesmo fenótipo, mas diferentes genótipos. Você concorda com essa afirmação? Justifique.

9. Transcreva para o caderno os quadros de Punnett a seguir e complete-os com os símbolos dos alelos que estão faltando.

♂ \ ♀		a
A		
a	Aa	aa

♂ \ ♀		b
B	Bb	Bb
		bb

♂ \ ♀		a
A	Aa	
A	Aa	Aa

10. Suponha que o avô paterno de um menino apresente uma anomalia condicionada por um alelo dominante, e que ela não esteja presente na família materna. Sabendo que o avô é homozigoto para essa anomalia, construa um heredograma e identifique quais indivíduos apresentam a doença. Em seguida, calcule a probabilidade de o menino apresentar a doença.

11. Na espécie humana, a fenilcetonúria é uma doença que se manifesta com o alelo recessivo de um gene em homozigose. Sabendo disso, considere três casais com os seguintes genótipos: **Aa** × **Aa** (casal 1); **AA** × **Aa** (casal 2); e **Aa** × **aa** (casal 3).

Calcule a probabilidade de cada casal ter os seguintes descendentes, independentemente do sexo.

a) Um filho portador de fenilcetonúria (**aa**).

b) Dois filhos portadores de fenilcetonúria.

c) Três filhos portadores dessa doença.

12. Observe a tabela abaixo com os resultados de três cruzamentos de plantas de feijão, altas e baixas, e responda às questões a seguir.

Cruzamento	Descendência
I. Alta × alta	640 altas, 220 baixas
II. Alta × baixa	714 altas, 698 baixas
III. Alta × baixa	Todas altas

a) Qual é o caráter dominante? Como você chegou a essa conclusão?

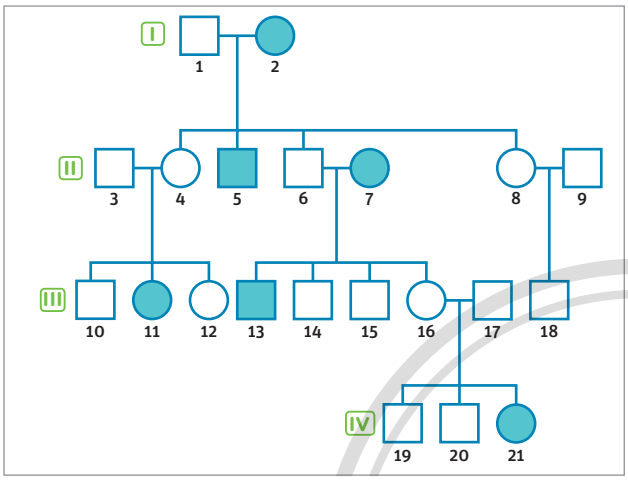
b) Em seu caderno, construa uma tabela com o número do cruzamento, o fenótipo das plantas cruzadas, o fenótipo da descendência e a quantidade de indivíduos obtidos, o genótipo das plantas cruzadas e o genótipo da descendência.

13. Um homem que não apresenta albinismo casou-se pela primeira vez com uma mulher que também não apresenta a condição e tiveram sete filhos, todos com pigmentação normal. Com a segunda mulher, também com pigmentação normal, esse homem teve três filhos, sendo dois com pigmentação normal e um albino. Qual é o possível genótipo do pai, das duas mulheres e de todos os filhos?

14. Na espécie humana, o daltonismo verde-vermelho é uma condição decorrente de um alelo recessivo ligado ao X. Igor é daltônico e está interessado em saber qual é a probabilidade de ter um filho com a mesma condição. Ele está casado com Tina, cuja mãe é daltônica. Qual é a probabilidade de esse casal ter um filho com daltonismo?

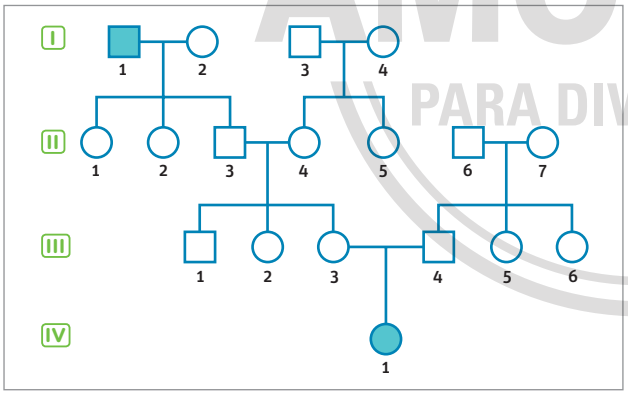
AMOSTRA PARA DIVULGAÇÃO

15. No heredograma a seguir estão representados indivíduos de uma família de portadores de determinada característica. O alelo que condiciona o caráter herdado é dominante ou recessivo? Justifique sua resposta. A partir dessa conclusão, escreva no caderno os possíveis genótipos dos indivíduos do heredograma.



Reinaldo Vignati/ID/BR

16. Observe o heredograma abaixo e responda às questões a seguir.



Reinaldo Vignati/ID/BR

a) Qual o tipo de herança da característica representada no heredograma?

b) Qual o grau de parentesco do indivíduo 1 da quarta geração com o indivíduo 1 da primeira geração?

c) Sabendo que as mulheres I-2 e II-4 são homozigotas para a característica, é correto afirmar que o indivíduo IV-1 herdou a característica de seu bisavô materno? O que se pode afirmar em relação à família paterna?

17. A cor da pelagem dos coelhos é condicionada por um gene com quatro alelos, cuja relação de dominância pode ser expressa da seguinte forma: **C** > $\mathbf{C^{ch}}$ > $\mathbf{C^{h}}$ > **c**. Sabe-se ainda que o alelo **C** condiciona a pelagem aguti; o alelo $\mathbf{C^{ch}}$, a pelagem chinchila; o alelo $\mathbf{C^{h}}$, a pelagem himalaia; e o alelo **c** condiciona a pelagem albina. Com base nisso, considere os seguintes casais de coelhos:

$\mathbf{CC^{ch} \times C^{ch}C^{ch}}$;

$\mathbf{C^{h}c \times cc}$;

$\mathbf{C^{h}c \times Cc}$.

Calcule a probabilidade de cada casal ter descendentes com pelagem:

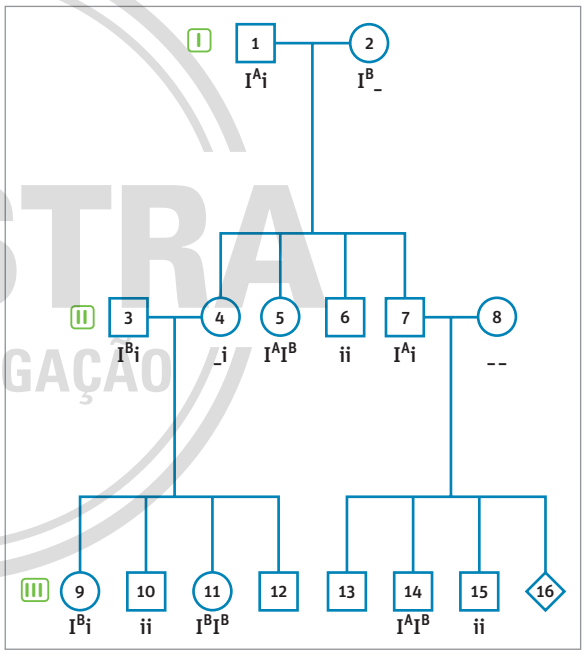
a) aguti;

b) chinchila;

c) himalaia;

d) albina.

18. Considere o heredograma a seguir, que representa a genealogia de uma família, referente aos genótipos do sistema ABO.



Reinaldo Vignati/ID/BR

a) Complete, no caderno, os alelos que estão faltando para os indivíduos 2, 4 e 8.

b) Qual é a probabilidade de o indivíduo 12 ser do grupo B?

c) Qual é a probabilidade de o indivíduo 16 ser do grupo O?

d) Se o indivíduo 14 tiver uma companheira com o mesmo genótipo, qual é a probabilidade de o casal ter um filho do grupo A?

e) Independentemente do genótipo da possível companheira do indivíduo 14, qual é a probabilidade de o casal ter um filho do grupo O? Justifique.

19. Há mais de quarenta anos, quando não existia o teste de DNA, o casal 1 foi à justiça argumentando que a criança entregue a eles era, na verdade, do casal

AMOSTRA PARA DIVULGAÇÃO

2, que também havia tido uma criança na mesma maternidade e na mesma data. O casal 1, que já tinha outro filho do grupo O, alegava que as crianças haviam sido trocadas. Para resolver essa questão, o juiz que cuidava do caso solicitou exames de tipagem sanguínea dos dois casais e das duas crianças. Os resultados foram os seguintes:

Casal 1		Criança com o casal 1	
genótipo	fenótipo	genótipo	fenótipo
I^A__	Grupo A	|||||||||||||||	Grupo AB
I^B__	Grupo B		

Casal 2		Criança com o casal 2	
genótipo	fenótipo	genótipo	fenótipo
|||||||||||||||	Grupo O	|||||||||||||||	Grupo O
I^A__	Grupo A		

Com base nos resultados e as informações que estão faltando, o casal 1 estaria correto ao desconfiar que as crianças foram trocadas? Se você fosse o juiz, qual decisão tomaria? Justifique.

20. Num banco de sangue, os tipos sanguíneos B^+, A^+ e O^+ estão em falta. Os únicos tipos sanguíneos disponíveis para transfusão são: AB^+, AB^-, B^-, O^- e A^-. Há cinco pacientes internados num hospital que estão precisando urgentemente de sangue. Considerando que dois deles são do tipo A^+, um do grupo O^+ e dois do grupo B^+, quais tipos sanguíneos devem ser aplicados nos pacientes dos três tipos de sangue, mesmo não sendo de tipo idêntico, de maneira que não haja incompatibilidade? Justifique sua resposta.

21. Uma série de cinco alelos múltiplos condiciona a cor dos olhos compostos das abelhas. A relação de dominância entre eles é a seguinte:

marrom > pérola > neve > creme > amarelo

Uma rainha de olho marrom, heterozigota para pérola, produziu 800 ovos, dos quais 60% foram inseminados artificialmente por espermatozoides com os cinco alelos em proporções iguais. Lembre-se de que, em abelhas, ocorre partenogênese, ou seja, óvulos não fertilizados se desenvolvem originando machos haploides, os zangões. Ovos fertilizados sempre dão origem à fêmea.

Supondo que todos os descendentes sobreviveram, determine o número esperado de machos e de fêmeas. Entre os machos, quantos terão olhos cor pérola?

22. O gene *a* inibe a expressão do gene *b*. Justifique se as informações abaixo estão ou não corretas.

a) Alelos **A** e **B** estão no mesmo *locus*.

b) Alelos **A** e **B** estão em *loci* diferentes.

c) Os genes *a* e *b* estão sempre situados no mesmo cromossomo.

d) Os genes *a* e *b* podem estar situados em cromossomos diferentes e homólogos.

e) Os genes *a* e *b* podem estar situados em cromossomos diferentes e não homólogos.

23. Na flor da planta campânula ocorre complementação gênica na definição de sua cor. A cor azul das pétalas é o fenótipo mais frequente, e a cor branca é o fenótipo mutante. Os genótipos que condicionam cor azul são **A_B_**.



TPG/AGB

Flores de campânula. A planta atinge até 1 m de altura.

a) Quais são os possíveis genótipos de uma planta de flor branca?

b) Qual é a proporção fenotípica obtida a partir do cruzamento entre indivíduos **AaBB** e **aaBB**?

24. Em melancia, o alelo que condiciona fruto amargo (**B**) é dominante em relação ao alelo que condiciona fruto doce (**b**), e o alelo que condiciona manchas amarelas (**S**) é dominante em relação ao alelo que condiciona a ausência de manchas (**s**). Os genes para essas duas características têm segregação independente. Uma planta com genes em homozigose para frutos amargos e para manchas amarelas é cruzada com uma planta com genes em homozigose para frutos doces e sem manchas. A F_1 é intercruzada para produzir a F_2.

a) Quais as proporções fenotípicas na F_2?

b) Se uma planta de F_1 for cruzada com uma planta com genes em homozigose para frutos amargos e para manchas amarelas, que fenótipos e proporções são esperados na prole?

c) Se uma planta de F_1 é cruzada com um genitor doce sem manchas, que fenótipos e proporções são esperados na prole?

AMOSTRA DIVULGAÇÃO

25. Em galinhas, a forma da crista é condicionada por alelos em dois *loci* (*r* e *e*). Uma crista em noz é produzida quando pelo menos um alelo dominante **R** está presente em um *locus* e pelo menos um alelo dominante **E** está presente no segundo *locus* (genótipo **R_E_**). Uma crista rosa é produzida quando pelo menos um alelo dominante está presente no primeiro *locus* e dois alelos recessivos estão presentes no segundo *locus* (genótipo **R_ee**). A crista ervilha ocorre se houver no genótipo ao menos um gene dominante no segundo *locus* (**rrE_**). Se dois alelos recessivos estão presentes no primeiro e no segundo *locus* (**rree**), é produzida uma crista simples. Uma prole com que tipos de cristas e em que proporções resultará dos seguintes cruzamentos?

a) **RREE** × **rree**
b) **RrEe** × **rree**
c) **RrEe** × **RrEe**
d) **Rree** × **Rree**
e) **Rree** × **rrEe**
f) **Rree** × **rree**

26. Em uma espécie de ervilha diferente da estudada por Mendel, algumas plantas têm flores púrpura e outras têm flores brancas. Uma variedade homozigota de ervilhas de flores púrpura é cruzada com uma variedade homozigota de flores brancas. Toda a F_1 tem flores púrpura. Quando essas plantas da F_1 são autofertilizadas, a F_2 aparece em uma proporção de $\frac{9}{16}$ com flor púrpura para $\frac{7}{16}$ com flor branca.



Patti-Murray/AGE/AGB

Planta de ervilha de flor branca.



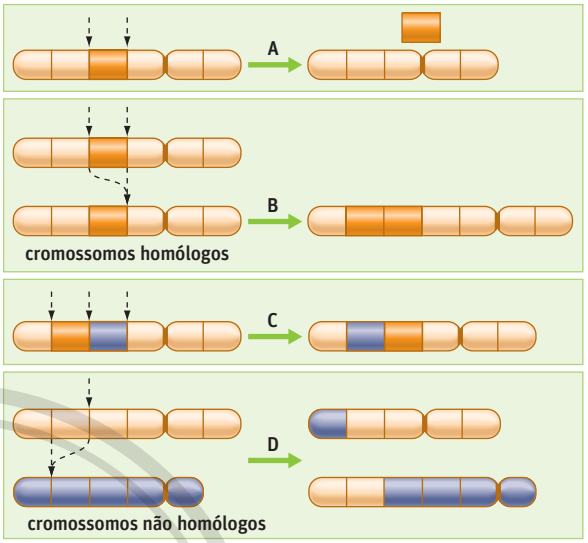
Andrea Jones/Alamy/Other Images

Planta de ervilha de flor púrpura.

a) Cite os genótipos para flores púrpura e brancas nesses cruzamentos.
b) Desenhe uma via bioquímica hipotética para explicar a produção de flores púrpura e brancas nessas ervilhas.

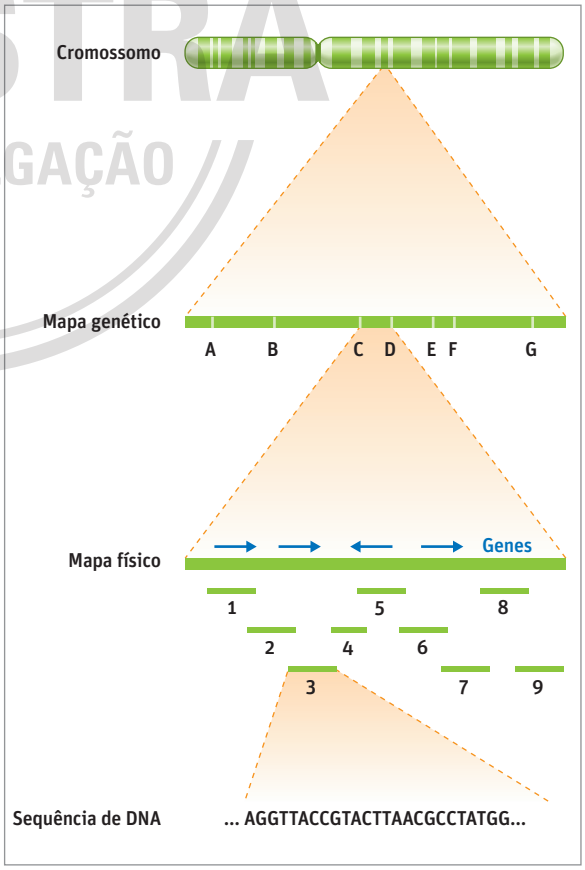
27. Um estudante recebeu a função de organizar um mapa genético indicando a localização dos genes *A*, *B*, *C* e *D* a partir das seguintes informações: não há permutação entre os genes *A* e *B*; a frequência de recombinação entre os genes *A* e *C* é de 33%; a frequência de recombinação entre os genes *A* e *D* é de 28%; a frequência de recombinação entre os genes *C* e *D* é de 5%. Qual é a provável posição desses genes no cromossomo?

28. Observe os esquemas a seguir de anomalias cromossômicas estruturais e indique qual alteração ocorreu em cada uma das sequências.



Adilson Secco/ID/BR

29. Observe a ilustração a seguir e elabore uma legenda explicativa para ela.

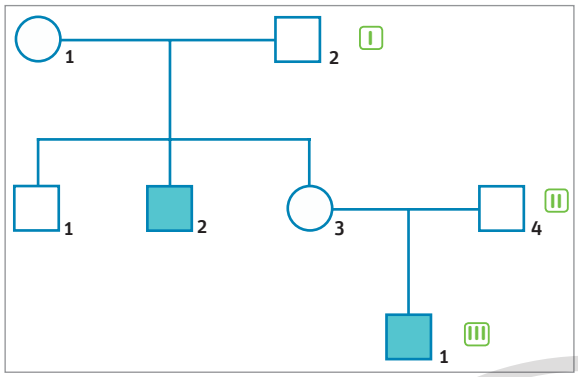


Adilson Secco/ID/BR

30. Por que a frequência de mulheres hemofílicas é muito baixa na população mundial?

AMOSTRA PARA DIVULGAÇÃO

31. No heredograma abaixo, os indivíduos em destaque são afetados por uma doença determinada por um alelo recessivo ligado ao X. No caderno, indique os genótipos de todas as pessoas dessa família.



Reinaldo Vignati/ID/BR

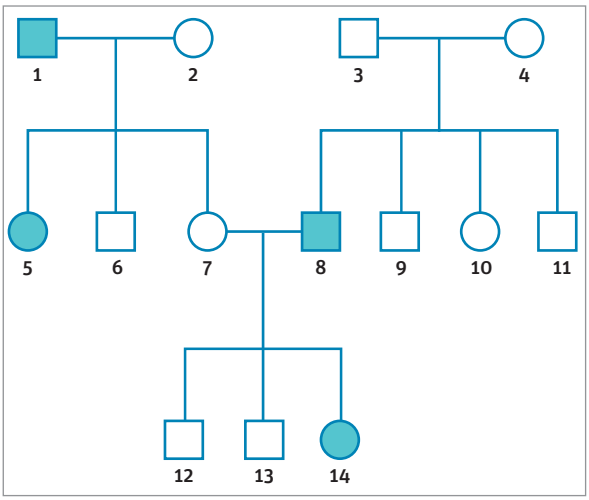
32. Sabe-se que a hemofilia é uma doença genética recessiva ligada ao cromossomo X e que produz defeitos na coagulação sanguínea. A fibrose cística, que gera secreções anormais nas glândulas exócrinas, também é uma doença genética recessiva, cujo gene, porém, está ligado a um autossomo. Um casal fenotipicamente normal para ambas as características tem vários filhos, dos quais um filho homem apresenta as duas enfermidades. A partir dessas informações, responda às questões a seguir.

a) Quais são os genótipos do casal?

b) Qual é a proporção esperada de filhos hemofílicos que não sofram da fibrose cística?

c) Alguma filha desse casal poderia ser hemofílica?

33. Nos homens, a calvície é condicionada por um gene dominante, e nas mulheres esse gene comporta-se como recessivo. No heredograma a seguir, os símbolos cheios indicam indivíduos afetados pela calvície, e os símbolos vazios representam indivíduos fenotipicamente normais. A partir da análise do heredograma, responda às questões a seguir.



Reinaldo Vignati/ID/BR

a) Quais são os possíveis genótipos dos indivíduos?

b) Qual é a probabilidade de a mulher 10 não ser portadora do gene para calvície?

34. Os frutos, verduras, cereais e carnes da alimentação humana são, em sua ampla maioria, variedades que sofreram intervenção humana. Qual o tipo de intervenção a que a maioria desses alimentos foi submetida?

35. Leia o texto a seguir e responda às questões.

[...]

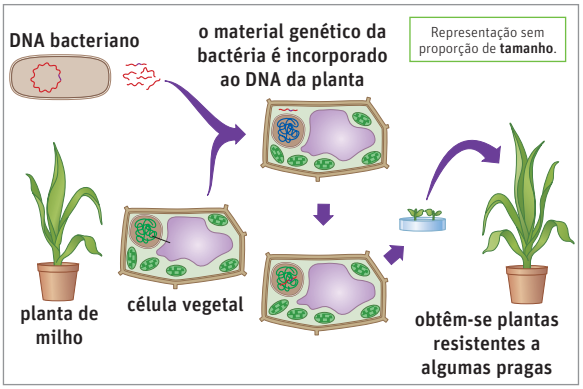
Decidir se as plantas transgênicas são boas ou ruins não é simples. Em primeiro lugar, não há uma resposta definitiva. Dados e resultados às vezes conflitantes são também apresentados pelos diferentes grupos de pessoas, entre cientistas, ambientalistas, representantes de multinacionais pró-transgênicos, representantes de multinacionais de sementes convencionais, religiosos, produtores, parlamentares etc. Em um mesmo grupo também há divergências, como é o caso dos cientistas que podem ter pontos de vista variados sobre a questão. Há, por exemplo, muitas dúvidas quanto ao impacto dos transgênicos na saúde e no meio ambiente. Pesquisas isoladas já demonstraram tanto benefícios quanto malefícios de determinados tipos de transgênicos para a saúde e para o meio ambiente. No entanto, nenhuma dessas pesquisas foi conclusiva para os transgênicos como um todo. Para alguns, a ausência de evidências é o bastante para provar que os transgênicos não trazem risco algum. Para outros não. [...]

MASSARANI, L.; NATERCIA, F. *Transgênicos em debate*. Rio de Janeiro: Museu da Vida-Casa de Oswaldo Cruz-Fiocruz, 2007. p. 27. Disponível em: <http://www.museudavida.fiocruz.br/media/Transgenicos_adultos.pdf>. Acesso em: 7 abr. 2016.

a) Quais os argumentos usados no texto que apoiam a afirmação "não há uma resposta definitiva"?

b) Em que grupo você se insere: entre aqueles para quem a ausência de evidências é suficiente para garantir que os transgênicos são seguros, ou entre os que exigem a comprovação de que eles são totalmente seguros? Justifique.

36. A imagem a seguir representa um processo bastante utilizado em biotecnologia. Que processo é esse?



Reinaldo Vignati/ID/BR

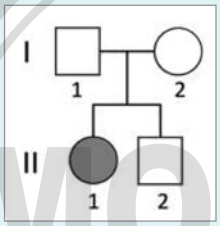
AMOSTRA PARA DIVULGAÇÃO

1. **(Enem)** A cariotipagem é um método que analisa células de um indivíduo para determinar seu padrão cromossômico. Essa técnica consiste na montagem fotográfica, em sequência, dos pares de cromossomos e permite identificar um indivíduo normal (46, XX ou 46, XY) ou com alguma alteração cromossômica. A investigação do cariótipo de uma criança do sexo masculino com alterações morfológicas e comprometimento cognitivo verificou que ela apresentava fórmula cariotípica 47, XY, +18.

A alteração cromossômica da criança pode ser classificada como

a) estrutural, do tipo deleção.
b) numérica, do tipo euploidia.
c) numérica, do tipo poliploidia.
d) estrutural, do tipo duplicação.
e) numérica, do tipo aneuploidia.

2. **(Fuvest)** No heredograma ao lado, a menina II1 tem uma doença determinada pela homozigose quanto a um alelo mutante de gene localizado num autossomo. A probabilidade de que seu irmão II2, clinicamente normal, possua esse alelo mutante é:



Fuvest, 2016. Fac-símile: ID/BR

a) 0
b) 1/4
c) 1/3
d) 1/2
e) 2/3

3. **(UFRN)** O primeiro relato da ocorrência da Síndrome de Spoan foi feito em Serrinha dos Pintos, município no interior do Rio Grande do Norte.

Estima-se que 10% da população desse município possua o gene causador da síndrome, que se manifesta por atrofia do sistema nervoso e paralisia. A síndrome é determinada por um alelo autossômico recessivo e as chances de ela ocorrer é favorecida através de descendentes de casais consanguíneos.

Disponível em: <www.wikipedia.com.br.>. Acesso em: 12 jul. 2011.

Suponhamos que um casal de primos, natural de Serrinha dos Pintos, aguarde o nascimento do seu primeiro filho. Embora não apresentem a Síndrome de Spoan, o casal gostaria de saber a probabilidade de esse filho vir a apresentá-la, ou de ser saudável, mas portador do gene para esse tipo de síndrome.

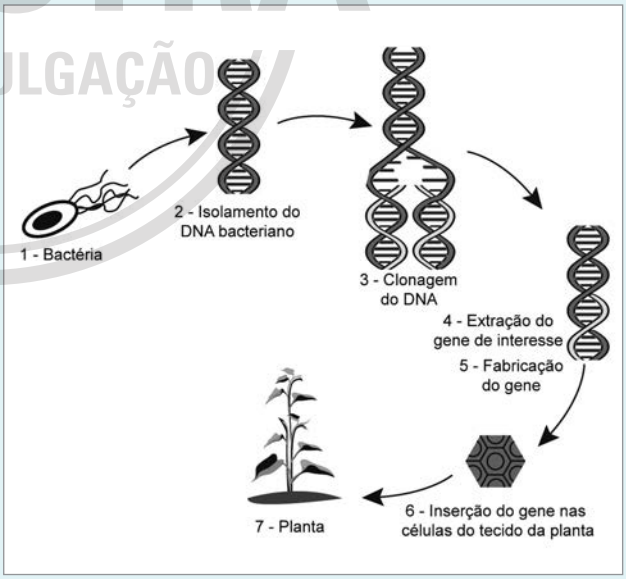
Os princípios básicos que regem a transmissão de características hereditárias indicam que o filho desse casal tem:

a) 75% de probabilidade de apresentar a síndrome, se ambos os pais forem heterozigotos.
b) 25% de probabilidade de apresentar a síndrome, se apenas um dos pais possuir um alelo recessivo.
c) 50% de chance de ser saudável, mas ser portador do gene, se apenas um dos pais possuir um alelo recessivo.
d) 100% de chance de ser saudável, mas portador do gene, se ambos os pais forem heterozigotos.

4. **(Ufam)** O cruzamento **AB**/**ab** × **ab**/**ab** produziu 200 descendentes. Quantos indivíduos deverão apresentar o genótipo **Ab**/**ab**, sabendo-se que a frequência de permutação é de 20%?

a) 10
b) 20
c) 40
d) 6
e) 80

5. **(Enem)** Em um laboratório de genética experimental, observou-se que determinada bactéria continha um gene que conferia resistência a pragas específicas de plantas. Em vista disso, os pesquisadores procederam de acordo com a figura.



ENEM, 2014. Fac-símile: ID/BR

Do ponto de vista biotecnológico, como a planta representada na figura é classificada?

a) clone
b) híbrida
c) mutante
d) adaptada
e) transgênica

AMOSTRA PARA DIVULGAÇÃO

6. (Enem) A fenilcetonúria é uma doença hereditária autossômica recessiva, associada à mutação do gene PAH, que limita a metabolização do aminoácido fenilalanina. Por isso, é obrigatório, por lei, que as embalagens de alimentos, como refrigerantes dietéticos, informem a presença de fenilalanina em sua composição. Uma mulher portadora de mutação para o gene PAH tem três filhos normais com um homem normal, cujo pai sofria de fenilcetonúria, devido à mesma mutação no gene PAH encontrada em um dos alelos da mulher.

Qual a probabilidade de a quarta criança gerada por esses pais apresentar fenilcetonúria?

a) 0%
b) 12,5%
c) 25%
d) 50%
e) 75%

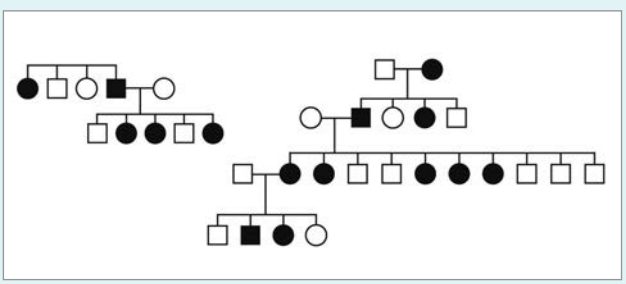
7. (Unesp)

Os indivíduos não são coisas estáveis. Eles são efêmeros. Os cromossomos também caem no esquecimento, como as mãos num jogo de cartas pouco depois de serem distribuídas. Mas as cartas, em si, sobrevivem ao embaralhamento. As cartas são os genes. Eles apenas trocam de parceiros e seguem em frente. É claro que eles seguem em frente. É essa a sua vocação. Eles são os replicadores e nós, suas máquinas de sobrevivência. Quando tivermos cumprido a nossa missão, seremos descartados. Os genes, porém, são cidadãos do tempo geológico: os genes são para sempre.

DAWKINS, Richard. *O gene egoísta*, 2008.

Considerando a reprodução sexuada, explique o que o autor do texto quis dizer ao comparar cada cromossomo, e o conjunto cromossômico de uma pessoa, às *mãos de cartas que se desfazem assim que são distribuídas*. Considerando o mecanismo de duplicação do DNA, explique a afirmação de que *os genes são para sempre*.

8. (Enem) No heredograma, os símbolos preenchidos representam pessoas portadoras de um tipo raro de doença genética. Os homens são representados pelos quadrados e as mulheres, pelos círculos.



Enem, 2014. Fac-símile: ID/BR

Qual é o padrão de herança observado para essa doença?

a) dominante autossômico, pois a doença aparece em ambos os sexos.
b) recessivo ligado ao sexo, pois não ocorre a transmissão do pai para os filhos.
c) recessivo ligado ao Y, pois a doença é transmitida dos pais heterozigotos para os filhos.
d) dominante ligado ao sexo, pois todas as filhas de homens afetados também apresentam a doença.
e) codominante autossômico, pois a doença é herdada pelos filhos de ambos os sexos, tanto do pai quanto da mãe.

Para explorar

Leia

***Roleta genética*, de Jeffrey M. Smith. São Paulo: João de Barro, 2009.**

O livro aborda a questão dos transgênicos do ponto de vista científico, revelando os resultados mais recentes das pesquisas sobre o assunto. O autor, considerado uma autoridade mundial sobre organismos geneticamente modificados, questiona também o papel das autoridades governamentais no controle e na fiscalização da comercialização desses produtos.

Navegue

Histórias da Genética no Brasil.

Uma série de entrevistas com cientistas que participaram do início das pesquisas em Genética do Brasil. Por meio dos relatos dos pesquisadores, o documentário tenta mostrar as raízes dessa ciência em nosso país e narra alguns episódios importantes desses anos iniciais. Disponível em: <http://linkte.me/a0a29>. Acesso em: 18 maio 2016.

Centro de Pesquisa sobre o Genoma Humano e Células-tronco

Na página do Centro são encontradas informações, vídeos, *links* e diversos outros materiais que abordam temas de Genética e Biologia Molecular. Também é possível conhecer linhas de pesquisa desenvolvidas no Brasil que envolvem essas áreas. Disponível em: <http://linkte-me/ak32c>. Acesso em: 11 maio 2016.

Assista

***Conspiração genética* (*The Darwin Conspiracy*). Direção: Winrich Kolbe. Produção: Paramount Pictures. Estados Unidos, 1999. 90 min.**

Na Antártida, um terremoto traz à tona o corpo de um homem pré-histórico congelado. Esse espécime revela-se, aos cientistas, geneticamente superior aos humanos atuais. As pesquisas são iniciadas e há esperanças de obter sucesso em experimentos de recuperação celular genética. O filme exemplifica como os interesses individuais podem sobrepor-se aos interesses comuns, quando grandes e revolucionárias descobertas acontecem no meio científico.

AMOSTRA
OBRA DE DIVULGAÇÃO

Projeto

Biotecnologia na mídia: exposição e análise de reportagens sobre biotecnologia

A genética é uma das ciências que fazem parte de pesquisas biotecnológicas. Muitas dessas pesquisas suscitam questões polêmicas. Por exemplo, é lícito utilizar células de embriões humanos em pesquisas científicas? É perigoso modificar o genoma de outras espécies? Seria ético criar clones de seres humanos se fosse possível?

Decisões como essas afetam a vida de todas as pessoas e por isso devem ser discutidas por diversos setores da sociedade. Além de pesquisar, também cabe aos cientistas informar ao público os riscos e os benefícios de cada nova técnica desenvolvida.

É importante que as pesquisas sobre biotecnologia sejam noticiadas nos meios de comunicação. Mas não basta apenas divulgar: também é preciso que as implicações dessas técnicas sejam compreendidas e debatidas pelo maior número possível de pessoas.

O que você vai fazer

Você e seus colegas vão montar uma exposição sobre o impacto que as descobertas da biotecnologia têm sobre a sociedade. Para isso, vocês buscarão reportagens sobre temas relacionados a esse assunto e elaborarão comentários explicativos sobre elas.

AMOSTRA PARA DIVULGAÇÃO

Preparação

A turma deve ser organizada em equipes de quatro ou cinco integrantes. Cada equipe vai pesquisar reportagens que abordem algum aspecto da biotecnologia ou alguma pesquisa em genética. O plantio e o consumo de alimentos transgênicos e a pesquisa com células-tronco embrionárias, por exemplo, são alguns assuntos frequentes nos meios de comunicação.

Busquem textos publicados em jornais, revistas ou *sites*. Cada grupo deve escolher uma reportagem diferente, e os grupos devem conversar para garantir que sejam abordados assuntos variados.

Ao escolher as reportagens, procurem selecionar aquelas que atendam aos critérios seguintes:

- O tema envolve processos biotecnológicos que são desconhecidos do público em geral.
- O tema envolve questões éticas ou legais.
- O tema é polêmico: existem argumentos favoráveis e desfavoráveis em relação a ele.

Desenvolvimento

Depois de escolher a reportagem, o grupo deve reler o texto cuidadosamente, buscando trechos que tragam informações sobre genética ou que tratem de questões éticas e polêmicas. Esses trechos podem ser destacados com uma caneta marca-texto; se preferir, tirem fotocópias ampliadas da reportagem para facilitar esse trabalho.

Análise da reportagem

Em seguida, o grupo deve analisar cada trecho da reportagem e julgar se as informações apresentadas são suficientes para que o leitor compreenda os aspectos biológicos do texto. Muitas vezes, por limitação de espaço, as reportagens trazem informações muito curtas ou resumidas.

Elaboração de comentários

Lembre-se de que as notícias de jornais, revistas e *sites* não acadêmicos são escritas para o público geral, que muitas vezes não conhece conceitos como células-tronco ou DNA. Por isso, cada grupo vai redigir explicações ou comentários que tornem a reportagem mais clara e compreensível para o público escolar.

A intenção é expor os conhecimentos científicos de maneira acessível, por isso a linguagem deve ser clara e objetiva. Mas cuidado para não distorcer as informações nem as tornar simplificadas demais.

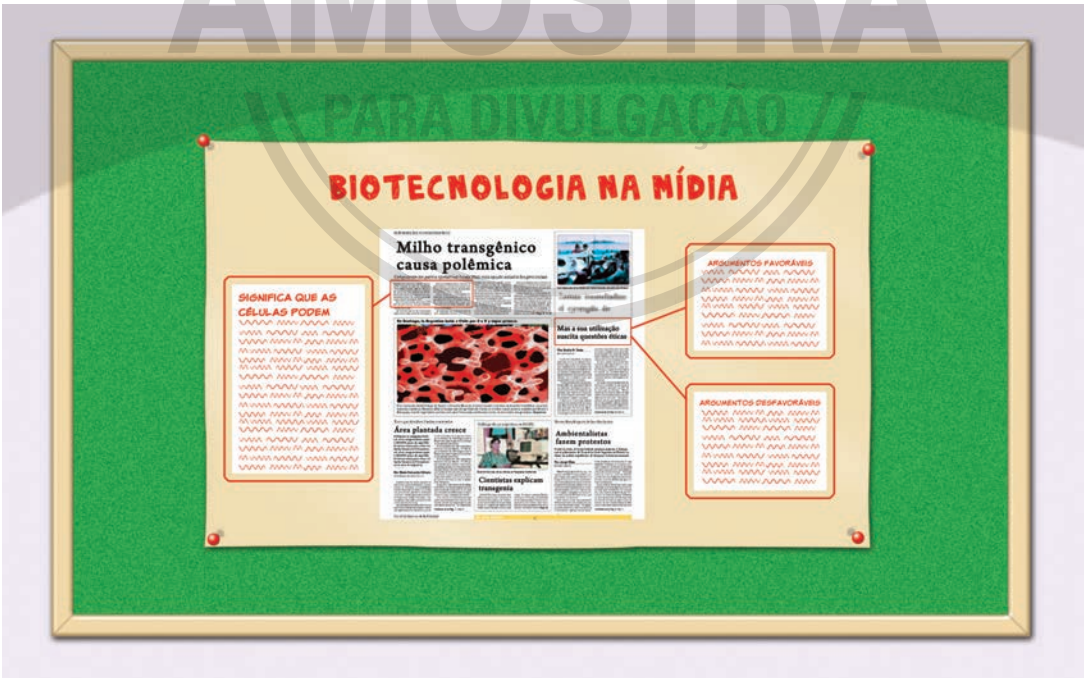
Como, em geral, esse tipo de artigo gera polêmica sobre aspectos éticos, o grupo também deve mostrar os pontos positivos e negativos do assunto tratado, a fim de ajudar o leitor a posicionar-se sobre a questão.

Apresentação

O grupo deve confeccionar um mural, que será exposto na escola. Colem a reportagem (ou uma fotocópia ampliada dela) em uma cartolina ou papel kraft. Ao lado da reportagem, colem as explicações ou os comentários que o grupo escreveu. Com traços grossos de caneta, liguem cada explicação ao trecho ao qual ela se refere, como mostrado na figura abaixo.

Os murais confeccionados pela classe devem ser expostos dentro da escola, para serem vistos por alunos, funcionários e pais.

Se for possível, o professor pode marcar um dia para que a turma apresente seu trabalho. Nesse dia, cada grupo deve ficar ao lado do mural para responder às dúvidas do público. Procure anotar (em um caderno, por exemplo) as perguntas feitas para discuti-las em sala depois.



Roberto Higa/ID/BR

AMOSTRA PARA DIVULGAÇÃO

Avaliação do projeto

Após a exposição, a classe vai discutir as principais dúvidas levantadas pelo público. Observe se, de modo geral, diferentes grupos receberam as mesmas perguntas ou se elas variaram. Avalie se os grupos conseguiram responder à maioria das dúvidas e verifique também se sua visão sobre biotecnologia mudou de alguma forma depois do projeto.

UNIDADE

2 Evolução

NESTA UNIDADE

9 As primeiras teorias evolutivas

10 A teoria da evolução após Darwin

11 Evolução da vida

Por que muitos seres que viveram na Terra no passado são diferentes dos seres atuais?

Segundo a teoria da evolução proposta por Charles Darwin e Alfred R. Wallace, as espécies originam-se de outras, que se modificam ao longo do tempo, e todos os seres vivos hoje existentes descendem de um ancestral comum.

Um exemplo brasileiro bem conhecido é o da jararaca-ilhoa (imagem ao lado): especula-se que a espécie *Bothrops insularis*, endêmica da ilha da Queimada Grande, no litoral de São Paulo, tenha ancestral comum semelhante à *B. jararaca*, encontrada do continente.

AMOSTRA PARA DIVULGAÇÃO

QUESTÕES PARA REFLETIR

1. Cientistas acreditam que a diferenciação entre a jararaca-ilhoa e a continental possa ter ocorrido após eventos de oscilações no nível do mar, há 11 mil anos, que criaram passagens secas entre a ilha e o continente em vários momentos. Crie uma hipótese relacionando esses eventos com a formação de novas espécies.

2. A jararaca-ilhoa adulta é mais arborícola, tem hábitos diurnos e alimenta-se principalmente de aves; já a jararaca continental adulta utiliza mais o chão da mata, tem hábitos noturnos e alimenta-se de roedores. Sabendo que na ilha não há pequenos mamíferos terrestres, mas muitas aves, como você justificaria as diferenças entre as espécies?

Imagem da página ao lado:

***Bothrops insularis*, a jararaca-ilhoa (comprimento: cerca de 70 cm). Segundo pesquisadores, o veneno dessa serpente é cinco vezes mais potente que o da jararaca comum. Ilha da Queimada Grande, SP, 2014.**



João Marcos Rosa/Nitro/Latinstock

CAPÍTULO

9 As primeiras teorias evolutivas

O QUE VOCÊ VAI ESTUDAR

Primeiras ideias sobre evolução.

Teorias sobre evolução.

Evidências da evolução.

Seleção natural e adaptação.



Jan Baks/Alamy/Latinstock

O urutau (*Nyctibius griseus*) é uma ave de distribuição ampla no Brasil. Ao pousar, o urutau permanece imóvel sobre troncos de árvores, passando despercebido a eventuais predadores. A camuflagem apresentada por esse animal é um padrão explicado pela teoria evolucionista de Darwin e Wallace.

A ideia de que os seres vivos, assim como o Universo, estão em constante mudança faz parte da forma como entendemos o mundo hoje.

O nascimento de estrelas, a ocorrência das eras glaciais e a extinção dos dinossauros são exemplos de mudanças no mundo natural amplamente incorporados por nós.

Desde os tempos de Aristóteles (século IV a.C.) e durante toda a Idade Média (entre os séculos V e XV), predominou no pensamento ocidental um modelo de Universo segundo o qual o mundo, desde seu aparecimento, teria permanecido inalterado, isto é, não teria sofrido nenhuma modificação ao longo dos tempos.

Esse modelo, entretanto, começou a ser questionado a partir da Revolução Científica, entre os séculos XVI e XVIII. Diante de diferentes evidências de que não só a Terra e o Universo, mas também os seres vivos mudam ao longo do tempo, isto é, evoluem, passaram a surgir tentativas de explicar como ocorrem essas mudanças.

Tais mudanças — que podem levar à formação de novas espécies e a sua adaptação ou extinção — constituem o objeto de estudo da evolução, ramo da Biologia que é um dos paradigmas dessa ciência.

Não escreva no livro.

O pensamento evolucionista

Até o final da Idade Média, predominou no pensamento ocidental a ideia de que todas as espécies vivas conhecidas teriam sido criadas uma única vez e permanecido inalteradas, isto é, teriam se mantido sempre com as mesmas características.

De acordo com essa ideia, os seres animados e inanimados estariam organizados em uma hierarquia chamada **Grande Escada dos Seres** (*Scala Naturae*). Nessa hierarquia, cada degrau, intransponível, seria ocupado por uma categoria de seres, disposta em ordem ascendente (imagem **A**).

Assim, os primeiros degraus estariam reservados aos seres inanimados, que seriam seguidos pelas plantas; depois, pelos animais; em seguida, pelos seres humanos; até, finalmente, chegar aos anjos e outros seres celestiais, que ocupariam os degraus mais altos. No último degrau, representando o ideal de perfeição, estaria Deus.

A caminho do evolucionismo

A visão de que o Universo e os seres vivos permanecem imutáveis desde sua criação é chamada de **fixismo**. Essa explicação, de cunho essencialmente metafísico, predominou até o final do século XVIII, quando conceitos consagrados começaram a ser desafiados pelo desenvolvimento da ciência experimental.

O conhecimento científico mostrava que a Terra não ocupava o centro do Universo, as estrelas não eram fixas e imutáveis, e a própria Terra havia se alterado ao longo do tempo. Os estudos geológicos evidenciavam que a crosta terrestre era formada por diversas camadas sobrepostas de rochas, depositadas em diferentes períodos e caracterizadas pela presença de diferentes espécies fósseis, formando as bases científicas que permitiram deduzir que a Terra era muito mais velha do que afirmavam as antigas escrituras.

A visão de mundo que incorpora e defende as mudanças e transformações do mundo natural, opondo-se à visão estática e fixista, é chamada de **transformismo** – ou evolucionismo, como é conhecida hoje em dia.

Georges-Louis Leclerc, conde de Buffon (1707-1788) (imagem **B**), foi um dos precursores do pensamento evolucionista. Em seu tratado de história natural (*Histoire naturelle, générale et particulière*; imagem **C**), ele considerava que as espécies possuíam como que um "molde" interno e sofriam alterações devidas à ação do ambiente, o que gerava variedades de seres vivos a partir de um mesmo molde. Buffon considerava que os moldes, produzidos por geração espontânea, permaneciam fixos e imutáveis.

Nos próximos tópicos deste capítulo você verá que cerca de 40 anos depois de Buffon, com o naturalista francês Jean Baptiste Pierre Antoine de Monet, cavaleiro de Lamarck (1744-1829), surgiu a primeira sistematização teórica a propor mecanismos naturais para explicar como as espécies se alteram ao longo do tempo. E que, a partir de 1858, com a apresentação dos trabalhos de Charles Darwin (1809-1882) e de Alfred R. Wallace (1823-1913), o pensamento evolucionista ganhou respaldo científico e se estabeleceu.

A



Ramon Lull. Scala Naturae (escrito em 1304, publicado em 1512). Fac-símile. ID/BR

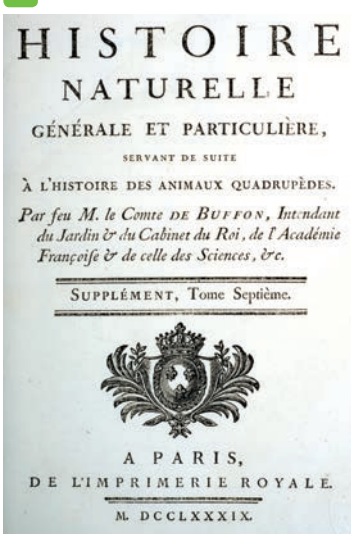
Representação medieval da Grande Escada dos Seres. Note que cada degrau está associado a um ser (à direita na figura). Gravura da obra *Liber de ascensu et decensu intellectus*, de Ramon Llull (1232-1315), publicada em 1512.

B



Kean Collection/Getty Images

C



Musée-Site Buffon, Montbard. Fotografia: akg-images/François Guénet/Latinstock

(**B**) Georges-Louis Leclerc, o conde de Buffon, um dos precursores do evolucionismo. Gravura de J. Chapman, 1801. (**C**) Página de abertura de um dos vários volumes que compõem a obra do naturalista.

PARA DIVULGAÇÃO

As ideias evolucionistas de Lamarck

Lamarck (imagem **A**) ficou conhecido por sua tentativa de explicar, por meio de leis naturais, as mudanças observadas no mundo orgânico. Sua obra mais conhecida é *Filosofia zoológica*, publicada em 1809.

Segundo Lamarck, organismos muito simples estariam sempre se originando por geração espontânea a partir da matéria inanimada. Esses seres primitivos se tornariam, a cada geração, mais organizados e complexos, pois, para Lamarck, a matéria viva possuía uma tendência natural de se transformar rumo a uma organização e complexidade crescentes. A modificação dos seres vivos seria então um processo natural, gradual e linear inerente à matéria viva (imagem **B**).

Lamarck postulava também que essa modificação linear, rumo à complexidade, seria perturbada pela influência do ambiente sobre os seres vivos. O ambiente alteraria as necessidades de sobrevivência do organismo, levando-o a mudar seu comportamento. As mudanças no comportamento, por sua vez, ocasionariam um maior ou menor uso de certas partes ou de certos órgãos do corpo.

O uso frequente de uma estrutura do corpo poderia aumentar sua capacidade, seu tamanho ou sua aptidão. O desuso, ao contrário, poderia causar uma diminuição de sua capacidade ou de seu tamanho, ou mesmo provocar o desaparecimento de tal estrutura ou órgão. Esse princípio ficou conhecido como **lei do uso e desuso**.

Lamarck também compartilhava de uma ideia, que era consenso em sua época, de que as características adquiridas pelo indivíduo durante a vida eram transmitidas aos descendentes. Esse princípio ficou conhecido como **lei da transmissão dos caracteres adquiridos**, e muitas vezes é indevidamente atribuído a Lamarck. Em sua teoria, ele propõe que as alterações provocadas pelo uso ou pelo desuso seriam passadas de geração a geração, ou seja, seriam herdadas pelos descendentes.

Lamarck apresentou vários exemplos de como a lei do uso e desuso atuaria sobre os seres vivos. Assim, as aves aquáticas teriam se tornado **pernaltas** devido ao esforço continuado para esticar as pernas e não molhar as penas (imagem **C**). O pequeno aumento no comprimento das pernas obtido pelo indivíduo de uma geração seria transmitido para a geração seguinte. Os indivíduos dessa nova geração também se esforçariam para não molhar as penas, o que faria as pernas crescerem ainda mais. Esse novo aumento seria transmitido à geração seguinte e assim, paulatinamente, as pernas das aves aquáticas teriam se tornado longas.

Outro exemplo do naturalista são os ratos-toupeiras, que teriam ficado cegos pelo desuso da visão no ambiente escuro de suas tocas.

Lamarck, no entanto, não considerava tais modificações como alterações evolutivas, e sim como desvios da tendência linear rumo a uma organização e complexidade crescentes inerentes à matéria viva.

A

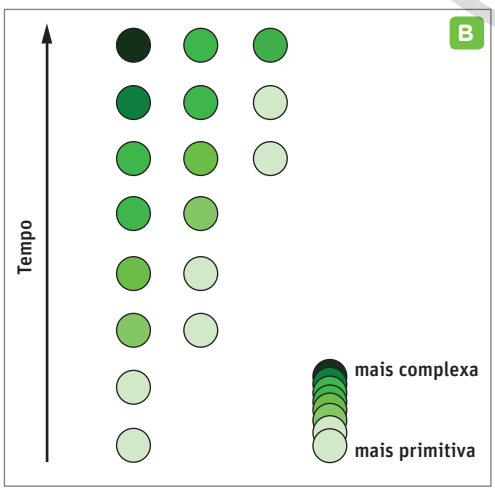


AKG/Latinstock

Jean-Baptiste de Monet, cavaleiro de Lamarck, naturalista francês que propôs uma das primeiras teorias evolucionistas. Autor desconhecido, c. 1800. Litogravura colorizada.

Pernalta: nesse caso, de pernas alongadas, altas.

Paula Radi/ID/BR



Esquema da evolução linear das espécies, segundo Lamarck. Entre as espécies atuais, as mais complexas (bolinhas mais escuras) teriam ancestrais mais antigos.

Fonte de pesquisa: Meyer, D.; El-Hani, C. N. *Evolução*: o sentido da Biologia. São Paulo: Ed. da Unesp, 2005.



Haroldo Palo Jr./kino.com.br

Segundo as teorias lamarckistas, as pernas de certas aves, como o jaburu da foto, teriam se desenvolvido pelo uso repetido ao longo de sucessivas gerações.

AMOSTRA
PARA DIVULGAÇÃO

Não escreva no livro.

As ideias evolucionistas de Darwin e Wallace

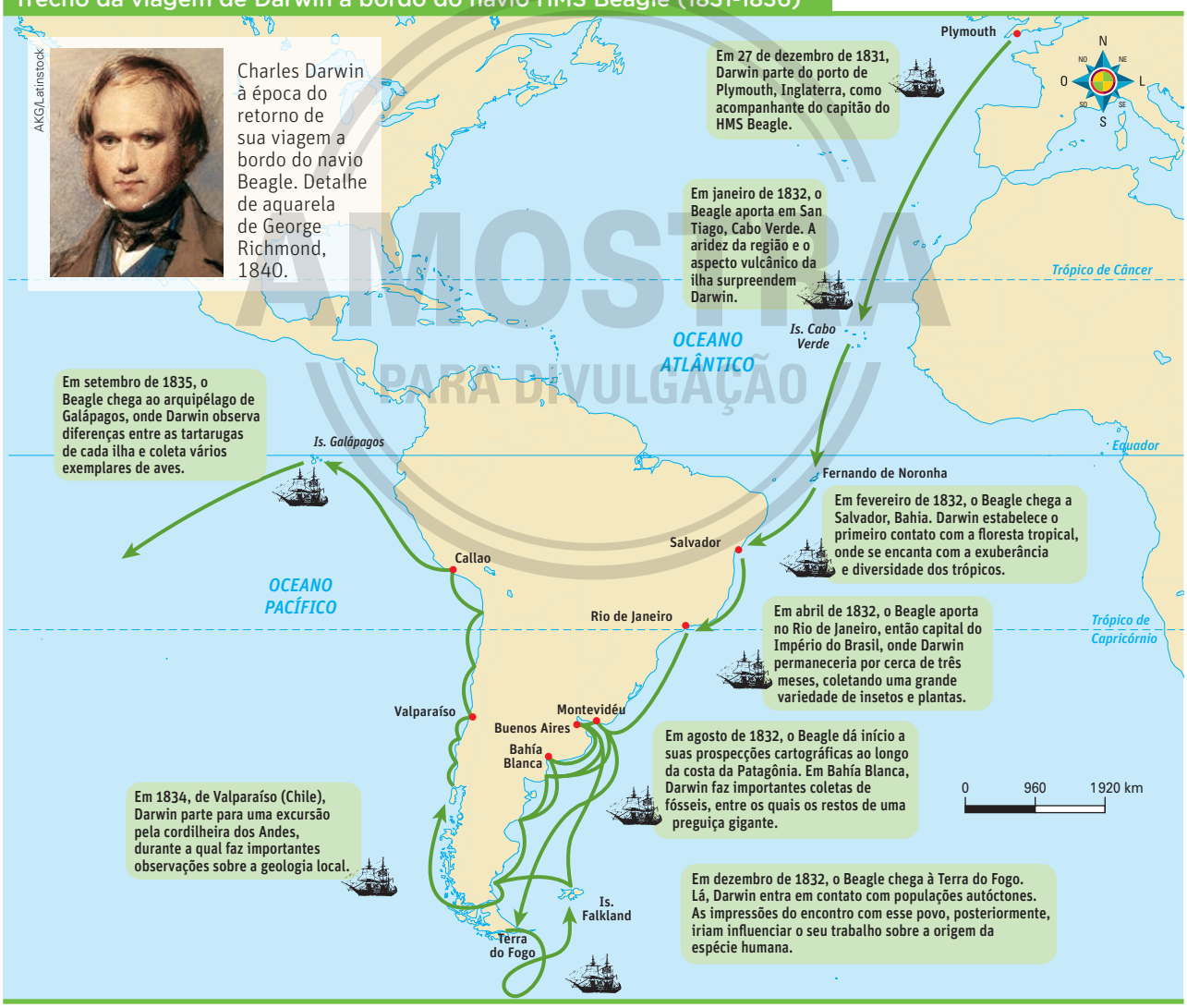
Charles Darwin nasceu em Shrewsbury, Inglaterra, em 1809. Prestes a completar 17 anos, foi enviado pelo pai para Edimburgo para estudar medicina, mas logo ficou claro que ele não tinha vocação para a profissão. O pai o mandou então a Cambridge, para que se tornasse clérigo da igreja anglicana. Em Edimburgo e Cambridge, Darwin entrou em contato com grandes naturalistas da época, com os quais discutia botânica, geologia e ideias como as de seu avô, Erasmus Darwin (1731-1802), sobre a possibilidade de as espécies se modificarem ao longo do tempo.

Ao terminar os estudos, Darwin foi admitido no navio HMS Beagle como acompanhante do capitão Robert Fitz-Roy (1805-1865) – mais tarde assumiria o posto de naturalista da expedição. O mapa abaixo mostra a rota dessa expedição. De 1831 a 1836, Darwin conheceu diversas regiões, coletou espécimes e realizou observações fundamentais para o desenvolvimento do que viria a ser sua teoria da evolução.

ATIVIDADES

1. Em suas anotações sobre o período em que esteve no Brasil, Darwin relatou que teve ajuda de habitantes locais (como guias, indígenas, escravos) em suas expedições pela mata para observação ou coleta de material. Em sua opinião, qual é a importância do conhecimento e da ajuda dessas comunidades para o desenvolvimento do trabalho de cientistas como Darwin?

Trecho da viagem de Darwin a bordo do navio HMS Beagle (1831-1836)



As setas verdes indicam a rota sul-americana simplificada da viagem de Darwin ao redor do mundo. Partindo da Inglaterra, o Beagle passou por localidades como Cabo Verde, Brasil, Patagônia, Terra do Fogo, ilhas Falkland (Malvinas), a costa oeste da América do Sul e as ilhas Galápagos (Equador). De lá, o navio seguiu para Nova Zelândia, Austrália e Tasmânia; depois, contornou o Cabo da Boa Esperança, rumo à Inglaterra, passando novamente pelo Brasil.

Fonte de pesquisa: Morgante, J. S.; Meyer, D. Darwin e a Biologia. *O biólogo*. Conselho Regional de Biologia 1ª Região (CRBio-01), n. 10, abr./maio/jun. 2009.

AMOSTRA PARA DIVULGAÇÃO

As bases da teoria darwiniana da evolução

Ao embarcar no Beagle, Darwin acreditava que as espécies eram imutáveis. Entretanto, durante a viagem ele observou e investigou aspectos biológicos e geológicos em lugares diversos; coletou numerosos exemplares de seres vivos, inclusive fósseis; e leu o livro *Princípios de geologia*, de Charles Lyell (1797-1875), segundo o qual os processos que gradualmente e por milhões de anos moldaram o relevo da Terra no passado são os mesmos processos que atuam no relevo hoje. Tudo isso o levou a duvidar da ideia de que as espécies eram imutáveis.

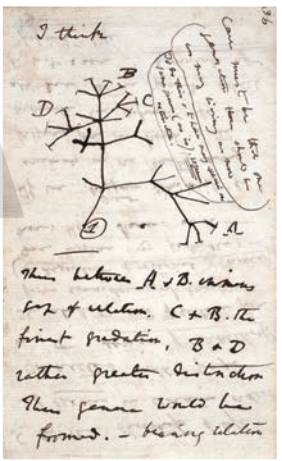
Ao retornar à Inglaterra, em 1836, Darwin enviou sua coleção de aves para o ornitólogo John Gould (1804-1881). Ao examinar as aves conhecidas como tentilhões, recolhidas por Darwin em três ilhas diferentes do arquipélago de Galápagos, Gould insistiu que se tratava de aves do mesmo gênero, e não de gêneros diferentes, como Darwin pensava. Essa informação, associada ao conjunto de evidências coletadas durante a viagem e em estudos posteriores, levou Darwin a considerar a possibilidade de novas espécies se originarem a partir de um ancestral comum (imagem ao lado), contrapondo-se à visão linear de aumento de complexidade.

Darwin seguiu colecionando evidências sobre a evolução das espécies e tentando entender o mecanismo por meio do qual ela ocorria. Em 1838, Darwin leu o livro *Ensaio sobre o princípio da população humana,* do economista inglês Thomas Malthus (1766-1834). Segundo Malthus, as populações humanas crescem mais rapidamente do que a produção de alimentos dos quais elas dependem e, portanto, o crescimento sem controle dessas populações levaria à fome. Darwin generalizou esse raciocínio para os demais seres vivos e, associando-o às suas observações, propôs que na natureza ocorreria uma seleção natural das variações hereditárias entre os indivíduos de uma população e que esse processo seria o principal responsável pela evolução.

Darwin ampliou e aprofundou seus estudos por mais duas décadas. Em 1858, ele recebeu do também naturalista Alfred Russel Wallace, que estava nas ilhas Molucas (Indonésia), um manuscrito com o pedido para que o lesse e, caso o aprovasse, o publicasse. Darwin ficou estarrecido ao descobrir que, assim como ele, Wallace também tinha lido o livro de Malthus e havia chegado a uma teoria da evolução das espécies a partir de um ancestral comum, por meio de seleção natural. Apressou-se, então, a esboçar um manuscrito com suas ideias, que foi apresentado, no mesmo ano, junto com o de Wallace, na Sociedade Lineana de Londres.

No ano seguinte, Darwin publicou o livro *A origem das espécies*, que estabeleceu sólidas bases científicas para o pensamento evolucionista.

De acordo com a teoria darwiniana, todos os seres vivos, incluindo a espécie humana, descendem de ancestrais comuns e teriam evoluído por seleção natural. Segundo esse princípio, os organismos com características mais vantajosas no ambiente em que se encontram teriam maiores possibilidades de sobreviver e de reproduzir-se. A prole desses organismos herdaria tais características vantajosas (adaptações). Esse processo se repetiria ao longo das gerações, podendo levar a uma melhor adaptação ou à formação de novas espécies.



Biblioteca da Universidade de Cambridge, Inglaterra. Fotografia: ID/BR

Esquema de uma árvore ramificada desenhada por Darwin, na qual o número 1 seria um ancestral comum de A, B, C e D. Desenho de um dos cadernos de Darwin.

AMOSTRA PARA DIVULGAÇÃO

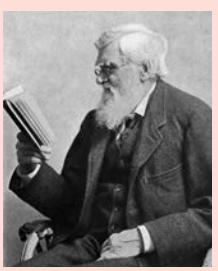
BIOLOGIA TEM HISTÓRIA

Wallace e a origem das espécies

Alfred Russel Wallace — coautor da teoria da evolução por seleção natural — nasceu em 1823, no País de Gales. Desde jovem se interessou por história natural. Por volta de 1843 começou a ensinar em um colégio em Leicester, onde se tornou amigo de Henry Walter Bates (1825-1892), que também viria a se tornar um importante evolucionista.

Em 1847, Wallace e Bates empreenderam uma viagem exploratória à bacia Amazônica, na qual Wallace fez muitas coletas e observações de vital importância para a sua concepção sobre as origens das espécies e para os estudos de biogeografia, ciência da qual é considerado um dos precursores. No caminho de volta para a Inglaterra, o navio de Wallace incendiou-se e afundou, pondo a perder grande parte do material coletado.

Dois anos depois, Wallace continuou com suas expedições de coleta, dessa vez no arquipélago malaio. Durante oito anos de exploração científica e coletas de material, Wallace desenvolveu suas concepções sobre a evolução e suas causas. Em 1855 escreveu seu primeiro ensaio sobre evolução, no qual esboçou a ideia da origem comum. Mas foi no artigo "Sobre a tendência das variedades a afastarem-se indefinidamente do tipo original", escrito em 1858 e publicado em 1859, que Wallace desenvolveu o mecanismo evolutivo – no caso, a seleção natural.


Bettmann/Corbis/Fotoarena

Alfred Russel Wallace, naturalista britânico. Foto sem data.

Não escreva no livro.

A evolução por seleção natural

Embora trabalhando independentemente, Darwin e Wallace chegaram a ideias muito semelhantes, que fundamentam a teoria da evolução das espécies por meio da seleção natural. Resumidamente, as ideias básicas da evolução por seleção natural são as descritas a seguir.

- Todas as espécies têm a capacidade de se reproduzir. O tamanho de uma população aumenta rapidamente quando as condições permitem que todos os indivíduos se reproduzam com sucesso.
- A despeito da enorme capacidade reprodutiva dos organismos, as populações naturais normalmente apresentam um número relativamente estável de indivíduos.
- A disponibilidade de recursos naturais necessários à sobrevivência – alimentos, locais de procriação, etc. – é limitada, isto é, não acompanha o crescimento populacional.
- Na natureza ocorre uma luta pela sobrevivência, pois a quantidade de recursos naturais é insuficiente para manter todos os indivíduos que nascem; além disso, outros fatores pressionam o tamanho das populações, como pestes, doenças, variações ambientais. Nessa luta, parte dos indivíduos morre, e isso colabora para que o tamanho das populações permaneça estável.
- Os indivíduos de uma população não são todos idênticos: eles diferem uns dos outros em relação a diversas características. Isso é o mesmo que dizer que as populações apresentam variabilidade e que os organismos de uma população apresentam variações.
- Parte das características que diferenciam os indivíduos de uma população é transmitida aos descendentes. Isto é, parte da variabilidade das populações é hereditária.
- Parte da variação hereditária ocorre em características que afetam as chances de sobrevivência e de reprodução dos indivíduos.

Os indivíduos bem-sucedidos na luta que ocorre na natureza são aqueles que possuem variações de características que aumentam as chances de sobrevivência (ou seja, aqueles com mais chances de conseguir alimento e de sobreviver a predadores e parasitas) e de reprodução no ambiente.

Quando essas características são hereditárias, elas são transmitidas aos descendentes. E exatamente porque aumentam as chances de sobrevivência e reprodução de seus portadores, a probabilidade de que sejam transmitidas à geração seguinte é maior.

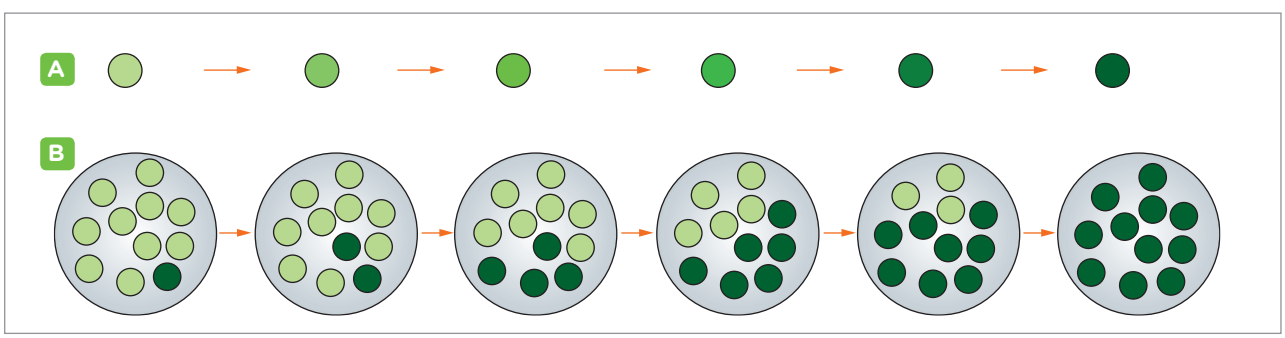
Assim, com o passar das gerações, a maior parte da população será portadora das variações vantajosas dessas características. Essa mudança na composição da população é o que se denomina **evolução**.

É importante observar que, no modelo de evolução por seleção natural, as mudanças ocorrem no nível de população. Ou seja, ao contrário do que pensava Lamarck, as mudanças evolutivas transcendem o período de vida de um único indivíduo (imagens **A** e **B**).

Os princípios fundamentais da teoria da evolução por seleção natural são largamente aceitos até hoje e serviram de base para o desenvolvimento da biologia evolutiva e para a elaboração da teoria moderna da evolução, que incorporou os conhecimentos da genética para explicar a hereditariedade dos caracteres. Esse tema é abordado no capítulo 10.

ATIVIDADES

2. Devido às suas enormes presas, os elefantes africanos há muito vêm sendo perseguidos e abatidos por caçadores, que lucram com a venda ilegal do marfim. Por volta de 1930, cerca de 1% dos elefantes africanos não apresentava as longas presas. Pesquisas realizadas em uma reserva de Uganda indicam que cerca de 15% das fêmeas e 9% dos machos de elefantes já não nascem mais com as presas. Em 1997, a proporção de elefantes sem presas subiu para 38%. Explique essas mudanças nas proporções de elefantes sem presas e o papel do ser humano nesse processo.



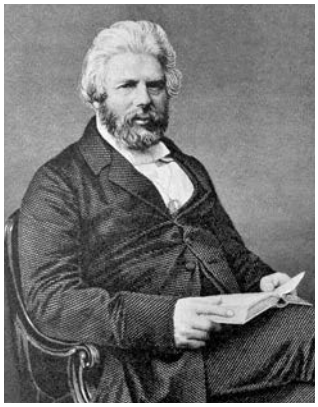
Paula Radi/ID/BR

Esquema da mudança evolutiva: na concepção de Lamarck (**A**), ela ocorre no indivíduo; na teoria proposta por Darwin e Wallace (**B**), ela ocorre na população.

Fonte de pesquisa: Meyer, D.; El-Hani, C. N. *Evolução*: o sentido da Biologia. São Paulo: Ed. da Unesp, 2005.

AMOSTRA PARA DIVULGAÇÃO

Robert Chambers e a transmutação dos seres vivos


Biblioteca Britânica, Londres. Fotografia: ID/BR

Robert Chambers. Foto de cerca de 1863.

Antes da publicação de *A origem das espécies* de Charles Darwin, em 1859, outros autores defenderam ideias sobre como poderiam ter surgido as várias espécies de seres vivos na Terra. Um deles foi o escritor escocês Robert Chambers (1802-1871). Chambers publicou sua proposta no livro *Vestígios da história natural da criação*, em 1844, portanto 15 anos antes da publicação da obra de Darwin.

Robert Chambers e seu irmão, William, eram pessoas cultas e que viviam inicialmente da renda de uma livraria e de uma pequena editora em Edimburgo, na Escócia. Em 1832, os irmãos criaram o periódico semanal *Chambers's Edinburgh Journal*, que abordava temas de artes, ciência, religião, história e literatura. Muitos dos artigos publicados foram escritos por Robert, que era um entusiasta desses assuntos. Dentre os temas científicos, ainda na década de 1830, Robert Chambers começou a se interessar mais por geologia. Embora cientista amador, foi eleito membro da Sociedade Real de Edimburgo em 1840 e da Sociedade Geológica de Londres em 1844, mantendo correspondência com muitos pesquisadores.

Nessa época, astrônomos aceitavam que as estrelas e os planetas haviam se formado gradualmente, pela condensação de grandes nuvens de gases e poeira. Geólogos haviam estabelecido que a Terra existia há milhões de anos, tendo passado por diversas mudanças. Quase todos esses cientistas admitiam que a Bíblia não deveria ser interpretada literalmente: o mundo físico não teria sido criado diretamente por Deus em poucos dias, mas, sim, sofrido uma formação gradual, obedecendo às leis da natureza. Inspirado por esses estudos, Robert Chambers começou a cogitar que os próprios seres vivos teriam surgido e se desenvolvido de modo lento e progressivo na Terra. Ele imaginou a transformação gradual dos seres vivos como um processo semelhante ao do desenvolvimento de um embrião:

> Depois de longa cogitação, veio subitamente à sua mente a ideia [...] de que o fenômeno comum da reprodução era a chave para a gênese das espécies. Nesse processo – simples porque nos é familiar, mas na realidade misterioso, pois apenas podemos ver através das sombras os resultados do Agente inescrutável – vemos uma evolução gradual do elevado a partir do inferior, do complicado a partir do simples, do especial a partir do geral, sempre em uma ordem invariável, e portanto totalmente natural, embora ordenado de forma divina. Não poderia ter havido, nesses *secula seculorum* com os quais lida o geólogo, uma evolução semelhante ou análoga do ser, produzindo como ramos, por assim dizer, as várias espécies à medida que progredia, até repousar (se é que repousa) com a própria humanidade?

Chambers, Robert. *Vestiges of the natural history of creation*. 10. ed. London: John Churchill, 1853. p. VII-VIII. (Tradução dos autores.)

Essa ideia, no entanto, não era bem vista na Grã-Bretanha. A transmutação dos seres vivos – ou seja, a transformação dos seres vivos ao longo do tempo – se contrapunha à **teologia natural** e à versão bíblica da criação da vida, as quais eram, à época, os modelos mais aceitos para a história dos seres vivos e da Terra.

Teologia natural: estudo sobre a natureza do divino, que desenvolve argumentos para a existência de Deus com base na razão e no que se observa na natureza.

Robert Chambers procurou desenvolver sua proposta por meio de evidências da embriologia, da zoologia e da paleontologia, baseando-se em obras de naturalistas e outros estudiosos da época:

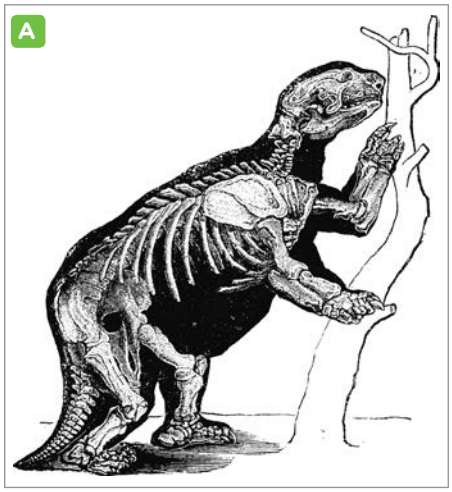
> Sugeria um processo de caráter lento e gradual, e assim estava em harmonia com a hipótese do arranjo físico do universo. Não exigia qualquer poder ou meio novo na natureza, pois as mudanças de um embrião eram quase as mesmas exigidas para o avanço de espécie para espécie. A doutrina da unidade de organização; as afinidades percebidas em linhas de espécies; o fato curioso dos órgãos rudimentares; e, acima de tudo, a história real do avanço da natureza animada, como revelada pelas pesquisas do paleontólogo – todas estavam em harmonia com a ideia, e não poderiam ser reconciliadas com qualquer outra de caráter muito diferente. Assim, o autor adotou a doutrina do desenvolvimento progressivo como uma hipotética história da criação orgânica.

Chambers, Robert. *Vestiges of the natural history of creation*. 10. ed. London: John Churchill, 1853. p. VIII. (Tradução dos autores.)

AMOSTRA
VERSÃO PARA DIVULGAÇÃO

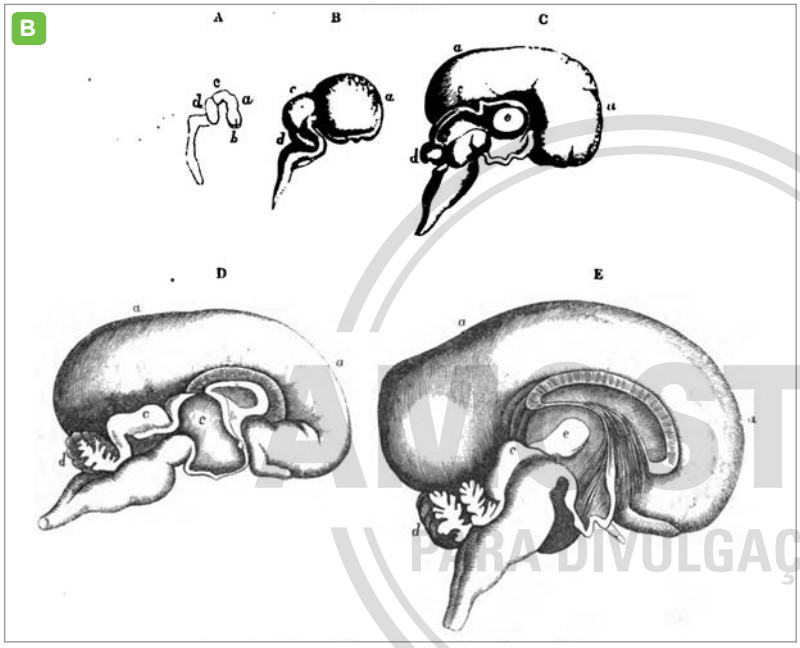
Não escreva no livro.

A proposta de Robert Chambers era ampla e polêmica, abrangendo a origem da vida (que teria surgido por causas físicas e químicas), o surgimento dos seres humanos e até mesmo as origens dos vários idiomas. Chambers foi cuidadoso ao mostrar, com base em dados paleontológicos, que as formas de vida foram se transformando na Terra, produzindo animais de maior complexidade ao longo das eras geológicas (imagem **A**). Segundo ele, o mecanismo de surgimento de novas espécies consistiria em alterações no processo de reprodução: o embrião sofreria pequenas mudanças, atingindo um estágio um pouco mais desenvolvido do que seus pais, gerando espécies mais perfeitas e complexas (imagem **B**). Suas ideias eram, portanto, diferentes do que se conhece e é aceito hoje em dia.



Biblioteca Pública de Vitoria, Melbourne. Foto: Morphart Creation/ Shutterstock.com/ID/BR

Ilustração da obra *Vestígios da história natural da criação*, de Robert Chambers. Para demostrar a transformação gradual da vida na Terra, Chambers utilizou descobertas paleontológicas recentes para a época. Ele comparou, por exemplo, as extintas preguiças gigantes da América do Sul com as preguiças atuais.



Biblioteca Pública de Vitoria, Melbourne. Fotografia: ID/BR

Ilustração da obra *Vestígios da história natural da criação*, de Robert Chambers. A imagem mostra diferentes estágios do desenvolvimento do cérebro em um embrião humano: (**A**) corresponde à 7ª semana de gestação; (**B**) corresponde à 12ª semana; (**C**) corresponde à 15ª semana; (**D**) corresponde à 21ª semana; e (**E**) corresponde à 27ª semana de gestação. Segundo Robert Chambers, as estruturas e proporções dos quatro últimos estágios corresponderiam aproximadamente às dos cérebros de peixes, répteis, aves e mamíferos inferiores.

Com receio de reações negativas e críticas, Robert Chambers publicou sua obra anonimamente. Muitos naturalistas da época eram ligados à igreja anglicana e rejeitavam a ideia de que os seres vivos (inclusive o ser humano) pudessem ter evoluído, corroborando a visão fixista de que o Universo e os seres vivos permanecem imutáveis desde a sua criação. Contudo, o livro teve enorme sucesso de público, vendendo rapidamente milhares de cópias e atingindo sua décima edição em 1853. Como Robert temia, ele foi criticado por cientistas que apontaram diversas falhas em seu trabalho. Embora reconhecesse Deus como o responsável pelas leis da natureza, foi também acusado de **ateísmo**.

Ateísmo: neste caso, refere-se à ausência de crença em divindades.

O trabalho de Chambers foi muito importante, pois colocou em evidência a evolução das espécies num contexto desfavorável na Grã-Bretanha da época. Além disso, influenciou alguns evolucionistas, como Alfred Russel Wallace, e acabou abrindo caminho para a recepção posterior da obra de Charles Darwin.

ATIVIDADES

1. A proposta de Robert Chambers era semelhante à origem das espécies por seleção natural de Darwin? Explique.
2. A que motivos podem ser atribuídas as críticas feitas ao trabalho evolucionista de Robert Chambers?
3. O texto cita que Robert mantinha correspondência com vários pesquisadores. Em relação ao trabalho dele no meio científico, o que isso pode significar?

AMOSTRA PARA DIVULGAÇÃO

Não escreva no livro.

Exemplos da ação da seleção natural

Apresentamos dois estudos que, entre outros, corroboram as propostas de Darwin sobre a seleção natural.

Os tentilhões de Darwin

Em um estudo com aves do gênero *Geospiza* (imagem **A**) – um dos gêneros dos chamados tentilhões de Darwin –, realizado em uma das ilhas Galápagos, o casal de biólogos Rosemary Grant (1936-) e Peter Grant (1936-) constatou que, nessas aves, as variações no tamanho do bico, uma característica hereditária, estão relacionadas ao tipo de alimento disponível.

Entre os tentilhões, a capacidade de comer sementes varia com o tamanho do bico. Aves com bicos menores têm mais dificuldade para comer sementes duras do que aves com bicos maiores. Depois do período de chuvas, surgem sementes de todos os tipos, desde as pequenas e macias até as grandes e duras, e todas as aves podem alimentar-se.

Entretanto, como os pesquisadores observaram, no período entre 1977 e 1978, houve um longo período de seca, e as sementes duras se tornaram mais abundantes. As aves de corpo e bico maiores foram mais eficientes para comer esse tipo de semente, e ocorreu grande mortalidade, por **inanição**, entre os pássaros de corpo e bico pequenos. Consequentemente sobraram mais indivíduos com bicos grandes, que puderam proliferar. Na geração seguinte, foi constatado um aumento médio da ordem de 4% no tamanho dos bicos, acompanhado também pelo aumento do tamanho do corpo.

O estudo do casal mostrou que o fator seletivo para o aumento do bico das aves é a consistência da semente.

Caramujos marinhos da Califórnia

O segundo estudo foi realizado em 1984, pelo pesquisador Michael H. Fawcett, com caramujos da espécie *Tegula funebralis*, que habita os costões rochosos das praias da Califórnia, Estados Unidos, ocupando diferentes profundidades.

Nas praias do sul, a espécie habita preferencialmente as partes mais altas do costão, acima do nível da água (imagem **B**). Nas praias do norte, habita preferencialmente as partes submersas (imagem **C**). Polvos e estrelas-do-mar, predadores desses caramujos, são mais abundantes nas praias do sul do que nas do norte. Sabendo disso, Fawcett propôs que o padrão de distribuição do caramujo poderia ser explicado pela presença desses animais, que atuariam como agentes seletivos.

Para testar sua hipótese, Fawcett coletou os caramujos de ambos os locais, transferindo-os para as partes submersas dos costões. Com o tempo, ele observou que, na presença dos predadores, todos os caramujos subiam para regiões acima do nível da água e que os caramujos do sul se moviam mais rapidamente do que os do norte. Fawcett concluiu então que, pelo fato de os caramujos do norte serem mais lentos, ficariam mais sujeitos aos ataques de predadores.

Esse estudo permite concluir que, entre os caramujos do sul e os do norte, existem diferenças **inatas** na velocidade. Essas diferenças podem levar a diferentes taxas de sobrevivência entre as duas formas, pois, na presença de predadores, os caramujos mais rápidos (do sul) seriam favorecidos pela seleção natural, deixando um número maior de descendentes, os quais também poderiam ter essa característica e, por sua vez, teriam mais chances de sobreviver e deixar descendentes.

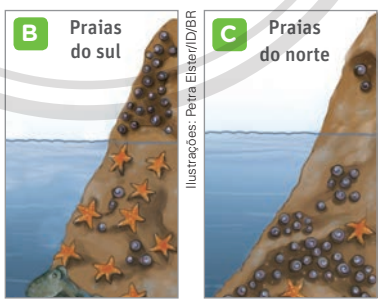
Inanição: extrema debilidade ou enfraquecimento por falta de alimento.

Inato: que nasce com o indivíduo.



Arco Images GmbH/Alamy/Latinstock

Tentilhão (*Geospiza fortis*) estudado pelo casal Grant. Galápagos, 2013.



Ilustrações: Petra Elster/ID/BR

Representações sem proporção de **tamanho**.

Esquema de distribuição espacial de caramujos (*Tegula funebralis*) nas praias do sul (**B**) e do norte (**C**) da Califórnia (Estados Unidos), de acordo com as observações de M. H. Fawcett. Cores-fantasia.

Fonte de pesquisa: Understanding evolution. Universidade da Califórnia – Museu de Paleontologia. Disponível em: <http://www.evolution.berkeley.edu/evosite/evo101/IIIE1aTegula.shtml>. Acesso em: 2 mar. 2016.

BIOLOGIA SE DISCUTE

O darwinismo social

No século XIX, surgiu o darwinismo social, que consistia na utilização equivocada das ideias de Darwin no campo das ciências humanas. No Brasil, o darwinismo social foi particularmente forte no final do século XIX e meados do século XX. Explicava-se, por exemplo, a concentração de riquezas por meio da postulação de que indivíduos mais aptos prosperam e enriquecem, ao passo que os menos aptos permanecem condenados à pobreza – o que fortalecia o racismo e legitimava a exploração de pessoas e a colonização de países.

Os preceitos propostos pelo darwinismo social são falsos, uma vez que a origem da desigualdade econômica entre indivíduos, grupos ou países não é evolutiva, mas está relacionada, entre outros fatores, a razões sociais, políticas e históricas.

ARQUIVO PARA DIVULGAÇÃO

Não escreva no livro.

Evidências da evolução

As evidências de que a evolução ocorre são numerosas e provêm de diversas áreas do conhecimento biológico. Entre elas, destacam-se: o estudo dos fósseis e a anatomia, a embriologia e a bioquímica comparadas.

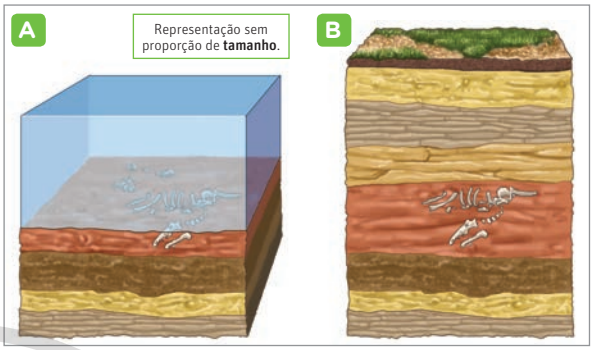
O estudo dos fósseis

Fósseis (do latim *fossilis*, "extraído da terra") são restos ou vestígios de seres vivos que se preservaram por milhares de anos. Com base na análise de fósseis sabe-se que, no passado remoto, a Terra abrigava seres muito diferentes dos que existem no presente.

A fossilização é um fenômeno relativamente raro, pois na maioria das vezes os organismos mortos se decompõem pela ação de microrganismos. Para que ocorra a fossilização são necessárias condições que favoreçam a preservação do organismo (ou partes dele) ou dos vestígios de sua atividade (como fezes, pegadas, etc.) no ambiente.

Em geral os fósseis são encontrados em rochas que se formaram a partir da deposição de sedimentos no fundo de lagos. Nesse ambiente, os sedimentos presentes na água vão se depositando sobre os organismos. Conforme as camadas de sedimentos são depositadas, elas se compactam e sofrem alterações físico-químicas, transformando-se em rocha do tipo sedimentar, na qual os fósseis podem estar presentes (imagens **A** e **B**).

Representação, em corte, do processo de fossilização em fundo de lago, em tempos remotos (**A**), e da distribuição das camadas sedimentares que se formaram até tempos recentes (**B**). Cores-fantasia.



Paulo Cesar Pereira/ID/BR

Processos de fossilização

Existem diversos processos de fossilização. Alguns preservam apenas as partes duras do organismo, como ossos, dentes, escamas, etc. Esse é o caso da **permineralização**, ou petrificação, em que minerais como o carbonato de cálcio (imagem **C**) se depositam e preenchem os poros e canalículos de ossos ou troncos de árvores.



Gerson Gerlofi/Pulsar Imagens

Fósseis de troncos petrificados do período Triássico. Mata (RS), 2013.

O processo de **substituição** consiste, como o nome diz, na substituição do material orgânico que forma uma parte dura (uma carapaça, por exemplo) por um mineral transportado pela água que se infiltra.

Apesar de incomum, partes moles de um organismo, como pele, músculos e vísceras, também podem ser fossilizadas. Insetos e outros artrópodes, por exemplo, foram encontrados, às vezes inteiros, dentro de um tipo de resina vegetal chamada **âmbar**. Organismos completos foram preservados no gelo, como os notáveis mamutes e rinocerontes do Alasca e da Sibéria, alguns com cerca de 42 mil anos (imagem **D**).



Nevar Vitaly/ITAR-TASS Photo/Corbis/Fotoarena

Fóssil de filhote de mamute, que viveu há aproximadamente 42 mil anos, em exposição no Museu Oceânico, Kaliningrado, Rússia, 2014.

Vestígios são evidências deixadas por seres vivos, mas não são partes de seu corpo. Além de fezes e pegadas (imagem **E**), também são vestígios as impressões deixadas quando a parte orgânica de um ser vivo, como uma folha, é decomposta e não se fossiliza, mas deixa marcas nas rochas (imagem **F**).

Outro exemplo comum é o das conchas: os sedimentos do ambiente preenchem os espaços ao redor da concha e, com o passar do tempo, os sedimentos transformam-se em rocha, formando um molde dela. A concha pode ser dissolvida pela água, deixando um espaço vazio que, ao ser preenchido por outro mineral, dá origem ao seu contramolde.



Fabio Colombini/Acervo do fotógrafo



Fabio Colombini/Acervo do fotógrafo

(**E**) Pegadas fossilizadas de um dinossauro, no Vale dos Dinossauros. Sousa (PB), 2012.
(**F**) Impressão de folhas de pteridófita encontrada na Chapada do Araripe (CE). Museu de Paleontologia de Santana do Cariri, Santana do Cariri (CE), 2012.

AMOSTRA PARA DIVULGAÇÃO

A idade dos fósseis

Podemos estimar a idade relativa dos fósseis pela sua localização nas camadas de rochas. Isso é possível porque, em geral, as camadas mais recentes se encontram acima das mais antigas. Mas essa estimativa é apenas relativa e não fornece a idade do fóssil. Esta é obtida, de forma razoavelmente precisa, analisando-se a quantidade de elementos radioativos presentes nos fósseis ou nas rochas onde se encontram.

Os elementos radioativos existem na natureza em quantidades muito pequenas. Eles possuem núcleos instáveis e perdem partículas e energia até transformarem-se em elementos estáveis, quando deixam de ser radioativos. Esse processo é denominado **decaimento radioativo**.

Esses elementos são detectáveis e, por isso, podem ser utilizados para conhecer a idade de uma rocha ou de um fóssil, por exemplo. Para isso, utiliza-se o conceito de **meia-vida**, que é o tempo necessário (em média) para que metade dos átomos de um elemento radioativo ("elemento-pai") contidos em uma amostra se transforme em outro elemento ("elemento-filho") por decaimento radioativo (gráfico abaixo, à direita). Assim, conhecendo a quantidade do "elemento-pai" e do "elemento-filho" numa amostra, pode-se determinar a idade da rocha.

Potássio-40, rubídio-87 e urânio-238 são elementos que apresentam meia-vida longa e são utilizados para a datação de rochas (quadro abaixo). Já o carbono-14 possui meia-vida de 5 730 anos e, por isso, é útil para datar amostras de no máximo 50 mil anos. Entretanto, por estar presente nos seres vivos, é muito usado para datar fósseis que conservaram porções de matéria orgânica.

"Elemento-pai"	"Elemento-filho"	Meia-vida
carbono-14	nitrogênio-14	5 730 anos
potássio-40	argônio-40	1,25 bilhão de anos
urânio-238	chumbo-206	4,5 bilhões de anos
rubídio-87	estrôncio-87	48,8 bilhões de anos

Alguns elementos radioativos utilizados na datação de rochas e fósseis.

Fonte de pesquisa: Carneiro, C. D. R. et al. A determinação da idade das rochas. *Terrae Didatica*. Campinas, v. 1, n. 1, 2005. Disponível em: <http://ppegeo.igc.usp.br/scielo.php?pid=S1980-44072005000100002&script=sci_arttext>. Acesso em: 14 abr. 2016.

O gás carbônico atmosférico é formado por três isótopos de carbono: carbono-12 (cerca de 98,9%), carbono-13 (cerca de 1,1%) e carbono-14 (cerca de 0,001%). O carbono-14 (desses três isótopos, o único radioativo) forma-se constantemente na atmosfera em pequenas quantidades e reage com o gás oxigênio formando $^{14}CO_2$, utilizado pelos seres fotossintetizantes no processo de fotossíntese. Incorporado a esses seres, o carbono-14 é ingerido pelos animais. Assim, apesar do permanente decaimento radioativo, todos os seres vivos estão constantemente incorporando novos átomos do elemento, e seus tecidos apresentam a mesma concentração em que tal elemento se encontra na atmosfera. Quando o organismo morre, deixa de incorporar novos átomos e, por decaimento radioativo, a concentração do carbono-14 diminui gradativamente. Medindo-se a quantidade residual de carbono-14 em um fóssil, é possível calcular quanto tempo passou desde a morte do organismo que o originou.

Gráfico de decaimento radioativo de um elemento.

Fonte de pesquisa: Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas (IAG-USP). Disponível em: <http://www.iag.usp.br/~eder/ensinarcompesquisa/Geofisica_Nuclear_f.pdf>. Acesso em: 14 abr. 2016.

SAIBA MAIS

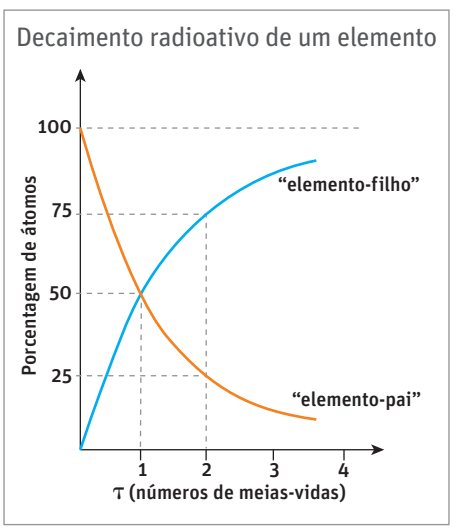
Lacuna na legislação

O comércio internacional de fósseis tornou-se ilegal desde 1970, data em que a Organização das Nações Unidas para a Educação, a Ciência e a Cultura (Unesco) realizou uma convenção que regulamentou a importação, a exportação e a transferência de propriedades ilícitas dos bens culturais. Mas o texto da convenção não menciona punições para quem os compra ou vende.

No Brasil, a convenção foi promulgada em 1973 com o Decreto n. 72 312. A Constituição Federal de 1988, em seu artigo 20, prevê que os recursos naturais, inclusive os fósseis, são bens da União. Mas especialistas consideravam que a indeterminação das penas aos infratores ainda era a maior lacuna da legislação vigente até o início de 2016.

ATIVIDADES

3. Em 1991, foi descoberta, congelada nos Alpes ao sul da fronteira austro-italiana, a múmia posteriormente chamada de Ötzi. Por meio de datação com carbono-14, mostrou-se que ela tem cerca de 5 300 anos. Estime a porcentagem aproximada de carbono-14 encontrada na amostra utilizada para fazer essa datação.



AMj Studio/ID/BR

AMOSTRA PARA DIVULGAÇÃO

Não escreva no livro.

Anatomia comparada

A comparação da anatomia de diferentes espécies revela semelhanças e diferenças na estrutura corporal dos organismos, nem sempre óbvias ou aparentes, que podem ser explicadas pelo modelo evolucionista.

Órgãos homólogos e divergência evolutiva

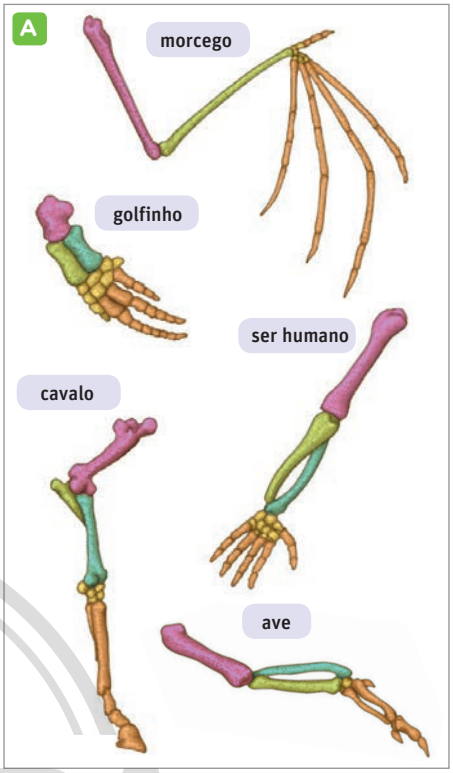
A anatomia comparada revela que muitas espécies animais distintas possuem estruturas ou órgãos anatomicamente diferentes, que podem ou não desempenhar a mesma função, mas cuja origem embrionária é comum – o que indica alto grau de parentesco evolutivo entre diferentes espécies. Esses órgãos ou estruturas são chamados de **homólogos**.

Por exemplo, os membros dianteiros de aves, de morcegos, de mamíferos marinhos – como os golfinhos –, do ser humano e do cavalo possuem a mesma origem embrionária e um mesmo plano estrutural, o que fica evidente quando se analisa a correspondência entre os ossos que formam essas estruturas (imagem **A**). No entanto, apesar de terem a mesma origem, suas funções são bem diferentes: nas aves e nos morcegos, as asas estão adaptadas ao voo; nos golfinhos, os membros dianteiros estão adaptados à natação; nos cavalos, à locomoção, e no ser humano, às inúmeras atividades que fazemos com os braços.

A presença de órgãos homólogos em diferentes espécies constitui evidência de que essas espécies evoluíram a partir de um ancestral comum, ou seja, de que houve **divergência evolutiva**, também chamada de **radiação adaptativa**.

Darwin estudou a divergência evolutiva nos tentilhões de Galápagos, que apresentam grande variedade de formatos de bico, adaptados a diferentes dietas. Estudos posteriores mostraram que diferentes espécies se originaram de uma espécie ancestral comum que se alimentava de sementes (imagem **B**).

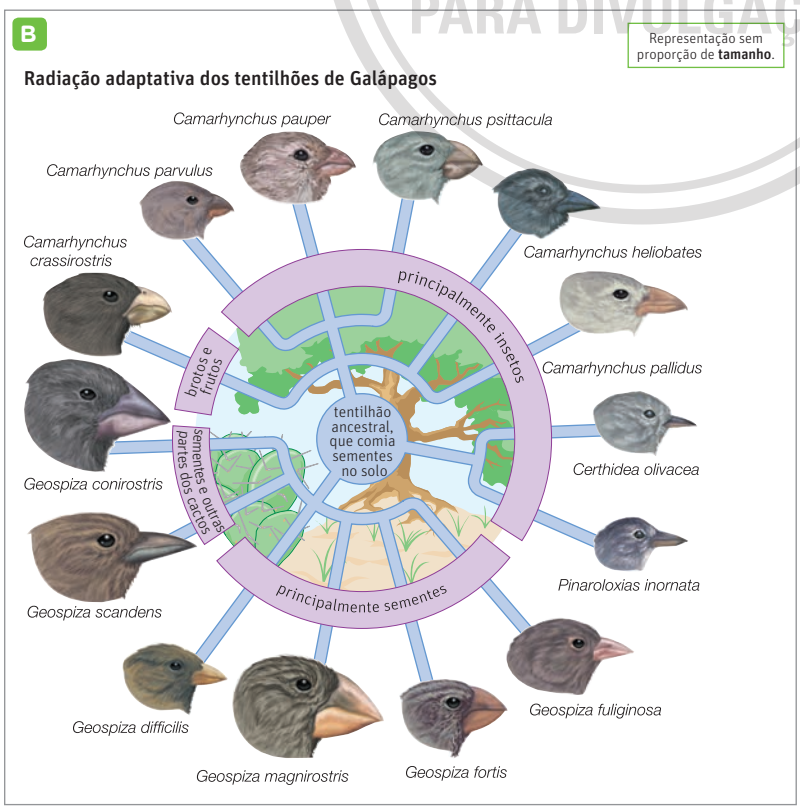
Representação sem proporção de **tamanho**.



Reinaldo Vignati/D/BR

Representação de cinco estruturas homólogas. A correspondência entre os ossos dos animais está representada com a mesma cor. Cores-fantasia.

Fonte de pesquisa: Ridley, M. *Evolução*. 3. ed. Porto Alegre: Artmed, 2008. p. 79-83.



Arquivo/Enciclopédia Britânica

Representação de exemplo de divergência evolutiva. Uma espécie ancestral do continente sul-americano originou as várias espécies que vivem nas ilhas do arquipélago de Galápagos. O formato do bico de cada espécie está adaptado ao tipo de dieta que ela apresenta. Cores-fantasia.

Fonte de pesquisa: *Encyclopædia Britannica Online*. Disponível em: <http://global.britannica.com/EBchecked/topic/223745/Galapagos-finch>. Acesso em: 2 mar. 2016.

ATIVIDADES

4. Considere que em certas ilhas predominam pássaros com bico grande e forte, que permite bicar sementes duras que existem no local. Em ilhas vizinhas se encontram pássaros semelhantes, porém com bico delicado e longo, adequado à retirada de insetos e vermes de buracos existentes em troncos. Os dois tipos de pássaros evidenciam alto grau de parentesco evolutivo. De que maneira Lamarck explicaria a correspondência entre o tipo de bico e o tipo de alimento?

AMOSTRA PARA DIVULGAÇÃO

Órgãos análogos e convergência evolutiva

Os estudos de anatomia comparada revelam também a existência, em diferentes grupos de organismos, de estruturas e órgãos que possuem a mesma função e, muitas vezes, aparência externa semelhante, mas com origem embrionária muito diversa – o que indica grau muito menor de parentesco evolutivo. Essas estruturas e órgãos são chamados de **análogos**.

Por exemplo, a asa de uma mosca e a de um morcego, embora tenham ambas a função de voo (imagem **A**), possuem origens embrionárias muito diferentes. Nos morcegos, as asas se formam a partir dos ossos dos membros dianteiros, presentes em todos os tetrápodes. Nas moscas elas se formam a partir de uma dobra do revestimento externo.

A existência de órgãos análogos é evidência de que a seleção natural, por caminhos muito diferentes, pode levar ao surgimento de um mesmo tipo de solução adaptativa, ou seja, de que houve **convergência evolutiva**.

Órgãos vestigiais

Órgãos vestigiais são estruturas que, em determinados grupos de organismos, perderam sua função original, mas são homólogas a órgãos funcionais em outros grupos, indicando uma origem evolutiva comum. Um órgão considerado vestigial pode, ainda assim, ter uma função.

Um exemplo é o do pequeno músculo encontrado na base dos pelos dos mamíferos. Nos seres humanos ele é o responsável pelo arrepio. Em outros animais, auxilia na defesa e na manutenção da temperatura do corpo. Nos humanos há tão poucos pelos que esses músculos, embora provoquem o arrepio, já não têm as funções originais.

Embriologia comparada

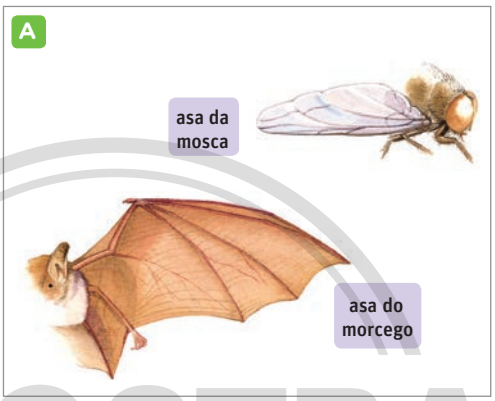
A análise comparativa do desenvolvimento embrionário de animais fornece outro tipo de evidência de evolução.

No início do desenvolvimento embrionário dos cordados, podemos observar a formação de estruturas anatomicamente semelhantes (imagem **B**). Pode-se verificar que as fendas branquiais, por exemplo, ocorrem em todos os grupos, sejam eles aquáticos ou não. Nos peixes, essas fendas darão origem às brânquias funcionais; nos vertebrados terrestres, entretanto, as fendas originam estruturas da cabeça e do pescoço.

Outro exemplo é a notocorda, estrutura de sustentação que aparece nas primeiras fases do desenvolvimento embrionário de cordados e que, nos vertebrados, é substituída pela coluna vertebral.

Essas e outras estruturas constituem mais um indicativo de que os cordados compartilham um mesmo ancestral evolutivo, que teria transmitido esses caracteres a todas as demais espécies do grupo.

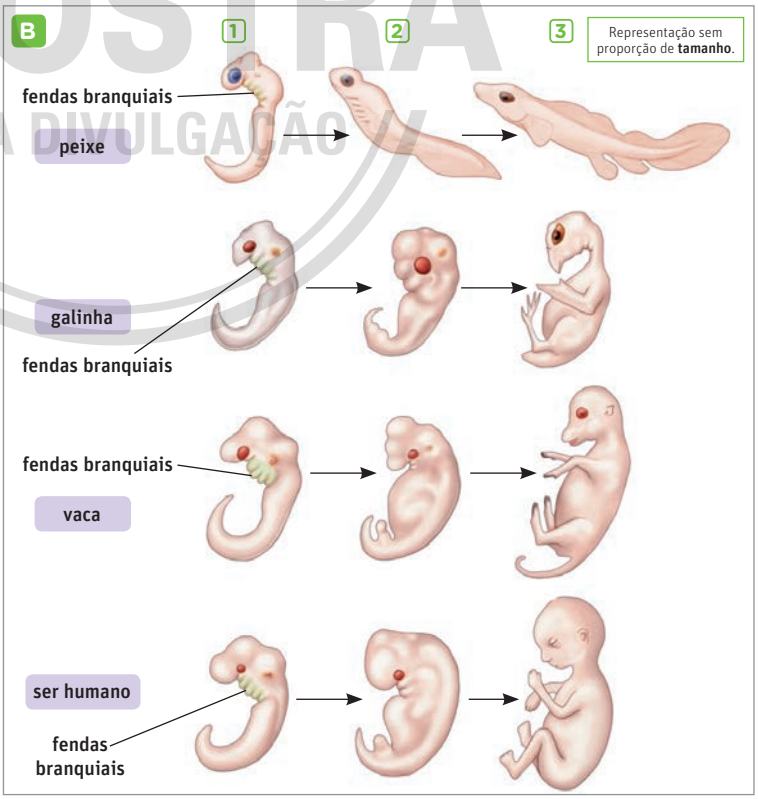
Reinaldo Vignati/ID/BR



Representação sem proporção de **tamanho**.

Representação de estruturas análogas. Tanto as asas dos morcegos quanto as asas das moscas são utilizadas no voo. Suas origens embrionárias, porém, são completamente distintas. Cores-fantasia.

Reinaldo Vignati/ID/BR



Embriologia comparada de quatro cordados. (**1**), (**2**) e (**3**) representam as fases do desenvolvimento. Note as semelhanças na primeira fase. Cores-fantasia.

Fonte de pesquisa das imagens desta página: Futuyma, D. J. *Biologia evolutiva*. 3. ed. Ribeirão Preto: Funpec-Editora, 2009. p. 103 e 653; Ridley, M. *Evolução*. 3. ed. Porto Alegre: Artmed, 2006. p. 452.

AMOSTRA PARA DIVULGAÇÃO

Não escreva no livro.

Bioquímica comparada

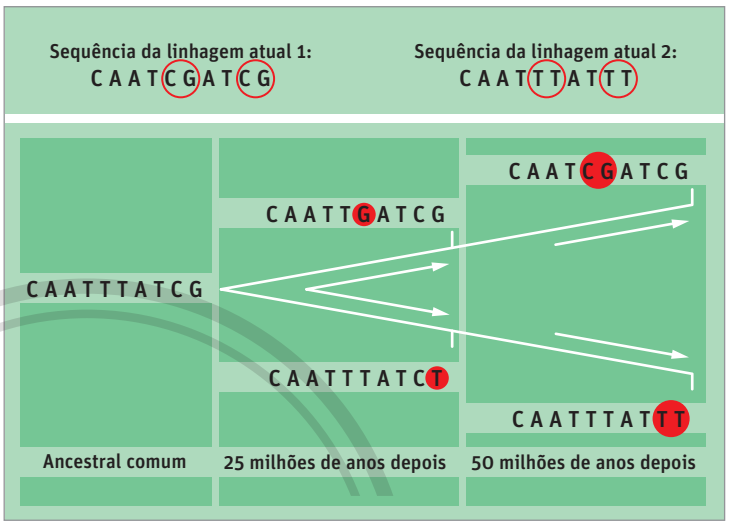
As descobertas da biologia molecular e da bioquímica, que são posteriores aos trabalhos de Darwin, também fornecem fortes evidências a favor da evolução dos seres vivos.

Uma das mais importantes é a grande semelhança entre o código genético dos mais diversos seres vivos. Esse código determina como as sequências de nucleotídios na molécula de DNA são traduzidas, gerando proteínas (tema abordado no capítulo 11 do volume 1 desta coleção).

Entre os seres vivos, as bases nitrogenadas que formam os nucleotídios de todas as espécies são as mesmas, ou seja, o DNA é uma estrutura universal.

A análise bioquímica de proteínas e ácidos nucleicos também tem sido amplamente utilizada para estimar o grau de parentesco entre espécies diferentes e tem confirmado o resultado de estudos de outras áreas da Biologia, como a anatomia e a embriologia comparadas.

Um dos métodos moleculares que ajudam a estimar quando ocorreram divergências evolutivas é o do relógio molecular. Ao longo do tempo algumas mutações podem se acumular em trechos de DNA. Quando a frequência dessas mutações é conhecida, esse trecho de DNA pode funcionar como um relógio. Por exemplo, sabendo que certo trecho de DNA sofre mutação em uma base a cada 25 milhões de anos, podemos estimar que duas espécies, que diferem entre si por quatro bases nesse trecho, se originaram de um ancestral comum há pelo menos 50 milhões de anos (imagem ao lado).



Paula Radi/ID/BR

Exemplo do uso do relógio molecular para duas linhagens hipotéticas atuais.

Fonte de pesquisa: Instituto de Biociências – Universidade de São Paulo. Disponível em: <http://www.ib.usp.br/evosite/evo101/IIE1cMolecularclocks.shtml>. Acesso em: 14 abr. 2016.

AMOSTRA PARA DIVULGAÇÃO

SAIBA MAIS

Formação Santana — o mais rico depósito de fósseis do Brasil

Denomina-se Formação Santana o conjunto de camadas geológicas formadas cerca de 110 milhões de anos atrás, onde hoje se situa a chapada do Araripe, que abrange os atuais estados do Ceará, Pernambuco e Piauí.

Naquela época, toda a América do Sul (incluindo a região onde hoje está localizado o Brasil) ainda estava unida ao continente africano, formando o supercontinente da Gondwana. A região da chapada do Araripe formava um gigantesco lago de águas rasas que cobria extensas áreas no local onde hoje se situam aqueles três estados.

Essa formação geológica contém um dos mais ricos depósitos de vertebrados fósseis do Brasil, constituindo um dos registros fossilíferos mais importantes do mundo.

Uma das características dessa formação é o excelente estado de conservação em que se encontra a maioria dos fósseis lá descobertos, como os fósseis de peixes, muitas vezes comercializados ilegalmente por todo o território brasileiro.

Na Formação Santana foram encontrados, também, fósseis de dinossauros, como o *Santanaraptor* e o *Angaturama* (dinossauro carnívoro que media aproximadamente 5 metros de comprimento), fósseis de pterossauros como o *Thalassodromeus* e o *Tapejara* (este último com aproximadamente 1,5 metro de envergadura), fósseis de tartarugas do gênero *Araripemys* e de outros répteis.

Em 1991, foi encontrado na Formação Santana um fóssil animal que apresentava pele, fibras musculares e, provavelmente, vasos sanguíneos, considerado um dos melhores exemplares de tecido mole fossilizado descobertos até hoje.

Além de peixes, como o *Brannerion latum* (imagem abaixo), e dos répteis já mencionados, a Formação Santana abriga diversos fósseis de invertebrados, como crustáceos, gastrópodes e bivalves.



Fabio Colombini/Acervo do fotógrafo

Fóssil de *Brannerion latum*, oriundo da Formação Santana. Museu de Paleontologia de Santana do Cariri, Santana do Cariri (CE), 2012.

Seleção natural e adaptação

Durante o processo de evolução, a seleção natural atua sobre a variabilidade existente nas populações, favorecendo os indivíduos que, em relação ao restante da população, apresentam características hereditárias mais vantajosas num ambiente. Esses indivíduos têm maiores chances de sobreviver e de se reproduzir com sucesso, deixando um número maior de descendentes ao longo das gerações. Isso significa que são selecionados os organismos mais adaptados ao contexto ecológico em que vivem, o que inclui desde adaptações aos aspectos físicos do ambiente, como clima e altitude, até adaptações relacionadas ao comportamento e às relações desses organismos entre si e com seres de outras espécies.

Exemplos clássicos de adaptação são a **coloração de aviso**, a **camuflagem** e o **mimetismo**, apresentados a seguir.

Coloração de aviso

A coloração de aviso, também chamada de coloração aposemática, funciona como uma advertência ao predador, um sinal de que ele deve evitar aquele animal, que pode ser venenoso ou ter sabor muito desagradável. Dessa maneira, os predadores, por experiência ou de modo inato, passam a evitar presas que exibam coloração de aviso. Várias espécies animais, como certas rãs (imagem **A**), apresentam esse tipo de coloração.

Camuflagem

A camuflagem é a adaptação pela qual o animal apresenta uma coloração ou forma que o confunda com o seu ambiente. Presas camufladas podem passar despercebidas por seus predadores. Estes também podem se confundir com o meio, não sendo notados por suas presas, o que facilita sua aproximação. O urutau (reveja a imagem de abertura deste capítulo), por exemplo, é uma ave cuja forma e coloração se confundem com as de galhos de árvores; insetos como o bicho-pau assemelham-se a gravetos; e certas espécies de sapos apresentam colorido e textura que os confundem com o substrato (imagem **B**).



Peter Arnold/Other Images

Rãs (*Dendrobates leucomela*) com coloração de aviso.



Michael & Patricia Fogden/Minden/Latinstock

Sapo (*Bufo typhonius*) camuflado sobre folhagens da floresta.

AMOSTRA PARA DIVULGAÇÃO

BIOLOGIA SE DISCUTE

Melanismo industrial

Durante anos, a história das mariposas do gênero *Biston*, com suas duas formas genéticas, esbranquiçada e melânica (escura), vem servindo como exemplo sobre o mecanismo de ação da seleção natural.

De acordo com os experimentos realizados em meados dos anos 1950 pelo inglês H. B. D. Kettlewell (1907-1979), antes do advento da Revolução Industrial as mariposas claras levavam vantagem sobre as escuras, já que ficavam camufladas aos olhos de pássaros predadores, quando pousavam sobre os troncos de árvores esbranquiçados pela presença de liquens. As formas escuras, por sua vez, contrastavam com o fundo claro; eram, portanto, mais sujeitas à predação por pássaros. Como consequência da Revolução Industrial, a fuligem na atmosfera matou os liquens e depositou-se nos troncos das árvores, escurecendo-os. Nessas condições, a forma melânica ficava camuflada, levando vantagem sobre as formas claras. Assim, a forma melânica rapidamente passou a prevalecer e a prosperar.

Os estudos de Kettlewell foram recentemente contestados, principalmente porque ele não considerou fatores como a migração das mariposas nem o fato de que os pássaros podem enxergar, em certa medida, a luz ultravioleta, e talvez possam distinguir o que nos parece camuflado.

Outros autores, entretanto, ainda consideram o melanismo industrial um dos melhores exemplos de seleção natural. Um dos principais contra-argumentos advém de novos estudos realizados em áreas urbanas da Inglaterra, despoluídas em consequência de políticas ambientais. Elas fizeram diminuir a fuligem, favorecendo, novamente as formas claras.



Bill Coster IN/Alamy/Other Images

Variações da mariposa *Biston betularia*. À esquerda, a forma melânica; à direita, a forma clara.

Não escreva no livro.

Mimetismo

Mimetismo é a adaptação pela qual uma espécie se assemelha a outra. Um exemplo bem conhecido é o das borboletas dos gêneros *Dismorphia* e *Heliconius* (imagem **A**), de sabor agradável aos pássaros, que apresenta coloração semelhante à das borboletas da subfamília Ithomiinae (imagem **B**), cujo corpo contém substâncias tóxicas e são de sabor desagradável. As aves que aprendem a evitar as Ithomiinae evitam também as borboletas dos gêneros *Dismorphia* e *Heliconius*, de coloração muito semelhante. Mesmo sem ser tóxica, a aparência dessas borboletas as protege de seus predadores.

Esse tipo de mimetismo é conhecido como **mimetismo batesiano**, em homenagem ao naturalista inglês Henry W. Bates (1825-1892), que descreveu o fenômeno no século XIX, ao observar borboletas em florestas brasileiras.

Outro exemplo de mimetismo batesiano ocorre entre serpentes. A falsa-coral, uma espécie de serpente não peçonhenta, apresenta coloração muito semelhante à da coral-verdadeira, cuja picada pode ser letal. A semelhança entre elas desencoraja eventuais predadores.

Já o **mimetismo mulleriano** foi proposto pelo naturalista alemão Fritz Müller (1822-1887), que emigrou para o Brasil em 1852. Müller naturalizou-se brasileiro em 1856 e viveu no Brasil até sua morte, em 1887. O naturalista descreveu o mimetismo pelo qual duas ou mais espécies de sabor desagradável apresentam um padrão de coloração semelhante. Dessa forma, o predador que teve experiência com alguma dessas espécies reconhece esse padrão e passa a evitá-las.



Barry Turner/Alamy/Latinstock



Bruce Coleman International/Diomedia

Exemplo de mimetismo batesiano: (**A**) borboleta do gênero *Heliconius*, (**B**) borboleta da subfamília Ithomiinae.

Seleção sexual e seleção artificial

Em seus estudos, Darwin reconheceu outros dois tipos de seleção, além da denominada seleção natural: a seleção sexual e a artificial.

De acordo com Darwin, a **seleção sexual** se refere às vantagens que certos indivíduos têm sobre outros do mesmo sexo e da mesma espécie, apenas no que diz respeito à reprodução. Na seleção sexual, os atributos dos machos de uma mesma espécie que são relevantes para a seleção sexual são chamados de caracteres sexuais secundários. Eles os tornam mais atrativos às fêmeas ou mais aptos a competir com outros machos da mesma espécie pela conquista das fêmeas, aumentando as chances de acasalamento. Na natureza há diversos exemplos de caracteres sexuais secundários relacionados à seleção sexual, como as magníficas plumagens dos machos das aves-do-paraíso ou o papo vermelho dos machos das fragatas (imagem **C**).

Ao contrário da seleção natural, pela qual o meio seleciona os organismos que apresentam características mais vantajosas para a sobrevivência e reprodução, na **seleção artificial** o ser humano define as características a serem selecionadas, realizando cruzamentos controlados em animais e plantas, ao selecionar as características que lhe interessam.

Por exemplo, para obter galinhas que produzam mais ovos, selecionam-se as mais produtivas para cruzá-las com galos descendentes de **poedeiras** também mais produtivas. Assim, o ser humano faz uma seleção dirigida, repetindo esse procedimento a cada nova geração, até obter a máxima qualidade e quantidade de ovos. Foi assim que características mais próximas das desejadas pelos seres humanos foram selecionadas em plantas e animais domésticos, por exemplo: raças de gado mais produtivas para o leite ou para a carne, cereais de melhor qualidade e mais rentáveis, e novas raças de cães (imagem **D**) e de gatos.



E. R. Degginger/Alamy/Latinstock

Casal de fragatas (*Fregata magnificens*) durante a corte. Observe que só o macho (à direita) tem o papo vermelho.



Carolyn A. McKeone/PR/Latinstock

Várias raças de cães resultam de seleção artificial. Da esquerda para a direita: pastor de Shetland (cerca de 40 cm de altura), *golden retriever* (cerca de 60 cm de altura), *setter* irlandês (cerca de 65 cm de altura) e bóxer (cerca de 60 cm de altura).

Poedeira: nesse caso, galinha que põe ovos.

AMOSTRA
PARA DIVULGAÇÃO

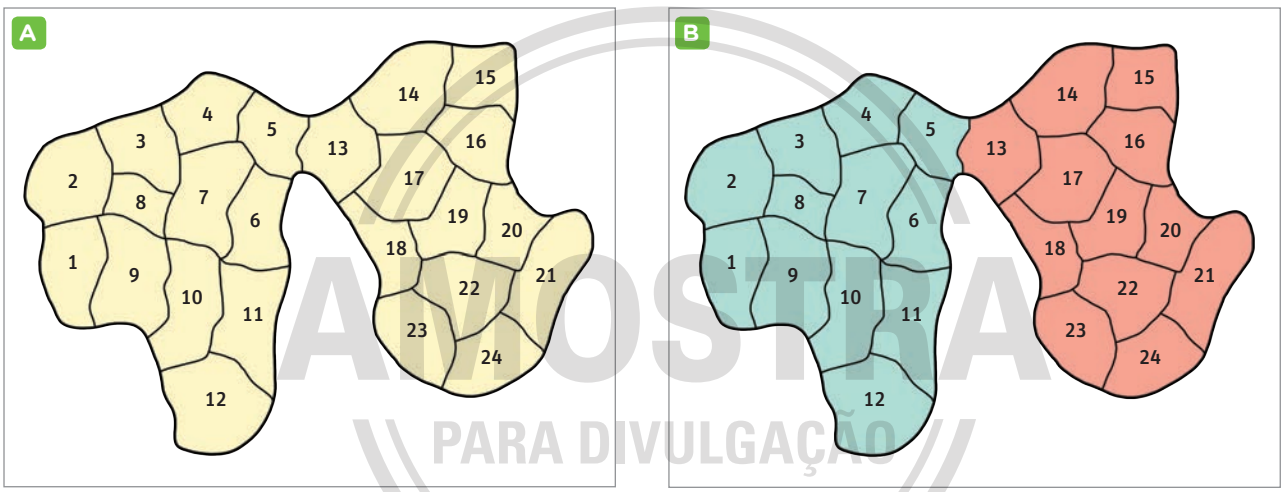
Jogo da seleção natural

Objetivo

Simular e discutir a dinâmica da seleção natural por meio de um jogo de tabuleiro.

Material

- tabuleiro com territórios amarelos (imagem **A**) ou tabuleiro com territórios verdes e vermelhos (imagem **B**)
- 3 dados
- 3 tipos diferentes de grãos para servirem como peças (feijão, milho, lentilha, etc.) (são necessários ao menos 100 grãos de cada tipo)
- 1 folha de papel sulfite tamanho A3 (42 cm × 30 cm) ou 2 folhas tamanho A4 (21 cm × 30 cm) unidas no verso com fita adesiva
- 2 folhas de papel sulfite tamanho A4 (21 cm × 30 cm)



Ilustrações: Vagner Coelho/ID/BR

(**A**) Tabuleiro com territórios amarelos e (**B**) tabuleiro com territórios verdes e vermelhos. Note que ambos têm o mesmo aspecto e a mesma quantidade de territórios. Cores-fantasia.

AMOSTRA PARA DIVULGAÇÃO

Procedimento

1. Nesse jogo, a fim de simular a ação da seleção natural, imagine que os territórios do tabuleiro representem ambientes e que cada tipo de peça represente uma espécie.
2. Formem grupos de três ou seis alunos, conforme orientação do professor.
3. Cada grupo deve jogar em um tabuleiro (o dos territórios amarelos ou o dos territórios verdes e vermelhos). Portanto, cada grupo deve confeccionar, na folha de papel sulfite A3, um dos dois tabuleiros mostrados acima. A escolha do tabuleiro e a sua confecção deve ser feita conforme orientação do professor.
4. Cada grupo deve, ainda, usar as duas folhas de papel sulfite A4 para confeccionar 24 cartas. Para isso, peguem uma das folhas e dobrem quatro vezes. Em seguida, desdobrem-na e usem os vincos formados para recortar 16 cartas. Façam o mesmo com a outra folha, recortando mais oito cartas. Depois, numerem as cartas de 1 a 24. Os números das cartas correspondem aos territórios no tabuleiro.
5. O grupo deve, então, ser dividido em três equipes. Cada equipe deve escolher um tipo de grão para ser sua peça (por exemplo: uma equipe fica com os feijões; a segunda equipe, com os milhos; a terceira, com as lentilhas).
6. Embaralhem as cartas e distribuam oito delas para cada equipe. Cada carta indica o território que pertence a cada equipe.
7. Coloquem três peças em cada território da equipe.
8. Uma das equipes deve iniciar o jogo, de acordo com as regras elencadas na página ao lado.

Não escreva no livro.

Regras

1. As equipes devem tentar conquistar os territórios das demais equipes, enquanto estas devem se defender.
2. Só é permitido investir sobre um território vizinho, isto é, um território que faça fronteira com um dos territórios da equipe investidora.
3. Para fazer um movimento de avanço, a equipe deve possuir no mínimo 2 peças no território de onde moverá uma das peças para o território vizinho.
4. Para fazer o movimento de avanço, essa equipe deve jogar o(s) dado(s) e anotar o número tirado. Em seguida, a equipe defensora deve jogar o(s) dado(s) para realizar a defesa (leia a regra 8 para saber com quantos dados jogar em cada situação). O número mais alto vence; no caso de as duas equipes tirarem o mesmo número, a equipe defensora ganha.
5. Quem perder deve tirar uma peça do seu território. Caso seja a última peça da defesa, a equipe investidora move uma peça do território que promoveu o avanço para o território conquistado.
6. Cada equipe poderá realizar três movimentos de avanço na sua vez de jogar.
7. Ao final de cada rodada (ou seja, após as três equipes terem jogado), cada equipe deve colocar uma peça em cada um de seus territórios, contanto que não exceda três peças por território.
8. Em cada tabuleiro, a quantidade de dados utilizada nos movimentos para cada equipe pode variar. Veja:
   - No tabuleiro de territórios amarelos: todas as equipes avançam e defendem com apenas um dado.
   - No tabuleiro de territórios verdes e vermelhos: a primeira equipe avança e defende sempre com dois dados; a segunda equipe avança e defende com três dados quando estiver nos territórios verdes, e, quando, estiver em territórios vermelhos, usa apenas dois dados; por fim, a terceira equipe avança e defende com três dados quando estiver nos territórios vermelhos, e, nos territórios verdes, usa apenas dois dados. O professor vai decidir quais equipes devem seguir as regras descritas nesses casos.
9. O professor interromperá o jogo depois de 30 a 45 minutos transcorridos. Os grupos não devem desmontar os tabuleiros ou mexer na disposição das peças.

Fonte de pesquisa: Moraes, D.; Alonso, E. et al. Origem e diversificação da vida: seleção natural. In: *Instrumentação para o Ensino de Ciências Biológicas*. São Paulo: Instituto de Biociências-USP, 2008. v. 3. p. 242-246.

Resultados

1. Com o auxílio do professor, copiem no caderno as tabelas a seguir e as preencham com o número de territórios com que cada equipe correspondente ficou ao final do jogo. Por exemplo: caso haja na classe duas equipes 1 que tenham jogado no tabuleiro de territórios amarelos, somem o número de territórios dessas equipes e registrem esse valor.
2. Calculem a média para cada situação: a média de um conjunto de valores numéricos deve ser calculada somando-se os valores de todas as equipes correspondentes (feito acima) e dividindo-se o resultado pelo número de elementos somados (por exemplo: pelo número de equipes 1 que jogaram no tabuleiro de territórios amarelos).

Tabuleiro com territórios amarelos		
Equipe	Total de territórios conquistados	Média
1		
2		
3		

Tabuleiro com territórios verdes e vermelhos		
Equipe	Total de territórios conquistados	Média
1		
2		
3		

Exemplos de tabelas para registro de informações da atividade.

AMOSTRA PARA DIVULGAÇÃO

Discussão

1. Supondo que cada tipo de peça represente uma espécie e cada território do tabuleiro represente um ambiente, de que maneira esse jogo simula a seleção natural?
2. Observando os resultados dos tabuleiros com territórios verdes e vermelhos, qual das espécies parece estar menos adaptada ao ambiente? O que aconteceria com ela se o jogo continuasse por mais tempo?
3. Quando pensamos em adaptação, é importante considerar o ambiente onde está a espécie. De que maneira o tabuleiro com territórios verdes e vermelhos mostra isso?
4. Como podemos explicar os resultados observados nos tabuleiros com territórios amarelos?
5. Por que é importante conhecer a média dos territórios conquistados em cada tabuleiro, pensando no contexto de espécies e ambientes?

Não escreva no livro.

CAPÍTULO

10

A teoria da evolução após Darwin

O QUE VOCÊ VAI ESTUDAR

Breve história da teoria sintética da evolução.

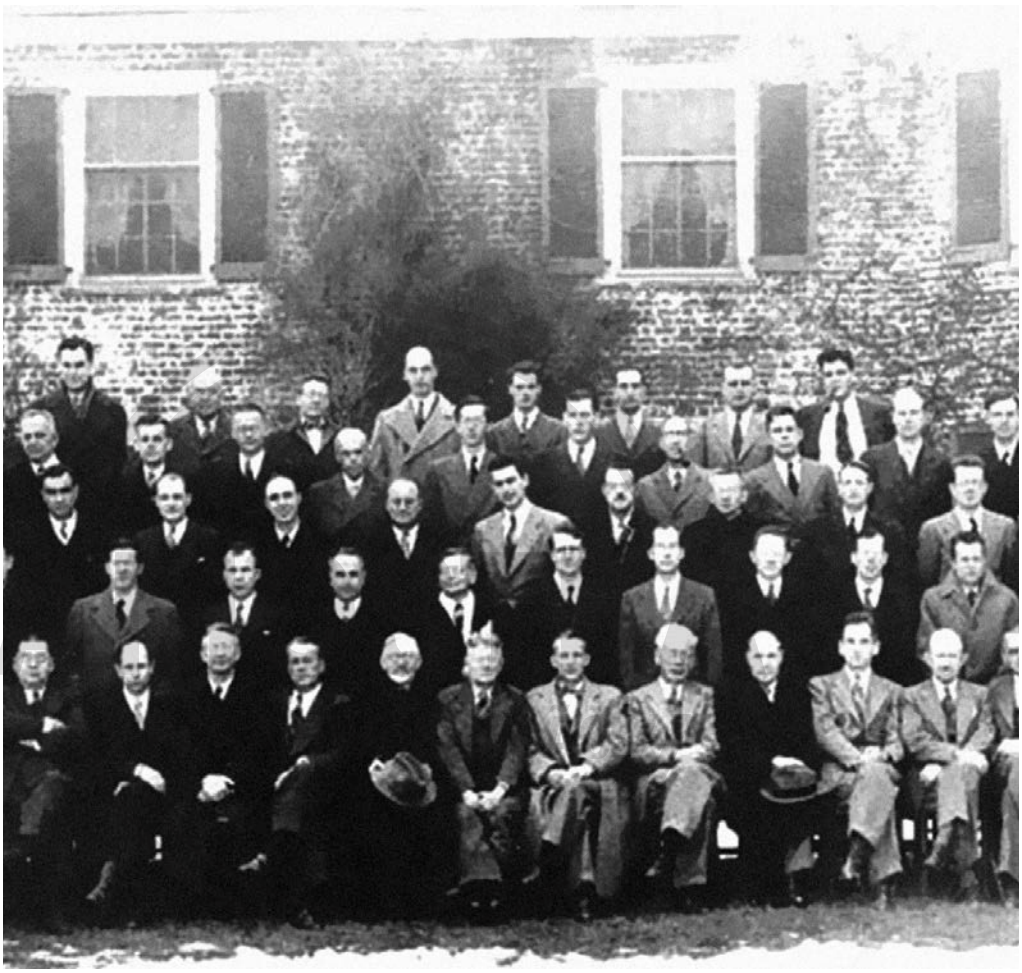
As bases genéticas da evolução.

Deriva genética.

Seleção natural.

Especiação.

Evolução e diversidade da vida.



Department of Anthropology/Princeton University

Participantes da Conferência Internacional sobre Genética, Paleontologia e Evolução, realizada em Princeton, EUA, em 1947, na qual foi oficialmente estabelecida a teoria sintética da evolução.

Ainda no século XIX, o trabalho de Darwin contribuiu para a grande aceitação da ideia da evolução dos seres vivos. No entanto, entre 1890 e 1910, a teoria da seleção natural foi fonte de muitas controvérsias e debates.

A partir de 1918, uma série de estudos na área da genética reafirmou o valor da seleção natural para a evolução das espécies e proporcionou as bases para a teoria sintética da evolução, que predominou durante todo o século XX. Essa teoria evolutiva unificou os conhecimentos da sistemática, da paleontologia e da genética e mostrou a importância da seleção natural como um mecanismo propulsor da evolução, por meio de modelos bem fundamentados dos mecanismos de formação e evolução das espécies.

O conhecimento obtido por áreas que se desenvolveram desde a metade do século XX – como a ecologia e a biologia do desenvolvimento, mas, principalmente, a biologia molecular – trouxe novos desafios para a teoria sintética a partir de 1990, contribuindo para o debate e a compreensão de como a vida na Terra evolui e se diversifica.

Não escreva no livro.

A teoria sintética da evolução

Após a publicação do livro *A origem das espécies*, de Darwin, em 1859, a ideia de que os seres vivos eram criados e permaneciam imutáveis ao longo das gerações e por tempo ilimitado começou a tornar-se insustentável no meio científico. A ideia de que os seres vivos evoluem, que já contava com alguns adeptos, tornou-se amplamente aceita depois que Darwin forneceu em seu livro muitas evidências convincentes.

Já a aceitação da teoria da seleção natural, na época, foi diferente. Mesmo enfatizando que ela era o mecanismo mais importante, o próprio Darwin considerava que poderia haver outros mecanismos de mudanças evolutivas, além da seleção natural; por exemplo, a herança dos caracteres adquiridos. Essa flexibilidade permitiu que mesmo naturalistas que tinham restrições em relação à teoria da seleção natural aderissem ao darwinismo, isto é, à ideia da evolução.

Muitos naturalistas não aceitavam a ideia de as variações individuais não serem dirigidas pelas necessidades de sobrevivência dos organismos e procuravam explicações que conferissem à evolução uma finalidade, ou seja, o aperfeiçoamento dos seres vivos em direção a uma configuração ideal do organismo, como se houvesse um projeto preexistente dos seres vivos que devesse ser alcançado. Nos anos 1890, as teorias mais aceitas eram o **neolamarckismo** e a **teoria da ortogênese**.

Os neolamarckistas negavam a teoria da seleção natural e propunham uma reinterpretação da teoria de Lamarck. Eles conferiam papel evolutivo à herança dos caracteres adquiridos (inclusive os decorrentes de uso e desuso) e consideravam que a evolução era impulsionada pela tendência **intrínseca** dos seres vivos rumo ao aperfeiçoamento.

Intrínseco: nesse caso, próprio do ser vivo, inerente.

Os ortogenistas, muitos deles paleontólogos, defendiam que havia algum tipo de força intrínseca direcionadora que promovia a evolução, e negavam o papel evolutivo da seleção natural. Eles se baseavam principalmente nos registros fósseis, onde viam padrões que sugeriam um processo evolutivo com rumo preestabelecido.

ATIVIDADES

1. Observe a imagem da abertura deste capítulo. Quantas mulheres há na foto? O que isso pode significar, levando em consideração o panorama da época? E hoje em dia, como você acha que é a representação da mulher na ciência?

O "eclipse do darwinismo"

Nos primeiros anos da década de 1880, August Weismann (1834-1914) – o mesmo que, em 1885, descreveu a meiose (abordada no capítulo 1) – publicou uma série de artigos e o livro *Ensaios sobre a hereditariedade*, nos quais defendia a seleção natural como único mecanismo evolutivo aceitável e argumentava que a herança dos caracteres adquiridos simplesmente não ocorria.

Diante da inflexibilidade proposta por Weismann, muitos naturalistas deixaram de apoiar o darwinismo, e as teorias evolutivas antidarwinistas prosperaram. Houve uma redução tão grande na aceitação da teoria darwinista que o historiador da ciência Peter J. Bowler (1944-) denominou esse período de "eclipse do darwinismo".

Mesmo com os trabalhos de Mendel e o surgimento da genética, ainda no começo do século XX o darwinismo permaneceu como uma teoria questionável e aceita por poucos cientistas. Os principais geneticistas mendelianos – como William Bateson (1861-1926), Hugo de Vries (1848-1935) e Wilhelm L. Johannsen (1857-1927) – não adotaram a teoria da seleção natural, pois verificaram experimentalmente que as mutações provocavam alterações bruscas nos organismos, o que não se adequava ao processo gradual de mudança previsto pela teoria da seleção natural. Eles defendiam que as mutações, elas próprias, eram responsáveis pelas mudanças evolutivas.



SPL/Latinstock

O biólogo alemão August Weismann.

AMOSTRA
LIVRE DIVULGAÇÃO

O retorno do darwinismo

O darwinismo ressurgiu ao longo da década de 1920, especialmente com os trabalhos de Ronald Aylmer Fischer (1890-1962) e John B. S. Haldane (1892-1964), na Inglaterra, e Sewall Wright (1889-1988), nos Estados Unidos. Eles mostraram, cada um de uma forma, que a herança mendeliana e a genética de populações podiam explicar a origem e a transmissão das variações entre indivíduos, bem como os efeitos da seleção natural sobre as populações.

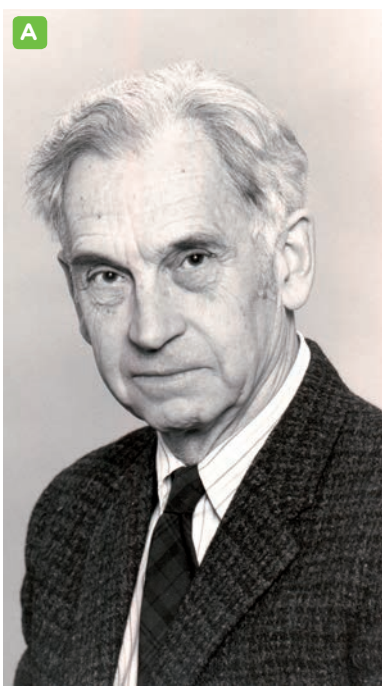
A partir de então, estabeleceu-se intensa atividade entre os evolucionistas das diversas áreas: sistemática, paleontologia e genética. Artigos e livros foram publicados e vários encontros foram realizados com o objetivo de reunir os conhecimentos e sistematizá-los na forma de uma teoria evolutiva, que foi denominada **teoria sintética da evolução**, ou neodarwinismo. Entre os principais protagonistas dessa síntese destacam-se o paleontólogo Georges G. Simpson (1902-1984), o botânico George L. Stebbins (1906-2000), o ornitólogo e sistemata Ernst Mayr (1904-2005; imagem **A**) e o geneticista Theodosius Dobzhansky (1900-1975; imagem **B**). Este último, autor de *Genética e a origem das espécies* (1937), obra que contribuiu para uma nova compreensão da teoria evolutiva, também trabalhou no Brasil, onde formou vários discípulos.

Na Conferência Internacional sobre Genética, Paleontologia e Evolução, realizada em Princeton, EUA, em 1947 (reveja a imagem na abertura deste capítulo, na página 140), a teoria sintética da evolução foi formalmente estabelecida. Trata-se de um todo coerente capaz de explicar, com o apoio de evidências robustas, vários aspectos da evolução das espécies.

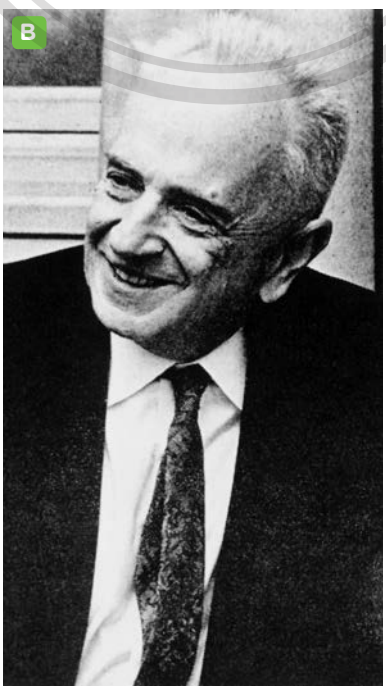
No entanto, como você verá ao longo deste capítulo, conhecimentos gerados por áreas da Biologia – sobretudo a genética molecular, a ecologia e a biologia do desenvolvimento – trouxeram novos desafios e, ao mesmo tempo, proporcionaram novas contribuições para o entendimento de como se formam as espécies e como elas mudam ao longo do tempo.

ATIVIDADES

2. Com o desenvolvimento de experimentos em genética no começo do século XX, o princípio da herança das características adquiridas foi rejeitado. Converse com os colegas: Qual a importância de se aprender sobre hipóteses que em determinada época do passado foram amplamente aceitas, mas que hoje são rejeitadas?



Museum of Comparative Zoology/Ernst Mayr Library/Harvard University



SPL/Latinstock

(**A**) O ornitólogo e sistemata Ernst Mayr. (**B**) O geneticista Theodosius Dobzhansky, que escreveu *Genética e a origem das espécies* (1937) e outras obras.

AMOSTRA PARA DIVULGAÇÃO

Não escreva no livro.

As bases genéticas da evolução

Neste tópico serão analisadas as principais contribuições da genética de populações para os estudos evolutivos.

A origem das variações

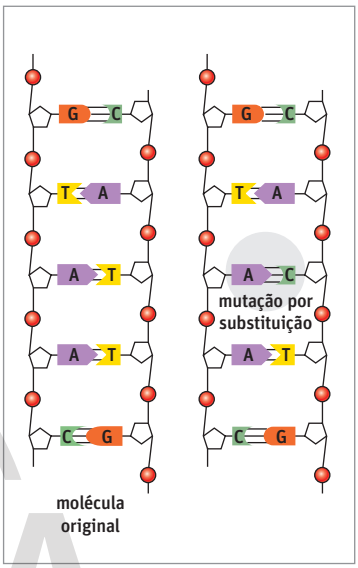
As variações entre os indivíduos de uma população são fundamentais para que ocorra a evolução, pois elas proporcionam o diferencial de sobrevivência e reprodução, sobre o qual a seleção natural atua.

As características fenotípicas de um indivíduo não resultam apenas da ação dos genes. Entre outros fatores, elas resultam da interação do genótipo com o ambiente e de eventos ocorridos durante o desenvolvimento do embrião, que variam de indivíduo para indivíduo. No entanto, do ponto de vista da genética de populações, são analisadas especialmente as variações na molécula de DNA, que resultam de recombinação, reprodução sexuada e mutações.

A maior parte das variações genéticas de uma população surge por mutação nas sequências de nucleotídios do organismo (imagem ao lado). Elas ocorrem espontaneamente durante a replicação do DNA. Existem também variações genéticas decorrentes de mutações cromossômicas que alteram o número ou a estrutura dos cromossomos, mas elas são menos frequentes porque, em geral, esse tipo de mutação afeta a viabilidade do organismo. Na natureza, as mutações pontuais, em sequências de nucleotídios, ocorrem ao acaso, e não de acordo com as necessidades do organismo, e podem ser benéficas, prejudiciais ou neutras em relação à sobrevivência e capacidade de reprodução deste.

Nos seres multicelulares, apenas as mutações no material genético das células germinativas (as que originam os gametas) podem ter algum significado evolutivo, pois apenas essas mutações são hereditárias.

Esquema de mutação em um dos nucleotídios de um segmento de DNA. Cores-fantasia.



Adilson Secco/ID/BR

BIOLOGIA NO COTIDIANO

A seleção natural e a resistência aos antibióticos

Com o desenvolvimento de vacinas e antibióticos, a humanidade vem conquistando vitórias na luta contra os microrganismos patogênicos. Todavia, novas mutações e a ação da seleção natural sobre elas podem originar linhagens resistentes de microrganismos, que não respondem aos tratamentos existentes. A resistência aos antibióticos é um exemplo de quão poderosa pode ser a ação da seleção natural.

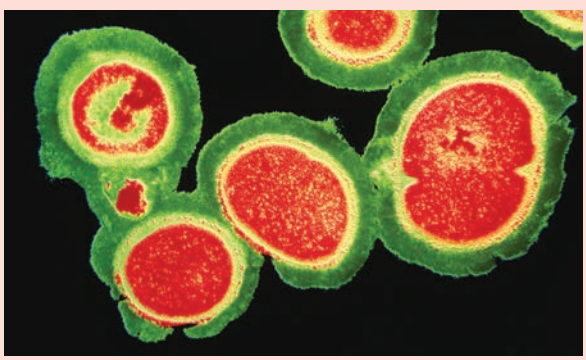
Esse mecanismo pode ser entendido assim:

- Dentro das populações de bactérias ou de outros organismos sempre há variabilidade genética.
- Bactérias que carregam determinados alelos mutantes, que lhes garantem resistência contra antibióticos específicos, sobrevivem e se reproduzem com mais eficiência do que as que não têm essas mutações, e acabam disseminando seus alelos nas populações.
- Essas bactérias mutantes originam linhagens resistentes à ação daqueles medicamentos.

Um dos principais fatores que contribuem para o aumento da resistência das bactérias aos antibióticos é o uso indiscriminado e abusivo desse tipo de medicamento. Quando o antibiótico é usado de maneira inadequada, sem orientação médica, pode promover a seleção das **cepas** mais resistentes, em detrimento daquelas mais sensíveis.

Cepa: linhagem.

Entre as bactérias resistentes aos antibióticos, estão algumas linhagens do bacilo da tuberculose e linhagens de *Staphylococcus aureus*, bactéria causadora de diversas infecções, como meningite e pneumonia.



Dr. Kari Lounatmaa/SPL/Latinstock

Bactérias da espécie *Staphylococcus aureus* resistentes a certos antibióticos. (Foto ao microscópio eletrônico de transmissão; imagem colorizada; ampliação de cerca de 30 mil vezes.)

1. Muitas pessoas recorrem à prática da automedicação, ingerindo antibióticos sem saber se necessitam do medicamento. O desenvolvimento de linhagens de bactérias cada vez mais resistentes aos antibióticos é acelerado pelo uso indevido desses medicamentos. Esse processo pode ser considerado uma adaptação? Explique.

AMOSTRA
PARA DIVULGAÇÃO

A amplificação das variações

Embora novos alelos sejam produzidos por mutações, as variações nas populações naturais se devem a processos que recombinam os genes dos conjuntos parentais, criando uma enorme variedade de novos genótipos.

Nos organismos com reprodução sexuada, os principais processos de recombinação do conjunto gênico são a **permutação** (ou *crossing-over*) e a **segregação independente** dos cromossomos homólogos. Esses dois processos ocorrem durante a meiose, a divisão celular que origina os gametas.

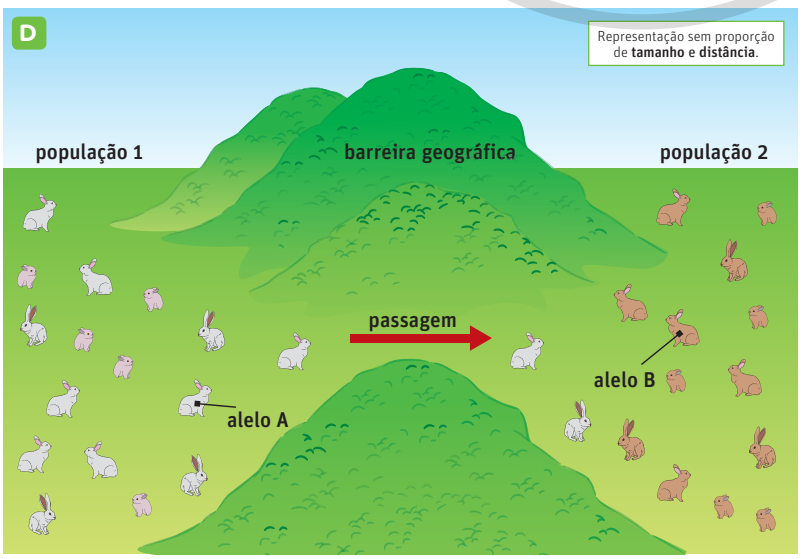
A permutação (tema abordado no capítulo 6 deste livro) ocorre na primeira divisão da meiose e consiste na troca de trechos dos cromossomos homólogos parentais. Já a segregação independente ocorre durante a segunda divisão meiótica e consiste no movimento dos cromossomos para os polos da célula e, posteriormente, para as células-filhas (imagens **A**, **B** e **C**).

A permutação e a segregação independente produzem conjuntos de genes com combinações diferentes em relação aos conjuntos parentais, e, dessa forma, originam novos genótipos. Estes, por sua vez, proporcionam novos fenótipos, sobre os quais o processo de seleção natural pode atuar.

Outra fonte de ampliação da variabilidade em populações de organismos com reprodução sexuada é o acasalamento com indivíduos de populações vizinhas. Os descendentes gerados nessa situação possuem em seu genótipo genes anteriormente inexistentes na população original. Esse intercâmbio de genes entre populações é chamado **fluxo gênico** (imagem **D**).

Nos organismos eucariotos de reprodução assexuada, as variações também surgem devido a mutações e, em geral, elas são a única fonte de variação fenotípica nas populações. Nesse caso, se a mutação é benéfica, forma-se uma nova linhagem. Quando a mutação é prejudicial, a linhagem tende a ser extinta.

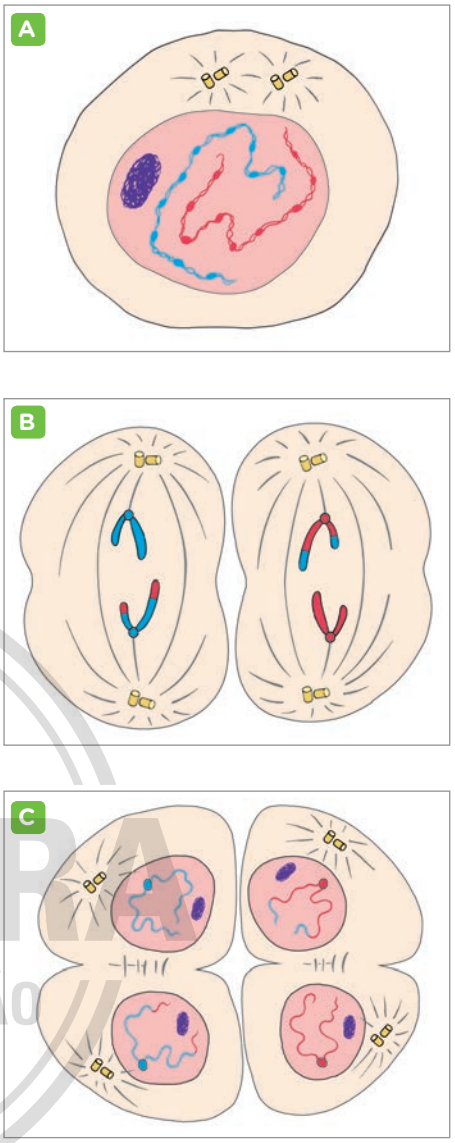
Entre os procariotos, uma das formas de recombinação do conjunto gênico é pelo processo de **conjugação**, no qual uma bactéria se une a outra e transfere a ela parte de seu material genético.



Reinaldo Vignati/ID/BR

Esquema de migração ou fluxo gênico. Ao migrarem, os indivíduos da população 1 levam o alelo **A** para a população 2. Cores-fantasia.

Representações sem proporção de **tamanho**.



Ilustrações: Roberto Higa/ID/BR

Esquema de segregação independente durante a meiose. (**A**) Início da meiose. (**B**) Segregação independente. Observe que existem trechos dos cromossomos que estão trocados, porque na primeira etapa da meiose (não representada nesse esquema) houve a permutação. (**C**) Final da meiose, com a formação das quatro células-filhas, que são geneticamente diferentes em relação às células genitoras. Cores-fantasia.

Fonte de pesquisa: Griffiths, A. J. F. et al. *Introdução à genética*. 9. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2011. p. 42-43.

AMOSTRA
PARA DIVULGAÇÃO

Não escreva no livro.

Variações e frequências gênicas

A **genética de populações** dedica-se ao estudo da evolução com base no estudo das mudanças da composição gênica de uma população ao longo das gerações.

Imagine uma população hipotética de peixes na qual a cor é uma característica hereditária, determinada por um par de alelos. O alelo **V** condiciona a cor azul, e o alelo **v**, na forma homozigota, determina a cor amarela.

Em certo momento, verifica-se que a porcentagem do alelo **V** naquela população é de 40%, e a porcentagem do alelo **v** é de 60%. Passadas algumas gerações, uma nova avaliação mostra que a porcentagem do alelo **V** caiu para 30%, e a do alelo **v** subiu para 70%. Essa alteração na frequência dos alelos indica que a população de peixes sofreu uma mudança evolutiva.

Mudanças genéticas que ocorrem dentro das populações, como nesse exemplo, são chamadas de **microevolução**.

População mendeliana

Considera-se uma população como unidade evolutiva quando seus indivíduos compartilham um conjunto gênico que pode ser transmitido às gerações seguintes por meio de reprodução sexuada. Essa população é chamada de mendeliana. Assim, uma **população mendeliana** pode ser definida como um conjunto de indivíduos que se reproduzem sexuadamente e que compartilham um conjunto gênico comum, geralmente legado a seus descendentes (imagem acima e ao lado). A composição genética de uma população mendeliana é avaliada a partir da frequência de seus genes.

Frequências genotípicas e gênicas

Considere uma população mendeliana constituída por N indivíduos, em cujo conjunto gênico determinado gene se apresenta sob a forma de dois alelos, **A** e **a**. Assim, em relação a esse gene, os indivíduos da população poderão apresentar um dos seguintes genótipos: **AA**, **Aa** ou **aa**. Isto é, haverá uma parcela da população – n indivíduos – com genótipo **AA**, indicados por n(**AA**); n indivíduos com genótipo **Aa**, indicados por n(**Aa**); e n indivíduos com genótipo **aa**, indicados por n(**aa**).

Cálculo das frequências genotípicas

No exemplo hipotético citado, a frequência de cada um dos genótipos é o número de indivíduos portadores de determinado genótipo em relação ao número total de indivíduos da população. Assim, a frequência do genótipo **AA** será:

$$f(\mathbf{AA}) = \frac{n(\mathbf{AA})}{N}$$, em que n(**AA**) é o número de indivíduos com genótipo **AA**, e N é o número total de indivíduos da população.

Da mesma maneira, a frequência do genótipo **Aa** e a do **aa** serão, respectivamente:

$$f(\mathbf{Aa}) = \frac{n(\mathbf{Aa})}{N}; \text{ e } f(\mathbf{aa}) = \frac{n(\mathbf{aa})}{N}.$$

Cálculo das frequências gênicas

A frequência gênica relaciona-se às frequências dos alelos de um gene em uma população. Considerando o exemplo hipotético apresentado, a frequência gênica é a frequência dos alelos **A** e **a** naquela população.

Para calcular essas frequências lembre-se de que o alelo **A** está presente nos indivíduos homozigotos dominantes e nos heterozigotos. Da mesma maneira, o alelo **a** está presente nos homozigotos recessivos e nos heterozigotos. Assim, para calcular a frequência do alelo **A** na população, devem-se considerar as duas situações em que ele aparece, como expresso na seguinte fórmula matemática:

$$f(\mathbf{A}) = \frac{n(\mathbf{AA}) \times 2 + n(\mathbf{Aa})}{2N}$$

Observe que o número de indivíduos que apresentam genótipo **AA** é multiplicado por 2, pois cada indivíduo carrega dois alelos **A**. Esse produto é somado ao número de indivíduos com genótipo **Aa**, uma vez que cada indivíduo com esse genótipo carrega apenas um alelo **A**. Esse somatório deve ser dividido pelo tamanho total da população (N) multiplicado por 2, uma vez que cada indivíduo apresenta um par de genes.

Para o cálculo da frequência de **a**, usa-se o mesmo raciocínio:

$$f(\mathbf{a}) = \frac{n(\mathbf{aa}) \times 2 + n(\mathbf{Aa})}{2N}$$



Alexander Hafemann/iStock/Getty Images

Uma população de pinguins pode ser entendida como uma população mendeliana, na qual os indivíduos se reproduzem sexuadamente e compartilham um conjunto gênico comum.

AMOSTRA PARA DIVULGAÇÃO

Populações em equilíbrio de Hardy-Weinberg

A variabilidade genética existente entre os indivíduos que compõem uma população pode ser expressa em termos de frequências gênicas. Mas quais são os fatores que determinam a frequência dos alelos em uma população? Essa questão foi elucidada em 1908, quando o matemático inglês Godfrey Harold Hardy (1877-1947) e o médico alemão Wilhelm Weinberg (1862-1937), de maneira independente, demonstraram matematicamente que, se não houver qualquer fator evolutivo atuando sobre uma população, as frequências dos seus alelos e de seus genótipos permanecerão constantes de geração para geração. Tal postulado ficou conhecido como **teorema** ou **princípio de Hardy-Weinberg** e é válido somente para uma população em que a evolução esteja "suspensa", ou seja, uma população hipotética.

A população ideal encontra-se em equilíbrio gênico e genotípico apenas se atender às seguintes condições:

- A população deve ser muito grande ou de forma efetiva ter um número virtualmente infinito de indivíduos.
- Os cruzamentos devem ocorrer totalmente ao acaso, condição que recebe o nome de pan-mixia.
- Não deve haver seleção. Isso implica que os indivíduos devem ter as mesmas chances de sobrevivência e de reprodução.
- Não deve haver migrações, ou seja, não deve haver indivíduos entrando ou saindo da população, nem devem ocorrer mutações.

ATIVIDADES

3. O princípio de Hardy-Weinberg é válido apenas sob condições especiais. Esse tipo de modelo nulo, como o princípio da inércia, na Física, esclarece as situações em que não ocorrem mudanças. No entanto, essas condições especiais raramente são observadas na natureza, ou mesmo em populações experimentais, mantidas em laboratório. Qual seria, então, a utilidade do princípio do equilíbrio gênico para os biólogos evolucionistas?

BIOLOGIA SE DISCUTE

Raças humanas

No século XIX, estudos científicos atribuíam tendenciosamente ao "homem branco ocidental" uma suposta posição de superioridade.

No século XX, essas ideias culminaram com a eugenia, ou seja, práticas que visavam a um suposto "melhoramento" genético da espécie, pela esterilização ou eliminação de indivíduos considerados "indesejáveis".

A partir do final da Segunda Guerra Mundial (em 1945), com a divulgação dos crimes contra a humanidade praticados ao longo desse conflito, o conceito de "raças" humanas começou a ser questionado.

No Brasil, por exemplo, pesquisas recentes mostraram que entre os brasileiros ditos "brancos" há uma frequência considerável de genes de origem africana e **ameríndia**, o que fornece evidências do alto grau de miscigenação da população brasileira.



Acervo Artístico Cultural dos Palácios do Governo do Estado de São Paulo, São Paulo, Brasil. Fotografia: ID/BR

Na obra *Operários*, de Tarsila do Amaral, 150 cm × 205 cm, observam-se pessoas com características físicas diferentes, que refletem diferenças genéticas apenas no plano individual. Óleo sobre tela, 1933.

Ameríndio: indígena das Américas.

Estudos semelhantes realizados em nível global também corroboram a ideia de que não há diferenças genéticas significativas entre as supostas "raças" humanas. Assim, pode-se dizer hoje que a ideia de raça não tem respaldo genético ou biológico. A humanidade faz parte de uma única espécie, em que diferenças genéticas existem apenas no plano individual.

No entanto, por estar associado a questões sociopolíticas, o conceito de "raça" (com um significado diferente das raças genéticas) é empregado nas ciências humanas.

AMOSTRA
PARA DIVULGAÇÃO

Não escreva no livro.

A construção do binômio de Hardy-Weinberg

Suponha uma população composta por 10 mil indivíduos que se reproduzem ao acaso, distribuídos da seguinte maneira em relação aos alelos de um gene: 3,6 mil indivíduos são homozigotos dominantes (**AA**); 4,8 mil indivíduos são heterozigotos (**Aa**); e 1,6 mil indivíduos são homozigotos recessivos (**aa**).

As frequências genotípicas e gênicas dessa população podem ser calculadas com o auxílio das fórmulas vistas anteriormente:

Cálculo das frequências genotípicas
$f(\mathbf{AA}) = \frac{n(\mathbf{AA})}{N} = \frac{3\,600}{10\,000} = 0{,}36$
$f(\mathbf{Aa}) = \frac{n(\mathbf{Aa})}{N} = \frac{4\,800}{10\,000} = 0{,}48$
$f(\mathbf{aa}) = \frac{n(\mathbf{aa})}{N} = \frac{1\,600}{10\,000} = 0{,}16$

Cálculo das frequências gênicas
$f(\mathbf{A}) = \frac{n(\mathbf{AA}) \times 2 + n(\mathbf{Aa})}{2N} = \frac{3\,600 \times 2 + 4\,800}{20\,000} = 0{,}6$
$f(\mathbf{a}) = \frac{n(\mathbf{aa}) \times 2 + n(\mathbf{Aa})}{2N} = \frac{1\,600 \times 2 + 4\,800}{20\,000} = 0{,}4$

Quadros elaborados para fins didáticos.

Note que tanto a soma das frequências genotípicas como a das frequências gênicas são iguais a 1.

Vejamos agora quais frequências genotípicas e gênicas podemos esperar para a segunda geração, supondo que os indivíduos dessa população se encontrem e se acasalem de maneira totalmente casual.

Os descendentes da primeira geração poderão apresentar os genótipos **AA**, **Aa** ou **aa**, conforme a probabilidade de os espermatozoides e óvulos da geração parental apresentarem o alelo **A** ou o alelo **a** e, também, conforme a probabilidade de um espermatozoide **A** fecundar um óvulo **A** ou **a**, ou de um espermatozoide **a** fecundar um óvulo **a** ou **A**. Como esses eventos são aleatórios, estão sujeitos às leis da probabilidade.

Se simbolizarmos a frequência de **A** por p, e a frequência de **a** por q, teremos a seguinte expressão: $p + q = 1$.

Assim, se $f(\mathbf{A}) = p$; e se $f(\mathbf{a}) = q$; então: $f(\mathbf{AA}) = p^2$; $f(\mathbf{Aa}) = 2pq$ e $f(\mathbf{aa}) = q^2$.

A probabilidade de um gameta apresentar o alelo **A** é igual à frequência desse alelo na população, ou seja, $p = f(\mathbf{A}) = 0{,}6$, conforme calculamos. Da mesma maneira, a probabilidade de um gameta apresentar o alelo **a** é $q = f(\mathbf{a}) = 0{,}4$.

Assim, a probabilidade de um descendente ser **AA** resulta da probabilidade de o espermatozoide ser **A** e de o óvulo também ser **A**, ou seja, é igual a $0{,}6 \times 0{,}6 = 0{,}36 = p^2$.

A probabilidade de um descendente ser **Aa** resulta da probabilidade de o espermatozoide ser **A** e o óvulo ser **a**; ou de o espermatozoide ser **a** e o óvulo ser **A**, ou seja, $0{,}6 \times 0{,}4 + 0{,}4 \times 0{,}6 = 0{,}48 = 2pq$.

Por fim, a probabilidade de um descendente ser **aa** resulta da probabilidade de o espermatozoide ser **a** e o óvulo também **a**; portanto, $0{,}4 \times 0{,}4 = 0{,}16 = q^2$.

Como se pode perceber, as frequências genotípicas esperadas para a segunda geração não mudaram com relação às frequências genotípicas da geração parental. O mesmo ocorreu com as frequências gênicas:

$$f(\mathbf{A}) = 0{,}6 \text{ e } f(\mathbf{a}) = 0{,}4.$$

Observe que a soma das frequências de cada alelo é, necessariamente, igual a 1; então:

$$f(\mathbf{A}) + f(\mathbf{a}) = 1, \text{ ou } \boldsymbol{p + q = 1}.$$

A soma das frequências genotípicas também é, necessariamente, igual a 1; então:

$$f(\mathbf{AA}) + f(\mathbf{Aa}) + f(\mathbf{aa}) = 1$$

A equação acima é a expressão matemática do princípio de Hardy-Weinberg, também conhecido como **binômio de Hardy-Weinberg**. Sua aplicação permite aos geneticistas verificar se uma população está em equilíbrio gênico. Isso é feito por meio da comparação das frequências genotípicas observadas com as esperadas, a partir da frequência alélica da população experimental ou de campo.



Kurt Hutton/Hulton Archive/Getty Images

O matemático inglês Godfrey Hardy, que, como o médico alemão Wilhelm Weinberg, propôs um modelo matemático que ajuda a entender a evolução. Foto de 1941.

ATIVIDADES

4. Considere uma população em equilíbrio de Hardy-Weinberg, em que a frequência de coelhos albinos (caráter recessivo) seja de 9%. Determine a frequência dos alelos **A** e **a**, e as frequências dos homozigotos **AA** e dos heterozigotos **Aa**.

5. Em uma população em equilíbrio de Hardy-Weinberg, a frequência do gene recessivo b é 0,1. Calcule as frequências genotípicas esperadas de **BB**, **Bb** e **bb**.

AMOSTRA
PROIBIDA A REPRODUÇÃO

Dinâmica das variações nas populações

Os principais processos que promovem a variação das frequências dos alelos nas populações são: **deriva genética** e **seleção natural**. Devido a esses processos, alguns indivíduos da população deixam mais descendentes do que outros, legando, assim, mais genes às gerações subsequentes.

Deriva genética

A **deriva genética** pode ser entendida como uma mudança nas frequências gênicas de uma população que se dá totalmente ao acaso. Ela é exemplo de um processo chamado de variação por amostragem aleatória.

Para entendê-la, suponha a seguinte situação (representada nas imagens **A**, **B** e **C**): num recipiente há vinte bolas misturadas, das quais dez são pretas e dez, brancas. Um indivíduo com os olhos vendados retira, aleatoriamente, uma amostra de dez bolas. Pergunta-se ao indivíduo ainda vendado: "Qual o número esperado de bolas pretas e bolas brancas na amostra?". A resposta seria: "Cinco de cada cor, porque assim seria mantida a proporção de bolas pretas e brancas existente no recipiente".

Mas, se a pergunta fosse: "Qual o número exato de bolas pretas e bolas brancas na amostra?", seria possível ao indivíduo vendado responder? Não, porque é impossível saber exatamente quantas bolas pretas e quantas brancas seriam retiradas. É isso o que ocorre na variação por amostragem: quando se retira aleatoriamente uma amostra finita de um universo bem maior, não podemos esperar que a amostra reflita exatamente esse universo.

O mesmo ocorre na deriva genética. O conjunto de genes dos adultos de uma população é uma amostra finita de um universo muito maior, formado pelos genes dos gametas da geração de seus pais. Essa amostra, por ser aleatória, finita e bem menor que o universo, possui uma frequência gênica um pouco diferente da frequência gênica do universo. Isto é, ocorre evolução. Após várias gerações, a frequência gênica da população pode se tornar muito diferente da frequência inicial (imagem **D**).

A deriva genética pode aumentar ou diminuir a frequência de um alelo; pode até eliminá-lo ou fixá-lo (um alelo está fixado quando sua frequência é igual a 1, ou seja, ele é o único alelo do gene disponível na população). Ela atua sobre todos os alelos de uma população, inclusive sobre aqueles que conferem vantagens ou desvantagens adaptativas. No entanto, seus efeitos são significativos nos alelos neutros, isto é, naqueles que não aumentam nem diminuem as chances de sobrevivência e reprodução dos organismos, porque eles não sofrem a ação da seleção natural.

Embora a deriva genética atue em todas as populações, é bom observar que ela não resulta em adaptação, pois as frequências dos alelos se alteram por puro acaso; contudo, há evolução na medida em que a frequência dos alelos se altera.

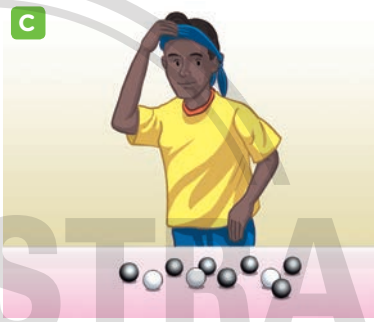


Recipiente com vinte bolas misturadas: dez pretas e dez brancas.



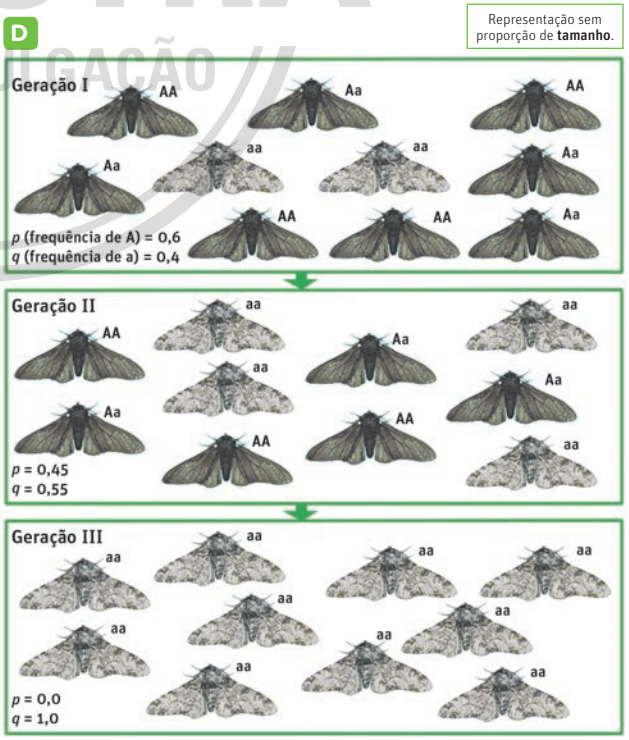
Um indivíduo vendado retira do recipiente, aleatoriamente, uma amostra de dez bolas.

Ilustrações: Roberto Higa/ID/BR



A amostra não reflete exatamente o universo inicial. Cores-fantasia.

Representação sem proporção de **tamanho**.



Studio Caparroz/ID/BR

Representação simplificada da deriva genética. Na primeira geração, há uma variabilidade de alelos (**A** e **a**) e de genótipos (**AA**, **Aa**, **aa**). Após três gerações, o alelo **a** foi fixado ($q = 1$), e o alelo **A** foi eliminado ($p = 0$). Essa mudança ocorreu por acaso. Uma mudança contrária também poderia ter ocorrido. Cores-fantasia.

AMOSTRA
NÃO PARA DIVULGAÇÃO

Não escreva no livro.

Deriva genética e tamanho da população

A chance de um alelo de uma população ser fixado, ou eliminado, por deriva genética é proporcional à sua frequência inicial. Assim, nas populações muito grandes, a deriva genética não produz alterações significativas nas frequências gênicas e seu papel evolutivo é pequeno. Se depender apenas da deriva genética, genes neutros novos, introduzidos por mutações ou por fluxo gênico, tendem a desaparecer do conjunto de genes da população. Já nas populações pequenas, a deriva genética aumenta as variações das frequências gênicas.

Alguns evolucionistas consideram que a deriva genética desempenha um papel evolutivo importante em grande parte das populações naturais. Argumentam que mesmo as populações grandes se comportam como um conjunto de subpopulações menores, onde efetivamente ocorre o compartilhamento do conjunto gênico devido ao cruzamento e reprodução dos indivíduos. Por exemplo, nas populações do pinheiro *Pinus ponderosa* (imagem ao lado), que tem distribuição contínua sobre vastas extensões no oeste da América do Norte, o cruzamento ocorre apenas entre os indivíduos mais próximos, que estão a distâncias frequentemente pequenas, determinadas pelas condições de dispersão do pólen. Nesses casos, a deriva genética diferencial entre as subpopulações pode levar, com o passar das gerações, a variações geográficas da espécie.



George Ostertag/AGE Fotostock/EasyPix

Pinheiros da espécie *Pinus ponderosa*. Parque Nacional de Yosemite, Califórnia, EUA, 2011.

As variações geográficas das espécies são estudadas desde Darwin e Wallace e, atualmente, constituem uma importante abordagem dos estudos evolutivos. Geralmente, quanto mais distantes as populações estão, mais diferentes elas são. Elas são diferentes não só em relação às frequências alélicas e às características fenotípicas de base genética, mas também em relação aos comportamentos e às características do desenvolvimento. Esse assunto será tratado no tópico sobre especiação (página 152).

A seguir, são apresentados outros dois efeitos importantes da deriva genética: o "gargalo de garrafa" e o efeito do fundador, que decorre do primeiro.

AMOSTRA
PARA DIVULGAÇÃO

Efeito "gargalo de garrafa"

Esse efeito ocorre quando uma população é reduzida de maneira abrupta e intensa, devido a condições ambientais adversas. Nessa situação a deriva genética atua de forma drástica, como visto antes, e quando a nova população, que se estabeleceu a partir de um pequeno número de indivíduos, recupera seu tamanho original, alguns alelos frequentes na população original podem ter sido eliminados ou sua frequência pode ter sido muito reduzida; outros alelos raros podem ter sido fixados ou sua frequência pode ter sido muito aumentada (veja exemplo no boxe abaixo).

SAIBA MAIS

A marca da atividade humana sobre a frequência de genes dos elefantes-marinhos

As atividades humanas também podem ser um fator de impacto sobre as frequências gênicas das populações de animais e de plantas. As populações de elefantes-marinhos do mar do Norte, onde a atividade de caça foi intensa na década de 1890, é um exemplo do efeito "gargalo de garrafa". No final do século XIX, a caça havia reduzido a população desses animais a apenas 20 indivíduos. Desde então, a população voltou a crescer, chegando a 30 mil indivíduos, mas seu conjunto gênico ainda carrega a marca deixada pela atividade humana: a variabilidade genética é menor do que a da população dos mares do sul, onde a caça foi menos intensa.



MShieldsPhotos/Alamy/Latinstock

Elefantes-marinhos em San Simeon, Califórnia, EUA, 2013.

Efeito do fundador

Quando alguns membros de uma população colonizam um novo ambiente, pode ocorrer um tipo específico de deriva genética, denominado **efeito do fundador**. Isso ocorre se o conjunto gênico desses poucos indivíduos não constituir uma amostra representativa do conjunto gênico da população original. Assim, ao se reproduzirem, eles formarão uma população com frequências gênicas diferentes da original.

Esse conceito foi proposto em 1942 pelo evolucionista alemão Ernst Mayr. Em 1952, ele utilizou o efeito do fundador para explicar um fenômeno comum aos arquipélagos próximos ao continente. As populações de pássaros em cada uma das ilhas apresentam fenótipos muito diferentes entre si, enquanto em áreas continentais ou mesmo em ilhas maiores as populações são relativamente uniformes. Charles Darwin já havia chegado a essa conclusão nas ilhas Galápagos, em relação aos fenótipos dos tentilhões, tão diferentes das populações continentais e característicos de cada ilha (veja outro exemplo na imagem abaixo).

O efeito do fundador pode ser observado também na distribuição espacial de doenças e de outras condições humanas. Um exemplo é o do grupo religioso chamado Amish, estabelecido principalmente nos Estados Unidos e, em menor escala, no Canadá. Essa comunidade religiosa, fundada no estado da Pensilvânia, EUA, no século XVIII por poucos casais de imigrantes europeus, conta hoje com cerca de 300 mil pessoas. Estima-se que 30% da população Amish carrega em seu genótipo um alelo que, na forma homozigota, causa nanismo e polidactilia. Por se tratar de um gene autossômico dominante, os casamentos consanguíneos, comuns nesse tipo de sociedade, aumentam as chances de ocorrerem nascimentos de pessoas com essas anomalias. A população Amish atual descende de poucos indivíduos fundadores, entre os quais estavam os portadores daquele gene.

Debates a respeito da deriva

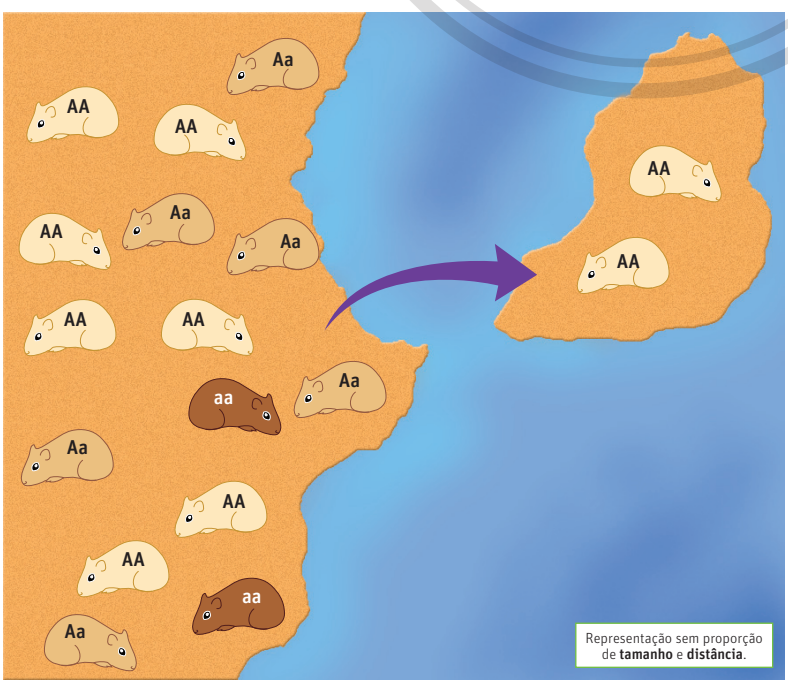
Os efeitos evolutivos da deriva genética são significativos nos alelos neutros, isto é, naqueles que produzem fenótipos que não estão sujeitos à ação da seleção natural. Entre os cientistas existem discordâncias sobre se o número de alelos que atendem a essa condição é de fato relevante como fator evolutivo. Alguns cientistas alegam que as variações não contribuem efetivamente para a evolução das espécies.

O processo de deriva genética foi tratado por Sewall Wright já em 1929. Na época, houve um debate sobre o seu valor como fator evolutivo e ele foi considerado irrelevante pelos formuladores da teoria sintética da evolução.

O debate foi retomado quando o geneticista Motoo Kimura (1924-1994) propôs, em 1968, a **teoria neutralista da evolução**. No final da década de 1960, estudos sobre a composição das moléculas de proteínas e DNA mostraram que, na maior parte das espécies, existe um grau considerável de variação em nível molecular dentro das populações. Usando modelos matemáticos, Kimura sugeriu que essa variação poderia ser explicada pela ação do acaso. Muitos estudos posteriores confirmaram suas previsões em populações reais. O geneticista Luigi de Cavalli-Sforza (1922-), por exemplo, estudou as variações do sistema sanguíneo ABO entre populações humanas e mostrou que elas são provocadas por deriva genética.

AMOSTRA PARA DIVULGAÇÃO

Reinaldo Vignati/D/BR



Esquema do efeito do fundador. Os preás que migram para a ilha não carregam o alelo **a**. Assim, a população formada por seus descendentes não apresentará os tons de pelagem conferidos por esse alelo, a menos que ele surja por mutação. Cores-fantasia.

ATIVIDADES

6. Associe a teoria neutralista com o desenvolvimento da técnica do relógio molecular (abordado no capítulo 9).

Não escreva no livro.

Seleção natural

Os princípios básicos da seleção natural foram descritos por Darwin e Wallace e permanecem praticamente inalterados.

Os estudos baseados na teoria sintética da evolução não alteraram, de fato, esses princípios, e, sim, contribuíram enormemente para esclarecer os mecanismos subjacentes a eles. Por exemplo, eles ajudaram a esclarecer quais são as bases genéticas da seleção natural, como ela altera a dinâmica das populações e como ela interage com comportamentos e características específicas de cada população.

Seleção natural e valor adaptativo

A condição necessária para a seleção natural atuar é a existência de variações fenotípicas que proporcionam diferenças nas chances de sobrevivência e reprodução dos indivíduos que compõem a população.

Essas variações fenotípicas podem ser explicadas a partir do valor adaptativo dos genótipos existentes em uma população. O **valor adaptativo**, ou *fitness*, de um genótipo mede a probabilidade de sucesso reprodutivo dos indivíduos que apresentam aquele genótipo, nas condições de determinado ambiente.

O sucesso reprodutivo de um indivíduo depende principalmente dos seguintes fatores: (a) a sobrevivência até a idade reprodutiva; (b) o sucesso no acasalamento; (c) o número de descendentes que o indivíduo é capaz de produzir.

Os indivíduos que possuem um genótipo com valor adaptativo, em média, maior do que o valor adaptativo do genótipo de outros indivíduos têm mais chances de sobreviver e se reproduzir.

Assim, por exemplo, linhagens de insetos que apresentam alguma característica genética que lhes confere maior resistência a determinado inseticida tendem a deixar mais descendentes que outras linhagens que não apresentam essa característica. Diz-se, então, que as linhagens resistentes ao inseticida têm maior valor adaptativo que aquelas não resistentes.

Outro exemplo é o estudo realizado pelo casal Grant com aves do gênero *Geospiza* em Galápagos (abordado no capítulo 9). Pode-se dizer que, em períodos de seca, o valor adaptativo do genótipo que confere bicos grandes aos tentilhões é maior do que o valor adaptativo do genótipo que confere bicos pequenos a essas aves.

O valor adaptativo também pode aumentar em espécies que apresentam estratégias comportamentais capazes de garantir a sobrevivência dos filhotes por mais tempo, como o cuidado parental (imagens **A** e **B**).

Valor adaptativo e ambiente

O valor adaptativo de muitos genótipos e alelos em relação a outros alelos e genótipos varia com as alterações do ambiente.

Alguns exemplos disso são: o caso dos tentilhões de Galápagos; o dos caramujos marinhos da Califórnia (abordado no capítulo 9); e o das bactérias resistentes a antibióticos (página 143). Em todos esses exemplos, uma variação ambiental – no primeiro, uma mudança climática; no segundo, a presença de predadores; no terceiro, a presença de antibióticos – levou à mudança do valor adaptativo de um genótipo em relação ao outro.

É importante observar que as mudanças alélicas ou genotípicas são respostas às alterações ambientais. Qualquer mudança ambiental pode provocar uma alteração do valor adaptativo de um alelo ou genótipo em relação a outro.

Em outras palavras, a seleção natural não capacita os indivíduos a sobreviver em um ambiente futuro. Como mudanças ambientais são frequentes, a seleção natural não é capaz de produzir indivíduos cada vez mais adaptados ao meio ou cada vez mais "perfeitos". As variações, inclusive, podem ser neutras ou prejudiciais.



Luciano Candisani/Acervo do fotógrafo



Haroldo Palo Jr./Kino.com.br

Estratégias como o cuidado parental podem aumentar o valor adaptativo dos indivíduos. (**A**) Capivara amamentando seus filhotes. (**B**) Sabiá-laranjeira fornecendo alimento aos filhotes no ninho.

AMOSTRA PARA DIVULGAÇÃO

Especiação

Especiação é a formação de duas ou mais espécies a partir de uma espécie ancestral.

Como visto no tópico anterior, a deriva genética e a seleção natural alteram as frequências gênicas de uma população, o que pode produzir linhagens diferentes de uma mesma espécie. Dependendo do tipo de variação entre as linhagens, podem continuar a ocorrer cruzamentos entre os indivíduos, com a produção de descendentes férteis. Assim, embora diferentes, as linhagens se mantêm como uma única espécie.

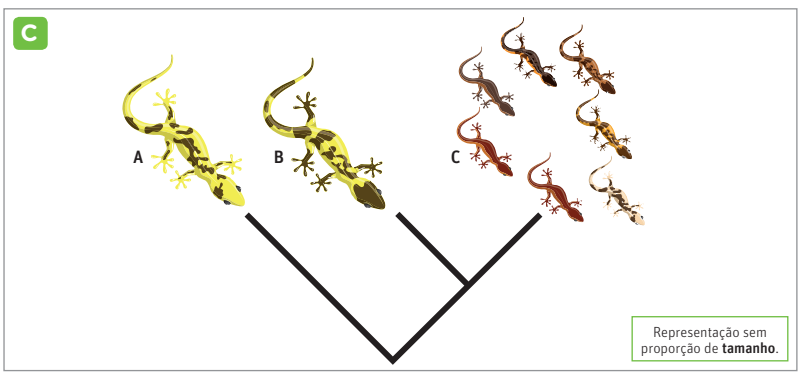
A especiação ocorre quando duas ou mais linhagens de uma espécie apresentam diferenças genéticas que se expressam de forma a impedir o cruzamento e o sucesso reprodutivo entre elas; ou quando alguma circunstância, como a distância geográfica entre os indivíduos de uma população, favorece essas consequências (imagens **A** e **B**). Nessas situações, a espécie ancestral pode dar origem a duas ou mais espécies.

Os conceitos de espécie

O conceito de espécie mais amplamente divulgado e usado por biólogos é o **conceito biológico de espécie**, proposto por Ernst Mayr na década de 1940. De acordo com esse conceito, os indivíduos da mesma espécie são capazes de se cruzar e de gerar descendentes férteis, formando uma unidade ecológica e evolutiva, com características definidas. Nas palavras do próprio Mayr: "Espécies são grupos de populações efetivamente ou potencialmente intercruzantes, reprodutivamente isoladas e que ocupam um nicho específico na natureza".

Assim, o conceito biológico de espécie abrange as propriedades reprodutivas – que mantêm as populações separadas, em isolamento reprodutivo – e as ecológicas – ao identificar as populações aos respectivos nichos. Mas esse conceito apresenta limitações: ele não pode ser usado para todos os seres vivos, pois não se aplica aos organismos que se reproduzem assexuadamente, e também não é adequado para casos de cruzamento entre espécies diferentes que produzem híbridos férteis.

O **conceito filogenético de espécie** define espécie como o menor grupo de organismos que compartilham um ancestral comum e que pode ser distinguido de outros grupos. Essa definição também se aplica aos organismos de reprodução assexuada. Veja na imagem **C** um exemplo com diferentes espécies de uma salamandra na Califórnia, EUA.



Paula Radi/ID/BR

Árvore filogenética da salamandra *Ensatina* sp. De acordo com o conceito filogenético de espécie, o gênero *Ensatina* é composto de três espécies. Todas as subespécies da espécie C compartilham um ancestral comum, mesmo tendo a aparência bem diversificada. Cores-fantasia.

Fonte de pesquisa: Universidade de São Paulo. Instituto de Biociências. Disponível em: <http://www.ib.usp.br/evosite/evo101/VA2OtherSpeciesConcept.shtml>. Acesso em: 2 mar. 2016.



William Leaman/Alamy/Latinstock



Robert Shantz/Alamy/Latinstock

Durante mais de 150 anos, esses dois pássaros do gênero *Baleophus*, comuns nos Estados Unidos, foram considerados uma única espécie, apesar das diferenças na vocalização e na distribuição geográfica. Análises do DNA revelaram que eles não cruzam entre si e são duas espécies distintas: em (**A**), a espécie *Baleophus inornatus*; em (**B**), a espécie *B. ridgwayi*.

BIOLOGIA NO COTIDIANO

O conceito de espécie e o controle de pragas

No final do século XIX, após a descoberta de que a malária era transmitida pelo mosquito do gênero *Anopheles*, governos de todo o mundo se empenharam para eliminar os focos daquele inseto. Então, diversos pântanos foram drenados, e as áreas mais infestadas foram pulverizadas com inseticidas. Durante anos, tentaram, em vão, erradicar uma suposta espécie que, depois, descobriram tratar-se de sete espécies diferentes, das quais apenas algumas transmitiam a malária.



Vladimir Vitek/iStock/Getty Images

Anopheles, o mosquito transmissor da malária.

ATIVIDADES

7. O conceito de espécie possui várias definições em ciência. Faça uma pesquisa e explique brevemente ao menos dois desses conceitos, excetuando os apresentados no texto.

AMOSTRA PARA DIVULGAÇÃO

Não escreva no livro.

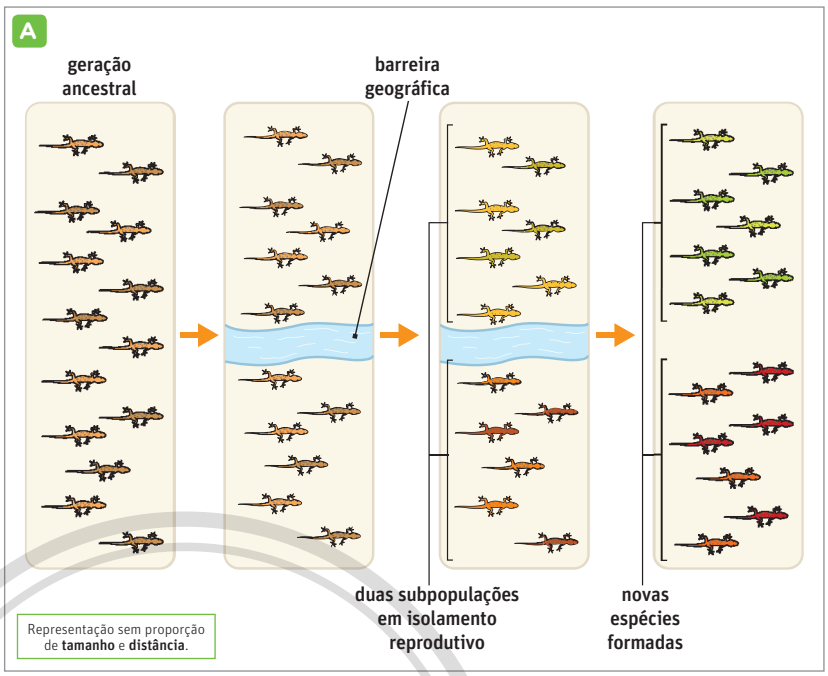
Mecanismos de especiação

Alguns processos que levam à especiação são: especiação alopátrica, especiação peripátrica, especiação parapátrica e especiação simpátrica.

Especiação alopátrica

Para entender a especiação alopátrica, imagine que certa espécie de lagarto habite determinada região (imagem **A**). Com o passar do tempo, surge uma barreira geográfica, um rio, por exemplo, que passa a dividir essa região em duas áreas. A espécie de lagarto que estava amplamente distribuída na porção de terra original fica então dividida em duas subpopulações.

Suponha também que o novo rio que se formou seja muito largo – largo o bastante para impedir que indivíduos de uma subpopulação façam a travessia e se encontrem com indivíduos da outra subpopulação e, portanto, não possam acasalar entre si. Assim, essas duas subpopulações estarão **reprodutivamente isoladas**, ou seja, lagartos de uma subpopulação não poderão mais acasalar com lagartos da outra subpopulação. Portanto, não há mais fluxo gênico entre elas.



Adilson Secco /ID/BR

Esquema hipotético de especiação alopátrica. Cores-fantasia.

Com o passar das gerações, podem ocorrer variações diversas em cada uma das subpopulações, devido a mutações e recombinações genéticas e ao efeito da deriva genética. Além disso, o ambiente de cada lado do rio não será exatamente igual e, por força da seleção natural, cada uma das subpopulações será diferentemente selecionada para o valor adaptativo mais efetivo às condições locais desses novos ambientes.

Caso o conjunto desses processos continue por tempo suficientemente longo, as duas populações poderão se tornar geneticamente muito diferentes. Nesse caso, se elas voltarem a se encontrar, devido a alguma mudança geográfica ou climática – por exemplo, uma grande seca que elimine as águas do rio –, elas poderão estar tão modificadas biológica e geneticamente, que não poderão mais se acasalar com sucesso.

A formação de novas espécies devido ao isolamento geográfico, ou espacial, descrito acima é denominada **especiação alopátrica** (do grego *allós*, "diferente", "outro"; e do latim *patrie*, "local de nascimento"), sendo também chamada especiação geográfica. Um exemplo desse tipo de especiação é o dos lagartos do gênero *Eurolophosaurus* (imagens **B** e **C**) que habitam margens opostas do rio São Francisco.

Outro exemplo de especiação alopátrica é o de três grupos de aves ratitas – a ema, o avestruz e o emu, que vivem, respectivamente, na América do Sul, na África e na Austrália. Há evidências de que essas aves se originaram de uma população ancestral que habitava a antiga Gondwana. Quando aquele continente começou a se fragmentar, há mais ou menos 70 milhões de anos, a população ancestral dessas ratitas foi subdividida em três subpopulações, que, isoladas reprodutivamente pelo mar, acabaram evoluindo diferentemente, até dar origem às três espécies atuais.



Cortesia do Prof. Miguel Trefault Rodrigues/Instituto de Biociências-USP



Cortesia do Prof. Miguel Trefault Rodrigues/Instituto de Biociências-USP

(**B**) *Eurolophosaurus divaricatus* e (**C**) *Eurolophosaurus amathites* (ambos com cerca de 15 cm de comprimento, sem a cauda) são espécies de lagartos que habitam margens opostas do rio São Francisco. De acordo com dados obtidos a partir do DNA mitocondrial, elas teriam sido separadas há 2 milhões de anos, quando então evoluíram até as formas atuais.

AMOSTRA
PARA DIVULGAÇÃO

Especiação peripátrica

A **especiação peripátrica** (do grego *peri*, "em torno de", "ao redor") é um tipo de especiação alopátrica que está associado ao efeito do fundador, visto anteriormente. Nesse caso, o isolamento espacial ocorre não pelo surgimento de uma barreira geográfica, mas pela migração de uns poucos indivíduos para fora da região normalmente ocupada pela espécie considerada. Essa população fundadora permanece isolada da população original e pode evoluir diferentemente.

O exemplo mais comum é o das espécies características das pequenas ilhas próximas ao continente. Como visto anteriormente, a população fundadora, por ser constituída por poucos indivíduos, apresenta um conjunto gênico um pouco diferente daquele da população parental. Mutações, recombinações, deriva genética e seleção natural proporcionam mudanças nas frequências gênicas que podem levar ao isolamento genético das duas populações. Por ocorrer de maneira relativamente rápida e em populações pequenas e isoladas, dificilmente deixa vestígios nos registros fósseis.

Especiação simpátrica

A **especiação simpátrica** (do grego *syn*, "juntos") ocorre entre populações que compartilham um espaço geográfico. Esse tipo de especiação consiste na formação de novas espécies a partir de duas populações que convivem num mesmo espaço, mas mantêm o isolamento reprodutivo por meio de barreiras biológicas, impedindo o fluxo gênico entre os dois grupos.

Um exemplo de especiação simpátrica pode estar acontecendo com a mosca *Rhagoletis pomonella* (imagem **A**). Nos Estados Unidos, há cerca de 250 anos, os ancestrais dessa mosca depositavam seus ovos apenas nos frutos de um espinheiro nativo da região, do gênero *Crataegus* sp. (imagem **B**). Mas, com a introdução da maçã doméstica (*Malus domestica*; imagem **C**) pelos imigrantes europeus, uma parte das populações da mosca começou a depositar seus ovos nesse novo fruto.

Assim, as moscas da maçã começaram a acasalar apenas entre elas, e o mesmo ocorreu com as outras moscas, isto é, as que continuaram a depositar seus ovos no fruto do espinheiro também começaram a acasalar apenas entre si. Estudos mostram que está havendo uma redução do fluxo gênico entre essas duas populações de moscas, e esse talvez seja o primeiro passo para a especiação. Essas pesquisas indicam que nesses 250 anos já surgiu alguma diferenciação genética entre as duas populações.



Joseph Berger, Bugwood.org/Insect Images



Glock/Shutterstock.com/ID/BR



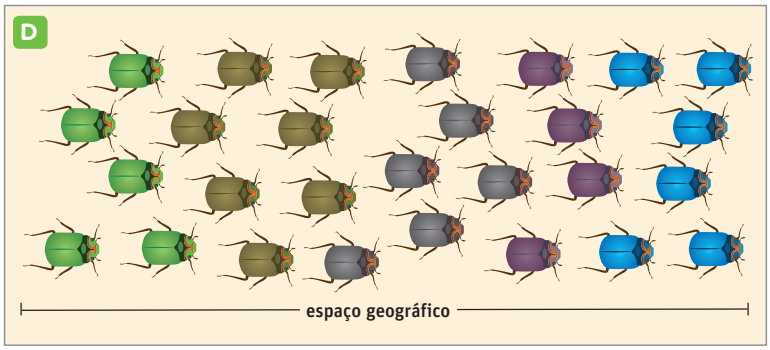
Mazzzur/Shutterstock.com/ID/BR

(**A**) A mosca *Rhagoletis pomonella*. (**B**) Os frutos do espinheiro *Crataegus* sp. (**C**) Maçãs domésticas.

Especiação parapátrica

Na **especiação parapátrica** (do grego *para*, "ao lado de") não há barreiras geográficas para o fluxo gênico. A população ocupa de forma contínua um espaço geográfico, mas o cruzamento entre os indivíduos não ocorre de forma aleatória. É mais provável ocorrerem cruzamentos entre indivíduos que estão mais próximos do que entre indivíduos, da mesma população, que estão mais afastados, por exemplo. Com o tempo, a deriva genética e a seleção natural podem levar ao isolamento genético das duas novas populações (imagem **D**).

Representações sem proporção de **tamanho**.



Paula Radi/ID/BR

Esquema exemplificando a especiação parapátrica em uma população de besouros. Cores-fantasia.

AMOSTRA PARA DIVULGAÇÃO

Não escreva no livro.

Mecanismos de especiação em plantas

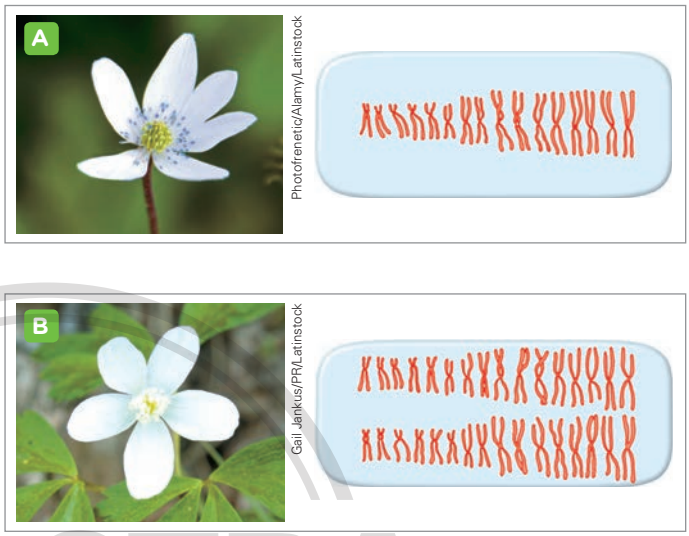
Existem dois modos principais de especiação que ocorrem em plantas: especiação por hibridação e especiação por poliploidia.

Na **especiação por hibridação**, novas espécies podem ser formadas quando ocorre fertilização entre espécies diferentes. Geralmente, quando há hibridação, os descendentes são estéreis. Entretanto, em algumas ocasiões, eles podem ser férteis e ficar reprodutivamente isolados da geração parental de sua espécie, o que os caracterizaria como espécies distintas. Diversas espécies de girassóis parecem ter surgido assim.

Nas plantas, a poliploidia, um tipo de mutação cromossômica, pode levar à formação de novas espécies. A **especiação por poliploidia** ocorre de maneira quase "instantânea". Trata-se de um caso de especiação no qual indivíduos diploides – da mesma espécie ou espécies aparentadas, por exemplo –, ao se cruzarem, podem gerar um híbrido tetraploide, ficando reprodutivamente isolado da forma parental (imagens ao lado).

Esse tipo de especiação ocorreu com várias plantas de interesse econômico, como o trigo comum (*Triticum aestivum*), que apresenta 42 cromossomos. Evidências indicam que ele surgiu há cerca de 8 mil anos, da hibridização de duas espécies diferentes: *T. turgidum*, com 28 cromossomos, e *T. tauschii* (também denominado *Aegilops tauschii* por alguns botânicos), com 14 cromossomos; seguida de duplicação cromossômica.

Representações sem proporção de **tamanho**.



Duas espécies de anêmonas (pétalas com cerca de 3 cm de comprimento). A espécie em (**B**) surgiu por poliploidia (ocorreu duplicação no número de cromossomos). Cores-fantasia.

Mecanismos de isolamento reprodutivo

A especiação culmina com a evolução de barreiras biológicas que evitam o fluxo gênico, ou seja, a troca de genes entre duas subpopulações recém-formadas. Essas barreiras ao fluxo gênico, denominadas **mecanismos de isolamento reprodutivo**, permitem a duas ou mais espécies conviver no mesmo espaço geográfico sem que elas se reproduzam.

A tabela a seguir mostra os principais mecanismos de isolamento reprodutivo.

Principais mecanismos de isolamento reprodutivo
1. Mecanismos pré-zigóticos: impedem a (ou reduzem a probabilidade de) formação de zigotos híbridos.
Isolamento temporal ou ambiental: quando o acasalamento entre duas espécies é impedido pelo fato de viverem em hábitats diferentes ou por apresentarem horários ou épocas de acasalamento diferentes. Exemplos: plantas que florescem em épocas diferentes ou espécies de insetos que se acasalam em horários distintos (diurnas e noturnas).
Isolamento etológico: parceiros em potencial encontram-se, mas diferenças comportamentais de cada espécie impedem o acasalamento. Exemplos: o canto característico da espécie, que atrai as fêmeas, presentes em machos de aves ou rãs; os sinais químicos que atraem o parceiro sexual; as respostas ao padrão de luz por fêmeas de vaga-lumes.
Isolamento mecânico: o macho e a fêmea de espécies distintas tentam copular, mas não há transferência de esperma. Ocorre, em geral, por incompatibilidade dos órgãos reprodutores, presente em animais e plantas.
Incompatibilidade gamética: a transferência de espermatozoides ocorre, mas não há fertilização.
2. Mecanismos pós-zigóticos: diminui as taxas de sobrevivência ou de reprodução dos descendentes híbridos.
Mortalidade zigótica: o óvulo é fertilizado, mas o zigoto morre.
Inviabilidade do híbrido: forma-se o zigoto e desenvolve-se um híbrido. Entretanto, ele não sobrevive.
Esterilidade do híbrido: forma-se um zigoto e desenvolve-se um híbrido (geração F_1). Entretanto, este é parcial ou completamente estéril ou, ainda, forma uma geração F_2 deficiente.

Fontes de pesquisa: Futuyma, D. J. *Biologia evolutiva*. 3. ed. Ribeirão Preto: Funpec-Editora, 2009. p. 457-460; Ridley, M. *Evolução*. 3. ed. Porto Alegre: Artmed, 2006. p. 384.

AMOSTRA
CASA DO CONHECIMENTO

Anagênese e cladogênese

Anagênese (do grego *ana*, "de baixo para cima"; *génesis*, "origem") é o processo pelo qual uma espécie sofre gradualmente sucessivas alterações em seu conjunto gênico. Esse processo explica a diversidade que ocorre dentro da história evolutiva de uma única espécie.

Entretanto, se a evolução dependesse apenas dos processos anagenéticos, não haveria a imensa diversidade de seres vivos tão característica do mundo natural. A explicação para tamanha diversidade é um processo evolutivo que ocorre em outro plano, a **cladogênese** (do grego *kladós*, "ramos"; *génesis*, "origem"), por meio da qual duas populações de uma mesma espécie, isoladas reprodutivamente, diferenciam-se uma da outra, gerando duas ou mais espécies diferentes (imagem **A**).

Tanto os processos anagenéticos quanto os processos cladogenéticos estão relacionados à formação de novas espécies. No entanto, quando os evolucionistas modernos falam em especiação, referem-se especificamente à formação de novas espécies por cladogênese.

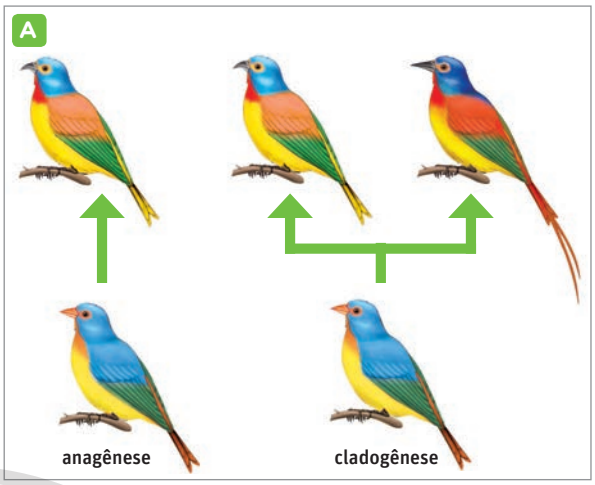
Atualmente, apesar de não haver consenso sobre alguns aspectos dos processos evolutivos que levaram à diversificação dos seres vivos, vários evolucionistas consideram que os processos anagenéticos e cladogenéticos atuam em conjunto.

Um bom exemplo da interação entre esses dois processos é a evolução dos peixes pulmonados. Esses peixes ocorrem nos rios da América do Sul, da África e da Austrália (imagem **B**).

Estudos recentes mostram que eles surgiram a partir de uma espécie ancestral que teria habitado o antigo supercontinente da Gondwana, que, em conjunto com a Laurásia, fez parte do supercontinente Pangeia, do qual derivaram os continentes atuais.

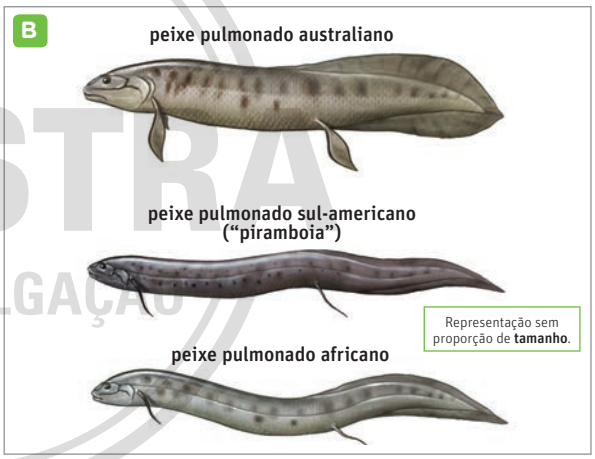
Com a separação daquele continente, a espécie ancestral foi, inicialmente, fragmentada em três populações, que evoluíram em espécies distintas de peixes pulmonados, entre elas, os representantes atuais.

Representação sem proporção de **tamanho**.



Ilustrações: Studio Caparroz/ID/BR

Esquema exemplificando dois processos de evolução: na anagênese, uma espécie modifica-se ao longo do tempo; na cladogênese, uma espécie origina duas (como neste exemplo) ou mais. Cores-fantasia.



Representação dos três peixes pulmonados atuais, provavelmente originários de um ancestral que habitava a antiga Gondwana. Cores-fantasia.

AMOSTRA PARA DIVULGAÇÃO

SAIBA MAIS

Quanto tempo demora a especiação?

Dependendo do tipo de organismo e de sua estrutura populacional, a especiação pode ser mais lenta ou mais rápida. Certas espécies de aves e de plantas, com formas muito similares no continente europeu e no continente americano, são exemplos de especiação lenta. Apesar de estarem em isolamento há provavelmente milhões de anos, não há indícios de que tenham formado novas espécies.

Ao contrário, peixes do gênero *Cyprinodon*, da região do vale da Morte, nos Estados Unidos, provavelmente se originaram há cerca de 30 mil anos. Outro caso notável é a diversidade de espécies de peixes ciclídeos endêmicas (restritas a uma região) do lago Nabugabo, África, que se separou do lago Vitória há apenas 4 mil anos!

Como se vê, o tempo, em evolução, tem dimensão diferente da nossa vida cotidiana.



Igsolution/Dreamstime.com/ID/BR

Ciclídeos africanos em aquário. No grupo dos ciclídeos originaram-se inúmeras espécies em um período relativamente curto.

Não escreva no livro.

Desafios à teoria sintética da evolução

A teoria sintética da evolução integrou os conhecimentos da genética mendeliana ao pensamento evolutivo darwinista, proporcionando, principalmente, a compreensão da evolução sob o enfoque da genética de populações.

A evolução, no entanto, ainda é amplamente estudada pelo meio científico. E, nas últimas décadas, o desenvolvimento científico de diferentes áreas da Biologia trouxe novos desafios para o seu estudo. Por exemplo, de que forma os conhecimentos produzidos pela ecologia contribuem para a compreensão da evolução? Ou como incorporar à evolução as novidades relacionadas aos sistemas de regulação da **expressão gênica**? Ou, ainda, como os padrões de desenvolvimento dos organismos limitam as novidades evolutivas?

Em vista disso, alguns evolucionistas propõem que seja feita uma nova síntese da teoria darwinista, que chamam de **síntese expandida**. Esse movimento está comprometido com a ideia de que, embora a seleção natural seja um importante mecanismo de mudança evolutiva, outros mecanismos também cumprem papéis importantes na evolução e, portanto, em sua explicação.

Outros evolucionistas consideram essa revisão desnecessária, pois acreditam que as ideias básicas do darwinismo não estão em discussão: concordam com a ideia de que os seres vivos evoluem e que a evolução ocorre por descendência com modificação; esses evolucionistas concordam, também, com a tese de que todos os seres vivos são aparentados entre si e que a seleção natural desempenha um papel importante como mecanismo evolutivo.

ATIVIDADES

8. Uma das premissas mais importantes para que uma população permaneça em equilíbrio de Hardy-Weinberg é a pan-mixia, ou seja, os cruzamentos entre os indivíduos devem ocorrer totalmente ao acaso. Na natureza, porém, dificilmente se encontram populações pan-míticas. Por quê? Explique, considerando a seleção sexual (abordada no capítulo 9) e a genética de populações (vista neste capítulo).

9. Converse com os colegas: qual a opinião de vocês sobre o fato de a evolução ainda ser objeto de estudo no meio científico? O que é possível dizer, considerando esse tema, sobre o próprio caráter da ciência?

Expressão gênica: processo em que a informação contida em um determinado gene (sequências de nucleotídios do DNA) é processada em um produto gênico, como uma proteína.

AMOSTRA PARA DIVULGAÇÃO

SAIBA MAIS

Coevolução

Quando a evolução de duas ou mais espécies se afetam reciprocamente, dá-se o nome de **coevolução** ao processo. Uma mudança na morfologia de uma espécie de planta, por exemplo, pode afetar uma espécie herbívora que dela se alimenta.

Um exemplo clássico de coevolução é a interação entre insetos e plantas, como no caso da borboleta do gênero *Heliconius* e da planta do maracujá (*Passiflora*). As larvas (ou lagartas) das borboletas desse gênero alimentam-se das folhas da *Passiflora*, que são ricas em alcaloides – substâncias que costumam ser tóxicas para outros predadores herbívoros, mas não afastam as lagartas da *Heliconius*.

Ao longo do tempo, enquanto nas lagartas da borboleta evoluíram defesas contra essas substâncias tóxicas, nas plantas evoluíram outras formas de defesa contra as lagartas: por exemplo, a presença de nectários, na base das folhas, os quais se assemelham a ovos de borboleta e desestimulam que a fêmea de *Heliconius* ponha novos ovos nas folhas da planta; e tricomas em forma de ganchos, que funcionam como armadilhas para as lagartas da borboleta.



Leo Lutz/Acervo do fotógrafo

Lagarta da borboleta *Heliconius nattereri*, uma das espécies que se alimentam das folhas da *Passiflora*.



Leo Lutz/Acervo do fotógrafo

Flor da planta *Passiflora ovalis*, cujas folhas servem de alimento às lagartas da espécie representada ao lado.

CAPÍTULO

11 Evolução da vida

O QUE VOCÊ VAI ESTUDAR

A deriva continental e a evolução dos seres vivos.

As eras geológicas.

A história evolutiva dos tetrápodes e a conquista do ambiente terrestre.

Teorias para a extinção dos dinossauros.

Relações filogenéticas entre os seres humanos e os demais primatas.

A história evolutiva dos hominídeos.



Javier Trueba/MSF/SPL/Latinstock

Pinturas rupestres encontradas nas paredes da caverna de Chauvet, França. Feitas por volta de 30 mil a 33 mil anos atrás, essas pinturas estão entre as primeiras manifestações culturais associadas ao *Homo sapiens*.

As primeiras formas de vida devem ter surgido no planeta Terra por volta de 3,8 bilhões de anos atrás, no período Arqueano da era Pré-cambriana. A partir desses primeiros organismos, a vida se diversificou nos vários grupos conhecidos.

Conforme novas espécies iam surgindo ao longo das eras geológicas, outras entraram em extinção. Até o momento, sabe-se de cinco eventos de extinções em massa, que fizeram desaparecer diversos grupos de seres vivos em um curto intervalo de tempo, como foi o caso dos dinossauros. O "vazio" deixado por essas espécies foi ocupado por novas espécies.

Este capítulo trata de alguns aspectos da história evolutiva da vida na Terra, com ênfase nos tetrápodes e na espécie humana.

Não escreva no livro.

Os seres vivos ao longo das eras geológicas

A história da vida no planeta Terra pode ser descrita por meio do registro fóssil, mesmo que esse registro seja incompleto. (Os fósseis são abordados no capítulo 9.) Outras informações são obtidas pelo estudo dos minerais e das rochas presentes nas diversas camadas sedimentares.

Tempo geológico

Com base nessas evidências, sabe-se que a Terra se formou há aproximadamente 4,6 bilhões de anos. A esse intervalo de tempo, dificilmente imaginado pela mente humana, damos o nome de **tempo geológico**, que costuma ser dividido em quatro eras: a era **Pré-cambriana**, a era **Paleozoica**, a era **Mesozoica** e a era **Cenozoica**. As eras são divididas em períodos, e estes, em épocas (veja quadro da próxima página).

Uma estratégia frequentemente utilizada para facilitar a compreensão desse imenso período de tempo é compará-lo com os 12 meses do ano. Nessa escala hipotética, em que 1 ano corresponde a 4,6 bilhões de anos, as rochas mais antigas, cuja idade é estimada em 4,28 bilhões de anos, teriam surgido por volta do mês de março. Da mesma maneira, os primeiros seres vivos, surgidos há pelo menos 3,8 bilhões de anos, teriam aparecido em maio.

Continuando com essa escala hipotética, o período em que surgiram os dinossauros – cujos primeiros registros datam de mais ou menos 245 milhões de anos – corresponderia a dezembro. Os primeiros ancestrais humanos, que apareceram por volta de 6 milhões de anos atrás, teriam surgido apenas ao anoitecer do dia 31 de dezembro.

Finalmente, já no período recente da história humana, Cristóvão Colombo (1451 -1506) teria chegado à América quando faltassem apenas 3 segundos para a meia-noite de 31 de dezembro. O nascimento de Charles Darwin (1809) teria ocorrido menos de um segundo de esse mesmo dia terminar.

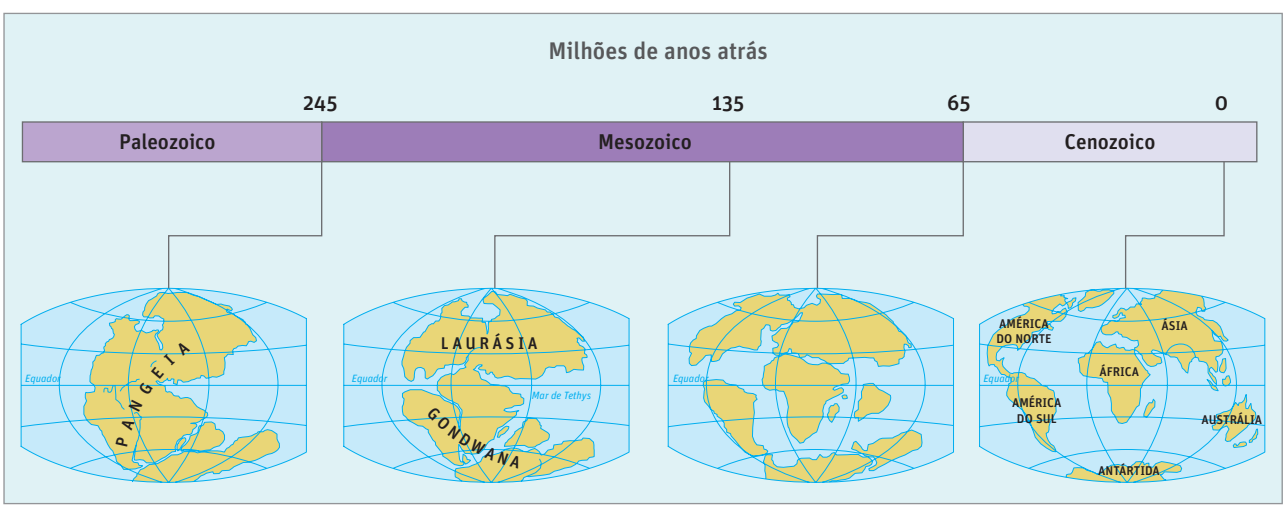
Deriva continental

Uma das mudanças mais marcantes que aconteceram na Terra foi a alteração na forma e na distribuição dos continentes e mares (imagem abaixo), dado o movimento das grandes massas rochosas que formam a crosta terrestre sobre o magma. A movimentação dos continentes, também conhecida como **deriva continental**, influenciou a evolução e a distribuição dos seres vivos.

Existem muitas evidências que sustentam a teoria da deriva continental. Uma delas é a semelhança geológica entre as áreas de encaixe dos continentes que hoje se encontram separados, como a costa leste da América do Sul e a costa oeste da África. A outra é o compartilhamento de certos fósseis que só pode ser explicado pela proximidade dos continentes num passado remoto. Por exemplo, o *Cinognatus*, um réptil terrestre extinto na era Mesozoica, foi encontrado na América do Sul e na África; fósseis de outro animal extinto, o *Lystrosaurus*, estão presentes na África, na Índia e na Antártica, e, ainda, registros fósseis da gimnosperma *Glossopteris* aparecem em quase todas as regiões do hemisfério sul – América do Sul, África, Índia, Austrália e Antártica.

Fonte de pesquisa: *Atlas geográfico escolar*. 6. ed. Rio de Janeiro: IBGE, 2012. p. 12.

Linha do tempo mostrando as alterações na distribuição dos continentes ao longo do tempo geológico. Note que, há aproximadamente 250 milhões de anos, as massas continentais dividiram-se e começaram a movimentar-se. A conformação atual dos continentes e dos oceanos resultou desse longo processo, chamado de deriva continental.



Allmaps/ID/BR

AMOSTRA
PROIBIDA A REPRODUÇÃO

Eventos marcantes da história da vida na Terra

Era	Período	Época	Início há	Eventos biológicos marcantes
Cenozoica	Quaternário	Recente	10 mil anos	Animais e plantas atuais.
		Pleistoceno	2 milhões de anos	Extinção da maioria dos mamíferos gigantes.
	Terciário	Plioceno	6 milhões de anos	Surgimento do gênero *Homo*.
		Mioceno	26 milhões de anos	Surgimento de uma fauna de mamíferos gigantes.
		Oligoceno	38 milhões de anos	Surgimento de muitas famílias modernas de mamíferos.
		Eoceno	55 milhões de anos	Nessa época já existia a maioria das plantas atuais.
		Paleoceno	65 milhões de anos	Diversificação dos mamíferos e aparecimento dos primeiros primatas. Surgimento das aves atuais.
Mesozoica	Cretáceo	———	135 milhões de anos	Extinção dos dinossauros e de outros animais. Surgimento das angiospermas.
	Jurássico	———	190 milhões de anos	Domínio dos dinossauros e aparecimento das aves.
	Triássico	———	225 milhões de anos	Origem dos dinossauros e dos mamíferos. Surgimento dos grupos modernos de répteis e anfíbios.
Paleozoica	Permiano	———	280 milhões de anos	Extinção de vários grupos de animais. Aparecimento das gimnospermas (coníferas).
	Carbonífero	———	345 milhões de anos	Diversificação das plantas terrestres e surgimento dos animais amniotas.
	Devoniano	———	395 milhões de anos	Abundância de peixes e aparecimento dos primeiros anfíbios.
	Siluriano	———	430 milhões de anos	Surgimento das primeiras plantas vasculares (pteridófitas).
	Ordoviciano	———	500 milhões de anos	Origem das primeiras plantas terrestres (briófitas) e dos peixes.
	Cambriano	———	575 milhões de anos	Origem da maioria dos grupos conhecidos de invertebrados.
Pré-cambriana	———	———	4,6 bilhões de anos	Surgem os primeiros seres há 3,8 bilhões de anos.

Fonte de pesquisa: Reece, J. B. et al. *Campbell Biology*. 10. ed. [S.l.]: Pearson, 2014. p. 527.



Christian Darkin/SPL/Latinstock

Representação artística de um mamute lanoso, mamífero que viveu no período Pleistoceno. Cores-fantasia.


Christian Jegou Publiphoto Diffusion/SPL/Latinstock

Representação artística de ambiente do período Triássico. Note os dinossauros e as plantas gimnospermas que viviam nesse período. Cores-fantasia.


Sheila terry/SPL/Latinstock

Representação artística de floresta do período Carbonífero. As pteridófitas gigantes que viveram nesse período deram origem às atuais jazidas de carvão mineral. Cores-fantasia.

AMOSTRA PARA DIVULGAÇÃO

Não escreva no livro.

A conquista do ambiente terrestre

Acredita-se que a vida tenha surgido no ambiente aquático e depois tenha conquistado o ambiente terrestre. Essa transição da água para a terra só foi possível quando surgiram espécies com características que lhes permitiram sobreviver fora da água, o que levou milhões de anos.

No caso das plantas, a conquista do ambiente terrestre aconteceu quando surgiram espécies capazes de se sustentar em terra firme e com revestimento que reduzisse a perda de água por evapotranspiração, como foi o caso dos musgos e de outras briófitas que apareceram no período Ordoviciano (era Paleozoica). Pouco mais tarde, no período Siluriano, já havia plantas com tecidos condutores e com reprodução mais independente da água, como as samambaias e demais pteridófitas.

No caso dos animais, há fósseis de invertebrados terrestres (aracnídeos e centopeias) que datam do período Siluriano. Os vertebrados, contudo, só passaram a viver na terra no período Devoniano, com o surgimento dos tetrápodes, animais com esqueleto já adaptado a se sustentar e se locomover fora da água. A conquista definitiva do ambiente terrestre veio com o aparecimento dos primeiros amniotas, tetrápodes com ovo amniótico, pele impermeabilizada com queratina e pulmões eficientes.

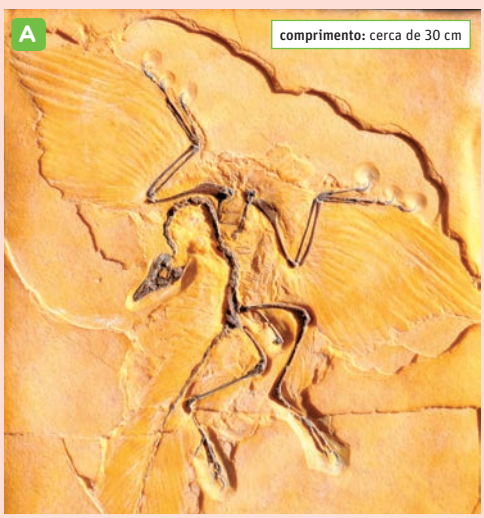
BIOLOGIA SE DISCUTE

O parentesco entre aves e dinossauros

Em 1861, na região da Bavária, Alemanha, trabalhadores de uma pedreira descobriram o fóssil de um animal semelhante a uma ave, dada a impressão das penas, mas que ainda apresentava certas características de répteis, como dentes, garras e cauda óssea. O animal foi, então, batizado com o nome de *Archaeopteryx lithographica* (imagens abaixo), cuja idade de aproximadamente 150 milhões de anos remete ao período Jurássico (era Mesozoica).

Desde a época de Darwin, os cientistas já reconheciam um possível parentesco entre aves e dinossauros. O biólogo Thomas Huxley (1825-1895) foi um dos primeiros, quando comparou os ossos das pernas dos avestruzes com os ossos das pernas dos megalossauros (dinossauros gigantescos do Jurássico), identificando várias semelhanças. A ideia de um parentesco próximo entre dinossauros e aves, entretanto, não foi aceita naquela época.

Isso só mudou no final dos anos 1960, quando estudos comparativos entre os esqueletos de dinossauros terópodes (grupo de dinossauros bípedes) e de aves, incluindo-se o *Archaeopteryx*, identificaram mais de vinte características comuns aos dois grupos. Além disso, existem evidências de que muitos terópodes, como o *Velociraptor*, possuíam o corpo revestido de penas. Por essas razões, hoje a maioria dos cientistas considera que as aves são dinossauros do grupo dos terópodes.



Jean Claude Carton/Bruce Coleman Inc./Alamy/Latinstock



Jane Burton/Warren Photographic/PR/Latinstock

(**A**) Fóssil de *Archaeopteryx lithographica*, do período Jurássico (Museu de Berlim, Alemanha). (**B**) Representação artística do mesmo animal. As cores das penas são meras suposições.

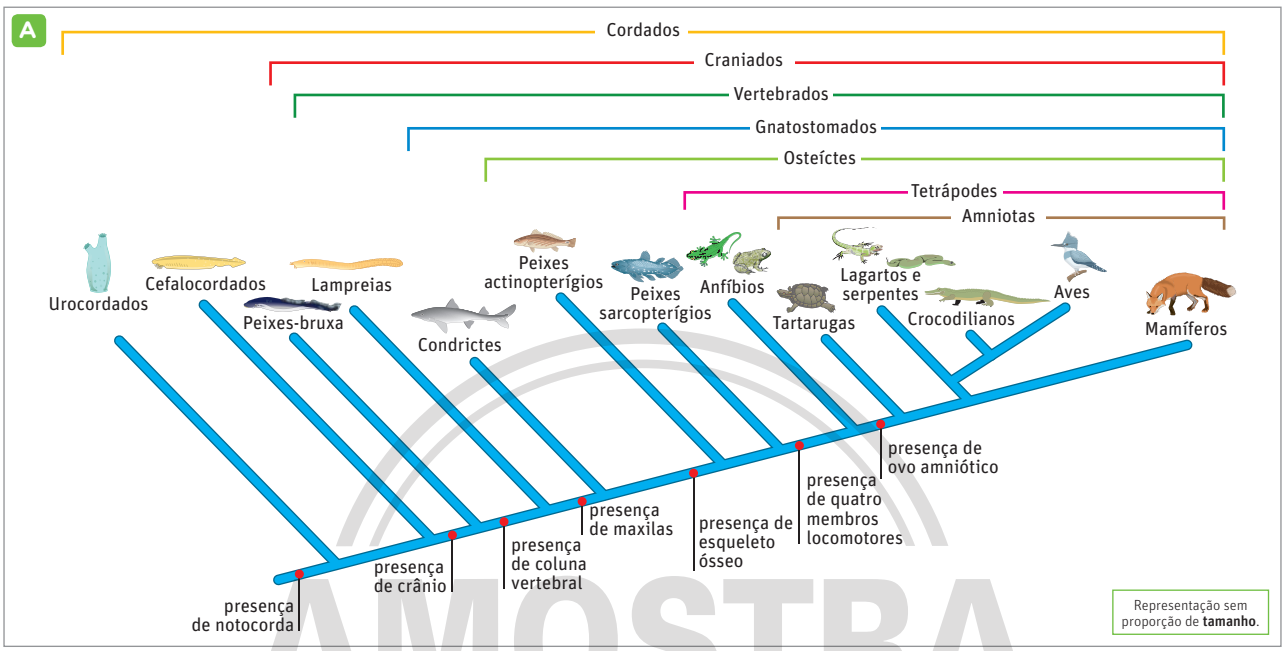
AMOSTRA
VERSÃO PARA DIVULGAÇÃO

A origem dos tetrápodes

Os tetrápodes, grupo de vertebrados terrestres que inclui os anfíbios, os répteis, as aves e os mamíferos, evoluíram de um ancestral comum aos peixes de nadadeiras lobadas (peixes pulmonados e os celacantos atuais), provavelmente entre 350 e 400 milhões de anos atrás, no período Devoniano (imagem **A**).

Fonte de pesquisa: Hickmann Jr., C. P.; Roberts, L. S.; Larson, A. *Princípios integrados de zoologia*. Rio de Janeiro: Guanabara-Koogan, 2001. p. 492.

Árvore filogenética mostrando as prováveis relações de parentesco entre os vários grupos de cordados. Note que os peixes sarcopterígios compartilham um ancestral comum com os tetrápodes. Cores-fantasia.



Reinaldo Vignati/ID/BR

Até meados dos anos 1990, eram conhecidos apenas dois fósseis relacionados à evolução dos tetrápodes: o *Eusthenopteron* (um peixe sarcopterígio) e o *Ichthyostega* (um tetrápode do período Devoniano). Segundo a teoria clássica da evolução dos tetrápodes, em períodos de seca, peixes como o *Eusthenopteron* se arrastavam em terra usando as nadadeiras e, assim, encontravam água. Indivíduos capazes de permanecer mais tempo fora da água teriam sido selecionados e, com o passar das gerações, mutações teriam levado ao surgimento de membros locomotores, como os observados no *Ichthyostega*. Assim, os tetrápodes teriam surgido após a conquista do ambiente terrestre por esses peixes.

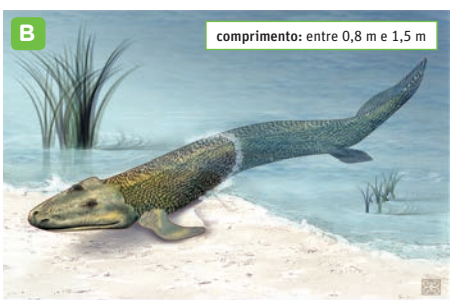
Essa teoria foi revista depois da descoberta de novos fósseis, como o *Acanthostega*, tetrápode que viveu há cerca de 360 milhões de anos. Contudo, estudos recentes revelaram que as pernas desse animal não seriam capazes de suportar seu peso fora da água. Portanto, o *Acanthostega* provavelmente era um tetrápode aquático e, quando muito, colocava a cabeça fora da água ao respirar, mantendo o corpo imerso.

Outra descoberta recente foi a do *Panderichthys*, peixe sarcopterígio que viveu há cerca de 370 milhões de anos. Além de uma abertura nasal no topo do crânio, ele tinha uma nadadeira pélvica semelhante à dos membros dos tetrápodes. A descoberta de outro fóssil ajudou a refutar a teoria clássica: o *Tiktaalik roseae* (imagem **B**), peixe sarcopterígio que viveu há cerca de 375 milhões de anos e que tinha a cabeça e o corpo achatados, olhos no topo do crânio, pescoço funcional, e costelas semelhantes às dos primeiros tetrápodes, que poderiam auxiliar na respiração e no suporte do corpo, quando mantido parcialmente fora da água.

Com base nessas descobertas, postula-se que os primeiros tetrápodes teriam surgido ainda como seres aquáticos e que somente mais tarde os membros teriam sido usados para a locomoção em ambiente terrestre.

ATIVIDADES

1. Considerando que as baleias são tetrápodes aparentados com os artiodáctilos (bois, porcos e cabras), como você explicaria a evolução desses mamíferos aquáticos?



National Science Foundation/Science Photo Library/Latinstock

Representação artística de *Tiktaalik roseae*, um peixe sarcopterígio extinto que ajuda a explicar a evolução dos tetrápodes e a conquista do ambiente terrestre. Cores-fantasia.

AMOSTRA PARA DIVULGAÇÃO

Não escreva no livro.

A extinção dos dinossauros

Por milhões de anos, os dinossauros evoluíram e se diversificaram sob diferentes formas e tamanhos. Porém, no final do Cretáceo, há cerca de 65 milhões de anos, houve uma grande extinção que fez desaparecer todos os dinossauros (com exceção das primeiras formas de aves) e muitos outros tetrápodes, como os ictiossauros e os pterossauros (imagens **A** e **B**). Além das aves, sobreviveram outros grupos, como os mamíferos e os crocodilianos.

Diversas hipóteses tentam explicar esse episódio, entre as quais duas se destacam: a dos **gradualistas** (que acreditam que a extinção foi gradual e que sua causa teve origem na própria Terra) e a dos **catastrofistas** (que acreditam na extinção catastrófica com causa extraterrestre).

Os adeptos de ambas as hipóteses, entretanto, concordam que durante a passagem do Mesozoico para o Cenozoico houve uma mudança global que fez o clima ficar mais frio. Eles também acreditam que a atmosfera terrestre foi coberta por fuligem, ocasionando chuvas ácidas, emissão de gases venenosos e resfriamento climático a curto prazo; a longo prazo, teria ocorrido uma intensificação do efeito estufa, levando à elevação da temperatura média do planeta e à redução da incidência da luz solar sobre sua superfície.

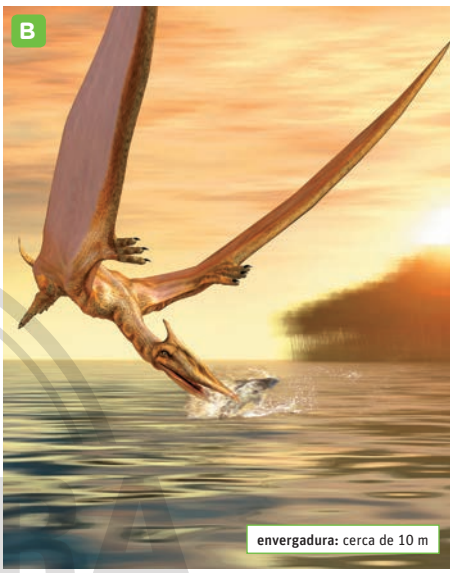
Os dois grupos concordam ainda que, em diversas regiões do planeta, as camadas geológicas que marcam o limite entre o Mesozoico e o Cenozoico apresentam uma fina camada de argila rica em irídio, metal muito raro na crosta terrestre. Eles, porém, interpretam esses dados de maneiras diferentes.

Para os gradualistas, a grande extinção do final do Cretáceo pode ser explicada por uma intensa atividade vulcânica, que teria perdurado por milhões de anos, a ponto de criar fuligem suficiente para bloquear a luz do Sol (imagem **C**). Evidências dessa atividade vulcânica podem ser observadas nas camadas do Cretáceo na atual Índia. De acordo com os gradualistas, portanto, a alta concentração de irídio nessas camadas se deve ao extravasamento do magma, que contém bastante desse metal.

Para os catastrofistas, entretanto, um grande asteroide teria colidido com a Terra (imagem **D**), levantando poeira e fuligem suficientes para cobrir todo o planeta, ocasionando as mudanças climáticas. A descoberta da camada de argila rica em irídio, elemento também abundante nos meteoritos, foi a primeira evidência que levou alguns cientistas a considerar a hipótese do impacto. A descoberta de uma imensa cratera de 65 milhões de anos em Chicxulub, na península de Yucatán, no México, reforçou essa hipótese.



Chris Butler/SPL/Latinstock



Roger Harris/SPL/Latinstock

Representações artísticas de alguns répteis extintos no final do Cretáceo: (**A**) ictiossauro e (**B**) pterossauro. Esses répteis não são classificados como dinossauros. Cores-fantasia.



Matt Garlick/Science Photo Library/Latinstock



Chris Butler/SPL/Latinstock

Representações artísticas de eventos que poderiam ter provocado a extinção dos dinossauros no final do Cretáceo: (**C**) intensa atividade vulcânica e (**D**) colisão de um asteroide com a Terra. Cores-fantasia.

AMOSTRA
PARA DIVULGAÇÃO

BIOLOGIA SE DISCUTE

O que afinal causou a extinção dos dinossauros?

Embora inúmeros cientistas argumentem que os dinossauros se extinguiram devido ao impacto de um grande asteroide sobre a Terra há 66 milhões de anos, um novo estudo divulgado [na revista *Science*] revela que a colisão aumentou a atividade vulcânica, e a combinação de ambos os fenômenos acabou com eles.

As novas medições da atividade vulcânica nesse período, o Cretáceo, que podem ser as mais precisas até o momento, indicam um forte aumento na taxa de erupção dos vulcões do planalto de Decan (Índia) – onde foi realizado o estudo – durante os 50 000 anos posteriores ao impacto.

Após a queda do meteoro, as erupções vulcânicas passaram a ocorrer com menor frequência, mas, quando ocorriam, o faziam de uma maneira mais violenta e expulsando muito mais lava do que até então.

Segundo o estudo, cerca de 70% do volume total de magma acumulado no planalto de Decan foi expulso em erupções maciças.

Sob a direção de Paul Renne, professor da Universidade de Berkeley (Califórnia, EUA) e diretor de seu Centro de Geocronologia, a pesquisa considera que estas novas medições mostram que os fluxos de lava da grande cadeia vulcânica de Decan funcionavam em um ritmo mais lento antes do impacto.

A combinação do impacto do meteoro e o aumento da atividade vulcânica intoxicou o ar e os ecossistemas, enchendo o planeta de substâncias nocivas que provocaram o desaparecimento de várias espécies.

"Baseando-nos em nossas datas de atividade vulcânica, estamos bastante seguros de que os dois eventos (o impacto do meteoro e as erupções) provocaram a extinção em massa", explicou Renne [...]

"É quase impossível atribuir – acrescentou – os efeitos atmosféricos a um ou outro. Os dois aconteceram ao mesmo tempo."

Asteroide e vulcões levaram dinossauros à extinção, diz estudo. UOL notícias. 11 out. 2015. Disponível em: <http://noticias.uol.com.br/ciencia/ultimas-noticias/efe/2015/10/01/atividade-vulcanica-contribuiu-para-extincao-de-dinossauros-dizem-cientistas.htm>. Acesso em: 11 abr. 2016.

Localização do Planalto de Decan, na Índia



Na foto à direita, Planalto de Decan, na Índia, 2006.

Fonte de pesquisa: *Atlas geográfico escolar*. 6. ed. Rio de Janeiro: IBGE, 2012. p. 47. Disponível em: <http://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv64669_cap3_pt1.pdf>. Acesso em: 11 abr. 2016.

1. De que maneira essa nova hipótese concilia as hipóteses gradualista e catastrofista para explicar a extinção dos dinossauros?

AMOSTRA PARA DIVULGAÇÃO

Não escreva no livro.

A diversificação dos mamíferos

Estudos recentes apontam dois eventos importantes na história da Terra que contribuíram para a diversificação dos mamíferos, cuja origem é datada no período Triássico.

Um desses eventos estaria relacionado ao surgimento e à diversificação das angiospermas, plantas com flores, há 80 milhões de anos. A diversidade de hábitats e de recursos propiciados por esse grupo de plantas impulsionou de forma significativa a irradiação dos mamíferos, que conviveram com os dinossauros nesse período.

O outro evento se refere à extinção dos dinossauros, há 65 milhões de anos, no final do período Cretáceo. Com o declínio desses grandes répteis, surgiram os mamíferos placentários (hoje representados por cachorros, cavalos, elefantes, baleias, etc.), que rapidamente se diversificaram nos vários grupos conhecidos atualmente.

A megafauna que surgiu no Período Mioceno era constituída de grandes mamíferos, como mamutes, tigres-dente-de-sabre, gliptodontes, preguiças-gigantes, macrauquênias; esses quatro últimos (imagens **A** a **D**) ocorriam no Brasil, de acordo com o registro fóssil. Todos esses mamíferos gigantes desapareceram no final do período Pleistoceno, por volta de 10 mil anos, na conhecida Era do Gelo, quando se deu a última glaciação no planeta Terra. Esse foi o último grande evento de extinção em massa com registro fóssil.



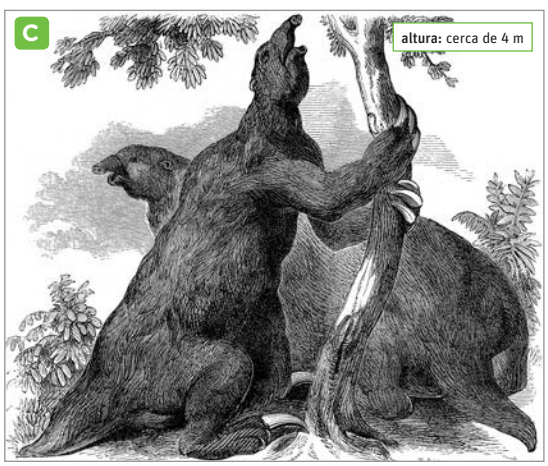
Mourão Panda/Fotoarena

Fóssil de esqueleto de um tigre-dente-de-sabre, mamífero que viveu no Brasil. Seus caninos, com formato de sabre, podiam medir cerca de 25 cm. Museu de Ciências Naturais (PUC-MG), Belo Horizonte, 2015.



Fábio Colombini/Acervo do fotógrafo

Reconstituição de um gliptodonte, tatu-gigante que viveu no Brasil há 100 mil anos. Instituto de Biociências, USP, São Paulo (SP), 2005.



PR/Latinstock

Representação artística de uma preguiça-gigante, animal que viveu no Brasil há 20 mil anos.



Fábio Colombini/Acervo do fotógrafo

Fóssil de macrauquênia, mamífero que viveu no Brasil há cerca de 200 mil anos. Tinha cabeça pequena, pescoço longo e uma pequena tromba, que teria sido utilizada na captura de folhas de árvores e arbustos. Museu de História Natural, Taubaté (SP), 2007.

Não escreva no livro.

A espécie humana e os primatas

A espécie humana (*Homo sapiens*), incluída entre os vertebrados, pertence à classe dos mamíferos. Essa classe, por sua vez, diferenciou-se em várias ordens, entre elas a dos primatas, formada também por macacos, gorilas e formas similares. Entre os primatas, a espécie humana é filogeneticamente próxima aos chimpanzés, aos orangotangos, aos gorilas e aos bonobos.

Características gerais dos primatas

A maioria dos primatas apresenta cinco dedos em cada membro (imagem **A**). O primeiro deles, chamado polegar, em geral é oposto aos demais. Essa característica permite a esses animais agarrar e manipular objetos com maior destreza, bem como escalar árvores e pendurar-se em galhos com grande habilidade.

De modo geral, os primatas apresentam clavícula, estrutura que, na maioria dos demais mamíferos, é reduzida ou ausente. A articulação do ombro é bem desenvolvida, possibilitando grande movimentação dos membros anteriores (braços) em todas as direções. O mesmo ocorre com o cotovelo.

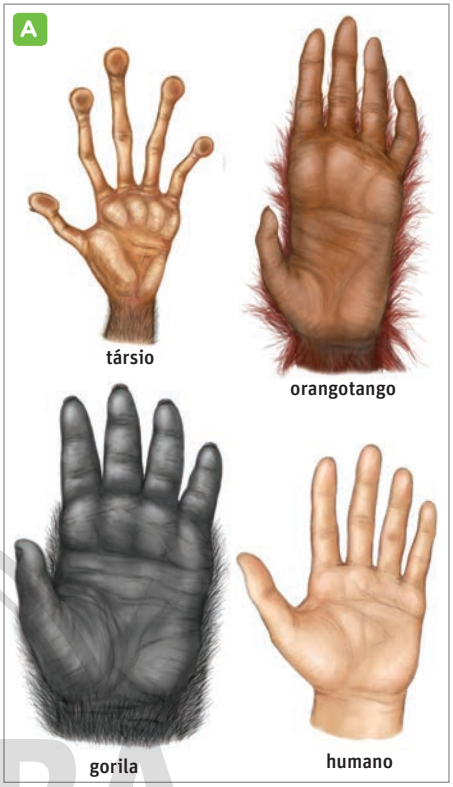
Muitos primatas tendem a erguer o tronco ao caminhar, o que indica uma tendência desse grupo ao bipedalismo, ou seja, à capacidade de caminhar sobre duas pernas. Outra característica é o grande desenvolvimento dos hemisférios cerebrais, mais pronunciados no gênero *Homo*. Além disso, os olhos estão voltados para a frente, o que lhes possibilita uma visão tridimensional.

Quanto à reprodução, os primatas de modo geral parem apenas um filhote por gestação, característica associada a uma infância e uma adolescência prolongadas.

Muitos primatas são onívoros, ou seja, alimentam-se tanto de partes diversas de plantas – como frutas, flores, sementes, folhas e bulbos – quanto de insetos, ovos de aves e pequenos vertebrados.

Existem primatas, como os colobos e os bugios, que se alimentam quase que exclusivamente de folhas – o estômago desses animais tem o formato de um saco e nele estão presentes bactérias e protozoários que fazem a digestão da celulose. Outros, como os saguis, por exemplo, especializaram-se em comer insetos.

Representação sem proporção de **tamanho**.



Reinaldo Vignati/ID/BR

Representação das mãos de diversos primatas. Nos társios, os dedos finos com extremidades adesivas facilitam a adesão aos ramos das árvores. Nos orangotangos, as mãos estão adaptadas a balançar de galho em galho. No gorila, o polegar é mais oposto. Nos humanos, a mão tem maior capacidade manipulativa, com o polegar mais desenvolvido e mais opositor do que nos demais primatas. Cores-fantasia.

Classificação dos primatas

A classificação dos primatas é bastante complexa para ser apresentada em detalhes neste volume.

Existem diversas subdivisões, compostas de ordens, infraordens, subordens, famílias, etc. Além disso, há discordâncias entre os zoólogos quanto à maneira de classificar esses animais.

Para fins didáticos, os primatas são divididos aqui em três grupos principais: os **prossímios**, os **antropoides** e os **társios**.

Prossímios

Os prossímios, representados pelos lêmures (imagem **B**), potos, sifacas, aye-ayes e lóris, são primatas que apresentam, de modo geral, o crânio alongado e os olhos grandes. Exceto os lóris, que habitam a Ásia e partes da África, os demais habitam a ilha de Madagascar.



Taolmor/Dreamstime.com/ID/BR

Lêmure (*Lemur catta*), prossímio encontrado na ilha de Madagascar.

AMOSTRA PARA DIVULGAÇÃO

Não escreva no livro.

Antropoides

Os antropoides são separados em dois subgrupos: os platirrinos e os catarrinos.

Os **platirrinos**, chamados de macacos do Novo Mundo, por serem encontrados atualmente apenas na América do Sul e na América Central, apresentam nariz achatado, com grandes narinas e rostro (focinho) proeminente.

Em geral, eles são menores do que os catarrinos, têm cauda longa e muitas vezes especializada como órgão preênsil. Os platirrinos estão representados no Brasil pelos micos, saguis, bugios (imagem **A**), macacos-aranha, uacaris e macacos-prego.

Os **catarrinos** apresentam narinas unidas, inclinadas, que se abrem para a frente. O porte é, em geral, maior que o dos platirrinos. A cauda é frequentemente curta ou ausente. Os catarrinos podem ser agrupados em duas superfamílias: Cercopithecoidea, ou macacos do Velho Mundo, representada pelos babuínos, mangabeis e mandris; e Hominoidea, representada pelos gibões, orangotangos, gorilas, chimpanzés, bonobos e seres humanos.

Társios

Encontrados nas ilhas do Sudeste Asiático, os társios (imagem **B**) são pequenos primatas com olhos grandes e longos membros anteriores.

De acordo com a classificação tradicional, os társios eram considerados prossímios. Estudos recentes indicam, porém, que eles formam um grupo mais próximo aos antropoides (imagem **C**).



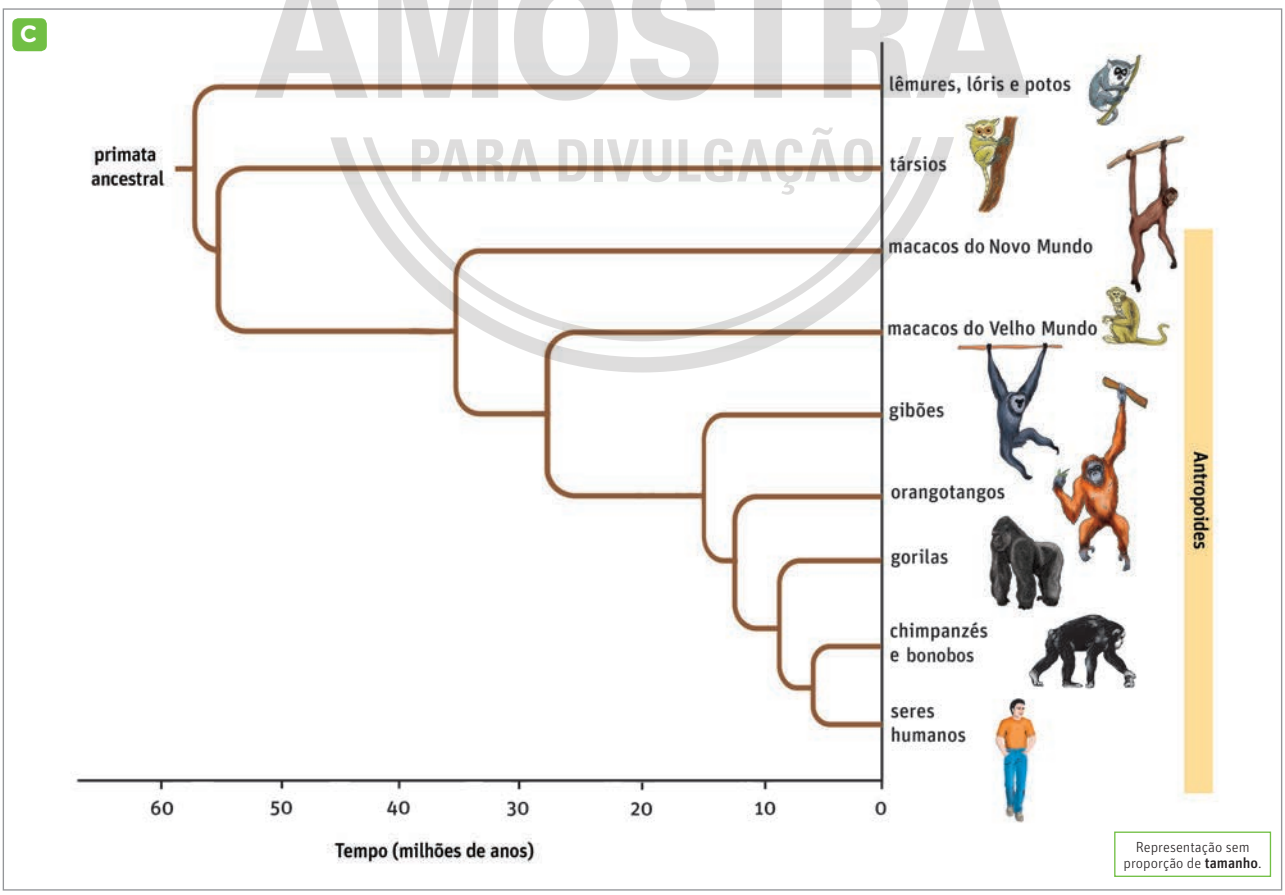
McPhoto/BFI/Blickwinkel/Alamy/Latinstock

Espécie de bugio (*Alouatta caraya*) que ocorre nas regiões Sul e Sudeste do Brasil.



Hölgs/Dreamstime.com/ID/BR

Társio, encontrado nas Filipinas. (Cerca de 15 cm de comprimento sem a cauda; a cauda mede aproximadamente 20 cm.)



Reinaldo Vignati/ID/BR

Árvore filogenética dos primatas. Cores-fantasia.

Fonte de pesquisa: Reece, J. B. et al. *Campbell Biology*. 10. ed. [S.l.]: Pearson, 2014. p. 740.

AMOSTRA PARA DIVULGAÇÃO

Evolução dos primatas

Se pudéssemos retroceder no tempo, para um período situado entre o final do período Cretáceo e o começo do Terciário, provavelmente depararíamos com os mais antigos ancestrais de todos os primatas (ilustração ao lado). Esses animais, de acordo com o registro fóssil daquele período, eram pequenos e muito parecidos com os musaranhos atuais e com os esquilos arborícolas.

Se avançássemos para a época seguinte (Eoceno), veríamos que a diversidade de primatas já era considerável. Tais criaturas, semelhantes aos lêmures atuais, começavam a apresentar certo desenvolvimento da mão, com seus cinco dedos preênseis, sendo o polegar oposto aos demais.

Durante o Eoceno, os prossímios se dispersaram, e seus hábitos alimentares sofreram uma diferenciação. Alguns se alimentavam de insetos; outros eram herbívoros. O cérebro já era proporcionalmente maior em relação ao corpo, quando comparado a qualquer outro mamífero contemporâneo a eles. Tal desenvolvimento deveria estar relacionado a uma coordenação neuromuscular necessária a atividades arbóreas, como a caça, e para o controle da manipulação de objetos.

Os precursores dos macacos do Novo Mundo devem ter cruzado o Atlântico Sul no final do Eoceno. Nessa época, a distância entre a África e a América do Sul era menor e havia numerosas ilhas entre os dois continentes, o que pode ter possibilitado a travessia em balsas naturais.

Embora muito raros, os fósseis do Mioceno permitem constatar a presença de platirrinos e catarrinos que conviveram nesse período.



Reinaldo Vignati/ID/BR

Reconstituição artística do *Purgatorius*, talvez o mais antigo ancestral primata conhecido, que viveu há mais de 60 milhões de anos, no início do Paleoceno. Cores-fantasia.

AMOSTRA
PARA DIVULGAÇÃO

BIOLOGIA SE DISCUTE

Humanos, chimpanzés e bonobos: semelhantes até no comportamento

Seriam a solidariedade, a consciência e a empatia atributos exclusivos da espécie humana? Ao que tudo indica, não. Estudos sobre chimpanzés e bonobos têm revelado que eles também apresentam esses comportamentos.

Um caso bem interessante foi relatado pelo primatólogo holandês Franz de Waal em seu livro *Eu, primata: por que somos como somos*. Ele conta como a bonobo Kuni fez de tudo para ajudar uma ave ferida que havia caído na sua jaula. Quando o tratador do zoológico tentou fazer Kuni soltar a ave, ela levou o pequeno animal até o alto de uma árvore, desdobrou-lhe as asas cuidadosamente e, depois, lançou-o no ar. O pássaro, entretanto, caiu. Kuni, então, desceu até o solo e o protegeu até o fim do dia, quando ele pôde voar em segurança.

Nos chimpanzés é comum observarmos demonstrações de afeto entre mães e filhotes. Eunice Durham, professora do Departamento de Antropologia da USP (Universidade de São Paulo), conta que "as mães chimpanzés estão sempre manipulando os filhotes – limpando-os, catando-os, abraçando-os, acariciando-os com os lábios – e brincando com eles". Uma das explicações é que os filhotes precisam ser permanentemente carregados, o que torna mais constante o contato físico entre mãe e filho. Outro fator importante é que o desenvolvimento dos filhotes de chimpanzés é muito lento, aumentando, assim, a sua dependência. Mesmo após a adolescência, esses animais podem manter laços estreitos com as mães, seja para defendê-las, seja para serem defendidos por elas, em caso de perigo. Dentro de um mesmo grupo, essa é uma relação que dura por toda a vida.



Peter Arnold/Other Images

Fêmea de chimpanzé com filhote.

Não escreva no livro.

As origens da humanidade

Desde a publicação do livro *A origem do homem e a seleção sexual* (1871), de Charles Darwin, esse tema vem gerando novas polêmicas e alimentando outras mais antigas, como a do criacionismo *versus* evolucionismo. De modo geral, antes de Darwin, e mesmo à sua época, o ser humano e as demais espécies eram vistos como obras da criação divina. Até mesmo Alfred Russel Wallace, coautor da teoria da seleção natural, julgava, por exemplo, que a mente humana era tão complexa, que só poderia ser obra de uma força sobrenatural.

Em meados do século XIX, Darwin já cogitava o continente africano como centro de origem de nossa espécie. Ele fundamentou-se na semelhança entre os humanos e os grandes símios, como os chimpanzés e os gorilas, originários da mesma região. E, de fato, todos os indícios fósseis descobertos até hoje remetem as origens humanas àquele continente, confirmando assim a ideia do naturalista.

Por outras vias, o estreito parentesco dos humanos com os grandes macacos africanos vem sendo cada vez mais corroborado. Dados moleculares mais recentes, por exemplo, indicam que os seres humanos estão muito mais próximos dos chimpanzés do que dos gorilas, ao contrário do que pensavam alguns estudiosos.

Outros dados advindos da paleontologia e de análises filogenéticas indicam que o gênero *Homo* se originou de um ancestral comum com os australopitecíneos, grupo de hominídeos que surgiu por volta de 4 milhões de anos atrás. A evolução subsequente produziu o aparecimento de várias espécies e gêneros, que muitas vezes coexistiram no tempo e no espaço. Hoje, como se sabe, apenas uma delas sobreviveu, a espécie humana. Assim, embora tenha sido a única a sobreviver, nossa espécie é apenas uma entre várias do mesmo gênero.

ATIVIDADES

2. Em geral, explicações para o surgimento do ser humano que envolvem acontecimentos ou entidades sobrenaturais não são consideradas científicas pelos pesquisadores.

Explique por que os cientistas adotam essa postura.

AMOSTRA PARA DIVULGAÇÃO

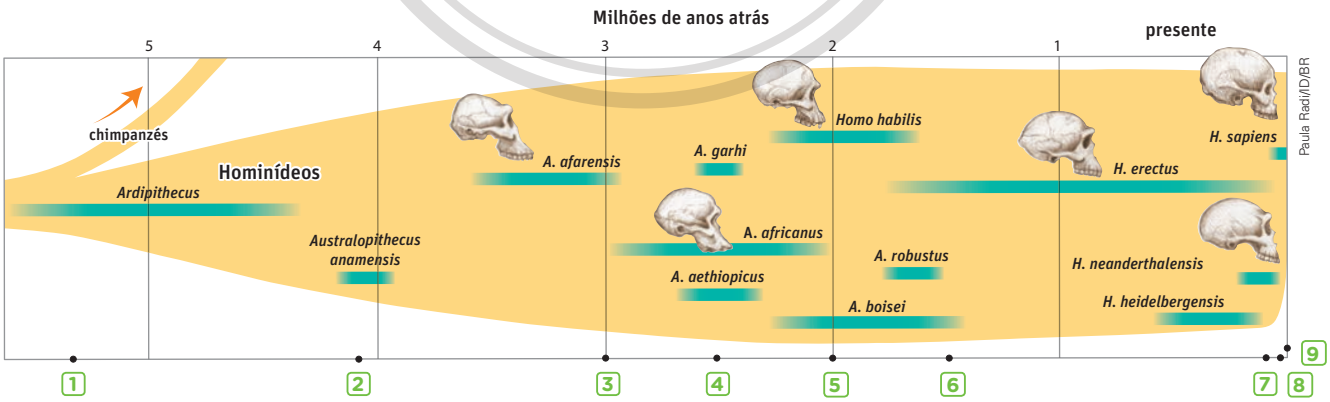
1. Na África, a linhagem ancestral dos hominídeos se dividiu.

2. O *Australopithecus anamensis* andava pela região onde fica o Quênia.

3. O *Australopithecus afarensis* ("Lucy") vivia na África.

4. Quatro ou mais espécies de hominídeos viviam na África.

5. Primeiros membros do gênero *Homo* viviam na África.



6. Os hominídeos se espalharam para fora da África, em grande parte da Ásia e Europa atuais.

7. O *Homo sapiens* primitivo vivia na África, enquanto o *H. neanderthalensis* e o *Homo erectus* viviam em outras partes do Velho Mundo. O cérebro do *H. sapiens* atingiu mais ou menos o padrão de tamanho atual.

8. Alguns grupos de humanos modernos alcançaram territórios fora da África. As culturas humanas produziram pinturas em cavernas e adornos corporais e fabricaram ferramentas elaboradas.

9. Outras espécies do gênero *Homo* foram extintas, permanecendo apenas o *Homo sapiens* moderno espalhado pelo Velho Mundo.

Esquema da história evolutiva humana, com a indicação de alguns dos eventos ocorridos e suas datas aproximadas.

Fonte de pesquisa: University of California Museum of Paleontology (Museu de Paleontologia da Universidade da Califórnia). *Understanding Evolution – Human evolution*. Disponível em: <http://evolution.berkeley.edu/evolibrary/article/0_0_0/humanevo_02>. Acesso em: 14 abr. 2016.

A vida arborícola dos pré-humanos

A linhagem dos hominídeos começou a se separar da linhagem dos grandes símios africanos há cerca de 6 milhões de anos. As últimas descobertas fósseis indicam que, entre esse período e 4 milhões de anos atrás, surgiram diversas espécies que podem ser consideradas ancestrais humanos, como *Sahelanthropus tchadensis*, *Orrorin tugenensis*, *Ardipithecus kadaba*, *Ardipithecus ramidus* e *Australopithecus anamensis*.

Estudos recentes relacionados aos fósseis de vários espécimes de *Ardipithecus ramidus*, entre os quais um esqueleto parcial, descobertos em um sítio na Etiópia, África, datados em cerca de 4,4 milhões de anos, corroboram a ideia de que essa espécie seria um dos mais antigos ancestrais humanos.

Esses estudos sugerem que o *A. ramidus* vivia em florestas e, como evidenciam os ossos do crânio, da bacia, do fêmur, das mãos e dos pés, combinava características anatômicas que lhe permitiam viver tanto no chão quanto nas árvores, nas quais, provavelmente, subia para dormir, catar alimentos ou fugir de possíveis predadores. A sua condição bípede (capacidade de caminhar sobre os dois pés), porém, seria mais primitiva do que aquela encontrada em seus prováveis descendentes, os australopitecíneos.

SAIBA MAIS

As origens da linguagem

Todos os animais apresentam algum tipo de comunicação – visual, olfativa ou sonora. Trata-se de uma adaptação importante à sobrevivência dos indivíduos. Traçar as origens e a evolução da linguagem não é tarefa simples, já que existem poucos registros.

A linguagem humana provavelmente evoluiu de maneira gradual. Hipóteses apontam para um primeiro passo, que seria uma forma de comunicação mais simples ou uma protolinguagem. Os ancestrais humanos talvez se comunicassem por meio de gestos e do que chamamos hoje de linguagem do corpo, além de vocalizações mais simples.

Essa hipótese pode ser inferida pela comparação com espécies atuais muito próximas do *Homo sapiens*, como chimpanzés, gorilas e orangotangos. Sabemos, por exemplo, que os chimpanzés usam tanto vocalizações como gesticulações na comunicação com seus pares. Pode-se inferir, a partir daí, que formas antigas de hominídeos, como os australopitecos, por apresentarem cérebro de tamanho semelhante ao desses primatas, também se valiam desse tipo de linguagem. Toda essa evolução teria sido acompanhada por mudanças anatômicas do corpo e do cérebro ocorridas durante a passagem de uma vida quase exclusivamente arborícola para a vida em solo firme.



Norman Owen Tomalin/Alamy/Latinstock

A comunicação entre chimpanzés é um importante fator de coesão social.



Gerry Ellis/Minden/Fotoarena

Chimpanzé jovem observa adulto que confecciona um instrumento para capturar insetos.

AMOSTRA
PARA REVISÃO

Não escreva no livro.

Os australopitecos

Há cerca de 4,1 milhões de anos teria surgido o *Australopithecus anamensis*, cujos fósseis – um par de mandíbulas e parte de uma tíbia – foram encontrados em 1995 entre o Quênia e a Etiópia, na África.

Pouco mais tarde, entre 3,8 e 3 milhões de anos, surgiu o *Australopithecus afarensis*, cujos fósseis foram descobertos entre a Etiópia e a Tanzânia. Essa espécie diferia do *A. anamensis* apenas com relação a detalhes da mandíbula e dos dentes.

Dentre os achados mais importantes relacionados a esse hominídeo, destacam-se pegadas fósseis de 3,6 milhões de anos, descobertas em Laetoli, Tanzânia, em 1978 (imagem **A**). Essas pegadas foram uma das primeiras evidências de que os australopitecos eram bípedes. Essa ideia foi corroborada por análises de certas características da tíbia e do joelho de um fóssil de *Australopithecus afarensis*.



John Reader/SPL/Latinstock

Pegadas fósseis provavelmente deixadas por *Australopithecus afarensis*. As pegadas foram encontradas em Laetoli, Tanzânia, em 1978.

Mais evidências foram obtidas após a descoberta e o estudo da anatomia de Lucy (imagem **B**), o esqueleto mais completo de *Australopithecus* já encontrado. Datado em 3,2 milhões de anos, ele foi descoberto no sítio arqueológico de Hadar, na Etiópia, em 30 de novembro de 1974, pelos paleontólogos estadunidenses Donald Johanson e Tom Gray. A análise do esqueleto de Lucy mostrou que o bipedalismo precedeu todas as outras mudanças que consideramos humanas, como a fabricação de ferramentas. Lucy apresentava muitas características tidas como "primitivas", como a face proeminente, semelhante à dos grandes símios africanos, e o volume cerebral quase igual ao dos chimpanzés.

A postura ereta desses antigos hominídeos, todavia, não era como a nossa, já que ainda apresentavam algumas características de seus ancestrais arborícolas, o que lhes permitia explorar tanto hábitats arbóreos como terrestres.



John Reader/SPL/Latinstock

Ossos fósseis de Lucy, um *Australopithecus afarensis*, encontrados na Etiópia.

AMOSTRA PARA DIVULGAÇÃO

BIOLOGIA SE DISCUTE

A evolução do bipedalismo

Estudos recentes sobre o comportamento dos chimpanzés e bonobos mostraram que esses primatas usam a postura bípede quando estão nas árvores para colher frutos fora de seu alcance. Dada a semelhança entre os australopitecos e os chimpanzés e bonobos, tanto em relação ao tamanho do cérebro quanto em relação ao tipo de ambiente explorado, é possível conjecturar que a evolução da postura ereta talvez tenha trazido alguma vantagem para aqueles primeiros hominídeos que passavam boa parte do tempo sobre as árvores.

Assim, pode-se inferir que o bipedalismo teria evoluído, primeiramente, em razão de um comportamento relacionado à postura, ou seja, a pressão seletiva favoreceu aqueles indivíduos que eram capazes de ficar de pé sobre os galhos, com maior eficiência, para colher frutos, à maneira dos chimpanzés, e não como consequência da locomoção no chão.

Em um segundo momento teria surgido o bipedalismo exclusivamente terrestre, com a evolução do gênero *Homo*, na África, há mais ou menos 2,5 milhões de anos. Naquela época, o continente africano estava sofrendo grandes mudanças ambientais, com o aparecimento de extensos desertos e savanas. Alguns estudos mostram que caminhar sobre as duas pernas naquele novo ambiente tornou menos dispendiosa a locomoção em longas distâncias e, ao mesmo tempo, proporcionou a possibilidade de carregar cargas. As mudanças anatômicas que acompanharam a aquisição do bipedalismo estariam relacionadas a várias outras vantagens – como o surgimento da fala, isto é, da capacidade de produção de sons modulados, inexistente nos chimpanzés – e ao nascimento dos bebês num estágio anterior do desenvolvimento fetal, em relação ao observado em outros primatas, com consequências variadas sobre o desenvolvimento cognitivo e o comportamento social, por exemplo.

Paranthropus

Entre 3,6 e 2 milhões de anos atrás houve grande diversificação a partir do ancestral comum ao ser humano e o *A. afarensis*. Inicialmente apareceram formas "robustas", hoje incluídas no gênero *Paranthropus* (imagem **A**); pouco depois surgiram formas mais esguias, representadas pelas espécies *Australopithecus africanus* e *Australopithecus garhi*.

O gênero *Paranthropus* apresenta dentes pré-molares e molares bem desenvolvidos em relação aos incisivos e caninos, o que indica uma dieta baseada em raízes grandes e tubérculos. Já a dentição dos *Australopithecus* indica uma dieta mais onívora, baseada tanto em vegetais como em animais.

Outro aspecto marcante é o dimorfismo sexual. Tanto no *Paranthropus* como no *Australopithecus* (*A. africanus* e *A. garhi*), o macho é bem maior do que a fêmea, chegando a pesar até duas vezes mais. Essa diferença é bem semelhante à encontrada entre os babuínos, o que sugere uma organização social muito parecida com a desses macacos, em que machos dominantes competem pelas fêmeas.

A



Javier Trueba/SPL/Latinstock

comprimento: cerca de 15 cm

Fóssil de crânio de *Paranthropus robustus*, encontrado na África do Sul.

O gênero *Homo*

O primeiro representante do gênero humano, o *Homo habilis*, remonta a mais ou menos 2,3 milhões de anos; seus fósseis foram descobertos pelo paleontólogo Jonathan Leakey (1940-), em 1960, na garganta de Olduvai, Tanzânia (mapa abaixo). Existem evidências de que essa espécie teria se originado de um ancestral comum com o *Australopithecus africanus* (imagem **B**).

B



Pascal Goetgheluck/SPL/Latinstock

comprimento: cerca de 20 cm

Homo habilis

Essa nova espécie, apesar de ainda muito semelhante aos australopitecos, apresentava um cérebro com volume 50% maior (a principal característica do gênero *Homo*) e uma redução dos maxilares e dos dentes pré-molares e molares. Associados a essa descoberta foram encontrados instrumentos de pedra muito rústicos, simples lascas (imagem **C**), porém eficientes para a exploração de novas fontes de proteínas encontradas nas carcaças animais. Existem evidências de que essa espécie transportava, durante longas jornadas, pedras de tamanho e forma apropriados para serem manufaturadas.

Embora a invenção desses instrumentos tenha sido creditada a essa espécie, novas evidências indicam que os *Australopithecus*, e talvez mesmo os *Paranthropus*, já fabricavam instrumentos de pedra, retrocedendo ainda mais o marco inicial da evolução cognitiva na história da espécie humana.

C

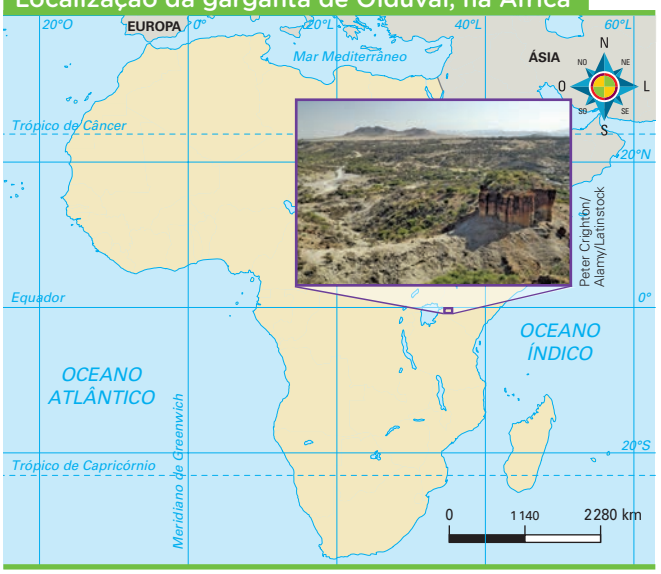


Pascal Goetgheluck/SPL/Latinstock

comprimento: cerca de 20 cm

(**B**) Fóssil de crânio de *Australopithecus africanus*, encontrado na África do Sul. (**C**) Fóssil de crânio de *Homo habilis* e duas ferramentas de pedra utilizadas por essa espécie. Essas peças foram encontradas no Quênia.

Localização da garganta de Olduvai, na África



Fonte de pesquisa: *Atlas geográfico escolar*. 6. ed. Rio de Janeiro: IBGE, 2012. p. 45.

A África é considerada o "berço da humanidade". Na foto em destaque, vemos a garganta de Olduvai, na Tanzânia, 2015.

ATIVIDADES

3. Faça uma pesquisa em livros e *sites* e dê exemplos de espécies animais em que as fêmeas são maiores que os machos, ou que constituem o gênero dominante, sendo as líderes do grupo.

AMOSTRA PARA DIVULGAÇÃO

Não escreva no livro.

Homo ergaster

Entre os fósseis já descobertos de hominídeos, há uma espécie muito parecida com a nossa, se considerados o tamanho e a proporção do esqueleto. O principal desses achados, conhecido como Menino de Turkana (imagem **A**), datado em aproximadamente 1,6 milhão de anos, foi encontrado pelos paleontólogos Richard Leakey e Allan Walker, em meados dos anos 1980. Mas ainda há controvérsias sobre a classificação desses fósseis: não se decidiu se pertencem à espécie *Homo erectus* ou se seriam da espécie *Homo ergaster*.

Apesar das semelhanças com os humanos modernos, principalmente com relação às proporções entre braços e pernas, o *H. ergaster* tinha um cérebro pouco maior do que a metade do nosso, a face um pouco mais proeminente, era alto e apresentava membros alongados e delgados.

Outra característica importante do *Homo ergaster* é a capacidade de inovação tecnológica, que surgiu há mais ou menos 1,5 milhão de anos. Trata-se dos machados acheulianos (imagem **B**), instrumentos talhados simetricamente em ambos os lados, o que aumentava muito sua eficiência. Pouco se sabe a respeito da utilidade desses novos instrumentos no dia a dia dessa espécie. Provavelmente, eles lhe conferiam vantagens sobre outras espécies contemporâneas de hominídeos, fosse na coleta de alimentos, fosse na caça de pequenos animais.

De acordo com estudos mais recentes, o *Homo ergaster* teria sido o primeiro hominídeo a deixar o continente africano, há cerca de 1,8 milhão de anos, migrando para regiões distantes do continente asiático.



Kike Calvo/VWPICS/Visual&Writen SL/Alamy/Latinstock

Um esqueleto quase completo de um jovem *Homo ergaster*, conhecido como Menino de Turkana. Estima-se que, se tivesse chegado à idade adulta, o Menino de Turkana atingiria aproximadamente 1,80 m de altura.

Homo erectus

O *Homo erectus*, surgido no leste da África por volta de 1,8 milhão de anos atrás, é considerado descendente dos primeiros *Homo ergaster* que para lá migraram. A partir dessa região, dispersaram-se para a Ásia e, em seguida, para a Europa. Descobertas recentes mostram que o *Homo erectus* teria sobrevivido até 40 mil anos atrás no continente asiático, desaparecendo com a chegada dos humanos modernos.

Grande parte do nosso conhecimento a respeito do *Homo erectus* vem dos restos fragmentários descobertos em Zhoukoudian, não muito longe de Pequim, China. Esse achado, conhecido como Homem de Pequim, se refere a um conjunto de quarenta exemplares de uma espécie que viveu naquela região há 550 mil anos.

O *Homo erectus* provavelmente era onívoro, media cerca de 1,70 m de altura e deveria pesar em torno de 60 kg. Seu volume cerebral era de 850-1 200 cm^3, bem menor do que os 1 400 cm^3 do *Homo sapiens*.

Homo heidelbergensis

Em 1907 foi encontrado na Alemanha um fóssil de outro hominídeo, o *Homo heidelbergensis*, provavelmente derivado de populações africanas de *Homo ergaster*. Essa espécie, com volume cerebral entre 1 100-1 200 cm^3, teria migrado para a Europa há mais ou menos 500 mil anos. Inicialmente identificada como uma forma antiga de *Homo sapiens*, hoje é considerada antepassada direta tanto do Homem de Neanderthal (veja a seguir) como do *Homo sapiens* anatomicamente moderno.

Evidências fósseis indicam que esse hominídeo já teria sofrido mudanças anatômicas na base do crânio que lhe permitiam produzir os sons necessários para a articulação de palavras. Outras evidências sugerem também que essa espécie já controlava o fogo e utilizava abrigos naturais, como cavernas.



Lauros-Giraudon/Bridgeman Images/Easypix

Lauros-Giraudon/Bridgeman Images/Easypix

Exemplos de machado acheuliano, que o *Homo ergaster* provavelmente utilizava para cortar a carne de suas caças.

AMOSTRA PARA DIVULGAÇÃO

Homo neanderthalensis

Em 1829, foi encontrado pela primeira vez, na Europa, um fóssil de hominídeo. Denominado *Homo neanderthalensis*, ele tinha mais ou menos 200 mil anos e ficou conhecido informalmente como o Homem de Neanderthal. Descendente das populações de *H. heidelbergensis* do Velho Mundo, essa nova espécie migrou para o Oriente Médio, alcançando regiões como a Palestina, Israel, o norte do Iraque e o Uzbequistão.

Morfologicamente, o Homem de Neanderthal era muito semelhante aos humanos modernos, porém era mais baixo, mais forte e tinha membros mais curtos. Do ponto de vista evolutivo, isso pode ser explicado como adaptação aos ambientes frios da Europa glacial. O neandertal apresentava ainda um crânio alongado (imagem ao lado), que abrigava um cérebro de tamanho semelhante, em média, ao do *Homo sapiens* moderno, ou mesmo maior que o dele. As sobrancelhas do neandertal também eram um pouco mais proeminentes.

Os instrumentos associados ao Homem de Neanderthal eram artefatos de pedra lascada simples, que não apresentaram mudanças significativas durante o período de existência desse hominídeo. Os neandertais viveram em um período de grandes variações climáticas, muitas vezes extremamente severas. Eles subsistiam alimentando-se do que encontravam ao se deslocar.

Um aspecto interessante, comum a esse hominídeo, era a prática do sepultamento, que era aparentemente muito simples, sem rituais, o que pode significar a ausência de espiritualismo, comum nas sociedades humanas modernas. Entretanto, na caverna de Shanidar, no Iraque, descobriu-se o túmulo de um neandertal rico em pólens de flores silvestres, indicando talvez a adoção de práticas fúnebres mais complexas.



Pascal Goetgheluck/SPL/Latinstock

Fóssil de crânio de neandertal, encontrado na França.

Outro caso intrigante, talvez uma evidência de que os neandertais se organizavam socialmente, foi a descoberta, na mesma caverna, de um indivíduo com idade avançada que apresentava um dos braços deformado, provavelmente devido a alguma doença de infância. Isso pode ser um indício de que durante toda a vida ele talvez tenha sido assistido pelo grupo, sem o qual, provavelmente, teria falecido muito antes.

É possível também que os neandertais já conhecessem a música. Tal especulação surgiu com a descoberta, em um sítio neandertal, de um instrumento feito de osso e com orifícios, semelhante a uma flauta. Porém, há quem interprete esses orifícios como tendo sido feitos por dentes de predadores, o que invalidaria a hipótese.

SAIBA MAIS

O domínio sobre o fogo

O domínio sobre o fogo foi uma conquista importante para a sobrevivência dos hominídeos. Embora alguns especialistas suspeitem que os australopitecíneos já se beneficiassem desse recurso para se proteger de outros animais, coletando-o em eventuais ocorrências na natureza, seu uso de maneira controlada parece ter surgido há pelo menos 790 mil anos, segundo vestígios de fogueiras propositais encontrados em Israel junto a fósseis de *Homo erectus,* e de ferramentas do tipo acheuliana produzidas por eles.

O sítio que revelou o Homem de Pequim é outra evidência de que o *Homo erectus* dominava o uso do fogo, utilizando-o, inclusive, para assar a carne obtida na caça. Ali, além dos inúmeros fósseis, foram encontrados carvão, ossos torrados de animais de grande porte e rochas quebradas pela exposição ao fogo.

Especula-se que o domínio desse recurso tenha aumentado a variedade da alimentação disponível, uma condição que, possivelmente, por disponibilizar mais energia, pode ter auxiliado na conquista de novos territórios. Além disso, o controle do uso do fogo é uma evidência da capacidade de planejar ações, e também deve ter contribuído para as interações sociais, ao promover a reunião de vários indivíduos em torno da mesma fogueira.



Christian Jegou Publiphoto Diffusion/SPL/Latinstock

Representação artística de um grupo de *Homo erectus* utilizando o fogo para fazer lanças. Cores-fantasia.

AMOSTRA PARA DIVULGAÇÃO

Não escreva no livro.

Homo sapiens

A história do *Homo sapiens* iniciou-se no continente africano entre 100 e 200 mil anos atrás. Duas hipóteses principais procuram explicar sua origem: a hipótese da evolução multirregional e a da origem única.

Segundo a **hipótese da evolução multirregional**, a evolução dos humanos modernos se iniciou quando as populações de *Homo erectus* se espalharam pela Eurásia, há cerca de 1 milhão de anos. Essas populações, ao longo de centenas de milhares de anos, teriam adquirido traços anatômicos próprios, mas teriam, também, acasalado com populações de regiões vizinhas, mantendo entre si, por meio do fluxo gênico, a troca de características hereditárias.

Dessa forma, as diferentes populações de *Homo erectus*, com traços anatômicos distintos, teriam compartilhado, numa ampla extensão geográfica, uma variedade cada vez maior de características modernas, como o aumento da caixa craniana. Segundo essa hipótese, também chamada de hipótese da continuidade, gradualmente, as populações de *Homo sapiens* teriam se diversificado a partir de populações de *Homo erectus*. E as diferenças fenotípicas entre as populações atuais seriam resultado de centenas de milhares de anos de evolução regional.

De acordo com a **hipótese da origem única**, o *Homo sapiens* moderno teria surgido uma única vez, na região subsaariana da África, por volta de 150 mil anos atrás, a partir de ancestrais comuns ao *Homo heidelbergensis*, e teria se dispersado pelo mundo – substituindo as populações pré-modernas, como as de *Homo erectus,* na Ásia, e as de neandertais, na Europa e no Oriente Médio. Essa hipótese é também chamada de hipótese da substituição.

Embora a maioria dos pesquisadores considere que as evidências genéticas e paleontológicas sejam mais favoráveis à hipótese da origem única, há evidências de que a evolução do homem moderno tenha resultado da combinação dos processos descritos pelas duas hipóteses.

Estudos comparativos recentes dos genomas de humanos modernos e arcaicos (entre os quais o Homem de Neanderthal) e as descobertas de fósseis com características híbridas (encontrados em Portugal e na Rússia) vêm corroborando a ideia de que, ao sair do continente africano, a espécie humana teria povoado o mundo e hibridizado com as formas arcaicas do gênero *Homo*. Estudos genômicos recentes indicam que compartilhamos uma porcentagem dos nossos genes com essas formas arcaicas.

As principais características físicas que definem os *Homo sapiens* são: fronte alta e vertical; aberturas nasais pequenas; mandíbula formando queixo; caixa torácica cilíndrica; e pelve estreita. Comparados aos neandertais, os *H. sapiens* são mais altos, mais delgados e têm membros mais longos. Veja uma comparação entre os crânios de um neandertal e de um *Homo sapiens* na imagem abaixo.



John Reader/SPL/Latinstock

A imagem mostra fósseis de crânios encontrados na França: o de um Homem de Neanderthal (à esquerda; 22 cm de comprimento), em comparação ao de um *Homo sapiens* (à direita; 20 cm de comprimento).

BIOLOGIA TEM HISTÓRIA

Os primórdios da cultura humana

O comportamento cultural humano envolve vários aspectos: a vida em sociedade, a aquisição e a produção de alimentos, a fabricação e o uso de ferramentas, a utilização de abrigos (naturais ou construídos), a confecção de vestimentas e a ocorrência de pensamento simbólico e sua expressão por meio da linguagem, da arte e da religião.

Os registros arqueológicos mostram que alguns desses aspectos já estavam presentes nas populações dos ancestrais do *Homo sapiens* e que a evolução cultural ocorreu de forma gradual e lenta. Os achados de um sítio no sudoeste da França em 1868 permitiram construir os detalhes de como vivia uma população de *Homo sapiens*, há 40 mil anos. Este recebeu o nome informal de Homem de Cro-Magnon (imagem ao lado) em alusão à região onde foi encontrado.

Para enfrentar o frio intenso, esses hominídeos costuravam vestimentas a partir do couro animal. E, além de habitar cavernas, usavam couro e ossos de mamute para construir verdadeiras cabanas. Esses humanos também aprenderam a estocar alimentos no ***permafrost*** e a fabricar instrumentos cortantes de pedra cada vez mais sofisticados.



Coleção particular. Fotografia: Look and Learn/The Bridgeman Art Library/Easypix

Representação artística de acampamento construído pelo Homem de Cro-Magnon. Cores-fantasia.

Permafrost: solo congelado.

Outra característica dessa cultura era a prática do sepultamento. Os mortos eram enterrados com vestuários, ornamentos e objetos. Além de tudo isso, o Homem de Cro-Magnon criava estatuetas de marfim representando figuras femininas e instrumentos musicais, como flautas de osso, e realizava pinturas em cavernas (reveja a imagem na abertura deste capítulo).

Não escreva no livro.

A dispersão do *Homo sapiens*

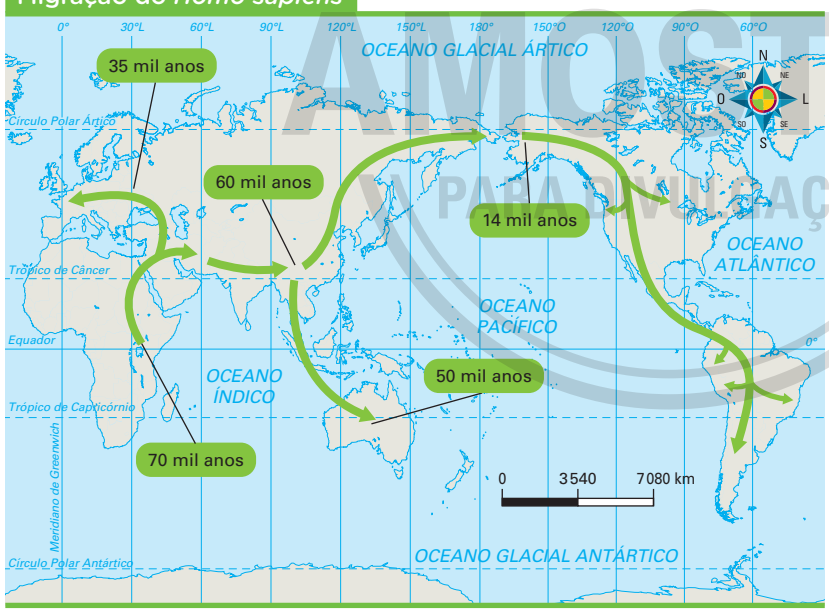
Os primeiros humanos modernos devem ter deixado o continente africano por volta de 100 mil anos atrás. Esses movimentos migratórios provavelmente demoravam milhares de anos e muitas gerações. Certamente não houve também a intenção deliberada de atingir algum ponto específico. Os humanos naquele tempo eram nômades e, provavelmente, se moviam devido à necessidade de encontrar recursos melhores e mais abundantes.

O caminho mais provável na saída dos *Homo sapiens* da África foi pelo Egito, em direção ao Oriente Médio (mapa a seguir). De lá teriam seguido pelas regiões costeiras da península Arábica até o Sudeste Asiático. Por volta de 50 mil anos atrás teriam alcançado a Austrália, provavelmente por meio de balsas, cruzando os 100 km de mar que separavam esses continentes.

Outra leva de migrantes africanos deve ter partido do Oriente Médio em direção ao interior do continente asiático, aonde teriam chegado por volta de 43 mil anos atrás, segundo os registros de antigos artefatos encontrados no sul da Sibéria. Do Oriente Médio, outra leva de migrantes também teria alcançado a Europa há cerca de 35 mil anos, como indicam fósseis descobertos na Romênia.

Entre 14 e 11 mil anos atrás, humanos que estavam na Ásia se deslocaram até o continente americano.

Migração do *Homo sapiens*



Alimaps/ID/BR

Rota migratória do *Homo sapiens* a partir de sua provável origem, a África, para o resto do mundo.

Fontes de pesquisa: Gould, Stephen Jay. *The book of life*. London: W. W. Norton & Company, 1993. Futuyma, D. J. *Biologia evolutiva*. 3. ed. Ribeirão Preto: Funpec-Editora, 2009. p. 737.

ATIVIDADES

4. Em alguns momentos ao longo deste livro são citados estudos paleontológicos e arqueológicos. Mas qual é a diferença entre eles? Faça uma pesquisa e diferencie paleontologia de arqueologia.

BIOLOGIA SE DISCUTE

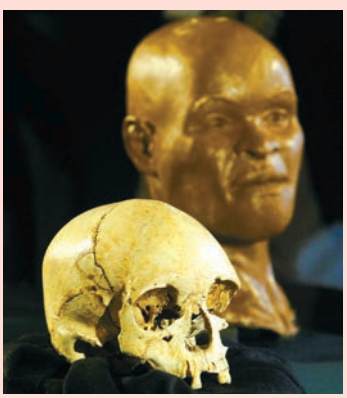
Quem foram os primeiros americanos?

De acordo com a hipótese clássica da chegada do *Homo sapiens* ao continente americano, esse acontecimento teria ocorrido pela primeira vez há cerca de 11,4 mil anos.

Desde a década de 1970, entretanto, já se sabia da existência de sítios arqueológicos que atestavam a presença humana na América do Sul em épocas anteriores. Todos esses sítios pertenciam a uma cultura diferente da que era conhecida até então.

A descoberta de Luzia, nome dado ao talvez mais antigo fóssil humano encontrado nas Américas – na região de Lagoa Santa, nos arredores de Belo Horizonte –, datado em cerca de 11,5 mil anos, possibilitou o surgimento de um novo modelo para explicar o povoamento das Américas pelo *Homo sapiens*.

Esse modelo, elaborado pelo arqueólogo e antropólogo brasileiro Walter Neves, considera a existência de duas populações humanas distintas, como atestam as diferenças na forma dos crânios. A primeira, morfologicamente mais próxima aos africanos e australianos (e à qual pertenceria Luzia), teria entrado na América há aproximadamente 14 mil anos pelo estreito de Bering. A segunda, representada por uma forma com características semelhantes à dos asiáticos atuais, e à qual pertence a maioria dos indígenas de hoje em dia, teria chegado ao continente americano há cerca de 11 mil anos, também via estreito de Bering.



Gregg Newton/Reuters/Glowimages

Fóssil do crânio (20 cm de comprimento) de Luzia encontrado em Lagoa Santa, MG, ao lado da reconstituição de seu rosto.

AMOSTRA PARA DIVULGAÇÃO

Não escreva no livro.

A fita do tempo

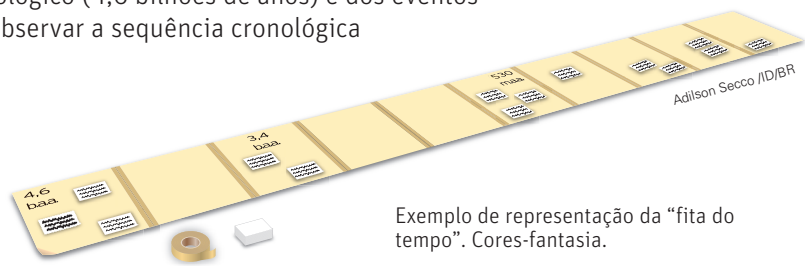
Objetivos

Compreender as dimensões do tempo geológico (4,6 bilhões de anos) e dos eventos que marcaram a história da vida na Terra. Observar a sequência cronológica desses eventos.

Material

- 10 folhas de cartolina
- bloco com folhas adesivas ou folhas de papel A4
- fita adesiva larga ou cola branca
- caneta hidrográfica

Representação sem proporção de **tamanho**.



Exemplo de representação da "fita do tempo". Cores-fantasia.

Procedimento

1. Construa a "fita do tempo", com toda a turma, unindo as cartolinas (com fita adesiva ou cola), para que formem uma longa fita, como mostra a figura acima.
2. A linha do tempo começa em 4,6 b.a.a. (bilhões de anos atrás). Portanto, marque esse valor no topo da extremidade esquerda da fita (na primeira cartolina).
3. Na terceira cartolina, marque o valor 3,4 b.a.a. em cima e centralizado. Na sexta cartolina, no canto superior direito, marque 530 m.a.a. (milhões de anos atrás).
4. Anote os eventos informados na tabela a seguir, em diversas folhas do bloco ou em tiras do papel A4 – cada folha ou tira representará um evento, mas tanto a fita quanto a distância entre os eventos não ficarão em escala.

Eventos a serem inseridos na "fita do tempo"		
Extinção dos mamíferos gigantes	*Homo sapiens*	Primeiros dinossauros
Angiospermas	Início da separação dos continentes	Primeiros invertebrados
Archaeopteryx lithographica	Lucy	Primeiros mamíferos
Colonização do ambiente terrestre	Muitos peixes	Primeiros primatas
Extinção dos dinossauros	Aves atuais	Primeiros anfíbios
Grande irradiação dos dinossauros	Primeiras gimnospermas	Tetrápodes
Surgimento dos mamíferos gigantes	Aparecimento das plantas vasculares	Primeiras aves
Homo habilis	Primeiros vertebrados	*Tyrannosaurus rex*

Quadro elaborado para fins didáticos.

5. Cada aluno receberá uma folha adesiva ou tira de papel, correspondente a determinado evento. Consultem o texto do capítulo caso tenham dúvida sobre quando cada evento ocorreu. Em seguida, colem cada folha adesiva ou tira de papel na fita do tempo na cartolina correta.

Resultado

1. A atividade resultará em um painel com uma sequência de eventos que marcaram a vida na Terra.

Discussão

1. Livros antigos e filmes muitas vezes retratam cenários em que aparecem dinossauros e humanos convivendo no tempo e no espaço. Observando a fita do tempo: seria tal cenário **verossímil**? Justifique.

Verossímil: plausível; que parece ser verdadeiro.

AMOSTRA PARA DIVULGAÇÃO

Não escreva no livro.

Fósseis e proporções

Quando um esqueleto fossilizado de um animal é descoberto, raramente todos os ossos são encontrados. Você já se perguntou como os cientistas estimam o tamanho de um ser vivo por meio de alguns de seus ossos ou mesmo de suas pegadas?

O texto a seguir aborda o trabalho de uma equipe de matemáticos usado para estimar a altura dos indivíduos de *Homo antecessor*, uma espécie de hominídeo que viveu entre cerca de 1,2 milhão e 800 mil anos atrás.

Novos métodos de estatística permitem estimar a altura de hominídeos a partir de ossos do pé

Para saber qual era a altura de um hominídeo, cujos restos constantemente são encontrados em uma jazida arqueológica, os cientistas costumam medir ossos [...] como o fêmur e, a partir de então, realizar estimativas. O cálculo se complica se este tipo de osso não se encontra entre os fósseis, está fraturado ou incompleto, o que acontece com frequência. Um modo de resolver o problema é utilizar determinados ossos do pé para calcular a estatura. [...] uma equipe de pesquisadores de várias instituições [...] somou precisão ao método, ao incorporar pela primeira vez técnicas estatísticas robustas [...]

A estatística robusta é uma parte da estatística que permite obter conclusões com base em dados que nem sempre são regulares. [...] A equipe científica, formada por pesquisadores [...] [de várias instituições espanholas] e da Universidade de Cambridge (Reino Unido), analisou no total 562 ossos de pé de 94 indivíduos.

Os esqueletos pertenciam a 48 homens e 46 mulheres, euro-americanos e afro-americanos que nasceram entre 1825 e 1910, morrendo em idades compreendidas entre 17 e 50 anos. Os restos estavam no Museu de História Natural de Cleveland (Estados Unidos).Os dados foram divididos em grupos, por sexo e raça*, "porque assim obtêm-se fórmulas que permitem fazer melhores previsões para cada um deles", indica García-Pérez [autor do estudo].

Os melhores ossos para estimar a altura

Os resultados indicam que os melhores ossos para estimar a estatura são o primeiro e o segundo metatarso, o astrágalo [tálus] e o calcâneo. Ademais, a combinação de um osso do tarso e outro do metatarso melhora significativamente a precisão da estatura estimada [...].

A eficácia do método convenceu os paleontólogos, e alguns já começaram a utilizá-lo em suas escavações. "As fórmulas do estudo foram utilizadas para estimar a estatura do *Homo antecessor* a partir de restos deste hominídeo encontrados [...] na jazida de Atapuerca [Espanha]", confirma o matemático [...]. [...]



Javier Trueba/MSF/SPL/Latinstock

Ossos fossilizados de um garoto (entre 10 e 12 anos) pertencente à espécie *Homo antecessor*. Os ossos têm cerca de 800 mil anos e foram encontrados na década de 1990 em um dos sítios arqueológicos de Atapuerca, Espanha.



Javier Trueba/MSF/SPL/Latinstock

Escultura feita a partir de ossos do crânio de um garoto da espécie *Homo antecessor*.

Novos métodos de estatística permitem estimar a altura de hominídeos a partir de ossos do pé. *Agencia Iberoamericana para la difusión de la ciencia y la tecnología*. Disponível em: <http://www.dicyt.com/noticia/novos-metodos-de-estatistica-permitem-estimar-a-altura-de-hominideos-a-partir-de-ossos-do-pe>. Acesso em: 12 abr. 2016.

* O termo "raça" foi mantido de acordo com o texto original.

AMOSTRA PARA DIVULGAÇÃO

ATIVIDADES

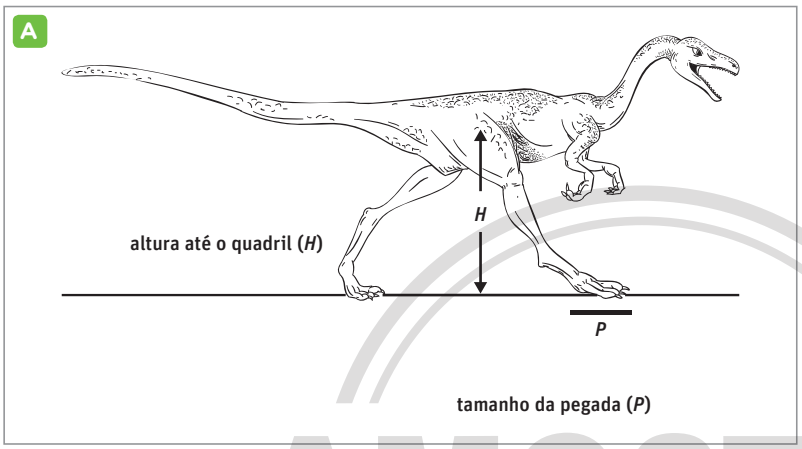
Há diversas relações de proporcionalidade no corpo humano. Elas permitem estimar o tamanho de certas partes ou do corpo humano como um todo. Para investigar uma delas, você vai precisar de uma fita métrica.

1. Peça para um colega medir a distância do seu quadril até o chão (H). Se possível, esteja descalço.
2. Em seguida, meça o comprimento do seu pé (P).
3. Para encontrar a razão R entre a altura do seu quadril e o tamanho do seu pé, faça a seguinte divisão: $R = \frac{H}{P}$
4. Compare o resultado obtido com o de seus colegas. Eles são semelhantes?

Não escreva no livro.

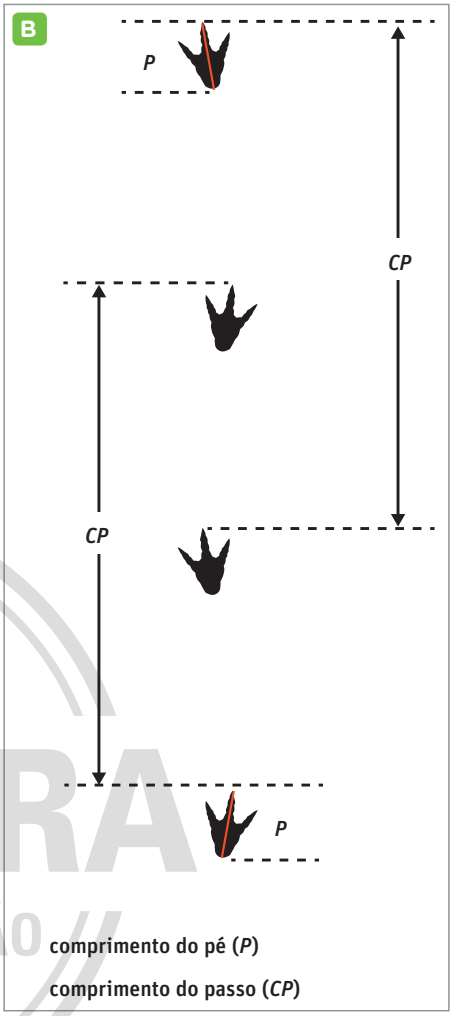
A razão R é usada pelos paleontólogos para descobrir o tamanho de dinossauros, por exemplo. Após analisar muitos fósseis de dinossauros bípedes, os cientistas chegaram à razão $R = 4$. Ou seja, a altura até o quadril de um dinossauro (H) equivale a quatro vezes o comprimento de sua pegada (P). Embora aproximada, a razão $R = 4$ é muito útil aos cientistas. O comprimento de uma pegada também é usado para estimar o tamanho do dinossauro: o comprimento da pegada equivale a aproximadamente um décimo do comprimento da cabeça à cauda (imagem **A**).

Reinaldo Vignati/ID/BR



Representação de H e P em um dinossauro bípede.

Dessa forma, ao encontrar um rastro de pegadas de dinossauros, os paleontólogos podem estimar o tamanho do animal que as deixou. E ainda mais, analisando a proporção entre o comprimento do passo (CP) e a altura até o quadril do animal (H), é possível saber se o dinossauro andava, trotava ou corria quando deixou aquelas pegadas. Observe a imagem **B** e a tabela a seguir.



Reinaldo Vignati/ID/BR

Representação de um rastro de pegadas deixadas por um dinossauro. O comprimento do passo é a distância entre duas pegadas da mesma pata.

Razão entre comprimento do passo e altura até o quadril, e tipo de deslocamento de dinossauros

Razão $\frac{CP}{H}$	Tipo de deslocamento
$\frac{CP}{H} < 2$	andar
$2 \leqslant \frac{CP}{H} < 2{,}9$	trotar
$\frac{CP}{H} \geqslant 2{,}9$	correr

Fontes de pesquisa da tabela e das imagens: Instituto de Geociências (IGE-Unicamp). Disponível em: <http://www.ige.unicamp.br/lrdg/pdf/Dinosaur_in_the_yard_pt.pdf>; Riga, B. J. G. Speeds and stance of titanosaur sauropods: analysis of Titanopodus tracks from the Late Cretaceous of Mendoza, Argentina. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, v. 83, mar. 2011; American Museum of Natural History. Disponível em: <http://www.mtu.edu/cls/education/development/lessons/pdfs/McGinnis_DinosaurFootprintActivity.pdf>. Acessos em: 12 abr. 2016.

ATIVIDADES

5. As pegadas mostradas na imagem **B** correspondem a qual tipo de deslocamento? (Considere que 1 cm na figura corresponde a 10 cm do comprimento real das pegadas e dos passos.)

6. Pegadas deixadas por um animal correndo devem ser mais próximas ou mais afastadas do que pegadas feitas pelo mesmo animal andando? Explique.

7. Imagine que você tenha encontrado uma trilha de pegadas de um *Velociraptor*. Cada pegada mede cerca de 20 cm, e o comprimento do passo tem cerca de 1,4 m. O dinossauro estava andando, trotando ou correndo?

AMOSTRA
PARA DIVULGAÇÃO

Não escreva no livro.

O que nos torna humanos?

A ideia de que cozinhar é uma atividade que nos define enquanto seres humanos não é nova. Em 1773, o escritor James Bonswell, observando que "nenhum animal é cozinheiro", chamou o *Homo sapiens* de "o animal que cozinha". [...] Cinquenta anos mais tarde, em *A fisiologia do gosto*, o gastrônomo Jean Anthelme Brillat-Savarin alegou que cozinhar nos transformou no que somos; ao ensinar os homens a usar o fogo, essa atividade tinha "contribuído muito para o avanço da causa da civilização". Mais recentemente, Lévi-Strauss, escrevendo *O cru e o cozido*, em 1964, registrou que muitas das culturas existentes no mundo nutriam uma visão semelhante e enxergavam no ato de cozinhar a atividade simbólica que "estabelece a diferença entre os animais e as pessoas".

Para Lévi-Strauss, cozinhar servia como uma metáfora da transformação humana da natureza crua para a cultura cozida. Porém, passados muitos anos desde a publicação de *O cru e o cozido*, outros antropólogos começaram a considerar, no sentido literal, a ideia de que a invenção do ato de cozinhar poderia guardar o segredo da evolução para a nossa condição de seres humanos. Há poucos anos, o primatólogo e antropólogo de Harvard Richard Wrangham publicou um livro fascinante intitulado *Pegando fogo: como cozinhar nos tornou humanos*, no qual argumentava que foi essa descoberta dos nossos ancestrais remotos – e não a fabricação de ferramentas, a ingestão de carne ou mesmo a linguagem – que veio a nos diferenciar dos macacos e nos tornou humanos. De acordo com a "hipótese do cozimento", o advento da comida cozida alterou os rumos da evolução humana. Por proporcionar aos nossos ancestrais uma dieta com maior densidade energética e de fácil digestão, a nova prática permitiu que nossos cérebros crescessem (cérebros são notórios consumidores de energia) e os intestinos encolhessem. Ao que parece, a comida crua exige muito mais tempo e energia para ser mastigada e digerida, e por isso outros primatas do nosso tamanho têm aparelhos digestórios substancialmente maiores e – nas horas que passam acordados – gastam mais tempo mastigando; até seis horas por dia.

Cozinhar, na realidade, assumiu parte do trabalho de mastigar e digerir, que passou a ser realizado fora de nosso corpo, valendo-se de fontes de energia exteriores. Além disso, como o cozimento elimina substâncias tóxicas de muitas fontes potenciais de alimentos, a nova tecnologia nos deu acesso a uma preciosa reserva de calorias que não estava à disposição de outros animais. Uma vez livres da necessidade de passar os dias reunindo grandes quantidades de alimentos crus e em seguida mastigando-os (e mastigando-os de novo), os seres humanos poderiam agora empregar seu tempo e seus recursos metabólicos para outros propósitos, como criar uma cultura.

Cozinhar nos proporcionou não apenas a refeição, como também a ocasião: o costume de comermos juntos num momento e num lugar determinados. Isso representa um fenômeno novo, já que o homem que saía em busca de alimentos crus provavelmente se alimentava enquanto se deslocava e sozinho, como todos os outros animais. (Ou, se pararmos para pensar, como os comedores industriais em que nos transformamos recentemente, mordiscando qualquer coisa em postos de gasolina e comendo sozinhos não importa quando ou onde.)[...]

Portanto, cozinhar nos transformou, e não apenas por nos tornar sociáveis e corteses. Uma vez que o ato de cozinhar permitiu que expandíssemos nossas capacidades cognitivas à custa da capacidade digestiva, não havia mais como voltar atrás: nossos cérebros grandes e intestinos pequenos dependiam agora de uma dieta à base de alimentos cozidos. [...]



Wavebreakmedia/Shutterstock.com/ID/BR

O ato de cozinhar influenciou de maneira significativa a evolução da espécie humana.

POLLAN, Michael. *Cozinhar*: uma história natural da transformação. Rio de Janeiro: Intrínseca, 2014. p. 13-15.

AMOSTRA PARA DIVULGAÇÃO

PARA DISCUTIR

1. De acordo com o texto, por que cozinhar é algo que nos define como humanos? Explique com suas palavras.
2. O texto cita outros aspectos da cultura humana que nos diferenciam de outros animais. Quais são eles? Cite mais alguns.
3. O autor critica, de certa maneira, os hábitos alimentares da sociedade contemporânea. Transcreva a passagem do texto que torna verdadeira essa afirmação.

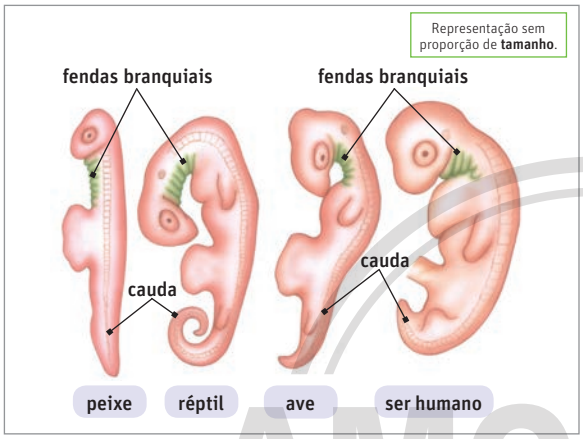
Não escreva no livro.

1. Explique por que os fósseis são evidência importante da evolução biológica.

2. Quais as principais diferenças entre a teoria de Lamarck e a de Darwin?

3. Comente resumidamente a importância da viagem de Darwin a bordo do Beagle para o desenvolvimento de sua teoria da evolução.

4. Que tipo de evidência evolutiva está representada na figura a seguir?



Reinaldo Vignati/D/BR

5. Que contribuição foi dada por Thomas Malthus para a teoria da seleção natural desenvolvida independentemente por Darwin e Wallace? De que maneira essa ideia foi transposta à teoria de Darwin e Wallace?

6. Um dos principais passatempos de Darwin durante sua viagem a bordo do Beagle era a leitura. Uma das obras mais importantes que leu foi *Princípios de geologia*, de Charles Lyell. Qual foi a importância dessa leitura para a elaboração de sua teoria da evolução?

7. Explique o conceito biológico de espécie, dê exemplos de sua aplicação e cite suas limitações.

8. Tigres e leões, duas espécies distintas, porém muito próximas, podem facilmente cruzar-se em cativeiro. Entretanto esses dois felinos, apesar de terem vivido em regiões geográficas comuns desde a Antiguidade, nunca se cruzaram na natureza. Hábitats e hábitos diferentes são algumas das explicações para justificar o improvável encontro dessas duas espécies no mundo natural. Seria esse mais um exemplo de limitação provocado pelo conceito biológico de espécie? Justifique.

9. Em uma população, existem 3,6 mil indivíduos com genótipo **AA**; 6 mil com genótipo **Aa**; e 2,4 mil com genótipo **aa**.

a) Calcule as frequências gênicas e genotípicas.

b) Essa população está em equilíbrio de Hardy-Weinberg com relação a esse par de alelos? Justifique.

10. Nas fotografias a seguir, a falsa-coral está representada em cima, e a coral-verdadeira, embaixo. São duas espécies bem parecidas que habitam aproximadamente as mesmas regiões. Entretanto, o veneno da coral-verdadeira é muito mais perigoso do que o da falsa-coral. Que tipo de adaptação está relacionado a essas duas serpentes?



Fabio Colombini/Acervo do fotógrafo



Fabio Colombini/Acervo do fotógrafo

11. Associe os exemplos a seguir com os mecanismos de isolamento reprodutivo.

a) Espécies de sapos do gênero *Scaphiopus* habitam diferentes tipos de solo, o que dificulta que se encontrem e acasalem.

b) Plantas florescem em épocas diferentes.

c) Fêmeas de vaga-lumes respondem apenas ao padrão de luz emitido pelo macho de sua própria espécie.

d) Égua e jumento podem cruzar-se, mas geram híbrido estéril.

12. Suponha uma população em equilíbrio de Hardy-Weinberg formada por mil indivíduos. Essa população apresenta a seguinte distribuição com relação aos alelos **A** e **a**: 360 indivíduos homozigotos dominantes **AA**; 480 indivíduos heterozigotos **Aa**; e 160 indivíduos homozigotos recessivos **aa**. Calcule as frequências gênicas e genotípicas dessa população. Considere que, após algumas gerações, houve imigração de 100 indivíduos homozigotos **aa** e de 60 indivíduos homozigotos dominantes. Recalcule as frequências gênicas e genotípicas para essa nova situação.

AMOSTRA PARA DIVULGAÇÃO

13. As duas fotografias a seguir representam a exibição de machos para as fêmeas de sua espécie em rituais de acasalamento. De que maneira esse tipo de comportamento pode contribuir para o sucesso evolutivo das respectivas espécies?



Fabio Colombini/Acervo do fotógrafo

Emas.



Brett Atkins/Dreamstime.com/D/BR

Baleia jubarte.

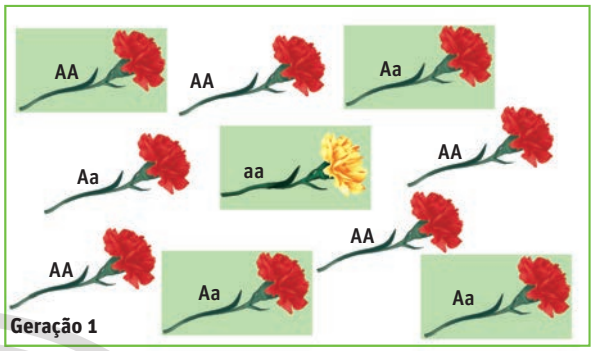
14. Explique de que maneira o fluxo gênico se relaciona com a formação de novas espécies.

15. Considere uma população de 300 onças-pintadas, na qual o gene recessivo para o melanismo (pelagem escura) aparece em uma frequência de 0,2. Calcule o número de indivíduos normais e o de indivíduos melânicos.

16. Há cerca de 265 milhões de anos existia uma única massa continental, denominada Pangeia. Desde então, essa massa começou a modificar-se, até chegar à conformação atual dos continentes. Como você explicaria esse fenômeno?

17. Ao final do Cretáceo ocorreu uma grande extinção que atingiu diversos grupos de organismos, entre os quais os dinossauros. Explique sucintamente as duas principais hipóteses com que se tenta definir as causas dessa extinção.

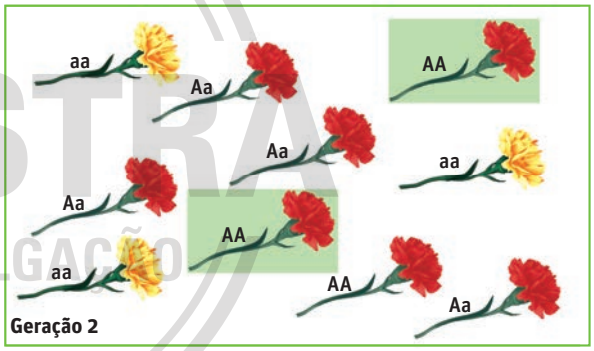
18. Considere que a população da planta apresentada no esquema abaixo seja muito pequena e que esteja isolada em uma pequena ilha. Em termos evolutivos, como você explicaria as variações nas frequências dos dois alelos dessa população?



Ilustrações: Adilson Secco/D/BR

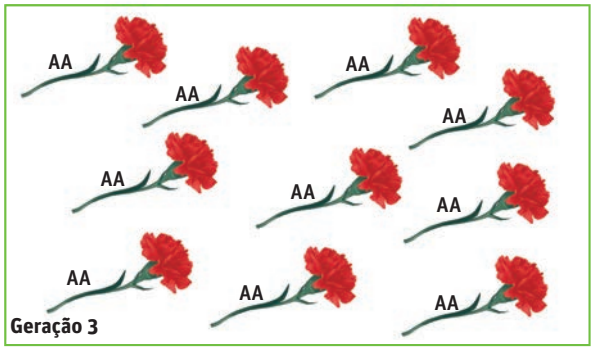
frequência de **A** = 0,7
frequência de **a** = 0,3

De 10 plantas, apenas 5 deixam descendência



frequência de **A** = 0,5
frequência de **a** = 0,5

De 10 plantas, apenas 2 deixam descendência



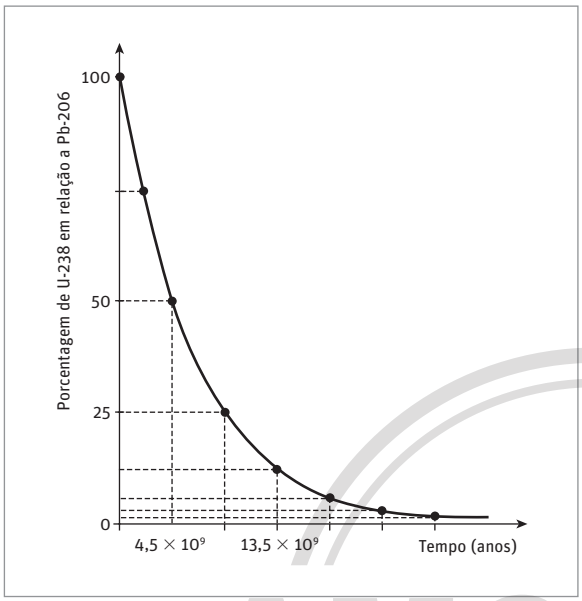
frequência de **A** = 1,0
frequência de **a** = 0,0

19. A era Cenozoica muitas vezes é chamada de idade dos mamíferos. Justifique essa denominação.

20. Aponte dois eventos da história da Terra que contribuíram para a diversificação dos mamíferos.

AMOSTRA PARA DIVULGAÇÃO

21. Uma amostra de minério de urânio possui um teor de urânio-238 de 25% em relação ao chumbo-206. Usando o gráfico a seguir, determine a idade desse minério.



AMj Studio/ID/BR

22. Seja você brasileiro, norueguês ou chinês, somos todos descendentes de africanos. Justifique essa afirmação.

23. Tudo leva a crer que o Homem de Neanderthal não estava organizado socialmente e não manifestava nenhum tipo de crença religiosa. Você concorda com essa afirmação? Justifique.

24. Explique as duas hipóteses para a origem dos tetrápodes. Qual é a principal diferença entre elas?

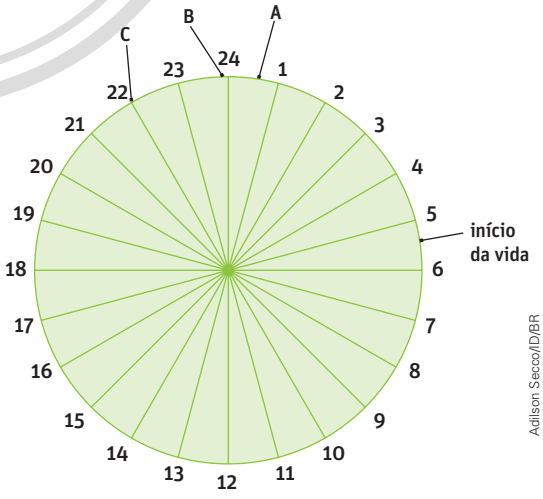
25. Darwin, em seus estudos sobre evolução, sugeriu que a linhagem humana teria surgido no continente africano. Em que se baseou Darwin para levantar tal hipótese? De que maneira essa ideia foi posteriormente corroborada?

26. Esquematize em seu caderno um mapa-múndi e, com base no que aprendeu neste capítulo, trace no mapa a provável rota de migração da espécie humana.

27. A frase a seguir se refere à evolução da linhagem humana: "A evolução subsequente produziu o aparecimento de várias espécies e gêneros, que muitas vezes coexistiram no tempo e no espaço. Hoje, como se sabe, apenas uma delas sobreviveu, a espécie humana. Assim, embora tenha sido a única a sobreviver, a espécie humana é apenas uma entre várias do mesmo gênero". Explique sucintamente, à luz dos conhecimentos atuais, a dispersão da espécie humana pelos continentes.

28. Durante as glaciações, as regiões próximas à linha do Equador tornaram-se mais áridas. Grande parte delas, antes ocupada por florestas, deu lugar a uma vegetação mais baixa, parecida com a da Caatinga ou a do Cerrado. De acordo com uma teoria, conhecida como teoria dos refúgios, ainda em discussão no meio acadêmico, nessas áreas, as florestas ficaram reduzidas a algumas manchas esparsas e isoladas, os refúgios, que teriam abrigado e isolado populações de plantas e de animais. Segundo a teoria, nos períodos interglaciais, as florestas expandiam-se novamente, e as populações de animais e plantas, antes isoladas, tornavam a encontrar-se. Esse processo de expansão e retração promovendo isolamento seguido de união, consequência das glaciações periódicas durante o Pleistoceno, teria favorecido eventos rápidos de especiação que proporcionaram a existência de grande biodiversidade. Explique, segundo a teoria citada, a relação entre o processo descrito e a grande diversidade de seres vivos encontrada hoje nos trópicos, principalmente em florestas, como a Amazônica.

29. No início do capítulo 11 reduzimos a escala do tempo geológico a um ano para melhor compreendermos sua vastidão. Desta vez você deverá reproduzir em seu caderno o esquema do relógio, abaixo, que representa o mesmo tempo geológico, mas agora reduzido a apenas um dia ou 24 horas. Nesse "relógio", cada hora corresponde a mais ou menos 190 milhões de anos. Com base nessas informações, faça a correlação entre os eventos mencionados no quadro abaixo e as letras presentes no esquema.



Adilson Secco/ID/BR

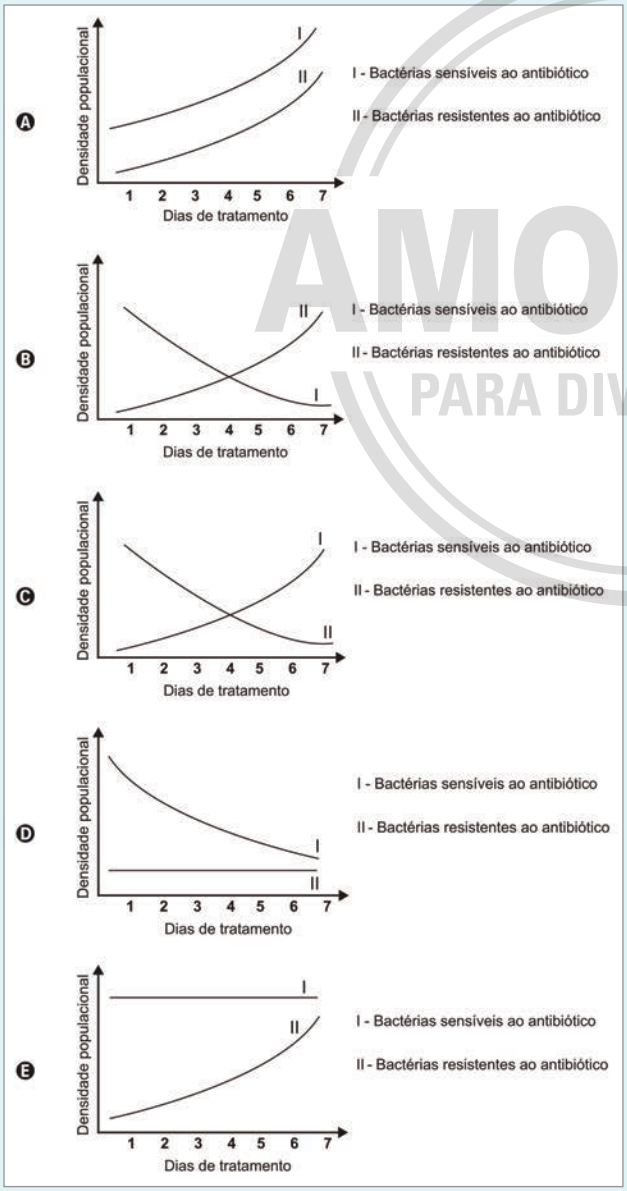
- Formação da Terra.
- Primeiros ancestrais humanos.
- Surgimento dos dinossauros.

AMOSTRA PARA DIVULGAÇÃO

1. **(Enem)** As superbactérias respondem por um número crescente de infecções e mortes em todo o mundo. O termo superbactérias é atribuído às bactérias que apresentam resistência a praticamente todos os antibióticos. Dessa forma, no organismo de um paciente, a população de uma espécie bacteriana patogênica pode ser constituída principalmente por bactérias sensíveis a antibióticos usuais e por um número reduzido de superbactérias que, por mutação ou intercâmbio de material genético, tornaram-se resistentes aos antibióticos existentes.

Ferreira, F. A.; Cruz, R. S.; Figueiredo, A. M. S. *Superbactérias*: o problema mundial da resistência a antibióticos. Ciência Hoje, n. 287, nov. 2011 (adaptado).

Qual figura representa o comportamento populacional das bactérias ao longo de uma semana de tratamento com um antibiótico comum?



ENEM, 2015. Fac-símile: ID/BR

2. **(Ufam)** Segundo Charles Darwin (1809-1882), a evolução é um processo lento e gradual. Ao comparar estruturas homólogas, órgãos vestigiais e o desenvolvimento embriológico, Darwin adicionou evidências à sua ideia evolucionista. Analise as afirmativas a seguir:

I. A seleção natural não cria seres resistentes, ela os seleciona.
II. Lamarck sugeriu que as espécies evoluem através de descendência com modificações.
III. Uma característica favorável, herdada, sempre será favorável a certo individuo independente de mudanças dos fatores ambientais.
IV. A seleção natural gera organismos resistentes em uma população onde eles não existiam.
V. Indivíduos que herdam características que lhes conferem maior probabilidade de sobrevivência e reprodução podem gerar uma prole mais numerosa.
VI. A seleção natural é exclusiva dos seres vivos, portanto vírus não evoluem, pois o darwinismo não se aplica a eles, afinal não são seres vivos.

Assinale a alternativa correta:

a) Somente as afirmativas I e V estão corretas.
b) Somente as afirmativas II, III e VI estão corretas.
c) Somente as afirmativas V e VI estão corretas.
d) Todas as afirmativas estão corretas.
e) Todas as afirmativas estão incorretas.

3. **(Unicamp)** Olhos pouco desenvolvidos e ausência de pigmentação externa são algumas das características comuns a diversos organismos que habitam exclusivamente cavernas. Dentre esses organismos, encontram-se espécies de peixes, anfíbios, crustáceos, aracnídeos, insetos e anelídeos. Em relação às características mencionadas, é correto afirmar que:

a) O ambiente escuro da caverna induz a ocorrência de mutações que tornam os organismos albinos e cegos, características que seriam transmitidas para as gerações futuras.
b) Os indivíduos que habitam cavernas escuras não utilizam a visão e não precisam de pigmentação; por isso, seus olhos atrofiam e sua pele perde pigmentos ao longo da vida.
c) As características típicas de todos os animais de caverna surgiram no ancestral comum e exclusivo desses animais e, portanto, indicam proximidade filogenética.
d) A perda de pigmentação e a perda de visão nesses animais são características adaptativas selecionadas pelo ambiente escuro das cavernas.

4. **(UnB)** A fragmentação de hábitats pode transformar cada fragmento em uma ilha, isolando as populações reprodutivamente, caso não haja fluxo gênico entre

AMOSTRA PARA DIVULGAÇÃO

elas. O isolamento faz que a população de cada ilha esteja sob maior risco de extinção e, ao mesmo tempo, por mais paradoxal que pareça, sob maior chance de especiação (formação de uma nova espécie).

ROSA, A. J. de M. et al. *Mecanismos de evolução*. 1. ed. Brasília: EMBRAPA, 2014.

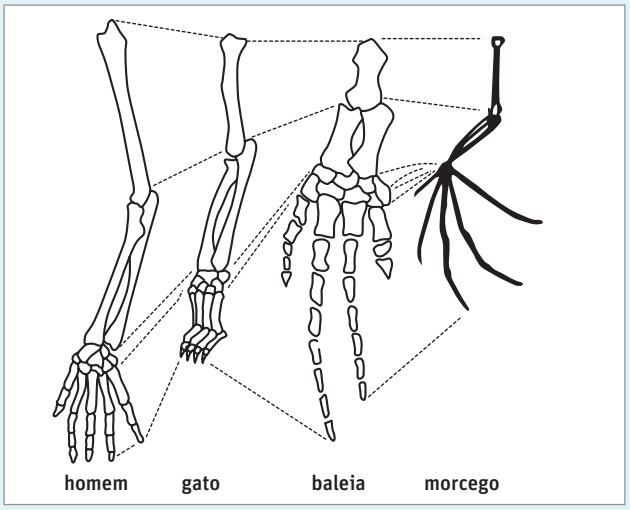
Tendo como referência o texto acima, assinale a opção correta a respeito dos processos de especiação.

a) A mula é uma espécie que exemplifica a ocorrência dos mecanismos de isolamento pré-zigótico.
b) No processo de especiação alopátrica, o isolamento reprodutivo precede o isolamento geográfico.
c) Cladogênese é o processo ao longo do qual ocorre transformação progressiva de uma mesma espécie.
d) Na especiação simpátrica, o surgimento de espécies a partir de um ancestral ocorre sem isolamento geográfico, por seleção disruptiva.

5. (Enem) Embora seja um conceito fundamental para a Biologia, o termo "evolução" pode adquirir significados diferentes no senso comum. A ideia de que a espécie humana é o ápice do processo evolutivo é amplamente difundida, mas não é compartilhada por muitos cientistas. Para esses cientistas, a compreensão do processo citado baseia-se na ideia de que os seres vivos, ao longo do tempo, passam por

a) modificação de características.
b) incremento no tamanho corporal.
c) complexificação de seus sistemas.
d) melhoria de processos e estruturas.
e) especilização para uma determinada finalidade.

6. (UFRN) A comparação do padrão morfológico dos organismos possibilita a determinação do perfil evolutivo dos grupos. Nesse contexto, considere a imagem e responda às questões:



UFRN, 2012. Fac-símile: ID/BR

a) Como é chamado esse tipo de padrão morfológico?
b) O que esse padrão indica em termos evolutivos?
c) A asa de um morcego e a asa de um inseto apresentam esse mesmo padrão morfológico? Por quê?

7. (UFPR) A seleção natural é um dos principais fatores responsáveis pela evolução, juntamente com a mutação, a deriva genética e a migração genética. Para que a seleção natural ocorra em uma população, é imprescindível que haja:

a) alteração do meio ambiente, propiciando o favorecimento de alguns indivíduos da população.
b) diversidade da composição genética dos indivíduos da população.
c) informações genéticas anômalas que produzam doenças quando em homozigose.
d) disputa entre os indivíduos, com a morte dos menos aptos.
e) mutação em taxa compatível com as exigências ambientais.

Para explorar

Leia

***Evolução das espécies*, de Samuel Murgel Branco. 2. ed. São Paulo: Moderna, 2004 (Coleção Polêmica).**

O livro aborda as etapas da formação do pensamento evolutivo e expõe o conflito com as linhas divergentes às teorias evolucionistas, especialmente aquelas ligadas a doutrinas religiosas.

Navegue

Charles Darwin: atual e necessário

Artigo sobre Charles Darwin escrito pelo paleontólogo Alexander Kellner e publicado por ocasião do centenário do nascimento do naturalista britânico.

Disponível em: <http://linkte.me/b0l1l>. Acesso em: 2 maio 2016.

Assista

***Evolução*: a incrível jornada da vida. Volume 3 – Episódio IV: A corrida das espécies. Episódio V: O porquê do sexo. Produção: Scientific American Brasil, 2001.**

O filme discute as vantagens e as desvantagens de relações ecológicas como a competição e a cooperação. A interação entre espécies é a mais poderosa força da evolução. No outro episódio, o foco está no papel desempenhado pelo sexo para a manutenção da vida e na variabilidade genética.

***A caverna dos sonhos esquecidos*. Direção: Werner Herzog. França/Canadá/Estados Unidos/Reino Unido/Alemanha, 2010. 90 min.**

O filme mostra pela primeira vez a Caverna de Chauvet, no sul da França. Descoberta em 1994, ela apresenta as mais antigas pinturas rupestres conhecidas pela humanidade até o momento.

AMOSTRA PARA DIVULGAÇÃO

UNIDADE

3 Ecologia

NESTA UNIDADE

12 Noções básicas de ecologia

13 Relações ecológicas

14 Ecossistemas

15 Biomas

16 O ser humano e o ambiente

A ecologia estuda as relações que os seres vivos estabelecem entre si e com o ambiente. Um importante aspecto a ser considerado em estudos ecológicos é a maneira como a energia é obtida pelos organismos para manter seu metabolismo. Para a maioria das espécies, a fonte primária dessa energia é o Sol.

Os seres humanos usam ainda energia para outros fins: ao acender uma lâmpada, ao usar um computador, ao dirigir um automóvel, etc. A energia para essas atividades também provém de recursos naturais, cuja exploração pode gerar impactos negativos ao ambiente. Por essa razão, atualmente busca-se investir em fontes de energia renováveis.

AMOSTRA PARA DIVULGAÇÃO

QUESTÕES PARA REFLETIR

1. De que maneira os seres vivos mostrados na imagem ao lado se aproveitam da energia proveniente do Sol?
2. Você sabe quais são as principais fontes de energia utilizadas no Brasil? Cite três delas.
3. O que são fontes de energia renováveis? Por que tem havido interesse em se investir nesse tipo de fonte de energia?

Imagem da página ao lado:

O Sol é a principal fonte de energia para os seres vivos. Na foto, gnus e zebras pastam na Reserva Nacional Masai Mara. Quênia, 2014.



Suzi Eszterhas/Minden Pictures/Biosphoto/AFP

AMOSTRA
PARA DIVULGAÇÃO

CAPÍTULO

12

Noções básicas de ecologia

O QUE VOCÊ VAI ESTUDAR

Conceitos básicos de ecologia.

Como os seres vivos estabelecem relações tróficas nos ecossistemas.

Os ciclos biogeoquímicos da água, do carbono, do oxigênio e do nitrogênio.



RooM the Agency/Alamy/Latinstock

AMOSTRA PARA DIVULGAÇÃO

Os diversos ambientes da Terra, mesmo quando distantes entre si, estão interligados, ainda que indiretamente. Os oceanos, que cobrem cerca de três quartos da superfície do planeta, liberam a maior parte do gás oxigênio que respiramos. Na foto, de 2013, uma baleia mergulha na costa da Nova Zelândia.

Embora seja uma ciência relativamente nova, a ecologia vem ganhando cada vez mais importância. Seu caráter interdisciplinar envolve outras áreas de estudo, como a Química e a Física, além da economia e das ciências sociais.

Estudar os conceitos básicos da ecologia permite compreender alguns dos processos que possibilitam a vida na Terra. O clima e a qualidade da água, por exemplo, são alguns dos fatores ambientais que podem ser afetados por atividades humanas, como o desmatamento ou a mineração. Assim, não é de surpreender que cada vez mais pessoas têm se preocupado com o impacto ambiental de muitas das atividades humanas.

Não escreva no livro.

A biosfera

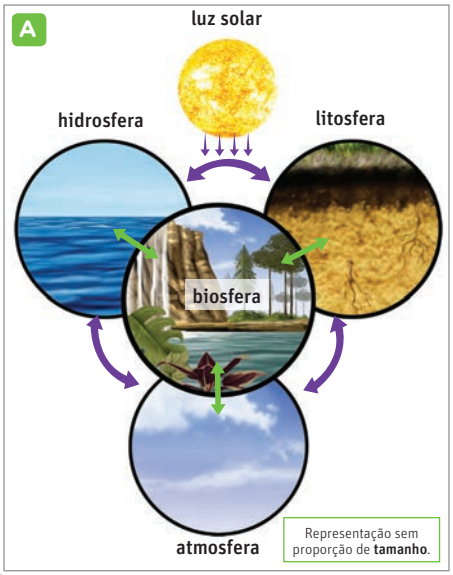
A vida na Terra se desenvolve em uma camada de apenas 17 km de espessura. Essa camada relativamente fina, formada pelo conjunto dos seres vivos e dos ambientes onde eles vivem, é denominada **biosfera**. No seu extremo superior, ela alcança o limite de mais ou menos 7 km de altitude. O seu extremo inferior pode variar de uns poucos centímetros abaixo do solo até mais ou menos 10 km nos fundos oceânicos.

A biosfera interage com outros sistemas: a atmosfera, a hidrosfera e a litosfera (imagem **A**).

A **atmosfera** é formada por diversos gases, incluindo o gás nitrogênio, o gás oxigênio e o ozônio. O gás oxigênio é necessário à maioria dos seres vivos, que é **aeróbia**. O ozônio tem papel muito importante para a biosfera, pois bloqueia a entrada de parte dos raios ultravioleta emitidos pelo Sol, que são nocivos à vida.

A **hidrosfera** é formada pelos oceanos e mares, rios e lagos, águas subterrâneas e vapor de água. A água da hidrosfera circula entre a litosfera e a atmosfera, interagindo com elas no ciclo da água, que será abordado mais adiante neste capítulo.

A **litosfera** compreende a crosta terrestre e a porção superior do manto (camada localizada abaixo da crosta).



Vagner Coelho/ID/BR

Esquema mostrando os sistemas com os quais a biosfera se relaciona. Cores-fantasia.

Ecossistemas

A análise das relações ecológicas estabelecidas entre todos os seres vivos e os ambientes que compõem a biosfera é uma tarefa inviável, dada a escala global dos eventos a serem considerados. Por isso, uma das maneiras de compreender os fenômenos que ocorrem em escala planetária é decompor o estudo em unidades menores e mais simples, denominadas **ecossistemas**.

O termo "ecossistema" foi proposto em 1935 pelo ecólogo britânico Arthur Tansley (1871-1955). Atualmente o termo é usado para se referir a qualquer unidade que abranja todos os seus organismos, as interações entre eles e também com o ambiente ao seu redor.

Por se tratar de um conceito desenvolvido pelos cientistas para facilitar o estudo e a pesquisa, as dimensões de um ecossistema variam com o estudo em questão. Assim, tanto uma pequena poça de água quanto uma imensa área de floresta são exemplos de ecossistemas.

Cada ecossistema é formado por **fatores abióticos**, que compreendem as condições físico-químicas dos elementos não vivos (água, ar, rochas, etc.), e por **fatores bióticos**, ou seja, os seres vivos ali presentes e que formam uma **comunidade**. Esta é formada por um conjunto de **populações** que habitam determinada área. Cada população, por sua vez, corresponde a um grupo de indivíduos da mesma **espécie**.

O conjunto de ecossistemas da Terra forma a biosfera (imagem **B**).

Aeróbio: organismo que obtém energia por meio da respiração celular aeróbia, processo que requer gás oxigênio.



NASA Goddard Space Flight Center (NASA-GSFC)/SPL/Latinstock

A biosfera do planeta Terra é constituída por inúmeros ecossistemas terrestres e aquáticos. Representação da Terra feita com base em imagens de satélite de 2002. Cores-fantasia.

Biomas

Outro conceito bastante usado em ecologia é o de bioma, muitas vezes empregado como sinônimo de ecossistema.

O **bioma** corresponde a uma área com características físicas (como temperatura, umidade, solo, etc.) relativamente homogêneas, onde a fauna e a flora são típicas e adaptadas a essas condições ambientais. Exemplos de biomas são as florestas tropicais, as florestas temperadas, as savanas e os desertos.

AMOSTRA PARA DIVULGAÇÃO

Fatores abióticos em um ambiente

Alguns fatores abióticos que influenciam os seres vivos são a temperatura, a umidade, a luz, a salinidade, fatores edáficos (relacionados ao solo), entre outros.

Muitas vezes, os fatores abióticos podem limitar o crescimento de uma espécie, sendo, nesses casos, chamados de **fatores limitantes**. É importante lembrar que cada espécie tem um intervalo de tolerância diferente para cada fator abiótico, o que determina sua distribuição pelos biomas do planeta.

Temperatura

A temperatura afeta a velocidade dos processos físicos e químicos que ocorrem no interior de cada organismo. Temperaturas muito baixas, por exemplo, podem congelar os líquidos internos e reduzir o metabolismo celular, afetando o crescimento, o desenvolvimento, etc. Temperaturas muito altas, por sua vez, podem desnaturar proteínas e desidratar os seres vivos, afetando também o seu metabolismo.

Nos ambientes aquáticos, a temperatura diminui com a profundidade, uma vez que o calor irradiado pelo Sol é absorvido pelas camadas mais superficiais da água. Nos ambientes terrestres, a temperatura diminui com a altitude, uma vez que há menor superfície terrestre disponível nos picos de montanhas para absorver o calor.

Umidade

Chama-se umidade a proporção de vapor de água presente em determinado volume de ar. A umidade relaciona-se diretamente com a pluviosidade e com a temperatura ambiental, na medida em que esta promove a evaporação (no ambiente) e a transpiração (nos seres vivos).

Diversas plantas, como os musgos e as hepáticas, dependem da água para se reproduzir e não dispõem de estruturas que confiram proteção contra dessecação, sendo comumente encontradas em ambientes úmidos. Muitos animais também se refugiam em locais de grande umidade por algum desses motivos, como é o caso de vários moluscos terrestres e da maioria dos anfíbios. Contudo, mesmo esses seres vivos possuem representantes adaptados a tolerar certa escassez de água, podendo ser encontrados também em ambientes secos.

Luz

A luz solar é a fonte de energia primária utilizada pelos seres fotossintetizantes para transformar o gás carbônico em matéria orgânica. Além disso, a duração dos dias é determinante para o desenvolvimento de inúmeros processos biológicos, como os períodos de sono e de vigília dos animais e o período de floração das plantas.

Embora o Sol emita luz ininterruptamente, muitos fatores podem afetar a maneira como ela incide sobre a Terra. A nebulosidade, por exemplo, reduz a intensidade com que a luz chega à superfície terrestre. Já o movimento de rotação de nosso planeta é responsável pelo dia e pela noite, o que implica períodos iluminados e escuros. Além disso, a duração do dia e da noite varia conforme a estação do ano.

Nos ambientes aquáticos, a quantidade de luz também não é a mesma ao longo da coluna de água. Nesses ambientes, a luz diminui com a profundidade, até desaparecer por completo. Por isso, as zonas afóticas (sem luz) não abrigam seres fotossintetizantes, como os do fitoplâncton e as algas multicelulares.

BIOLOGIA E FÍSICA

Calor específico

Calor específico (*c*) é uma grandeza que expressa a quantidade de calor a ser fornecida ou retirada para, respectivamente, aumentar ou diminuir uma unidade de temperatura (por exemplo, 1 ºC) de uma unidade de massa (por exemplo, 1 g) de certa substância. O elevado calor específico da água faz com que os grandes corpos de água, como mares e oceanos, sejam termicamente mais estáveis.



Andre Dib/Pulsar Imagens

As florestas tropicais abrigam ambientes de alta temperatura e umidade. Tais condições são favoráveis para muitos seres vivos. Parque Nacional das Araucárias (SC), 2016.

ATIVIDADES

1. Observe o ecossistema mostrado nesta página. Identifique alguns fatores bióticos e outros abióticos presentes nesse ambiente e descreva de que maneira eles interagem entre si.

AMOSTRA PARA DIVULGAÇÃO

Não escreva no livro.

Salinidade

A salinidade corresponde à quantidade de sais dissolvidos na água. Por esse critério, podem-se dividir os corpos de água em três tipos principais: as **águas doces**, predominantemente continentais, com menos de 0,5 g/L de sais dissolvidos; as **águas salgadas**, oceânicas, contendo aproximadamente 35 g/L de sais (principalmente cloreto de sódio), e as **águas salobras** dos estuários e lagoas costeiras, sob influência das marés, com salinidades intermediárias.

De modo geral, espécies adaptadas a viver em água doce não toleram grande salinidade, e vive-versa.

Fatores edáficos

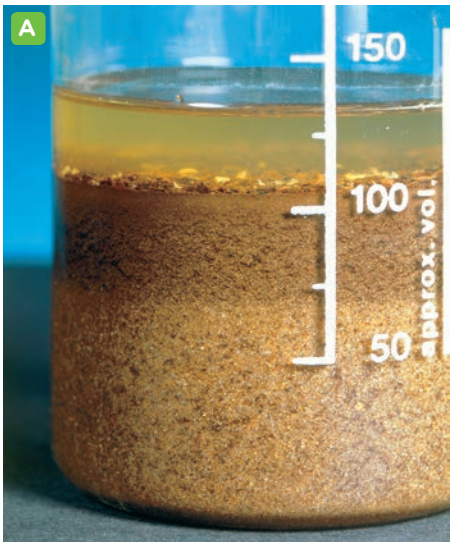
Os fatores edáficos dizem respeito às características do solo, como sua estrutura física e sua composição química, que influem na distribuição dos seres vivos.

A estrutura física do solo depende da **textura** e da **porosidade** das partículas, e da **profundidade** até a rocha-matriz. Esses aspectos são determinantes para a circulação da água e do ar que penetram no solo e para o desenvolvimento de diversas formas de vida, como plantas, animais, fungos e bactérias.

As principais partículas que caracterizam a textura e a porosidade do solo são a areia, o silte e a argila (imagem **A**). De maneira geral, nos solos arenosos, cujas partículas são maiores, a porosidade é grande; por isso, a água fica retida menos tempo. Os solos argilosos são compostos por partículas menores, de modo que a água penetra neles mais lentamente, ficando estocada por mais tempo.

A profundidade afeta principalmente as plantas que se fixam no solo e os animais que nele cavam tocas. Também determina a distribuição dos animais chamados **fossoriais** (isto é, que escavam túneis), como as minhocas e as cobras-cegas.

A composição química do solo é determinada pelas substâncias minerais nele dissolvidas. Algumas substâncias são necessárias às plantas, e a ausência de determinados íons pode ser um fator limitante para muitas delas.



Sheila Terry/SPL/Latinstock

Amostra de solo (decantada em água) composto por areia, silte e argila. As partículas maiores e mais densas (areia) ficam embaixo. Na camada intermediária, repousa o silte; e no topo, formando uma fina camada, as partículas de argila.



Ryszard Laskowski/Dreamstime.com/ID/BR



Peter Arnold/Other Images



Jany Sauvanet/PR/Latinstock

(**B**) Gambá-de-orelha-preta (*Didelphis marsupialis*), (**C**) cuíca-lanosa (*Caluromys philander*) e (**D**) gambá-de-orelha-branca (*Didelphis albiventris*). Esses marsupiais coexistem sem competição em muitos locais da América do Sul. Nesses casos, pode-se dizer, então, que cada um deles ocupa um nicho ecológico diferente.

Nicho ecológico

Para sobreviver e reproduzir-se, os seres vivos precisam obter energia e nutrientes, evitar predadores e competir por recursos com outros da sua própria espécie ou de espécies diferentes. Essa interação ou atuação dos organismos com o seu meio físico e biológico recebe o nome de **nicho ecológico**. Não por acaso, muitos autores definem nicho ecológico como o "papel que o organismo desempenha" no seu meio.

Uma maneira de compreender a ideia de nicho ecológico seria concebê-lo como um espaço imaginário de muitas dimensões, cada uma contendo um fator ambiental ou recurso exigido por aquela espécie. Por exemplo, o nicho de uma espécie de gramínea de determinada região pode incluir certa variação de temperatura, de luminosidade, de umidade e de concentração de nutrientes no solo. Se outra espécie de gramínea da mesma região apresentar algum grau de coincidência com relação a pelo menos um desses fatores, pode-se dizer, então, que haverá sobreposição de nichos, com a provável competição entre elas.

Quando os nichos de diferentes espécies não se sobrepõem, não há competição. Este é o caso de alguns marsupiais sul-americanos (imagens **B** a **D**).

AMOSTRA PARA DIVULGAÇÃO

Relações tróficas nos ecossistemas

Uma das características fundamentais de todos os ecossistemas é a **ciclagem de matéria** e o **fluxo de energia** que se estabelece com as relações de nutrição, ou seja, nas relações tróficas entre seus componentes bióticos. O estudo dos ecossistemas sob esse ponto de vista tem contribuído para a análise das alterações ambientais decorrentes de intervenções humanas, já que qualquer ação que afete uma espécie pode ter impacto sobre outra na comunidade.

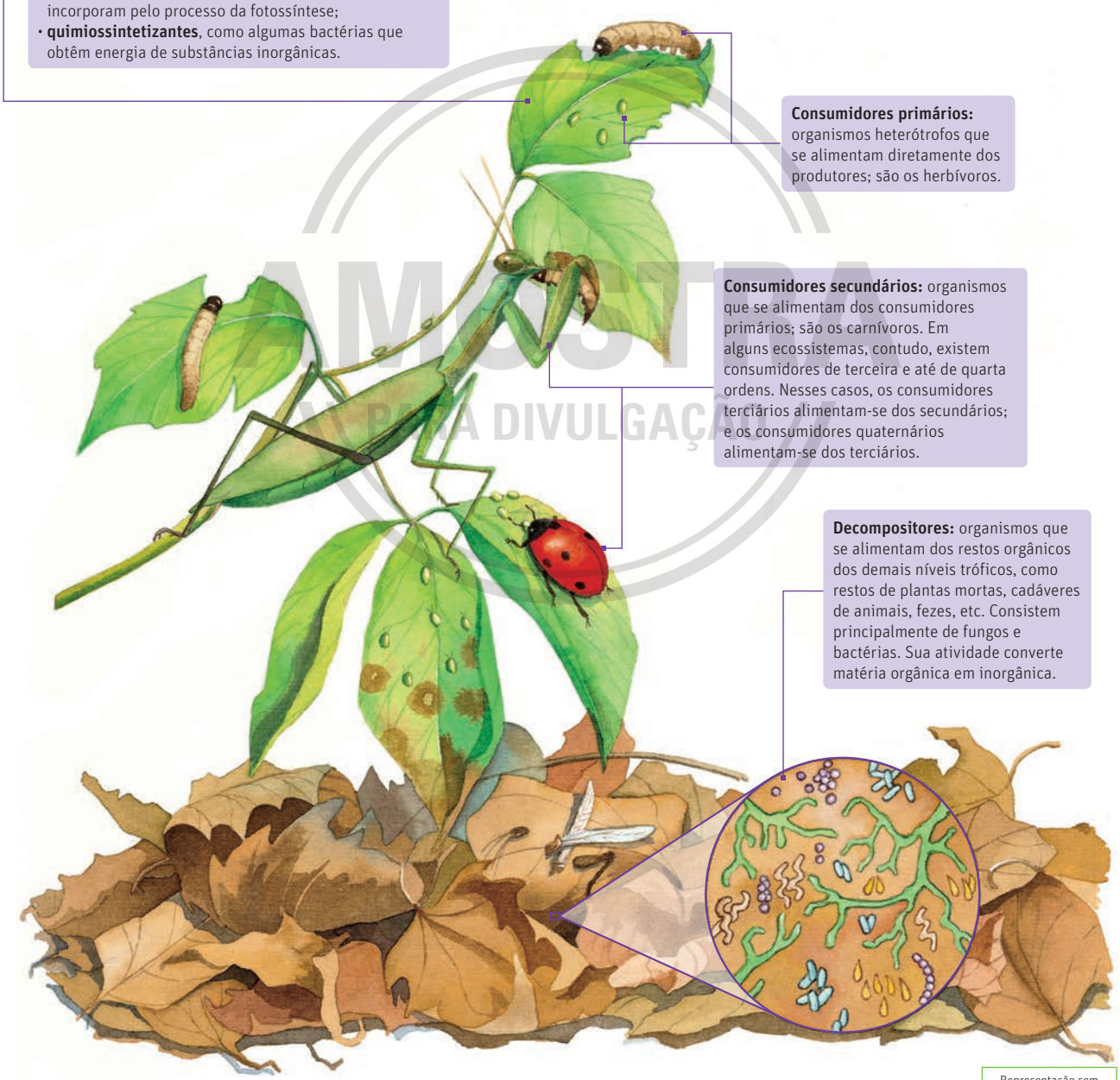
A maneira como os organismos obtêm matéria e energia nem sempre é a mesma. Assim, organismos que o fazem de uma mesma maneira são agrupados em um conjunto, chamado **nível trófico** (do grego *trofé*, "nutrição"). Podemos distinguir os seguintes níveis tróficos:

Produtores: organismos autótrofos, isto é, que produzem seu próprio alimento. Podem ser classificados em:
- **fotossintetizantes**, como plantas, algas e algumas bactérias, que captam a energia da luz do Sol e a incorporam pelo processo da fotossíntese;
- **quimiossintetizantes**, como algumas bactérias que obtêm energia de substâncias inorgânicas.

Consumidores primários: organismos heterótrofos que se alimentam diretamente dos produtores; são os herbívoros.

Consumidores secundários: organismos que se alimentam dos consumidores primários; são os carnívoros. Em alguns ecossistemas, contudo, existem consumidores de terceira e até de quarta ordens. Nesses casos, os consumidores terciários alimentam-se dos secundários; e os consumidores quaternários alimentam-se dos terciários.

Decompositores: organismos que se alimentam dos restos orgânicos dos demais níveis tróficos, como restos de plantas mortas, cadáveres de animais, fezes, etc. Consistem principalmente de fungos e bactérias. Sua atividade converte matéria orgânica em inorgânica.



Reinaldo Vignati/fD/BR

Representação sem proporção de **tamanho**.

Esquema que mostra os diferentes níveis tróficos em um ecossistema. Cores-fantasia.

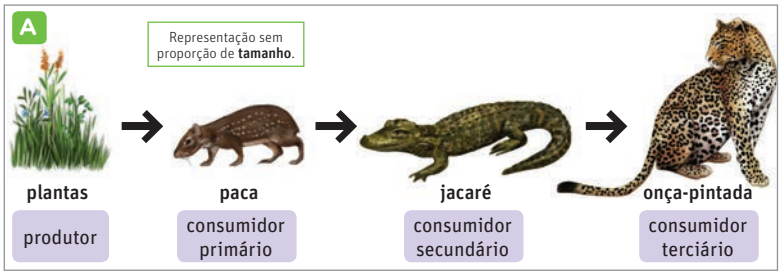
AMOSTRA
VERSÃO PARA DIVULGAÇÃO

Não escreva no livro.

Cadeias e teias alimentares

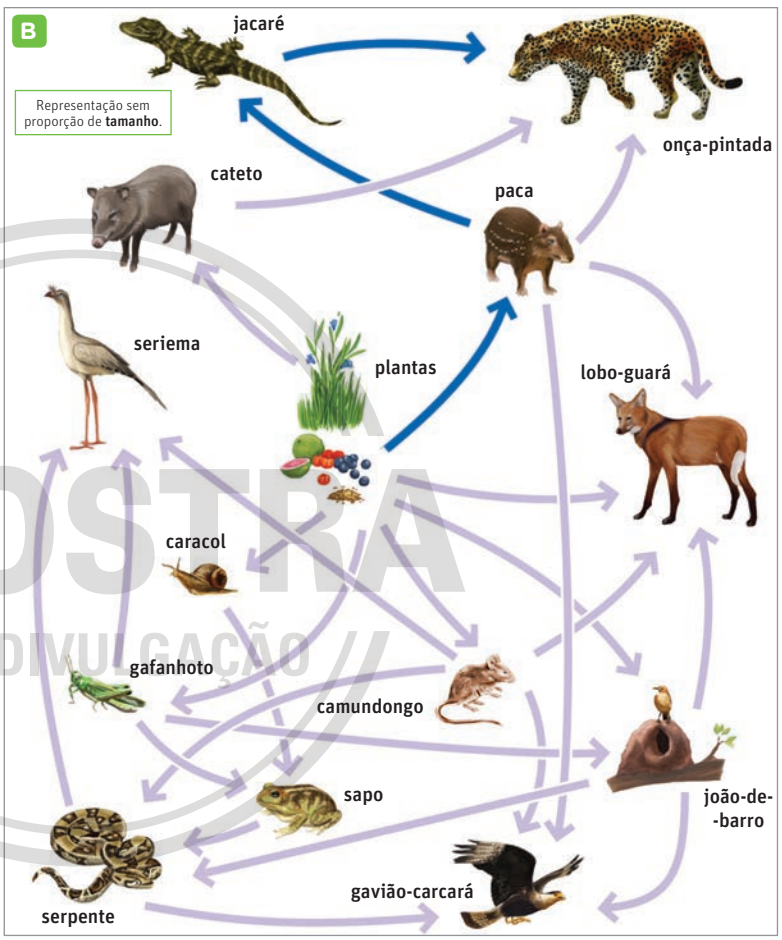
O movimento de matéria e energia dentro de um ecossistema implica que os produtores sirvam de alimento para um herbívoro (consumidor primário) e que este, por sua vez, sirva de alimento para um carnívoro (consumidor secundário). O consumidor secundário frequentemente serve de alimento para outro carnívoro (consumidor terciário). Essa relação entre os organismos de um ecossistema é a chamada **cadeia alimentar**, ou **cadeia trófica** (imagem **A**). Ela pode ser definida como uma sequência de organismos, na qual cada um se alimenta do anterior e serve, por sua vez, de alimento para o seguinte.

De modo geral, os componentes de uma cadeia trófica também fazem parte de outras cadeias, que se encontram interligadas, formando as chamadas **teias alimentares**, ou **teias tróficas** (imagem **B**).



Ilustrações: Petra Elster/ID/BR

Esquema de uma cadeia alimentar. As setas indicam a direção do fluxo de energia e de matéria.

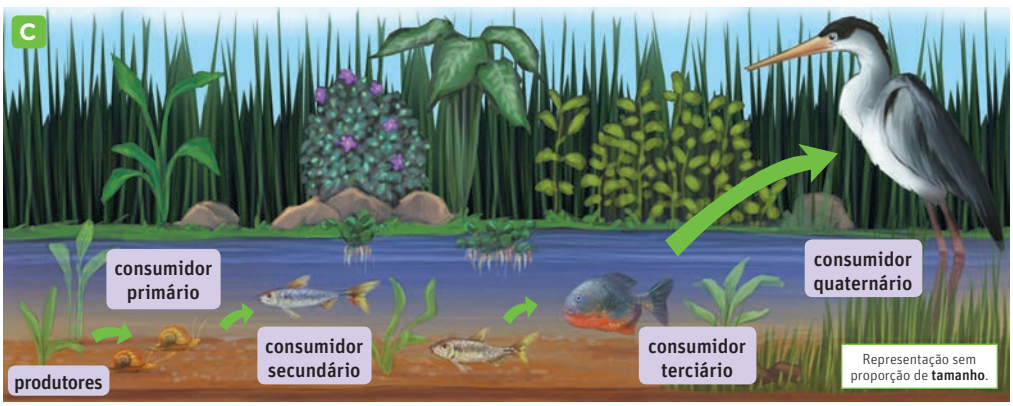


Esquema de uma teia alimentar que contém, entre outras, a cadeia alimentar mostrada na imagem **A** (destacada pelas setas azuis). As setas indicam a direção do fluxo de energia e de matéria. O decompositores não foram representados.

Exemplo de cadeia alimentar

Nos ecossistemas aquáticos, como uma lagoa (imagem **C**) ou um rio, os produtores incluem as plantas e as algas multicelulares, bem como o **fitoplâncton**, formado por microrganismos autótrofos (algas microscópicas, certas bactérias, etc.). Os seres fotossintetizantes são ainda os principais agentes de oxigenação, tanto dos ambientes aquáticos como dos terrestres.

Os consumidores primários são constituídos pelo **zooplâncton** (seres microscópicos heterótrofos) e por animais herbívoros, como caramujos, certos peixes, etc. Já os consumidores secundários incluem peixes carnívoros, alguns insetos e os anfíbios. Os consumidores terciários correspondem a peixes carnívoros maiores e às aves aquáticas, que também podem ser consumidores quaternários. Finalmente, há os decompositores: fungos e bactérias que se alimentam dos restos de animais e de plantas.



Representação de uma cadeia alimentar em uma lagoa com cinco níveis tróficos. As setas indicam a direção do fluxo de energia e de matéria. Os decompositores não foram representados.

AMOSTRA PARA DIVULGAÇÃO

Fluxo de energia

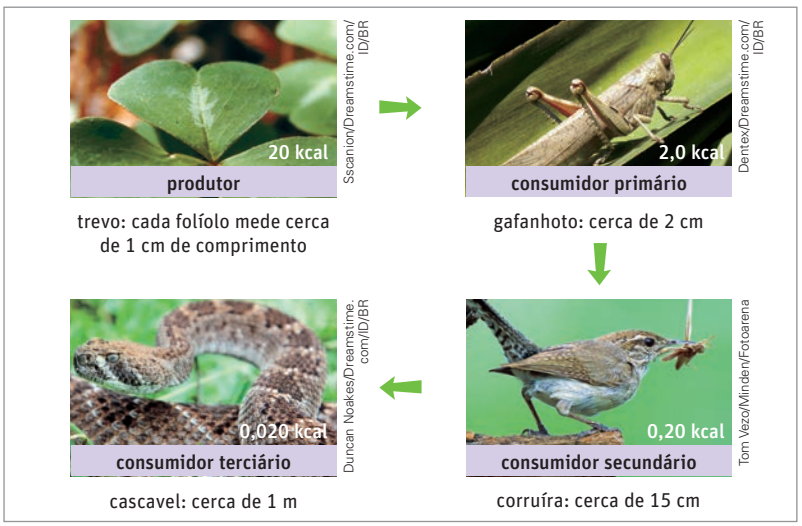
O Sol é a principal fonte de energia bruta disponível para os ecossistemas. Contudo, apenas uma pequena parte da quantidade diária de **energia luminosa** que a Terra recebe é aproveitada pelos seres vivos. Estudos apontam que, de modo geral, de toda a luz emitida pelo Sol que chega à Terra, 34% é refletida pelas nuvens; 19% é absorvida pela camada de ozônio e pelo vapor da água; e, dos 47% restantes que atingem a superfície do planeta, boa parte é refletida ou absorvida. Assim, resta apenas cerca de 2% da energia solar que pode ser incorporada aos ecossistemas via fotossíntese.

A fotossíntese é o processo realizado por certos produtores – como plantas, algas e cianobactérias – que converte a energia luminosa proveniente do Sol em **energia química**, que é aquela armazenada nas ligações químicas de moléculas orgânicas (carboidratos, proteínas, etc.). É importante lembrar que há também autótrofos, como algumas bactérias e arqueas, que realizam a quimiossíntese, processo no qual as moléculas orgânicas são sintetizadas usando a energia química de moléculas inorgânicas, como o metano ou o enxofre, e não a energia solar.

Os produtores servem de alimento aos consumidores primários, que assim obtêm a energia de que precisam para seu metabolismo. Do mesmo modo, os consumidores primários servem de alimento para os demais consumidores da cadeia. Finalmente, quando morrem, os organismos são decompostos, e parte de sua energia passa aos decompositores (a outra parte é perdida).

O fluxo de energia que perpassa por todos os níveis tróficos é sempre unidirecional: dos produtores para os consumidores. À medida que a energia flui pela cadeia alimentar, parte dela é perdida sob a forma de calor, devido à **respiração celular**. A respiração celular oxida principalmente os carboidratos e lipídios, transferindo energia para a realização de todas as funções biológicas necessárias à manutenção da vida. Por isso, a quantidade de energia disponível vai diminuindo à medida que é transferida pelos diversos níveis tróficos (imagens abaixo).

A energia perdida em cada nível trófico é de aproximadamente 90% da energia recebida, restando apenas 10% para o nível trófico seguinte. De modo geral, quanto menos energia se perder, mais eficiente será o ecossistema. Essa eficiência determina sua **produtividade**.



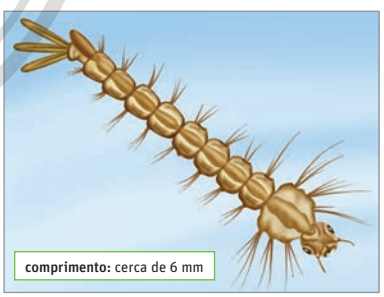
Esquema do fluxo de energia em uma cadeia alimentar hipotética. Os números representam a quantidade de energia disponível para o nível trófico seguinte.

SAIBA MAIS

Ecossistemas imprevisíveis

Em seu livro *Diversidade da vida*, o biólogo Edward Wilson (1929-) explica que os ecossistemas podem ser imprevisíveis, em razão das peculiaridades de cada espécie que interage ali. Em um de seus exemplos, ele mostra como uma presa pode virar um parasita.

Em uma região da costa oeste estadunidense, há um protozoário ciliado (*Lambornella clarcki*) que habita poças de água que se formam nas árvores após as chuvas. Nesse pequeno hábitat, esse protozoário se alimenta de bactérias e de outros microrganismos que também residem naquele minúsculo ecossistema, ao mesmo tempo em que serve de alimento para as larvas do mosquito *Jarnellius sierrensis* (anteriormente denominado *Aedes sierrensis*). Após um período de mais ou menos dois dias de exposição ao odor característico das larvas do mosquito, alguns protozoários passam por uma transformação, que os torna parasitas de seus predadores. Eles invadem o corpo das larvas dos mosquitos e começam a se alimentar delas. Assim, o protozoário, que era presa, passa a ser parasita.



Luis Moura/ID/BR

Representação da larva do mosquito *Jarnellius sierrensis*. Cores-fantasia.

ATIVIDADES

2. Uma grande plantação foi pulverizada com inseticida. Após um ano, os agricultores perceberam que a população de sapos da região diminuiu. Sabendo que a saúde dos sapos não foi prejudicada pelo inseticida, o que pode ter causado essa diminuição?

AMOSTRA PARA DIVULGAÇÃO

Não escreva no livro.

Ciclos de matéria

Vimos que a energia flui ao longo dos ecossistemas. A matéria, ao contrário, é reciclada, ou seja, é constantemente reaproveitada. A matéria orgânica sintetizada pelos produtores é transferida para outros níveis da cadeia alimentar pelas relações tróficas e é posteriormente decomposta.

Utilizando água e gás carbônico, seres produtores sintetizam moléculas orgânicas. Parte dessas moléculas é consumida durante a vida desses seres. A degradação de carboidratos pela respiração aeróbia produz água e gás carbônico. Os carboidratos não utilizados pelo produtor podem ser armazenados em seu corpo, principalmente na forma de moléculas de amido.

Quando o produtor é consumido, o amido passa para o corpo do consumidor primário e pode ser utilizado na produção de energia. Parte do que é ingerido é armazenada na forma de carboidratos, gorduras e proteínas. Outra parte, não aproveitada, é liberada no ambiente na forma de fezes, que serão decompostas ou consumidas por outros seres. O mesmo ocorre com os consumidores secundários, terciários e quaternários, que se aproveitam das moléculas orgânicas dos consumidores de níveis tróficos anteriores.

Ao morrer, os organismos da cadeia alimentar são decompostos. Por meio da decomposição, as substâncias que constituem um ser vivo são transformadas em outras que, liberadas no ambiente, podem ser utilizadas por outros organismos.

Dentre os vários elementos químicos que compõem as moléculas e constituem a matéria em circulação nos ecossistemas, destacam-se: o carbono, o nitrogênio e o oxigênio. Os ciclos desses elementos serão estudados mais adiante neste capítulo, assim como o ciclo da água, substância essencial à vida.

Biomassa e produção

Biomassa e produção são dois conceitos bastante usados no estudo de um ecossistema.

A **biomassa** é a quantidade de matéria orgânica que existe no ecossistema. Ela é medida em gramas ou em calorias por unidade de superfície ou de volume. Pode-se calcular a biomassa presente em todo o ecossistema, em um dado nível trófico, ou em uma espécie.

A **produção** é o aumento de biomassa medido por unidade de tempo. Assim, produtores aumentam a sua biomassa durante o seu crescimento, quando sintetizam matéria orgânica. Os animais fazem isso também durante o crescimento, quando se alimentam dos produtores ou de outros animais.

Conhecendo-se a biomassa em cada nível trófico, pode-se avaliar a eficiência dos ecossistemas quanto à ciclagem de matéria e ao fluxo de energia entre um nível trófico e outro.

Produções primária e secundária

O conceito de produção se aplica à totalidade do ecossistema ou a um determinado nível trófico. Quando o nível trófico em questão são os produtores, fala-se em **produção primária**. Quando o nível trófico são os consumidores, fala-se em **produção secundária**.

Produção primária bruta e produção primária líquida

Chama-se **produção primária bruta (Pb)** a quantidade total de energia luminosa convertida em matéria orgânica pelos produtores. Uma parte dessa matéria é utilizada pelos organismos como fonte de energia para todas as atividades vitais. A quantidade remanescente, incorporada pelos produtores, é denominada **produção primária líquida (Pl)**. A produção primária, ao longo de um intervalo de tempo, é um conceito-chave em qualquer ecossistema, uma vez que ela permite analisar a eficiência do ecossistema.

Pode-se pensar que, quanto maior a biomassa, maior é a produção primária. Entretanto, nem sempre é assim. A produção primária depende da velocidade com que um produtor cresce e se reproduz. De maneira geral, organismos pequenos são mais produtivos do que organismos grandes, uma vez que os primeiros se reproduzem e crescem mais rapidamente. Por isso, em geral, os ecossistemas aquáticos são mais produtivos do que os terrestres. O fitoplâncton, por exemplo, mantém a sua biomassa em níveis relativamente baixos porque é predado rapidamente pelos consumidores. Contudo, o valor da produção primária é alto, devido à taxa reprodutiva relativamente elevada.

De maneira análoga, os conceitos de produção bruta e de produção líquida podem ser estendidos. Conforme o nível trófico considerado, pode-se falar em produção bruta (ou líquida) secundária, terciária, etc.

ATIVIDADES

3. O que acontece com o fluxo de energia e o fluxo de matéria quando atravessam a cadeia alimentar? Qual é a diferença entre os dois?
4. Uma das alternativas para se diminuir o impacto ambiental do uso de energia pelo ser humano é a utilização de combustíveis feitos a partir de biomassa.

   Faça uma pequisa e elabore um texto explicando as vantagens do uso desse tipo de combustível.

AMOSTRA PARA DIVULGAÇÃO

Pirâmides tróficas

A estrutura trófica de um ecossistema, ou de uma cadeia alimentar, pode ser esquematizada graficamente utilizando-se uma pirâmide, cuja base representa os produtores, e os degraus seguintes, os demais níveis tróficos (consumidores primários, secundários, terciários, etc.).

As pirâmides tróficas ou **pirâmides ecológicas** podem ser de três tipos, como mostrado a seguir.

Pirâmides de números

Informam o número de indivíduos pertencentes a cada nível trófico em um determinado ecossistema (imagem **A**). As pirâmides de número são pouco significativas, pois não consideram o tamanho dos indivíduos. Assim, por exemplo, uma pequena planta é contabilizada da mesma maneira que uma árvore grande.

De maneira geral, a pirâmide de números tem a base mais larga. Os números decrescem à medida que se avança para os níveis tróficos superiores. Entretanto, algumas vezes a pirâmide pode apresentar-se invertida. Por exemplo, quando o produtor é uma árvore que suporta os demais níveis tróficos. Outro exemplo pode ser o de um grande número de parasitas (consumidores) vivendo à custa de um único hospedeiro.

Pirâmides de biomassa

Indicam a biomassa, isto é, a quantidade de matéria orgânica de todos os seres vivos que formam cada um dos níveis tróficos (imagem **B**). As pirâmides de biomassa são expressas em gramas de peso seco por unidade de área (km^2, m^2 ou cm^2) ou volume (L, m^3 ou cm^3).

Ao contrário das pirâmides de números, as pirâmides de biomassa permitem comparar melhor os ecossistemas, já que a biomassa reflete as diferenças de tamanho entre os indivíduos. Assim, cada degrau da pirâmide representa proporcionalmente a massa dos organismos por unidade de área ou volume.

De modo geral, a biomassa diminui rumo aos níveis tróficos superiores. Contudo, as pirâmides de biomassa podem eventualmente ser invertidas, situação em que sua base é menor do que o nível trófico seguinte (imagem **B**). Isso é bastante comum nos ecossistemas aquáticos, onde os produtores têm pequenas dimensões e um ciclo de vida muito curto, como no caso das algas. Embora a biomassa de produtores registrada em um dado momento seja pequena, ela pode sustentar um número grande de animais, uma vez que a taxa de reprodução das algas é muito alta.

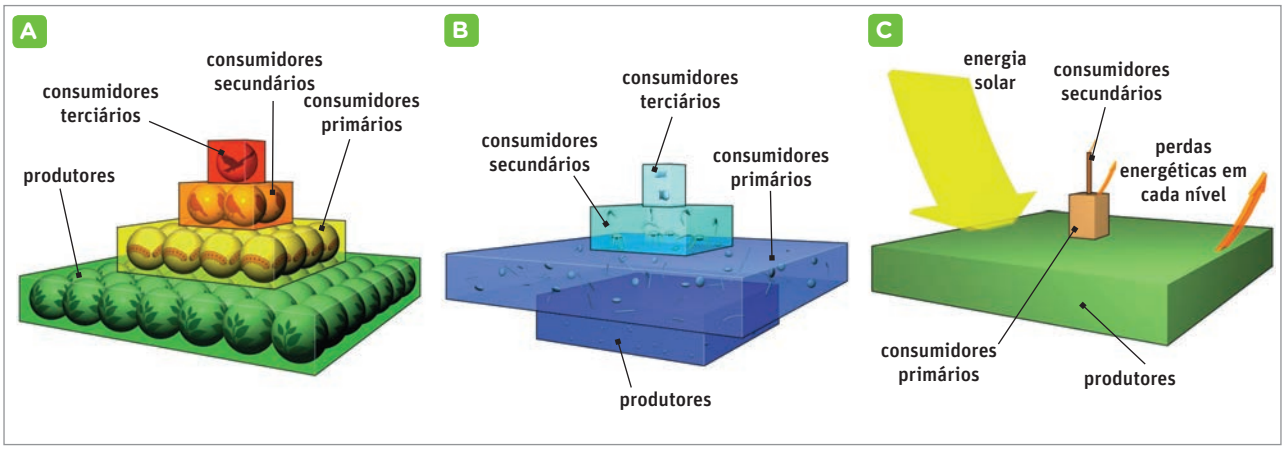
Um dos problemas na construção de uma pirâmide de biomassa é que as medidas do peso seco implicam a morte dos indivíduos amostrados, o que pode ser considerado inaceitável do ponto de vista ético ou ambiental.

Pirâmides de energia

Indicam a quantidade de energia existente em um nível trófico, grandeza que pode ser expressa em $kcal/m^2/ano$, por exemplo (imagem **C**). Esse tipo de pirâmide possibilita analisar o fluxo de energia em um dado ecossistema, bem como sua produtividade, e ainda permite comparar o conteúdo energético de duas espécies com a mesma massa.

As pirâmides de energia nunca são invertidas, já que a energia presente em determinado nível trófico sempre será maior do que a energia do nível trófico superior. Como vimos, a respiração celular provoca perdas de até 90% de energia de um nível trófico para outro. Dessa maneira, a quantidade de energia disponível para os consumidores secundários, por exemplo, é sempre menor do que para os consumidores primários. É por essa razão também que os ecossistemas costumam ter uma quantidade menor de carnívoros de topo de cadeia (consumidores terciários e quaternários) do que de herbívoros (consumidores primários).

Assim como as pirâmides de biomassa, a construção de uma pirâmide de energia exige a morte dos indivíduos amostrados, uma vez que os valores energéticos dos níveis tróficos são obtidos pela combustão total dos organismos.



Reinaldo Vignati/ID/BR

Esquemas de três tipos de pirâmides tróficas: (**A**) de números (pasto), (**B**) de biomassa (oceano) e (**C**) de energia (bosque).

AMOSTRA
PROIBIDA DIVULGAÇÃO

Não escreva no livro.

Ciclos biogeoquímicos

Na natureza existem cerca de noventa elementos químicos conhecidos. Boa parte deles circula dentro da biosfera, entre os compartimentos bióticos e abióticos. O circuito percorrido por um dado elemento dentro da biosfera é chamado de **ciclo biogeoquímico**.

Diversos elementos estão presentes nas rochas. Devido ao processo que leva à desintegração das rochas (intemperismo), eles podem retornar para a atmosfera, sob a forma de gases, ou para as águas de rios, lagos e mares, sob a forma de íons. Do meio abiótico, esses elementos são absorvidos pelos seres vivos por meio de vários processos, como a fotossíntese e a respiração. Daí, seguem o caminho da cadeia alimentar, passando pelos consumidores e, depois, pelos decompositores, quando são devolvidos ao meio abiótico. Os ciclos biogeoquímicos também são alterados pelas atividades humanas.

Entre os principais ciclos biogeoquímicos, aqueles tratados neste capítulo são: o ciclo da **água**, o do **carbono**, o do **oxigênio** e o do **nitrogênio**.

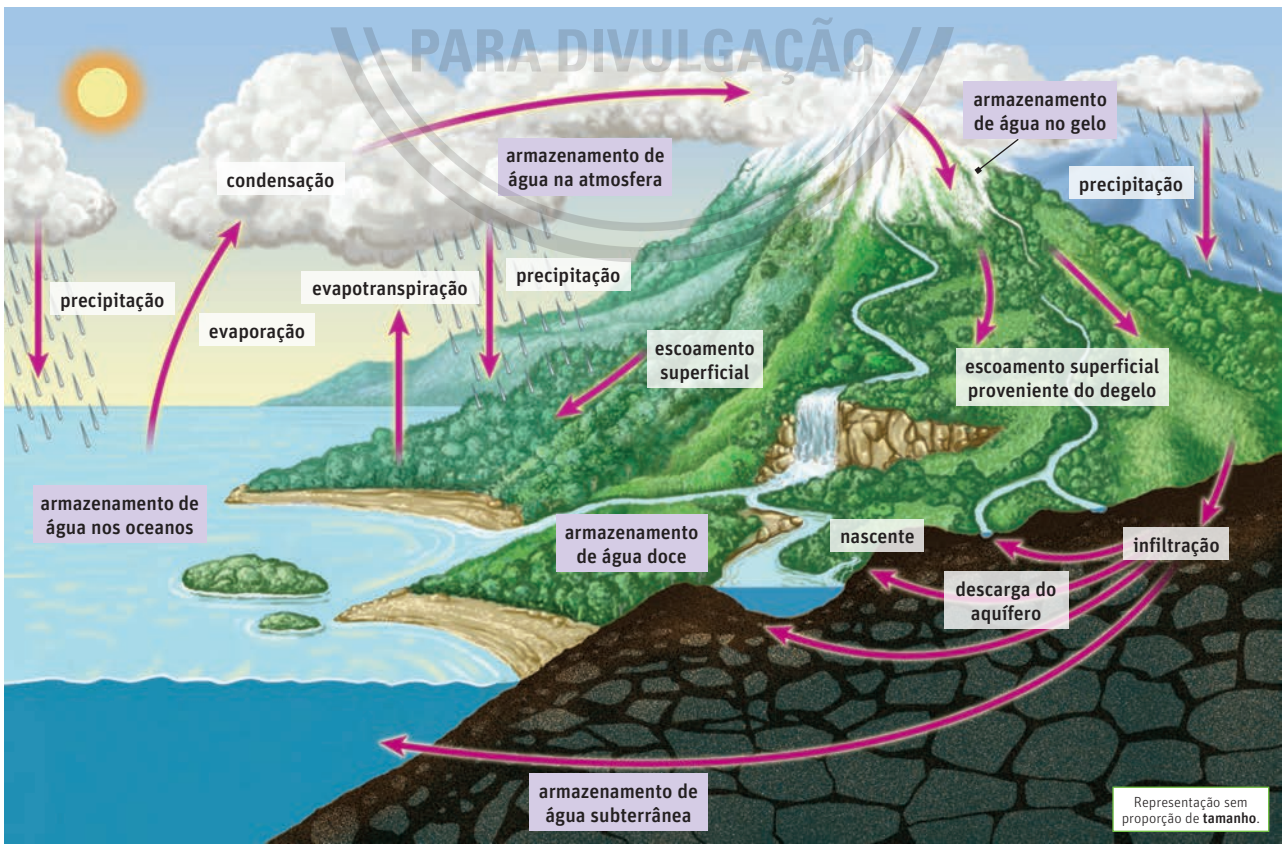
O ciclo da água

A maior parte da água presente na Terra (cerca de 97,5%) está nos oceanos e nos mares. Uma pequena parte (1,75%) encontra-se nas geleiras ou sob o cume permanentemente gelado das montanhas. Apenas uma ínfima parte (0,75%) está nos rios, lagos e aquíferos (reservas de água subterrânea) na forma de água doce, disponível para os seres vivos, ou sob a forma gasosa, compondo o vapor de água na atmosfera.

O ciclo da água envolve três estados físicos. A água sob a forma de vapor resulta da **transpiração** dos seres vivos e da **evaporação** dos rios, lagos e, principalmente, mares e oceanos. A água gasosa retorna à fase líquida por meio das **precipitações**. Uma parte da água que evapora dos oceanos é levada aos continentes, onde se precipita e, então, infiltra-se no solo ou retorna aos oceanos pelo **escoamento** das águas fluviais. A água se encontra na forma de gelo apenas nos locais muito frios, como nos picos de montanha. A imagem a seguir ilustra o caminho percorrido pela água em seu ciclo.

Fonte de pesquisa: Reece, J. B. et al. *Campbell Biology*. 10. ed. [S.l.]: Pearson, 2014. p. 1244.

Esquema do ciclo da água. Cores-fantasia.



Paulo Cesar Pereira/ID/BR

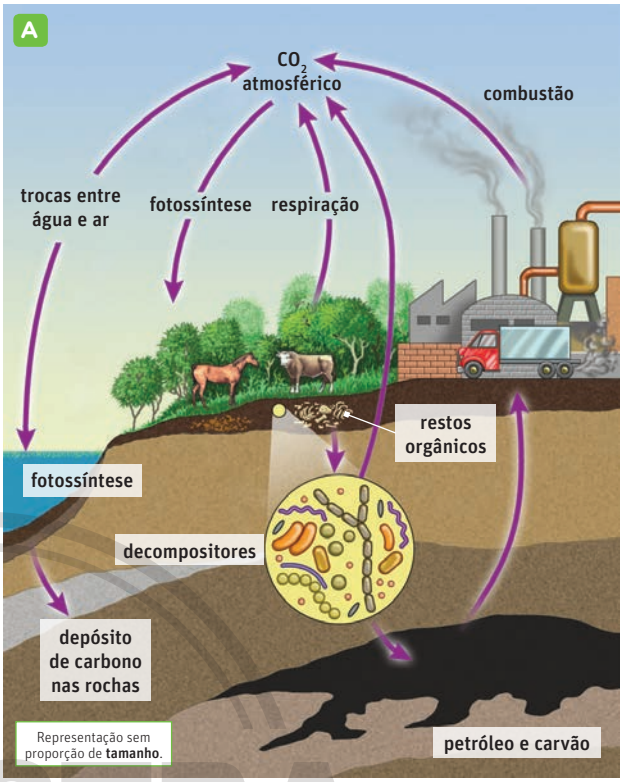
AMOSTRA
PARA DIVULGAÇÃO

O ciclo do carbono

O carbono é um dos elementos químicos mais abundantes nos seres vivos. Sob a forma de **gás carbônico** (CO_2), ele está presente também na atmosfera e dissolvido na água. Participa, ainda, da composição de rochas da litosfera e de **combustíveis fósseis** (carvão mineral e petróleo).

Os organismos fotossintetizantes transformam o CO_2 atmosférico, ou aquele dissolvido na água, em matéria orgânica, que chega aos consumidores via cadeia alimentar. Durante a respiração celular, os seres vivos consomem essa matéria orgânica e liberam a energia nela presente. A respiração celular produz CO_2, que é devolvido à atmosfera ou à hidrosfera. Parte do CO_2 dissolvido nas águas também retorna espontaneamente para a atmosfera.

O carbono é incorporado ao solo quando os animais, as plantas e outros seres morrem. As bactérias e os fungos decompõem os restos de seres vivos, produzindo CO_2, que é liberado para a atmosfera e para a hidrosfera. Há milhões de anos, uma parte dos restos orgânicos, sob condições especiais de decomposição, transformou-se em carvão mineral ou em petróleo. Estes podem ser utilizados pelos seres humanos como combustível e, ao serem queimados, liberam CO_2 para a atmosfera. As consequências do uso desse tipo de combustível são discutidas no capítulo 16. A imagem **A** resume o ciclo do carbono.



Paulo Cesar Pereira/ID/BR

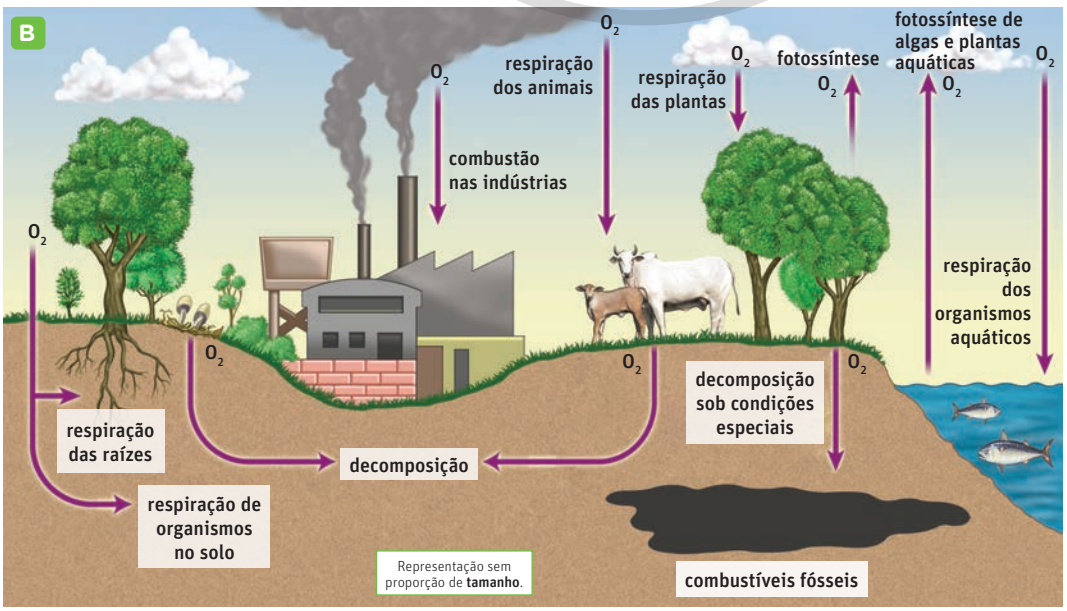
Esquema do ciclo do carbono. Cores-fantasia.

Fonte de pesquisa: Reece, J. B. et al. *Campbell Biology*. 10. ed. [S.l.]: Pearson, 2014. p. 1245.

O ciclo do oxigênio

A maior parte do **gás oxigênio** (O_2) é produzida pela fotossíntese. Sem ela, estima-se que o oxigênio atmosférico se esgotaria em aproximadamente 5 mil anos. Além do gás oxigênio, que perfaz cerca de 21% da atmosfera, o elemento oxigênio está presente em outros gases, como o ozônio (O_3) e o gás carbônico (CO_2). O oxigênio também está presente na litosfera sob a forma de óxidos.

O gás oxigênio é permanentemente trocado entre os organismos e as fontes inorgânicas. Durante a respiração dos organismos aeróbios, o O_2 é consumido. Por meio da fotossíntese, o O_2 volta para a atmosfera, fechando o ciclo, como mostra a imagem **B**.



Paulo Cesar Pereira/ID/BR

Esquema do ciclo do oxigênio. Cores-fantasia.

AMOSTRA
PARA DIVULGAÇÃO

Não escreva no livro.

O ciclo do nitrogênio

O nitrogênio é outro importante elemento constituinte dos seres vivos, como parte das proteínas e dos ácidos nucleicos. O nitrogênio encontra-se fundamentalmente no **gás nitrogênio** (N_2), que corresponde a quase 78% dos gases da atmosfera. Ele também está presente nos restos orgânicos em decomposição.

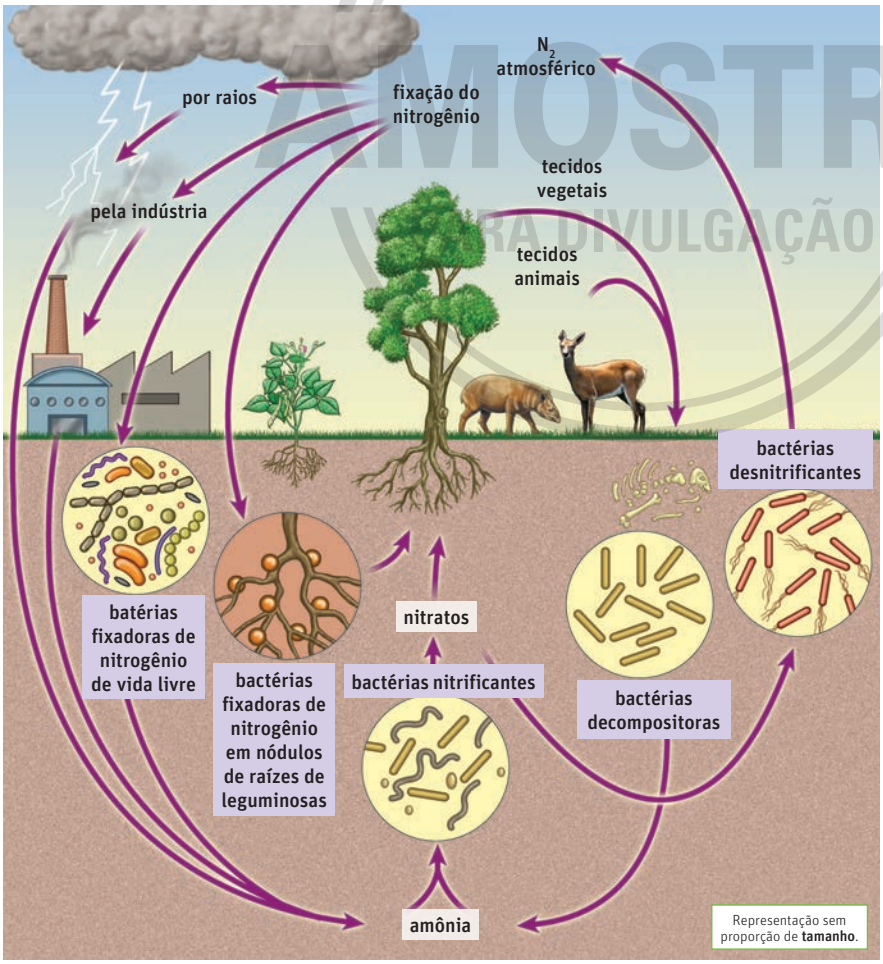
O N_2 atmosférico não pode ser incorporado diretamente pelos seres vivos. Apenas um pequeno grupo de organismos – como as bactérias dos gêneros *Azotobacter*, *Clostridium* e *Rhizobium*, e as cianobactérias *Nostoc* e *Anabaena* – tem essa capacidade. As **bactérias fixadoras de nitrogênio** do gênero *Rhizobium* vivem nas raízes das leguminosas, onde estabelecem **simbiose**, formando nódulos. O solo se enriquece de nitrogênio pela atividade das bactérias que decompõem a matéria orgânica e liberam o nitrogênio sob a forma de **amônia** (NH_3).

As **bactérias nitrificantes**, presentes no solo, transformam essa amônia em **nitritos**, e depois em **nitratos**, que serão utilizados pelas plantas na formação da matéria orgânica nitrogenada. Esse processo ocorre em duas fases. Na primeira, bactérias do gênero *Nitrosomonas* realizam a oxidação da amônia, transformando-a em nitritos (NO_2^-). Na segunda, bactérias do gênero *Nitrobacter* oxidam os nitritos, formando **nitratos** (NO_3^-).

Uma parte desses nitratos presentes no solo e na água é absorvida pelas plantas e transformada em proteínas, entrando, assim, na cadeia trófica. Os animais, quando se alimentam de plantas, incorporam esse nitrogênio, que será utilizado na síntese de suas próprias proteínas. O nitrogênio retorna ao ambiente pela excreção animal (sob forma de excretas nitrogenadas, como a ureia e o ácido úrico) e pela morte de plantas e animais.

Tanto as excretas quanto os restos de animais e plantas mortos sofrem a ação de agentes decompositores, como fungos e bactérias, originando, assim, a amônia, que é transformada em nitratos. Os nitratos e nitritos podem ser transformados em nitrogênio gasoso pela ação de **bactérias desnitrificantes**, voltando então para a atmosfera.

O gás nitrogênio também é fixado por descargas elétricas atmosféricas e por indústrias. Os raios transformam o gás nitrogênio em substâncias nitrogenadas, como a amônia, que são levadas ao solo pelas chuvas. Já o nitrogênio fixado industrialmente é utilizado na fabricação de adubos.



Paulo Cesar Pereira/ID/BR

Esquema do ciclo do nitrogênio. Cores-fantasia.

Fonte de pesquisa: Reece, J. B. et al. *Campbell Biology*. 10. ed. [S.l.]: Pearson, 2014. p. 1246.

Simbiose: associação entre dois ou mais organismos.

ATIVIDADES

5. Relacione os seguintes termos: respiração, fotossíntese, ciclo do carbono, ciclo do oxigênio.

6. Em relação ao ciclo do nitrogênio, responda:

a) Qual é a importância do nitrogênio para a constituição dos seres vivos?

b) De que maneira esse elemento é incorporado às plantas e aos animais? Destaque o papel das bactérias do gênero *Rhizobium* nesse processo.

AMOSTRA
VERSÃO DIVULGAÇÃO

Construção de um terrário para observar o ciclo da água

Objetivo

Observar o ciclo da água dentro de um terrário.

Material

- vidro de boca larga (ou garrafa PET transparente cortada ao meio)
- pequenas pedras (pedriscos) ou argila expandida em quantidade suficiente para preencher o fundo do recipiente
- carvão vegetal triturado em quantidade suficiente para formar uma fina camada no recipiente
- terra vegetal (terra adubada) em volume três a quatro vezes superior ao das pedras
- duas ou três mudas de plantas de espécies diferentes, como musgos, avencas, begônias ou qualquer outra espécie de pequeno porte
- cartolina
- elásticos
- pedaço de plástico transparente ou de cor clara em tamanho um pouco maior que o da boca do recipiente
- pá ou colher
- água filtrada



Vagner Coelho/ID/BR

Aspecto final do terrário. Cores-fantasia.

AMOSTRA PARA DIVULGAÇÃO

Procedimento

1. Sob a orientação do professor, forme com seus colegas grupos de três a quatro alunos. As atividades de montagem do terrário devem ser distribuídas entre os integrantes do grupo, de modo que todos participem.
2. Lave, enxágue e seque o recipiente, de maneira que não reste nenhum vestígio de sabão. Coloque as pedras ou a argila expandida no fundo do recipiente, formando uma camada. Acima, disponha o carvão. Por fim, coloque a terra.
3. Com a pá ou a colher, abra buracos na terra e plante as mudas. Molhe a terra, de modo que ela fique úmida, mas não encharcada. Cubra o recipiente com o plástico e utilize o elástico para fixá-lo. Coloque o terrário em um local que receba luz solar apenas indiretamente.
4. Durante uma semana, observe o terrário diariamente e anote as mudanças que você observa em relação à água. ATENÇÃO: as observações devem ser feitas sem a remoção do plástico.

Resultado

1. Cada grupo deve registrar, no caderno, as condições do terrário no dia da montagem, como as espécies plantadas, o estado de hidratação da terra (mais encharcada ou mais seca) e a espessura das diversas camadas de solo, entre outras.
2. Todos os dias, ao chegar à escola, após o intervalo e antes do horário de saída, anotem outros aspectos além desses, como se existem pequenas gotas de água sobre as folhas dos vegetais ou no plástico, se o vidro está embaçado, se a terra parece seca, etc.
3. Ao final de uma semana e após responder às perguntas da discussão, cada grupo deve fazer, em uma cartolina, um esquema do terrário e indicar com setas e legendas o ciclo da água dentro dele.

Discussão

1. Onde foi possível observar melhor a presença de água no terrário?
2. A quantidade de água colocada inicialmente se manteve constante até o final das observações? Justifique.

Não escreva no livro.

Alteração nos ciclos de carbono e nitrogênio preocupa pesquisadores

Para atender à crescente demanda por alimento e energia, a humanidade vem alterando o ciclo de dois importantes nutrientes para a vida no planeta: o nitrogênio e o carbono. Entre os efeitos indesejáveis da mudança estão a chuva ácida, o aumento na concentração de gases-estufa na atmosfera e a [...] elevação da temperatura global. [...]

Conforme [explica] [...] a professora da Universidade de Brasília (UnB) Gabriela Bielefeld Nardoto, os nutrientes terrestres estão estocados em quatro grandes "compartimentos" do planeta: atmosfera, litosfera [...], biosfera e hidrosfera. No caso do nitrogênio, molécula que entra na composição de proteínas e ácidos nucleicos [...], a maior parte está estocada na atmosfera há milhões de anos, na forma da molécula inerte N_2.

[...] Esse ciclo natural começou a ser alterado pelo homem há 10 mil anos com o advento da agricultura. Isso porque plantas leguminosas, em associação com bactérias fixadoras, são capazes de fixar no sistema terrestre grandes quantidades de nitrogênio.

Uma cultura de soja, por exemplo, fixa no solo de 70 a 250 quilos de nitrogênio por hectare por ano, contou Nardoto. Para se ter um parâmetro de comparação, um hectare de Floresta Amazônica fixa apenas de 3 a 7 quilos de nitrogênio por ano.



Delfim Martins/Pulsar Imagens

A agricultura afeta os ciclos biogeoquímicos de várias maneiras. Colheita de cana-de-açúcar em Guaíra (SP), 2013.

O processo de mudança foi intensificado nos últimos 150 anos com o aumento da produtividade agrícola, o uso de fertilizantes nitrogenados e a queima de combustíveis fósseis para geração de energia.

Uma pequena parte desse nitrogênio fixado pela ação do homem é transformada em proteína ao longo da cadeia alimentar, mas grandes quantidades são perdidas e retornam à atmosfera não como N_2, mas como óxido nítrico (NO) – reagindo com o vapor d'água e dando origem à chuva ácida – ou como óxido nitroso (N_2O), um dos gases de efeito estufa.

[...]

Sequestro de carbono

Os impactos das mudanças promovidas pelo homem nos estoques de carbono [são explicados pela] pesquisadora Simone Aparecida Vieira, do Núcleo de Estudos e Pesquisas Ambientais (Nepam) da Universidade Estadual de Campinas (Unicamp) [...]

"Temos hoje o dobro de moléculas de dióxido de carbono (CO_2) em volta de nossas mãos do que havia na época em que Charles Darwin passou pelo Brasil (século 19)", disse Vieira.

Segundo a pesquisadora, isso ocorre porque, desde a Revolução Industrial, as atividades humanas têm jogado na atmosfera grandes quantidades de carbono que estavam estocadas na litosfera, na forma de carvão, petróleo, gás natural, e no sistema terrestre, principalmente nas florestas.

"No que se refere ao ciclo do carbono na Terra, as florestas prestam dois importantes serviços ecossistêmicos: o sequestro de carbono da atmosfera, que ocorre durante a fotossíntese, e a fixação e armazenamento desse nutriente", disse. [...]

"As florestas tropicais estocam grandes quantidades de carbono e de outros nutrientes e, quando são desmatadas, todo esse material é perdido. Também perdemos o serviço de sequestro de carbono da atmosfera, pois não há mais fotossíntese", disse Vieira. [...]

Toledo, K. Agência Fapesp. Disponível em: <http://agencia.fapesp.br/alteracao_nos_ciclos_de_carbono_e_nitrogenio_preocupa_pesquisadores/19337/>. Acesso em: 15 mar. 2016.

AMOSTRA PARA DIVULGAÇÃO

PARA DISCUTIR

1. Florestas preservadas são muitas vezes vistas como um obstáculo para o progresso e desenvolvimento de um local. Por quê? Cite argumentos que podem ser usados para contrariar essa afirmação.
2. Muitas atividades humanas têm alterado os ciclos biogeoquímicos que ocorrem na Terra há milhões de anos. Como é possível estimar os efeitos dessas mudanças?
3. Com base no texto, qual a relação entre chuva ácida e as alterações descritas para o ciclo do nitrogênio?

Não escreva no livro.

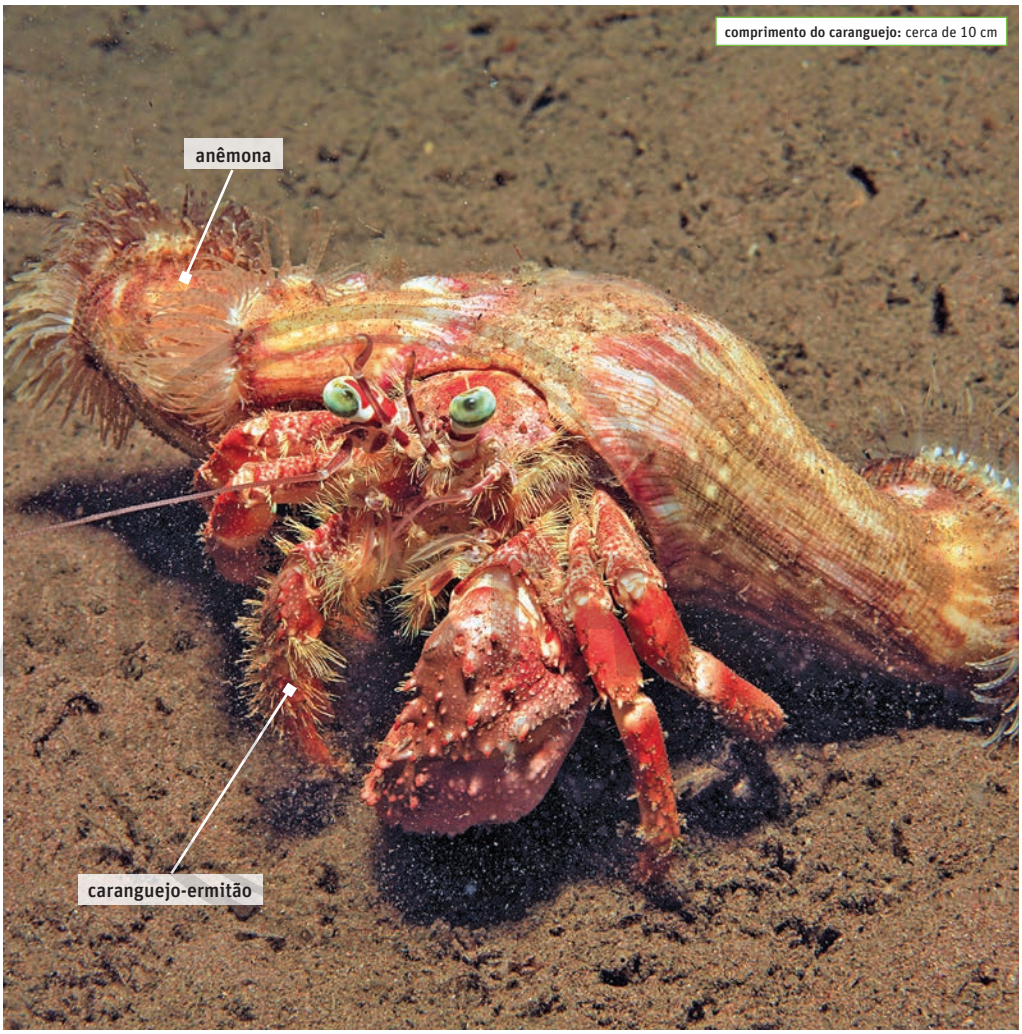
CAPÍTULO

13 Relações ecológicas

O QUE VOCÊ VAI ESTUDAR

Interações ecológicas entre seres vivos de uma mesma espécie.

Interações ecológicas entre seres vivos de espécies diferentes.



Imagebroker/Alamy/Latinstock

Os caranguejos-ermitões estabelecem relações com algumas espécies de moluscos e de anêmonas. É comum encontrar esses caranguejos dentro de conchas de moluscos mortos, onde se abrigam. Algumas vezes, o caranguejo chega a matar o molusco que possui a concha que lhe interessa. Além disso, ele pode colocar algumas anêmonas sobre a concha, o que aumenta sua proteção, uma vez que as anêmonas possuem tentáculos urticantes que impedem a aproximação de predadores. A anêmona, por sua vez, ganha deslocamento, de carona com o caranguejo, e aproveita as sobras de seus alimentos.

As relações ecológicas constituem as interações que os indivíduos de uma espécie mantêm com indivíduos da mesma espécie ou de espécies diferentes. As associações entre dois ou mais organismos recebem o nome genérico de simbiose (alguns autores usam esse termo apenas para as relações nas quais todos os seres envolvidos são beneficiados).

Essas interações possibilitam que eles se alimentem, encontrem abrigo, se acasalem, cuidem da prole, etc. Algumas dessas interações, no entanto, podem ser prejudiciais aos indivíduos envolvidos, como quando os recursos são escassos.

Este capítulo trata da enorme diversidade de interações que os seres vivos mantêm entre si, garantindo sua sobrevivência e reprodução.

Não escreva no livro.

Relações ecológicas

Em uma comunidade ecológica, os indivíduos de uma espécie interagem entre si e com os membros de outras espécies. Essas interações, denominadas **relações ecológicas**, ocorrem devido às atividades que os organismos realizam para obter recursos necessários à sua sobrevivência e reprodução.

Conforme as características próprias da espécie e do nicho ecológico que ela ocupa, os recursos necessários à sobrevivência podem variar bastante, incluindo desde água, alimento e abrigo até condições específicas de luz, temperatura e umidade, disponibilidade de material para a construção de ninhos, condições necessárias para o acasalamento, etc.

As relações ecológicas podem ocorrer entre indivíduos da mesma espécie, sendo denominadas **relações intraespecíficas**, ou entre indivíduos de espécies diferentes, recebendo o nome de **relações interespecíficas**. Na natureza, um mesmo indivíduo mantém relações tanto intraespecíficas como interespecíficas.

Algumas relações promovem benefícios para todos os envolvidos, como a organização social das abelhas, em que a divisão de trabalho beneficia toda a colmeia.

Outras relações são benéficas para uma parte e indiferentes, ou neutras, para outras. É o caso das plantas epífitas, que se fixam a outras plantas sem, contudo, prejudicá-las.

Porém, há relações nas quais o benefício de um indivíduo significa necessariamente o prejuízo de outro. Esse é o caso, por exemplo, da relação entre predadores e presas ou da competição por alimentos.

Observando as imagens de **A** a **E** e lendo as legendas, você consegue deduzir que espécies são beneficiadas e quais são prejudicadas em cada relação?



Ruslan Kokarev/Dreamstime.com/ID/BR

O gafanhoto (*Tropidacris collaris*) é um animal herbívoro que se alimenta principalmente de folhas.



Juniors/Other Images

O pássaro-palito (*Pluvianus aegyptius*; cerca de 20 cm de comprimento) alimenta-se dos restos de comida que retira da boca do crocodilo (*Crocodylus porosus*; cerca de 6 m de comprimento).



Fabio Colombini/Acervo do fotógrafo

A pulga é um inseto que se alimenta do sangue de seu hospedeiro, como o ser humano.



Márcio Lourenço/Pulsar Imagens

As orquídeas fixam-se no tronco das árvores, onde ficam mais expostas à luz solar.



Musat Christian/Dreamstime.com/ID/BR

As abelhas se alimentam do néctar das flores. O pólen impregna o corpo desses insetos e pode ser levado para outras flores da mesma espécie.

Relações intraespecíficas

As relações intraespecíficas são muito variadas e diferenciam-se conforme as características da espécie, podendo ser benéficas, prejudiciais ou até mesmo neutras para algum dos envolvidos. Entre as plantas, por exemplo, há espécies em que os indivíduos se mantêm afastados uns dos outros; em outras, a sobrevivência depende da proximidade dos semelhantes. Entre os predadores de grande porte, é comum a vida solitária, com encontros **esporádicos** para acasalamento ou caça. Já entre os herbívoros, a vida em grupo é frequente, embora isso não seja uma regra.

Essas relações podem ser classificadas em dois grupos principais: relações de **cooperação** e relações de **competição**.

Relações intraespecíficas de cooperação

Em várias situações, os indivíduos de uma mesma espécie se relacionam de forma a proporcionar benefícios para todos os envolvidos na relação. Esse comportamento cooperativo pode ter diferentes funções, como aumentar a proteção, economizar energia e otimizar a caça ou o cuidado com a prole.

A cooperação nem sempre é muito evidente, mas geralmente está presente nas espécies cujos indivíduos permanecem próximos uns dos outros. Nas savanas, por exemplo, animais herbívoros, como as zebras, pastam em grandes grupos, protegendo-se mutuamente do ataque de predadores, como leões.

Estudos mostram que a formação em V (imagem **A**) observada no voo de várias espécies de aves migratórias proporciona uma redução da resistência do ar, o que diminui a energia gasta por cada indivíduo quando comparada à que seria gasta se o voo fosse solitário. Economia de energia também ocorre quando, em dias frios, os cachorros dormem enrodilhados uns aos outros.

As piranhas constituem outro exemplo de colaboração entre indivíduos da mesma espécie, pois, mesmo pequenas, organizam-se em cardumes e atacam presas relativamente grandes (imagem **B**).

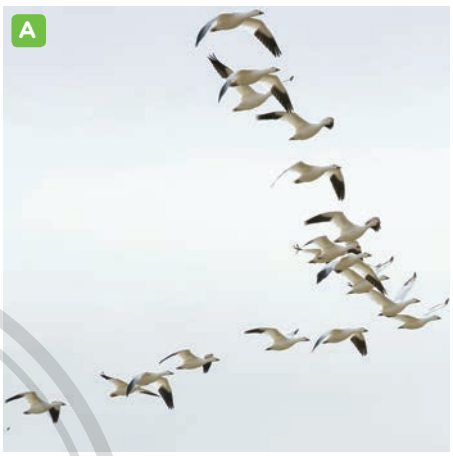
Em certas espécies, porém, a vida em grupo tem um caráter ainda mais organizado, e a eficiência do grupo em obter os recursos do meio é resultante da especialização das funções dos indivíduos. Esses casos configuram as **colônias** e as **sociedades**, que veremos a seguir.



Mark Bowler/Photoresearchers/Latinstock

Cardume de piranhas da espécie *Pygocentrus nattereri* no rio Amazonas.

Esporádico: de ocorrência pouco frequente.



Ken Canning/iStock/Getty Images

Exemplo de relação de cooperação. O voo em V proporciona economia de energia para aves migratórias, como os gansos (cerca de 1,5 m de envergadura.

SAIBA MAIS

Por outros motivos!

Aviões militares muitas vezes operam em formação em V, mas estão longe de desfrutar dos benefícios obtidos pelas aves nesse tipo de voo. Com a tecnologia disponível, os aviões criam uma turbulência no ar que os impede de se manterem muito próximos uns dos outros.

No caso desses aviões, a formação em V objetiva apenas permitir a visibilidade para todos os componentes da esquadrilha.



Oleg Kozlov/Alamy/Latinstock

Aviões militares operando em formação em V.

AMOSTRA PARA DIVULGAÇÃO

Não escreva no livro.

Colônias

A colônia é um tipo de organização na qual os indivíduos de uma mesma espécie vivem intimamente ligados entre si, beneficiando-se mutuamente. Um exemplo são os corais, que podem abrigar milhões de indivíduos num mesmo esqueleto calcário (imagem **A**), como ocorre na Grande Barreira de Coral australiana.

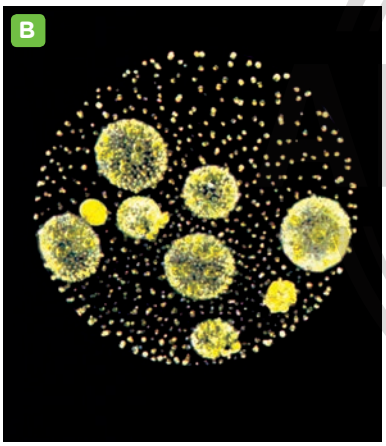
Outro exemplo é a alga *Volvox* sp., uma colônia em cujo interior há indivíduos unicelulares especializados na reprodução. Em sua periferia e na superfície encontram-se indivíduos unicelulares biflagelados, que proporcionam a movimentação de toda a colônia (imagem **B**).

A dependência e a especialização entre os indivíduos nas colônias podem ser tão grandes que eles chegam a dar a impressão de serem órgãos complementares de um único organismo. Exemplo extremo de colônia é a caravela-portuguesa (*Physalia pelagica*), um cnidário marinho muitas vezes identificado erroneamente como água-viva (imagem **C**). Esse ser, aparentemente um único organismo, na verdade é composto por vários indivíduos chamados zooides, que se apresentam na forma de pólipos (como as anêmonas) ou de medusas (como as águas-vivas). Em uma caravela, com a especialização, os indivíduos perderam a capacidade de executar as outras funções. Assim, por exemplo, os pólipos responsáveis pela reprodução são incapazes de obter alimentos e dependem da colônia para se manter vivos.



Penyuganu/Dreamstime.com/ID/BR

Os corais são colônias formadas por indivíduos chamados pólipos (cada pólipo mede cerca de 3 a 55 mm de diâmetro, a depender da espécie).



Dennis Kunkel Microscopy/Phototake/Alamy/Latinstock



Norbert Wu/Minden/Fotoarena

Exemplos de colônias. Em (**B**), a alga colonial *Volvox aureus*. (Foto ao microscópio óptico; aumento de cerca de 65 vezes.) Em (**C**), um exemplar de caravela-portuguesa.

BIOLOGIA SE DISCUTE

Quem é o indivíduo?

A caravela-portuguesa, bem como outras espécies da ordem dos sifonóforos, apresenta um problema: Quem é o indivíduo? Seriam os zooides ou toda a colônia?

A resposta não é simples. Ecologicamente, a colônia atua como um único organismo, seja quando captura suas presas, seja quando é capturada por outros predadores.

Além disso, ela vive ou morre como um todo, e todas as suas partes são geneticamente iguais, pois são produzidas por brotamento a partir de um primeiro zooide oriundo de um ovo fertilizado.

No entanto, do ponto de vista reprodutivo, os zooides dos sifonóforos são, eles próprios, indivíduos. Afinal cada pólipo e cada medusa são gerados individualmente a partir de um zooide genitor.



Norbert Wu/Minden/Fotoarena

Sifonóforo, um cnidário colonial marinho (cerca de 40 cm de comprimento, incluindo os tentáculos).

AMOSTRA
PARA DIVULGAÇÃO

Sociedades

A sociedade é um tipo de organização entre indivíduos da mesma espécie caracterizado pela cooperação mediante algum grau de divisão de trabalho e pela comunicação entre seus membros. Esses indivíduos, diferentemente do que ocorre nas colônias, são fisicamente independentes, apesar de compartilharem um mesmo território.

O grau e a forma de organização das sociedades são muito variáveis entre as espécies. Os leões, considerados os mais sociais entre os felinos, vivem em grupos compostos geralmente de um a seis machos e quatro a doze fêmeas adultas com seus filhotes. Cada grupo mantém e defende seu território da invasão por machos de outros grupos, atividade executada predominantemente pelos machos, por meio da demarcação com urina e do patrulhamento das fronteiras. A extensão territorial varia conforme a disponibilidade de presas, e a caça é desempenhada geralmente pelas fêmeas do grupo (imagem **A**).

Entre os insetos, algumas espécies constituem sociedades chamadas de **eussociais**. As abelhas, as vespas, os cupins e as formigas organizam-se em sociedades com clara hierarquia e divisão de trabalho entre os indivíduos, formando grupos especializados, denominados **castas** ou classes sociais. A especialização dos indivíduos é tal que permite identificar adaptações na estrutura do corpo de cada um de acordo com a função desempenhada na sociedade. Além disso, nenhum indivíduo dessas espécies pode sobreviver fora do grupo social em que foi criado. Assim, a formiga de um formigueiro, por exemplo, não pode se mudar para outro.

Essas sociedades são divididas em três castas principais: machos, rainhas e operárias. A função dos machos é quase restrita à inseminação da rainha, que é responsável pela produção de novos indivíduos. As operárias não se reproduzem e desempenham funções de apoio e conservação do grupo social; conforme a espécie, elas podem ser especializadas na busca de alimentos, na defesa ou na limpeza do ninho.

Nas sociedades de cupins, a casta das operárias é composta por indivíduos estéreis e é dividida entre as operárias propriamente ditas, responsáveis por coletar alimento e cavar os longos e complexos túneis dos ninhos construídos no interior do solo (imagens **B** e **C**) ou da madeira, e os soldados, dotados de grandes mandíbulas e responsáveis pela defesa do cupinzeiro contra invasores. O macho, ao contrário do que ocorre nas sociedades de abelhas e vespas, é um membro permanente do cupinzeiro. No período reprodutivo, os reis e as rainhas saem dos cupinzeiros em revoada exibindo suas formas aladas, popularmente conhecidas por aleluias ou sirirís. Uma vez no solo, perdem as asas, formam casais e constroem ninhos. Os ovos ficam abrigados no interior do abdome da rainha, que atinge um grande tamanho.

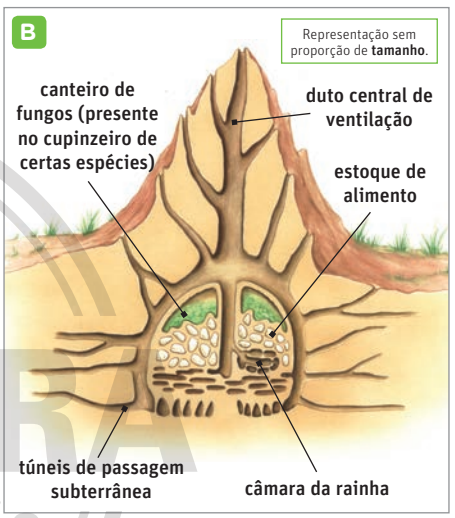
Nas sociedades de insetos, a comunicação entre os indivíduos é feita por meio de compostos químicos, os **feromônios**, produzidos por glândulas especializadas. Quando excretadas, essas substâncias provocam reações fisiológicas e/ou comportamentais em outros indivíduos da mesma espécie.

Existem feromônios com diferentes funções, como demarcação de território, atração sexual, alarme e localização de alimento. Por exemplo, nas sociedades das formigas conhecidas como saúvas (espécies do gênero *Atta*), a trilha química de feromônio no chão marca o caminho de volta ao formigueiro. Nas sociedades das abelhas, as operárias são estéreis devido à ação de feromônios presentes nas secreções da rainha, que inibem o desenvolvimento de suas gônadas sexuais.



Poelking/Blickwinkel/Alamy/Latinstock

Leoas (cerca de 2 m de comprimento) predando um búfalo (cerca de 2 m de comprimento). A sociedade dos leões é organizada em grupos em que os machos são responsáveis pela manutenção do território, e as fêmeas, pela caça.



Jurandir Ribeiro/ID/BR

Representação esquemática do interior de um cupinzeiro. Cores-fantasia.



Fábio Colombini/Acervo do fotógrafo

Os cupinzeiros podem abrigar dezenas de milhares de indivíduos. Eles apresentam complexa estrutura interna, com câmaras destinadas a diferentes funções e um sistema de canais de ventilação que permite a manutenção adequada da temperatura e da umidade.

AMOSTRA PARA DIVULGAÇÃO

Não escreva no livro.

Relações intraespecíficas de competição

Indivíduos da mesma espécie ocupam o mesmo nicho ecológico e necessitam dos mesmos recursos, como água, alimentos, parceiros para reprodução, espaço, luz, materiais para a construção de ninhos, etc. A **competição intraespecífica** ocorre quando um ou mais desses recursos não são suficientes para atender às necessidades de todos os indivíduos da mesma espécie que convivem num mesmo local. Nesse caso, os indivíduos passam a disputar os recursos disponíveis.

Esse tipo de competição pode ocorrer de duas formas: direta e indireta. A forma direta ocorre por meio de lutas, agressões e outros comportamentos pouco amistosos, comumente observados entre os animais (imagem **A**), ou pela produção de substâncias químicas que inibem o crescimento de outros indivíduos, como se observa em algumas espécies de plantas e em moluscos que habitam costões rochosos. A maior parte das disputas por parceiros sexuais entre animais também envolve a forma direta de competição intraespecífica.

A forma indireta, em geral menos evidente, ocorre quando um indivíduo consome um recurso de tal forma que acaba por torná-lo indisponível para os outros. Por exemplo, uma espécie de planta que necessita de luz intensa e, ao crescer, produz sombra ao seu redor, compete com as mais jovens pela luminosidade e inibe o desenvolvimento destas. Entre os animais, em condições de escassez, um indivíduo mais ativo pode encontrar fontes de alimento com mais facilidade e deixar seus semelhantes à míngua.

A competição intraespecífica também pode apresentar conformações bastante complexas, caso da anêmona *Anthopleura elegantissima* (imagem **B**), comumente encontrada no litoral da costa oeste da América do Norte.

Essa anêmona vive na faixa dos costões rochosos exposta aos efeitos da maré e está bem adaptada ao impacto das ondas, à ausência da água na baixa da maré e à vida submersa na maré cheia. Ela pode viver solitariamente ou manter uma relação de cooperação intraespecífica, agregada a centenas de outras iguais a ela, que formam "tapetes" de anêmonas sobre as rochas.

Os "retalhos" desse tapete são clones resultantes de uma única anêmona, pois, apesar de ser uma espécie bissexuada, com machos e fêmeas, a *Anthopleura elegantissima* se reproduz assexuadamente quando o hábitat é favorável a isso. Assim, todos os indivíduos de um "tapete" apresentam o mesmo material genético e, mesmo sendo móveis, permanecem próximos uns dos outros.

No entanto, quando uma anêmona se aproxima e encosta seus tentáculos nos de outra da mesma espécie, mas geneticamente diferente, inicia-se uma série de comportamentos de defesa e ataque de ambas as partes. Nessa situação, as anêmonas em luta disparam nematocistos, estruturas que possuem substâncias tóxicas. A competição só termina quando um dos indivíduos finalmente se afasta.

Alguns estudos sugerem que a competição intraespecífica ocorre também entre as larvas de várias espécies de insetos. A fêmea do besouro *Neopallodes inermis*, comum no Japão, coloca seus ovos em cogumelos do gênero *Collybia*. Esses cogumelos servem de alimento para o besouro em sua fase larval. Estudos mostraram, porém, que, quando há boa disponibilidade de cogumelos, as fêmeas escolhem os maiores para colocar seus ovos, diminuindo a chance de ocorrer competição entre as suas larvas e as de outras fêmeas da mesma espécie.



Nico Smit/iStock/Getty Images

Exemplo de competição intraespecífica. As disputas sexuais podem ser violentas, como a dos antílopes, mas raramente levam à morte.



Michael Patrick O'Neill/Alamy/Latinstock

Anêmona marinha *Anthopleura elegantissima*.

ATIVIDADES

1. Explique com suas palavras o significado da seguinte afirmação: "A competição é uma relação que se estabelece entre organismos que exigem um mesmo recurso limitado".

AMOSTRA
PARA DIVULGAÇÃO

Relações interespecíficas

Como nas relações intraespecíficas, as relações ecológicas entre indivíduos de espécies diferentes também podem ser benéficas, prejudiciais ou neutras para algum dos envolvidos. Entre as relações benéficas ou neutras, estão a **protocooperação**, o **comensalismo**, o **inquilinismo** e o **mutualismo**. A **competição**, a **predação**, o **herbivorismo** e o **parasitismo** prejudicam ao menos um dos indivíduos da relação.

Protocooperação

A protocooperação é uma relação de cooperação entre duas espécies que se associam, gerando benefícios para todos os indivíduos envolvidos. Essa associação, no entanto, não é obrigatória, pois os indivíduos das duas espécies podem viver isoladamente.

Um exemplo clássico de protocooperação, já visto no início deste capítulo, é a relação que os caranguejos-ermitões mantêm com algumas espécies de anêmonas. É comum encontrar esses caranguejos dentro de conchas de moluscos, onde se abrigam. Muitas vezes, sobre a concha ocupada pelo caranguejo encontram-se algumas anêmonas.

Por trás da aparência bizarra desse conjunto, há benefícios para os caranguejos, pois as anêmonas possuem tentáculos urticantes, que impedem a aproximação de predadores. As anêmonas, por sua vez, aumentam sua mobilidade utilizando os caranguejos como meio de transporte, e também aproveitam as sobras de seus alimentos.

Nos pastos e nas savanas é comum observar a presença de aves pousadas no dorso de bois, búfalos e cavalos, alimentando-se de carrapatos aderidos à pele desses animais (imagem **A**). Nessa protocooperação, os mamíferos se veem livres dos parasitas incômodos, e as aves obtêm alimento dos carrapatos.

Comensalismo

Nessa relação ecológica, uma das espécies é beneficiada por obter recursos alimentares a partir da outra, para a qual a relação é neutra. Os urubus, por exemplo, se alimentam de restos de comida descartados pelo ser humano em lixões; hienas aproveitam a carniça remanescente da caça de leões; cracas aderem ao corpo de algumas baleias e assim se deslocam e aumentam a sua capacidade de filtrar alimento.

Rêmoras são peixes que possuem a nadadeira dorsal modificada em uma ventosa, com a qual ela se prende ao corpo de animais como tartarugas e tubarões (imagem **B**). Nesse caso, o tubarão não se incomoda com essa "carona" e transporta a rêmora consigo. Quando ele captura e devora uma presa, a rêmora se alimenta dos restos da presa capturada.



Pete Favelle/Dreamstime.com/D/BR

O búfalo-d'água relaciona-se com o pica-bois-de-bico-vermelho, ave que se alimenta de carrapatos e livra o mamífero desses parasitas, o que caracteriza uma relação de protocooperação. Porém, há autores que afirmam que as aves também se alimentam do sangue de ferimentos do búfalo e que, nesse caso, a relação entre os dois deve ser considerada parasitismo.



iStock/Getty Images

A rêmora "pega carona" no ventre do tubarão e assim se alimenta dos restos de suas presas.

AMOSTRA PARA DIVULGAÇÃO

Não escreva no livro.

Mutualismo

O mutualismo é uma relação de cooperação na qual duas espécies obtêm benefícios a partir de uma associação tão interdependente que uma não pode sobreviver sem a presença da outra.

A capacidade da digestão de celulose pelos cupins, por exemplo, resulta de uma relação de mutualismo desses insetos com certas espécies de protozoários. Os protozoários que vivem no interior do intestino dos cupins digerem a celulose da madeira ingerida por estes. Os cupins, que não são capazes de digerir a celulose, se beneficiam dessa relação, ao aproveitarem os produtos da digestão da celulose. Por outro lado, eles atuam como fonte de nutrição e proteção para esses protozoários, que só sobrevivem em seu interior.

Outros exemplos são as associações entre plantas e insetos que atuam como seus agentes polinizadores (imagem **A**), entre raízes de plantas e fungos que constituem as micorrizas (imagem **B**) e entre algas e fungos que formam os liquens (imagem **C**).

Inquilinismo

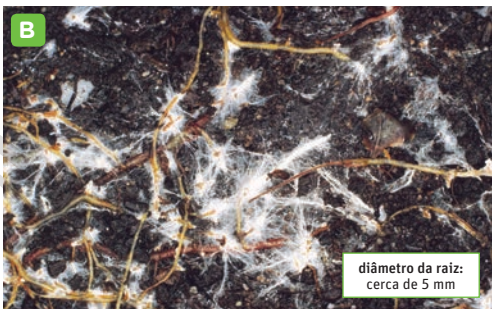
O inquilinismo ocorre quando um organismo de uma espécie vive sobre ou no interior do organismo de outra espécie, porém sem prejudicá-lo. Assim, a relação oferece benefícios para o inquilino, que obtém abrigo e proteção, mas é indiferente para o hospedeiro.

Os exemplos mais tradicionais são as plantas epífitas (do grego *epi*, "em cima", e *phyto*, "planta"), como as orquídeas e as bromélias (imagem **D**). Essas plantas se fixam nos troncos e ramos das árvores e assim obtêm maior acesso à luz solar, necessária a sua sobrevivência.



Howard Creek/Dreamstime.com/ID/BR

Muitos insetos, como essa borboleta, dependem do néctar das plantas para se alimentar. As plantas, por sua vez, dependem dos insetos para serem polinizadas. Nos casos em que existe mutualismo, a planta é polinizada por apenas uma espécie de inseto, e seu néctar constitui o principal alimento do polinizador.



Dr. Jeremy Burgess/SPL/Latinstock

As micorrizas são uma associação entre fungos (em branco) e raízes de plantas (em marrom), na qual os fungos se alimentam da matéria orgânica proporcionada pela planta e facilitam a absorção de minerais pelas raízes.



Radu Razvan/Dreamstime.com/ID/BR

Nos liquens, os fungos fornecem a água e os nutrientes necessários para as algas. Estas, por sua vez, produzem, por meio da fotossíntese, a matéria orgânica que serve de alimento ao fungo.



Fábio Colombini/Acervo do fotógrafo

As epífitas, como a bromélia, beneficiam-se do inquilinismo para obter luz solar, especialmente em matas fechadas, como a Mata Atlântica.

BIOLOGIA TEM HISTÓRIA

As bactérias fixadoras de nitrogênio e a soja brasileira

Os estudos da agrônoma Johanna Döbereiner (1924-2000) contribuíram muito para aprimorar a soja brasileira, tornando-a competitiva no mercado internacional.

Nascida na Alemanha, Döbereiner graduou-se na Universidade de Munique, imigrando para o Brasil em 1951, quando começou a trabalhar no Laboratório de Microbiologia de Solos do Ministério da Agricultura em Seropédica (RJ).

Em suas pesquisas, ela constatou que as bactérias do gênero *Rhizobium* atuam como adubo natural das leguminosas. Alojadas em nódulos nas raízes, essas bactérias sobrevivem à custa da matéria orgânica produzida pela planta. Elas fixam também o nitrogênio, ou seja, transformam o nitrogênio gasoso em amônia, cedida à planta para a síntese de aminoácidos. Assim, as bactérias desse gênero estabelecem uma relação de mutualismo com a planta.

O vasto conjunto de trabalhos de Johanna Döbereiner tem inspirado inúmeras pesquisas que contribuíram para a excelência da soja brasileira, tornando o Brasil o maior produtor mundial desse produto agrícola. Em 1997, além de inúmeros prêmios e distinções, Döbereiner chegou a receber indicação para o Prêmio Nobel de Química.

1. Você conhece outras pesquisadoras que, assim como Johanna Döbereiner, se destacam na ciência feita no Brasil? Quem são elas e em que área atuam?
2. Caso você não conheça nenhuma pesquisadora brasileira, faça uma pesquisa na internet e responda à questão anterior.

AMOSTRA PARA DIVULGAÇÃO

Competição

As razões que levam à competição interespecífica são praticamente as mesmas apresentadas no tópico referente à competição intraespecífica. A competição interespecífica ocorre quando duas ou mais espécies diferentes ocupam o mesmo nicho ecológico ou quando ocorre sobreposição parcial do nicho e elas dependem de alguns recursos comuns, como alimento, espaço, luminosidade, etc., disputando-os entre si. Esse tipo de competição também pode se dar de forma direta ou indireta, como ocorre na competição intraespecífica.

A anêmona *Anthopleura elegantissima*, por exemplo, que, como vimos, compete por espaço diretamente com as outras anêmonas da sua espécie, também utiliza seus tentáculos venenosos quando um eventual intruso de outra espécie se aproxima. Da mesma forma, as fêmeas do besouro *Neopallodes inermis*, que evitam a competição com outras fêmeas da mesma espécie, ao escolherem os maiores cogumelos, competem de maneira indireta com outras espécies que colocam seus ovos no mesmo gênero de cogumelo.

As situações de competição interespecífica são muito variadas e frequentes. Indivíduos de espécies diferentes que se alimentam de capim, como a cigarrinha e o gado bovino, e diferentes espécies de insetos e de beija-flores que se alimentam do néctar de flores da mesma espécie de plantas, competem por alimento. Anêmonas, algas e mariscos que habitam costões rochosos marinhos competem por espaço (imagem **A**). As diferentes espécies de plantas de uma floresta competindo por luz também constituem exemplos desse tipo de relação.



Saller/Blickwinkel/Alamy/Latinstock

Anêmonas, algas e crustáceos habitam o costão rochoso, competindo por espaço nesse hábitat.

Há situações, no entanto, em que a competição se acirra, especialmente quando os recursos são limitados e a sobreposição de nichos ecológicos entre as espécies competidoras é grande. Nesse caso, a espécie que utiliza o recurso de forma mais eficiente acaba excluindo a outra ou levando-a a explorar outros recursos ou ambientes.

Um exemplo de coexistência entre espécies competidoras ocorre entre duas espécies de abelhas conhecidas como mamangavas, nas Montanhas Rochosas do Colorado (Estados Unidos). Quando essas abelhas compartilham a mesma área, a espécie *Bombus appositus* visita principalmente as flores da espora (imagens **B** e **C**), e a espécie *Bombus flavifrons* visita principalmente as flores do acônito (imagens **D** e **E**).



Prof. David W. Inouye/Dept. de Biologia-Universidade de Maryland, EUA



Rolf Nussbaumer/Alamy/Latinstock

(**B**) Abelha da espécie *Bombus appositus*. (**C**) Flores da espora (*Delphinium barbeyi*).



Prof. David W. Inouye/Dept. de Biologia-Universidade de Maryland, EUA



Bob Gibbons/Alamy/Latinstock

(**D**) Abelha da espécie *Bombus flavifrons*. (**E**) Flores do acônito (*Aconitum columbianum*).

Essas abelhas, portanto, exibem tal comportamento apenas em áreas habitadas por ambas as espécies do inseto. Em áreas onde ocorre apenas uma delas, as abelhas visitam as flores das duas espécies de plantas. Diz-se, portanto, que duas espécies que ocupam nichos muito semelhantes só podem coexistir quando ocorre especialização do nicho ecológico de uma ou de ambas, de forma que elas deixem de disputar os mesmos recursos.

ATIVIDADES

2. Em sua opinião, o ser humano estabelece relação de competição com outras espécies? Justifique.

AMOSTRA PARA DIVULGAÇÃO

Não escreva no livro.

Predação

A predação interespecífica é a relação em que o indivíduo de uma espécie mata um indivíduo de outra espécie para se alimentar. Em geral, o conceito de predação está associado aos "grandes predadores", ou seja, àqueles animais que estão no topo das cadeias alimentares, como os leões, as onças, os ursos, os tigres e o ser humano. Mas há uma ampla gama de organismos **predadores**, e nem todos são de grande porte. Alguns nem mesmo ocupam o topo das cadeias alimentares ou são animais.

As plantas carnívoras são um exemplo de predação entre os vegetais. Essas plantas complementam a nutrição com materiais obtidos pela digestão e decomposição de pequenos insetos e animais, capturados por elas em folhas modificadas (imagens **A** e **B**). Dessa forma, elas sobrevivem em solos encharcados e pobres em nutrientes.

Tamanduás, que se alimentam de formigas (imagem **C**); sapos, que capturam insetos; gaviões comedores de serpentes; e joaninhas que comem pulgões (imagem **D**) são outros exemplos de predadores.

Alguns predadores forrageiam, isto é, movimentam-se pelo ambiente em busca de **presas**. Outros utilizam a estratégia da espera, e há ainda aqueles que preparam armadilhas, como as aranhas que tecem teias para capturar insetos.



Claude Nuridsany & Marie Perennou/SPL/Latinstock



Lone Elisa Plougmann/iStock/Getty Images

As plantas carnívoras apresentam diferentes mecanismos de captura de presas. (**A**) Folhas modificadas da *Nephentes madagascanensis* permanecem parcialmente cheias de líquido e atraem os insetos, que morrem afogados em seu interior. (**B**) Dotadas de um mecanismo semelhante a uma armadilha, as folhas adaptadas da *Dionaea muscipula*, conhecida como papa-moscas, são sensibilizadas pelo toque do inseto e fecham-se rapidamente, aprisionando-o.



Michele Loftus/Dreamstime.com/ID/BR



Falcon Stock/Dreamstime.com/ID/BR

(**C**) Tamanduá-bandeira comendo formigas. (**D**) Joaninhas comendo pulgões-negros.

SAIBA MAIS

Canibalismo

Canibalismo é o nome dado às relações de predação intraespecíficas. Apesar de ser um caso incomum, indivíduos da mesma espécie podem ter relações de predação em algumas condições.

Situações em que a população cresce demasiadamente e há falta de recursos essenciais, como espaço, alimento e água, podem provocar a ocorrência de canibalismo. Esse comportamento é observado, por exemplo, em criatórios de camundongos e de joaninhas.

Na natureza, ele é comum entre as lagartas-do-cartucho do milho (*Spodoptera frugiperda*). As larvas maiores devoram as menores, evitando o desenvolvimento de vários indivíduos na mesma espiga.

O canibalismo também faz parte do comportamento sexual de algumas espécies. A fêmea da aranha viúva-negra (*Latrodectus mactans*) é conhecida por matar e se alimentar de seu parceiro sexual após a cópula. O mesmo comportamento é adotado pela fêmea do louva-a-deus, que muitas vezes chega a arrancar a cabeça do macho ainda durante a cópula, terminando o "banquete" apenas após ter sido fecundada.



Bruce Coleman Inc./Alamy/Latinstock

Casal de louva-a-deus acasalando. A fêmea, à direita, já devorou a cabeça do macho.

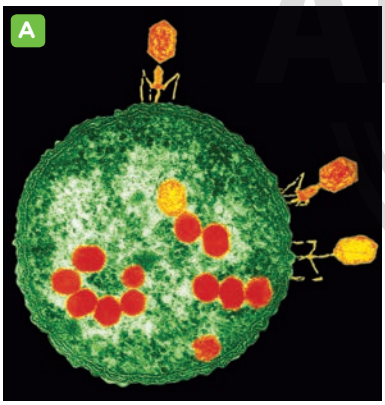
Parasitismo

O parasitismo é uma relação em que uma espécie, o **parasita**, utiliza o organismo de outra, o **hospedeiro**, como fonte de alimento (e muitas vezes também como hábitat), necessariamente lhe causando prejuízos. Em geral, os prejuízos causados pelo parasita não chegam a debilitar o hospedeiro de forma significativa e dificilmente ocasionam a sua morte. Essa relação envolve grande especialização de ambas as partes. O hospedeiro se especializa em se proteger dos danos causados pelo parasita, enquanto este se especializa em evitar essas reações de defesa, sendo possível, assim, obter os recursos de que necessita sem eliminar seu hospedeiro.

Diversos parasitas usam um terceiro organismo, que funciona como **vetor** de dispersão entre um hospedeiro e outro. Geralmente, o vetor não é afetado pelo parasita, funcionando apenas como agente contaminador. É por isso que muitas campanhas de combate a doenças parasitárias visam à eliminação do vetor, como ocorre no caso da dengue.

Espécies parasitas ocorrem entre vírus, bactérias, protozoários, fungos, vegetais e animais. Parasitas que vivem na superfície externa de seus hospedeiros, como os carrapatos, as pulgas e os fungos que causam micoses no ser humano, são denominados **ectoparasitas**.

Os parasitas que vivem dentro de seus hospedeiros são denominados **endoparasitas**. É o caso, por exemplo, da lombriga (*Ascaris lumbricoides*), que parasita o tubo digestório do ser humano, e dos vírus bacteriófagos, que injetam seu material genético em bactérias e passam a utilizar o metabolismo desses microrganismos em sua reprodução. Veja alguns parasitas nas imagens abaixo.



Lee D. Simon/PR/Latinstock



Fabio Colombini/Acervo do fotógrafo



Clouds Hill Imaging Ltd/SPL/Latinstock



Gabor Nemes/kino.com.br

Exemplos de parasitismo: (**A**) Vírus bacteriófagos aderidos à membrana de uma bactéria injetando seu material genético na célula. (Foto ao microscópio eletrônico de transmissão; imagem colorizada; aumento de cerca de 54 mil vezes.) (**B**) Carrapatos-estrela (*Amblyomma cajennense*) entre os pelos de um cão. (**C**) Lombriga (*Ascaris lumbricoides*), endoparasita humano. (**D**) Cipó-chumbo (*Cuscuta racemosa*), conhecido também como fios-de-ovos, por sua aparência, é uma planta parasita. Sem clorofila nem folhas, essa planta cresce sobre outras plantas lançando suas raízes para o interior dos galhos e ramos e retirando dali a seiva elaborada que a sustenta.

SAIBA MAIS

Relações complexas

As vespas *Aphidius ervi* colocam seus ovos no corpo de pulgões *Acyrthosiphon pisum*, que servem de alimento para as suas larvas. Se, porém, o pulgão hospedar a bactéria *Hamiltonella defensa* em seu organismo, as larvas da vespa não se desenvolvem bem e morrem.

Mas há uma condição: apenas as bactérias que estiverem infectadas por determinado vírus conseguem proteger o pulgão. O material genético desse vírus determina a produção de uma proteína que é tóxica para as larvas da vespa.

Dessa forma, o vírus que infecta a bactéria protege o pulgão de servir de alimento para a vespa. Isso mostra quão complexas e entremeadas podem ser as relações ecológicas entre os organismos.

AMOSTRA PARA DIVULGAÇÃO

Não escreva no livro.

Herbivoria

Herbivoria é uma relação em que um animal se alimenta de um ser produtor (como plantas e algas). A relação de herbivoria inclui tanto os animais herbívoros quanto os onívoros. Nela, o animal se beneficia em detrimento do produtor (imagem **A**). É uma relação de extrema importância, pois os produtores são a base da cadeia alimentar e fornecem a matéria e a energia necessárias à existência dos demais níveis tróficos em todos os ecossistemas.

Entre os herbívoros encontram-se desde animais que, como os cupins, pesam menos de um grama, até elefantes, que podem ter mais de 5 mil quilos. Nos oceanos e nos corpos de água doce, o fitoplâncton e as algas são os principais representantes de produtores. Eles servem de alimento tanto para pequenos crustáceos como para grandes peixes e mamíferos herbívoros (imagem **B**) e onívoros.



George Grall/National Geographic/Getty Images

Os gafanhotos são conhecidos como herbívoros vorazes, podendo prejudicar bastante a planta da qual se alimentam.



Luciano Candisani/Acervo do fotógrafo

O peixe-boi da Amazônia (*Trichechus inunguis*) é uma das poucas espécies herbívoras entre os mamíferos aquáticos. Ele se alimenta exclusivamente de plantas flutuantes ou daquelas próximas à margem dos rios.

Classificação das relações ecológicas interespecíficas

Ao longo deste capítulo, viu-se que as relações ecológicas intra e interespecíficas podem ser de cooperação ou de competição. Essas categorias foram estabelecidas considerando o efeito (seja ele benéfico, prejudicial ou neutro) dessas relações para as espécies envolvidas. A tabela a seguir resume o efeito das diferentes relações ecológicas estudadas.

Efeitos das relações ecológicas

Tipo de relação ecológica	Efeito sobre a espécie A	Efeito sobre a espécie B
protocooperação	+	+
comensalismo	+	0
mutualismo	+	+
inquilinismo	+	0
competição interespecífica	+ / −	− / +
predação	+	−
parasitismo	+	−
herbivoria	+	−

+ → benéfico − → prejudicial 0 → neutro

ATIVIDADES

3. Por que podemos afirmar que mesmo uma relação ecológica prejudicial para um indivíduo é benéfica para o ecossistema?

SAIBA MAIS

Ameaça ao predador

A onça-pintada (*Panthera onca*), o maior felino do continente americano, está em risco de extinção. Originalmente a espécie ocorria do sul dos Estados Unidos ao norte da Argentina. Atualmente, encontra-se extinta nos Estados Unidos, ameaçada no Brasil (segundo o Ibama) e quase ameaçada globalmente (segundo a União Internacional para Conservação da Natureza). No Brasil, a floresta Amazônica abriga a maior população contínua desse felino.

A fragmentação dos hábitats, principalmente devido à introdução de práticas agropecuárias com o consequente isolamento das populações, é a maior ameaça à espécie.

De hábito solitário, a onça-pintada é territorial e interage com outros indivíduos de sua espécie apenas no período reprodutivo. Os machos — que podem acasalar com várias fêmeas — marcam seus territórios por meio de fezes e de arranhões no solo e nos troncos das árvores. Por isso, a área explorada pelos machos, que pode chegar a 265 km^2 em biomas como o Cerrado, abrange territórios de várias fêmeas.

Além de limitar o território, a fragmentação do hábitat restringe as possibilidades de acasalamento a poucos machos, o que compromete a diversidade genética da espécie. Como tentativa de impedir a redução populacional, foram implantados **corredores biológicos**, faixas preservadas que interligam diversas áreas de proteção ambiental.

AMOSTRA PARA DIVULGAÇÃO

Jogo das relações ecológicas

Objetivo

Associar diversos seres vivos de acordo com suas relações ecológicas por meio de uma atividade lúdica.

Material

- 40 recortes em cartolina ou papel-cartão no formato de cartas de baralho
- 40 imagens (desenhos, fotos ou recortes de jornais e revistas) de seres vivos com a sua identificação, para serem coladas nas cartas

Procedimento

1. Os alunos devem formar grupos de quatro a seis integrantes.
2. Cada grupo será responsável por elaborar 40 cartas que constituirão um *kit* para o jogo. Cada carta será feita com a colagem da figura de um ser vivo e sua identificação (preferencialmente nome popular acompanhado da nomenclatura científica de gênero e espécie) em um recorte de papel-cartão ou cartolina. As imagens deverão ser selecionadas de forma que seja possível identificar relações ecológicas entre os seres vivos representados no *kit*.
3. Os grupos devem trocar os *kits* entre si. Dessa forma, cada grupo jogará com as cartas elaboradas por outro grupo e, portanto, não saberá quais são os seres vivos integrantes do *kit* em jogo.
4. No início do jogo, cada integrante do grupo receberá seis cartas e deverá procurar formar pares de relações ecológicas entre as imagens de seres vivos que recebeu. O restante das cartas ficará disponível na mesa, e todas elas estarão viradas para baixo.
5. O primeiro jogador deverá retirar uma carta da mesa sem mostrá-la aos demais jogadores e escolher uma de suas cartas para descartar. As cartas devem ser sempre descartadas com a imagem do ser vivo voltada para cima.
6. O próximo jogador pegará uma carta da mesa ou a carta descartada pelo colega. Em seguida, descartará uma das imagens que tem consigo. O jogo segue dessa forma até que um dos jogadores consiga montar três pares de relações ecológicas entre os seres vivos.
7. Ao formar os pares, ele deverá mostrar as cartas para os demais jogadores e explicar as relações que estabeleceu usando a nomenclatura aprendida neste capítulo. Ganha o jogo o aluno que formar primeiro e corretamente três pares de relações ecológicas.
8. Terminado o jogo em todos os grupos, cada um deles deverá apresentar para o restante da classe quais foram os seres vivos e as relações ecológicas identificadas entre eles no *kit* utilizado.

Fonte de pesquisa: Azevedo, C.; Mendes, M. Jogo: Pif-paf das relações ecológicas.



Eduardo Santaliestra/ID/BR

Exemplo de material utilizado na atividade.

Discussão

1. Quanto aos tipos de relação ecológica formados nos jogos, houve predomínio e/ou ausência de algum em especial? Caso tenha havido, a que pode ser atribuída essa diferença?
2. Das relações ecológicas entre dois seres vivos definidas nos *kits*, quais não haviam sido exemplificadas no texto do capítulo?

AMOSTRA PARA DIVULGAÇÃO

Não escreva no livro.

Pelas abelhas

A notícia de que a população mundial de abelhas tem se reduzido pode até ser novidade para alguns [...]. Esses insetos vêm desaparecendo nos últimos 60 anos e 13 espécies foram extintas do planeta – das cerca de 20 mil existentes. O que parece uma boa notícia para os alérgicos é, no entanto, preocupante para o futuro da humanidade. Por isso, pesquisadores brasileiros lançaram uma campanha global para divulgar o sumiço de abelhas batizada de "Bee or not to be?" – um trocadilho em inglês com o verbo "ser" (*to be*) e a palavra "abelha" (*bee*) baseado na famosa frase de William Shakespeare: "Ser ou não ser, eis a questão."

Os pesquisadores chamam a atenção para um fenômeno mundial denominado "síndrome do desaparecimento das abelhas", decorrente de um problema no sistema nervoso desses insetos que faz com que eles "esqueçam" o caminho de volta para sua colmeia e morram ao relento. Essa alteração está relacionada principalmente ao uso na agricultura de uma classe de pesticidas à base de nicotina, os neonicotinoides. Ao tentar polinizar os vegetais tratados com esses pesticidas, as abelhas se contaminam e desenvolvem o problema.

Em sua página [na internet], o projeto pretende alertar a população sobre esse fenômeno e reúne assinaturas em todo o mundo para pressionar autoridades a regulamentar o uso dos pesticidas nocivos para as abelhas. "O uso de pesticidas no Brasil hoje é pouco regulamentado e produz muitos efeitos adversos ao ambiente e às espécies", aponta o idealizador da campanha, o geneticista Lionel Segui Gonçalves, professor da Universidade Federal Rural do Semiárido (Ufersa) em Mossoró (RN) e diretor do Centro Tecnológico de Apicultura e Meliponicultura do Rio Grande do Norte (Cetapis).

Mapeamento colaborativo

Embora as abelhas ainda não tenham desenvolvido a capacidade de ler mapas e encontrar o caminho de volta para suas colmeias, é exatamente nos mapas que o *site* aposta para preservar esses insetos. Na página, é possível baixar o aplicativo Bee Alert, disponível para computadores, *tablets* e *smartphones*. O programa, voltado para apicultores, meliponicultores, agricultores e pesquisadores da área, permite aos usuários registrar *on-line* em um mapa a ocorrência, o desaparecimento local ou a morte de espécies de abelhas e assim contribuir para o monitoramento da população desses insetos.

Mapa de ocorrência de abelhas

"O usuário precisa indicar, por exemplo, o nome do apicultor responsável pela colmeia e do proprietário do apiário, além de informações sobre o local, a quantidade de colmeias e a causa das mortes das abelhas", diz Gonçalves. "Também pedimos, quando possível, dados sobre a perda financeira associada ao desaparecimento, para estimar o impacto econômico da síndrome."

Segundo o pesquisador, nos Estados Unidos a população de abelhas passou de 5 milhões há sete anos para 2,5 milhões atualmente – uma queda que levou à falência inúmeros apicultores.

E não são só os apicultores que sofrem com o sumiço das abelhas. Mais de 70% das culturas agrícolas dependem da polinização feita por elas. "Sempre lembro a previsão feita por Albert Einstein quando afirmou que, caso as abelhas viessem a desaparecer, a humanidade desapareceria logo em seguida", comenta Gonçalves. [...]

Além dos dados e assinaturas que estão sendo recolhidos, a página do projeto conta com dicas de medidas que podem ser tomadas pela população para reverter essa situação, como o consumo de alimentos orgânicos (sem pesticidas) e o cultivo de espécies de abelhas sem ferrão em casa.



Michel Rauch/Biosphoto/AFP

Abelhas visitando flores de ameixeira.

Vilardo, I. Pelas abelhas. Disponível em: <http://cienciahoje.uol.com.br/blogues/bussola/2014/07/pelas-abelhas>. Acesso em: 25 fev. 2016.

PARA DISCUTIR

1. Por que uma abelha, ao se perder e não conseguir voltar para sua casa, não constroi uma nova colmeia e passa a viver em outro local?
2. O que pode justificar a afirmação atribuída a Albert Einstein no penúltimo parágrafo?
3. É possível considerar que existe uma relação ente seres humanos e abelhas? Justifique.

AMOSTRA
PROIBIDA REPRODUÇÃO

Não escreva no livro.

CAPÍTULO

14 Ecossistemas

O QUE VOCÊ VAI ESTUDAR

A dinâmica de populações e as variáveis populacionais.

Os fatores que regulam o tamanho das populações e que determinam os ecossistemas.

Como ocorre a sucessão ecológica.



Arquivo/Folhapress

Navio com imigrantes europeus atracando no porto de Santos (SP), 1948. Logo após a Segunda Guerra Mundial, muitos europeus, sobretudo italianos, vieram ao Brasil em busca de melhores condições de vida.

Os ecossistemas são unidades dinâmicas que sofrem modificações ao longo do tempo, impulsionados pelas várias relações entre todos os elementos que os compõem. As populações de seres vivos também se alteram à medida que o ecossistema se modifica. Neste capítulo, você verá como as populações se comportam ao longo do tempo e como elas se relacionam entre si e com os elementos abióticos do ecossistema.

A imigração e a emigração podem afetar características de uma população, e isso é válido tanto para os seres humanos quanto para quaisquer outros seres vivos. Durante a Segunda Guerra Mundial, por exemplo, diversos imigrantes chegaram ao Brasil e, com seus costumes e ações, ajudaram a moldar o país que existe hoje. Todas as populações estão sujeitas a diversos tipos de influências e algumas delas têm efeitos similares, independentemente do tipo de ser vivo que compõe essa população.

Não escreva no livro.

Dinâmica de populações

A **dinâmica de populações** é o estudo da variação do número de indivíduos de uma ou mais populações de um ecossistema. Ela se baseia em estudos experimentais e de campo e usa modelos matemático-estatísticos para explicar e prever as variações no tamanho das populações do ecossistema. Vale lembrar que, do ponto de vista biológico, população é um conjunto de indivíduos de uma mesma espécie que ocupam um território comum e que são capazes de se reproduzir entre si (imagem **A**).

Em um ecossistema, as várias populações podem estar estáveis, aumentar ou diminuir. Algumas podem estar em processo de extinção e outras podem ter sido recém-introduzidas. Para verificar como o tamanho das populações varia no ecossistema, os ecólogos analisam diversas variáveis populacionais. As mais importantes, apresentadas a seguir, são: **densidade populacional**, **distribuição espacial** e **taxas de crescimento**, de **natalidade** e de **mortalidade**.



Fábio Colombini/Acervo do fotógrafo

Ninhal de cabeças-secas (*Mycteria americana*, cerca de 1 m de altura), que integram a população dessa espécie na região do Pantanal matogrossense.

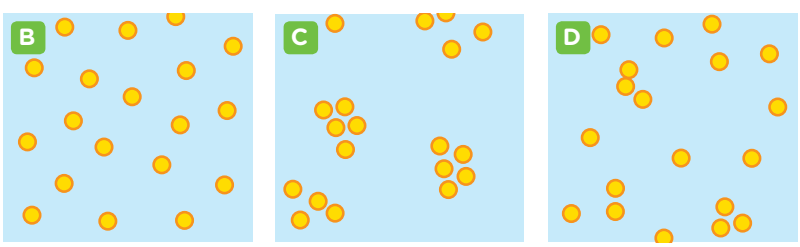
Densidade populacional e distribuição espacial

A densidade populacional é definida como o número de indivíduos da mesma espécie por unidade de área ou volume. Geralmente se utiliza unidade de área para calcular a densidade de populações terrestres, enquanto o volume é comumente usado no estudo das populações aquáticas. Sua expressão matemática é escrita a seguir.

$$\text{densidade populacional} = \frac{\text{número de indivíduos de uma espécie}}{\text{área ou volume}}$$

A densidade, no entanto, não é suficiente para descrever a ocupação de uma área por uma população. Para isso, é necessário conhecer também como os indivíduos que a constituem se distribuem no espaço, ou seja, a sua distribuição espacial. Basicamente existem três padrões de distribuição espacial das populações: homogênea, agregada e aleatória (imagens **B**, **C** e **D**). O padrão de distribuição de uma população em um ecossistema fornece informações sobre as interações entre os indivíduos que a compõem e sobre as características ambientais.

A **distribuição homogênea** ocorre em ambientes homogêneos – ou seja, aqueles cujos recursos (água, alimento, etc.) estão distribuídos de maneira uniforme – ou quando os indivíduos tendem a evitar os demais, isto é, quando indivíduos que estão próximos entre si têm suas possibilidades de sobrevivência consideravelmente diminuídas. O **padrão agregado** é o mais comum na natureza. Pode ser resultante, por exemplo, de tendências sociais dos indivíduos para garantir a segurança, o acasalamento ou a reprodução, e pode refletir também um ambiente muito heterogêneo. A **distribuição aleatória** ocorre em ambientes homogêneos e em espécies sem tendência à agregação.



AMJ Studio/ID/BR

Esquemas dos padrões de distribuição espacial das populações: homogênea (**B**), agregada (**C**) e aleatória (**D**). Os círculos amarelos representam os indivíduos de uma espécie.

ATIVIDADES

1. Em uma prova de Biologia, a primeira questão pedia aos alunos o conceito de população biológica. Um deles escreveu a seguinte resposta: "População biológica é o conjunto dos seres vivos que compõem o ecossistema e que interagem entre si e com vários fatores abióticos".

Comente essa frase, apontando, se necessário, possíveis equívocos.

AMOSTRA PARA DIVULGAÇÃO

Taxa de crescimento

A **taxa de crescimento** de uma população é definida como a variação do número de indivíduos que a constituem durante um intervalo de tempo. Ela permite saber se uma população está crescendo, diminuindo ou se está estável. Permite também comparar o comportamento de várias populações entre si.

A **taxa de crescimento absoluto (TCA)** avalia a variação do número total de indivíduos em um intervalo de tempo. Sua expressão matemática é escrita a seguir.

$$\text{Taxa de crescimento absoluto} = \frac{N_f - N_i}{(t_f - t_i)}$$

Em que:

N_f é o nº de indivíduos no final do intervalo de tempo (t_f);

N_i é o nº de indivíduos no início do intervalo de tempo (t_i);

t_f é o tempo final; t_i é o tempo inicial.

Imagine duas populações de ratos, designadas como X e Y. Inicialmente, na população X havia vinte indivíduos, e a população Y era composta de três indivíduos. Após seis semanas, a população X apresentava oitenta ratos, e a população Y, 21 indivíduos. Aplicando a fórmula para o cálculo da TCA, obtêm-se os seguintes resultados: a população X cresceu a uma taxa de dez ratos por semana, e a população Y, a uma taxa de três ratos por semana, (veja cálculos ao lado).

TCA de X: $\frac{80 - 20}{6} = 10$ ratos/semana

TCA de Y: $\frac{21 - 3}{6} = 3$ ratos/semana

FERRAMENTAS DA CIÊNCIA

Estimativas populacionais

Você já imaginou como poderia ser complexo contar, um a um, o número total de indivíduos de uma população? Se a contagem direta fosse o único modo de conhecer o tamanho de uma população, muitas vezes esses estudos se tornariam impraticáveis. Para resolver esse problema foram desenvolvidos métodos que permitem estimar com boa precisão o número de indivíduos de uma população.

Um dos mais utilizados é o método de **amostragem**, que consiste em estimar o tamanho da população total a partir da contagem de parte dela. Um exemplo prático desse método, muito usado no estudo de insetos e plantas, consiste em dividir a área de estudo em partes menores, chamadas quadrantes ou parcelas. Isso pode ser feito no local, usando barbante, por exemplo, na demarcação, ou então em um mapa da área de estudo. Por sorteio, selecionam-se os quadrantes nos quais será feita a contagem da população. Com base nessas contagens parciais, e utilizando métodos estatísticos, é possível estimar o tamanho total da população.

Outro método de estimar o tamanho de uma população é o da **captura e recaptura**, utilizado, por exemplo, no estudo de aves e mamíferos. Uma vez delimitada a área de estudo, distribuem-se aleatoriamente armadilhas para capturar os animais. Os indivíduos capturados são, então, contados, marcados com anilhas, etiquetas plásticas ou manchas de tinta e depois libertados.

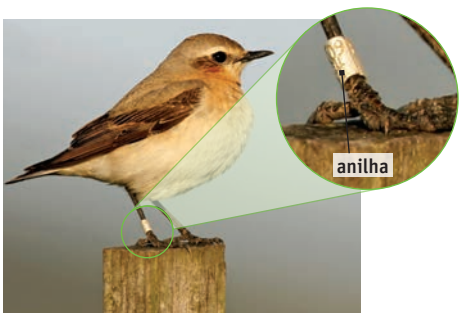
Em outro dia, uma nova amostra é capturada. Dessa vez, contam-se os exemplares obtidos e, entre eles, quantos estão marcados. O número de animais marcados em relação ao número de animais capturados na segunda amostra corresponde ao percentual que a primeira amostra representa em relação à população total.

Esse método só pode ser aplicado em populações cujos indivíduos se distribuem ao acaso.



Graham Burns/Photofusion Picture Library/Alamy/Latinstock

Estudantes utilizando um quadrante para fazer amostragem de plantas em área de estudo.



Blickwinkel/Alamy/Latinstock

Na contagem de aves, os indivíduos capturados são marcados com anilhas nas pernas (detalhe ampliado). Na foto, o pássaro conhecido como chasco-do-norte (*Oenanthe oenanthe*; cerca de 15 cm).

AMOSTRA
PARA DIVULGAÇÃO

Não escreva no livro.

Taxas de natalidade e de mortalidade

Ao longo do tempo, o número de indivíduos de uma população depende diretamente do número de indivíduos que nascem e do número de indivíduos que morrem. No primeiro caso, fala-se em **taxa de natalidade** e, no segundo, usa-se o termo **taxa de mortalidade**. Ambas as taxas exercem influência em alguns eventos ambientais e em características da população. Da mesma forma, eventos ambientais também exercem influência nessas taxas. Por exemplo, conforme a quantidade de indivíduos aumenta em dada população, a disponibilidade de alimento – e de outros recursos – tende a diminuir. Com isso, a taxa de mortalidade deve aumentar, e a de natalidade deve diminuir.

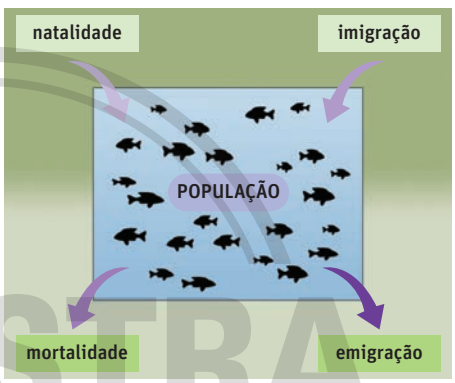
A ocorrência de uma doença pode intensificar drasticamente a mortalidade, devido à facilidade de disseminação entre os indivíduos. Entretanto, com o decréscimo da população, a disponibilidade de recursos aumenta, o que reduz a mortalidade e intensifica a natalidade. Como resultado, observa-se novamente o crescimento da população.

Outros eventos que interferem no tamanho da população são a **imigração** – entrada de indivíduos na população em um determinado período de tempo – e a **emigração** – saída de indivíduos da população.

Para saber se uma dada população está crescendo ou diminuindo, é preciso levar em consideração as taxas de natalidade (N) e de mortalidade (M), bem como as frequências de imigração (I) e de emigração (E).

Se a soma das taxas de nascimento e de imigração for maior do que a soma das taxas de mortalidade e emigração, a população crescerá. Se o contrário ocorrer, a população diminuirá. Por outro lado, se a soma das taxas de nascimento e de imigração for igual à soma das taxas de mortalidade e emigração, a população permanecerá estável. Essas relações podem ser expressas pelas seguintes expressões matemáticas.

- $N + I > M + E$: população crescente
- $N + I < M + E$: população decrescente
- $N + I = M + E$: população estável



Reinaldo Vignati/ID/BR

Esquema dos fatores que interferem diretamente no tamanho das populações.

AMOSTRA
PARA DIVULGAÇÃO

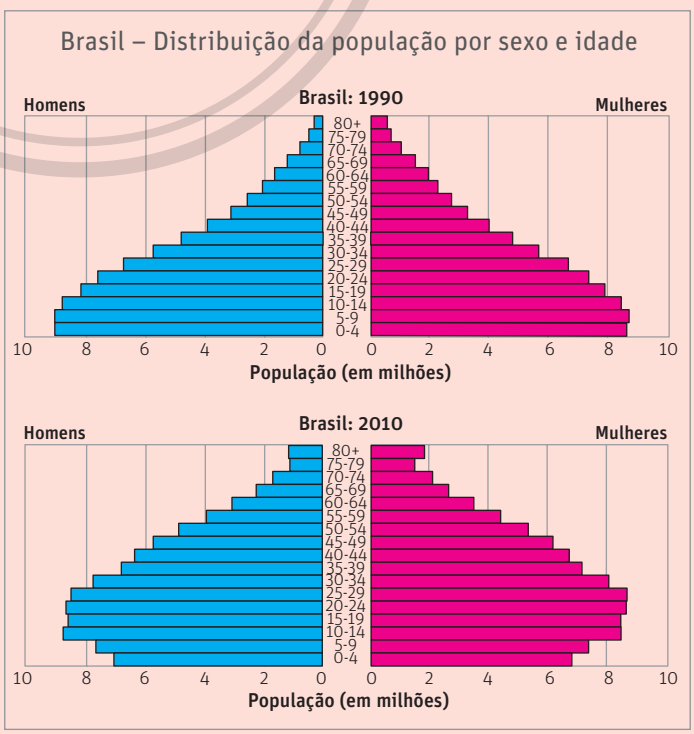
BIOLOGIA E GEOGRAFIA

Pirâmide etária brasileira

A densidade populacional leva em conta o caráter espacial da distribuição da população. Já a distribuição etária considera o aspecto temporal.

Por meio da análise da estrutura etária de uma população, é possível prever o aumento ou a diminuição do número de indivíduos que a compõem.

Uma maneira gráfica de apresentar os dados desse tipo de análise é a construção de pirâmides etárias (imagens ao lado), que representam a porcentagem de indivíduos por faixa etária. Nessas pirâmides, o eixo y (vertical) representa as faixas etárias, e o eixo x (horizontal), o número de indivíduos. Além disso, é comum que as faixas etárias de cada sexo sejam apresentadas separadamente.



Reinaldo Vignati/ID/BR

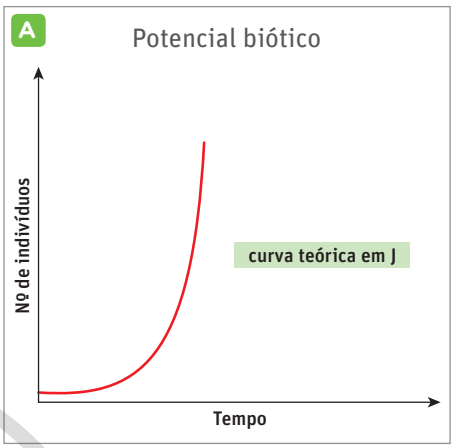
Pirâmides etárias brasileiras para os anos de 1990 e 2010. Note que a porcentagem de crianças vem diminuindo na população (base mais estreita), ao passo que a porcentagem de idosos tem aumentado (topo mais largo). Essa tendência resulta, entre outros fatores, da queda na taxa de natalidade e do aumento da expectativa de vida.

Fonte de pesquisa: IBGE. Censo Demográfico e Contagem da População. Disponível em: <http://www.sidra.ibge.gov.br/cd/cd2010sp.asp>. Acesso em: 26 fev. 2016.

Potencial biótico

Em condições ideais hipotéticas, em que não houvesse mortalidade e nenhum tipo de restrição à sobrevivência, qualquer população biológica cresceria indefinidamente, atingindo rapidamente um número elevadíssimo de indivíduos. Imagine, por exemplo, o que ocorreria nessas condições com a reprodução de um único casal de coelhos. Esses animais atingem a idade reprodutiva aos seis meses de idade e geram, em média, sete filhotes a cada dois meses. Assim, esse casal produziria 56 descendentes no primeiro ano de vida; seis meses depois, teria produzido 392 descendentes, e ao completar o segundo ano seus descendentes já somariam 3 158 indivíduos. Em poucos anos, o casal teria produzido milhões de descendentes.

Essa capacidade potencial de crescimento das populações recebe o nome de **potencial biótico**. A representação gráfica do crescimento populacional sob essas condições hipotéticas descreve uma curva exponencial, em forma de **J** (imagem **A**). Na natureza, o crescimento das populações evidentemente não se dá em função do potencial biótico. Observa-se que as populações em ecossistemas naturais costumam ser relativamente estáveis quanto à sua densidade. Mas por que o crescimento das populações não obedece ao potencial biótico?



AMj Studio/ID/BR

Gráfico do potencial biótico de uma população que cresce infinitamente, em condições ideais hipotéticas.

Fonte de pesquisa: Universidade de São Paulo – USP. Instituto de Biociências. Disponível em: <http://www.ib.usp.br/ecologia/dinamica_populacoes_print.htm>. Acesso em: 2 abr. 2016.

Resistência do meio

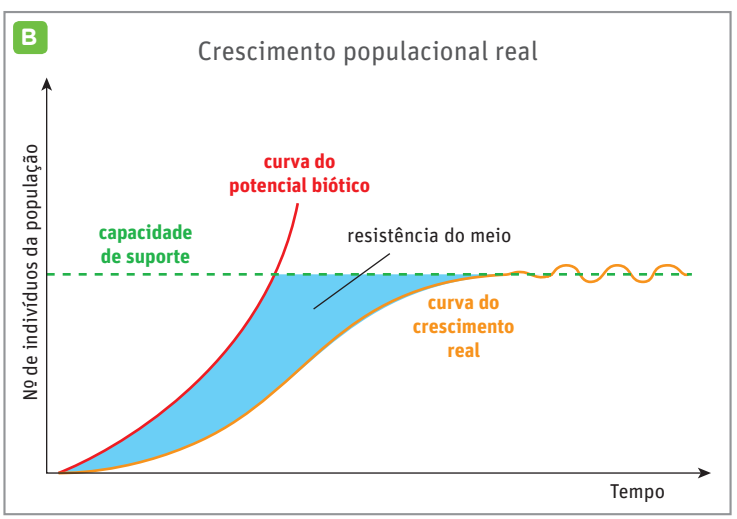
Todas as populações de seres vivos estão expostas a uma grande variedade e quantidade de fatores ambientais, bióticos e abióticos, que limitam o seu crescimento. A esse conjunto de fatores ambientais limitantes dá-se o nome de **resistência do meio**. Ela se manifesta de várias maneiras: pela indisponibilidade de alimento, de água, de espaço; pela ocorrência de condições climáticas adversas; e pelas relações com outras espécies – principalmente, predação e competição.

Crescimento real de uma população

O modo pelo qual uma população cresce em um ambiente favorável real segue um padrão bem definido, conhecido como **crescimento real**, que pode ser descrito em várias etapas.

Inicialmente, devido ao pequeno número de indivíduos, o crescimento da população é lento. Ele acelera conforme aumenta o número de indivíduos, descrevendo uma curva de crescimento exponencial. Mas, à medida que a população cresce, sua densidade aumenta, e a resistência do meio torna-se mais severa. Conforme a resistência do meio se intensifica, o crescimento da população diminui. Até que, em um determinado momento, a população atinge o número máximo de indivíduos que o ambiente pode suportar – as taxas de natalidade e de mortalidade atingem um equilíbrio, o crescimento da população se estabiliza e a densidade populacional permanece mais ou menos constante. Assim, a representação gráfica do crescimento real das populações tem forma sigmoide, em vez do "J" do potencial biótico. O limite máximo de indivíduos que o ambiente pode suportar em determinado momento é denominado **capacidade de suporte do meio** ou **carga biótica máxima** (imagem **B**).

Sigmoide: em forma de S.



AMj Studio/ID/BR

Gráfico do crescimento real de uma população, desde seu estágio inicial. O crescimento da população é limitado pela resistência do meio. A resistência do meio torna-se maior proporcionalmente ao aumento da densidade da população. O crescimento da população se estabiliza ao atingir a capacidade de suporte do meio.

Fonte de pesquisa: Universidade de São Paulo – USP. Instituto de Biociências. Disponível em: <http://www.ib.usp.br/ecologia/dinamica_populacoes_print.htm>. Acesso em: 2 abr. 2016.

AMOSTRA PARA DIVULGAÇÃO

Não escreva no livro.

Fatores reguladores do tamanho das populações

Vimos que, após um período de crescimento exponencial, um conjunto de fatores ambientais limita o crescimento de uma população. Esses fatores podem ser agrupados entre os que dependem e os que não dependem da densidade da população.

Essa classificação, fundamentada em numerosos exemplos obtidos na natureza e em laboratório, mostra que o próprio aumento da densidade de uma população, como fator isolado, atua como um poderoso regulador do seu tamanho. Isso ocorre porque o aumento da densidade populacional resulta em menor disponibilidade de alimento, acirra a competição intraespecífica pelos recursos do nicho, facilita a disseminação de doenças e atrai predadores, além de diminuir a fecundidade e a expectativa de vida. Todos esses fenômenos são observados tanto em espécies vegetais como nas espécies animais.

Assim, além da disponibilidade de alimento e espaço, algumas relações ecológicas, como o parasitismo, a competição e a predação, são fatores de regulação populacional dependentes da densidade.

São considerados fatores que não dependem da densidade aqueles cuja atuação não está relacionada ao número de indivíduos da população. Um bom exemplo são as alterações do clima, como variações da temperatura, umidade e disponibilidade de luz, que ocorrem ao longo das estações ou em episódios repentinos, como grandes inundações ou deslizamentos de solo.

Na natureza, no entanto, esses dois conjuntos de fatores atuam de maneira interdependente e complexa, dificultando a caracterização precisa de cada um deles e de seu impacto particular na regulação das populações. Um exemplo dessa dificuldade pode ser observado na análise do fator luminosidade afetando o desenvolvimento de diversas populações vegetais. Em algumas espécies, quando a população atinge determinada densidade, a folhagem das plantas adultas impede a incidência de luz no estrato próximo à superfície, inibindo o desenvolvimento de suas próprias sementes. Nesse caso, a luminosidade, fator ambiental cuja atuação geralmente independe da densidade da população, acaba atuando como fator dependente da densidade populacional.

Nos tópicos seguintes estudaremos como algumas relações ecológicas atuam como reguladoras do tamanho das populações.

Parasitismo

O parasitismo pode ter um papel importante na regulação das populações de hospedeiros. Trata-se de uma relação muito especializada, que se apresenta de maneiras variadas e, muitas vezes, complexas, envolvendo, além do hospedeiro, várias espécies transmissoras chamadas de vetores.

As pesquisas têm mostrado que a utilização de parasitas no controle populacional de pragas vegetais pode ter grande eficiência. Além de dispensar o uso de agrotóxicos, ela garante o combate específico do agente causador da praga (veja boxe ao lado). Porém, há um risco de desequilíbrio ecológico associado a essa prática, e por isso cada caso de controle populacional deve ser avaliado individualmente.



Fábio Colombini/Acervo do fotógrafo

Exemplo de parasitismo: sabiá-barranco (à direita) alimentando um chopim. Os ovos de chopim são depositados em ninhos de outras espécies e assim recebem os cuidados dos pais postiços.

BIOLOGIA NO COTIDIANO

Controle biológico de populações

Uma técnica muito utilizada no combate a espécies que causam prejuízos econômicos à espécie humana é o controle biológico. A técnica consiste na introdução no ambiente de um parasita ou um predador da espécie que se deseja combater. Assim, é possível reduzir a densidade populacional dessa espécie até níveis que não prejudiquem as culturas.

Um exemplo é o combate de lagartas que se alimentam das folhas de algodoeiro. Nesse caso, introduz-se no ambiente uma vespa, a *Trichogramma* sp., que põe seus ovos dentro dos ovos de insetos, como mariposas e borboletas, incluindo as espécies cujas lagartas comem folhas do algodoeiro. Os embriões da vespa se nutrem desses ovos, impedindo o desenvolvimento das lagartas.

O controle biológico reduz gastos da produção e protege a cultura e o ambiente do uso de produtos tóxicos.



Graphic Science/Alamy/Latinstock

Duas vespas *Trichogramma* sp. colocando seus ovos dentro dos ovos da mariposa-da-couve. Essa vespa é utilizada no controle biológico de diversas espécies.

1. De que forma as técnicas de controle biológico podem ajudar a reduzir os danos ao meio ambiente causados por diversas atividades agrícolas?

AMOSTRA
PARA DIVULGAÇÃO

Competição

Por ser uma interação entre indivíduos para a obtenção de recursos limitados, a competição necessariamente diminui a possibilidade de sobrevivência de alguns desses indivíduos.

A **competição intraespecífica** é a disputa por recursos como água, alimentos e nichos que ocorre entre indivíduos da mesma espécie. Quanto maior a população, maior é a competição; consequentemente, também é maior o poder de regulação que a competição exerce sobre a densidade populacional. Vale lembrar que a competição entre os indivíduos da mesma espécie é um dos agentes da seleção natural.

Há diversos mecanismos evolutivos que amenizam os efeitos da competição intraespecífica. A araucária, espécie arbórea nativa do Sul e Sudeste do Brasil (imagem **A**), produz substâncias inibidoras que dificultam o desenvolvimento de plântulas na área próxima à planta parental. Assim, em uma área ocupada por uma população de araucária, as árvores distribuem-se com certa homogeneidade.

Entre os animais, a demarcação de território é muito comum. Em algumas aves, por exemplo, o canto do macho inibe a presença de outros machos no local. Pesquisas realizadas com aves mostram que os machos com território demarcado têm mais possibilidades de reproduzir-se.

A **competição interespecífica**, outro possível agente da seleção natural, se estabelece entre espécies que ocupam o mesmo hábitat e utilizam recursos comuns. Ela é um forte fator de regulação das populações.

A dinâmica da competição interespecífica foi revelada por experimentos realizados em 1934 pelo pesquisador russo Georgyi F. Gause (1910-1986). Trabalhando com duas espécies de protozoários, *Paramecium caudatum* e *Paramecium aurelia*, Gause observou que, em meios de cultura separados, com a mesma disponibilidade de alimento e espaço, a população de *P. aurelia* aumentava mais rapidamente do que a de *P. caudatum*. Quando eram colocadas no mesmo recipiente, também a espécie *P. aurelia* crescia mais rapidamente, mas, após um tempo, a população da espécie *P. caudatum* era eliminada, restando no recipiente apenas indivíduos da espécie *P. aurelia*. Esse experimento mostrou que ocorria a competição entre as duas espécies, resultando na eliminação de *P. caudatum* (imagens **B** e **C**).

Em outro experimento, Gause estudou o comportamento de *P. caudatum* convivendo no mesmo recipiente com a espécie *P. bursaria* e observou que não houve eliminação de uma espécie por outra, e as duas populações se desenvolveram até se estabilizar. O pesquisador observou que, ao conviverem, essas espécies exploram partes diferentes do recipiente; assim, evita-se a competição.

Esses experimentos serviram de base para o estabelecimento do **princípio de Gause**, também chamado de **princípio da exclusão competitiva**, segundo o qual duas ou mais espécies não podem coexistir quando utilizam os mesmos recursos do mesmo hábitat de maneira muito semelhante, ou seja, quando há forte sobreposição de nichos. Nessa situação, a espécie que utiliza os recursos mais eficientemente pode excluir a outra.



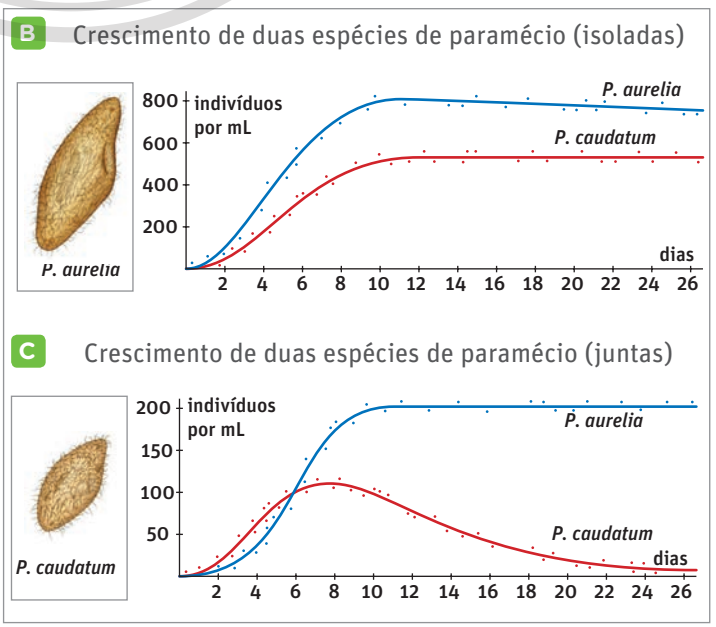
Andre Dib/Pulsar Imagens

A araucária (*Araucaria angustifolia*) dificulta o desenvolvimento de plântulas próximas a ela. Urupema (SC), 2005.

AMOSTRA PARA DIVULGAÇÃO

Ricklefs, Robert E. *A economia da natureza*. 6. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2010. p. 296.

Gráficos do crescimento das populações de duas espécies de paramécio, obtidas por Gause. Em (**B**), *P. caudatum* e *P. aurelia* cultivadas isoladamente. Em (**C**), as duas espécies cultivadas no mesmo recipiente, mostrando a extinção de *P. caudatum* por forte competição com *P. aurelia*.



Reinaldo Vignati/ID/BR

Não escreva no livro.

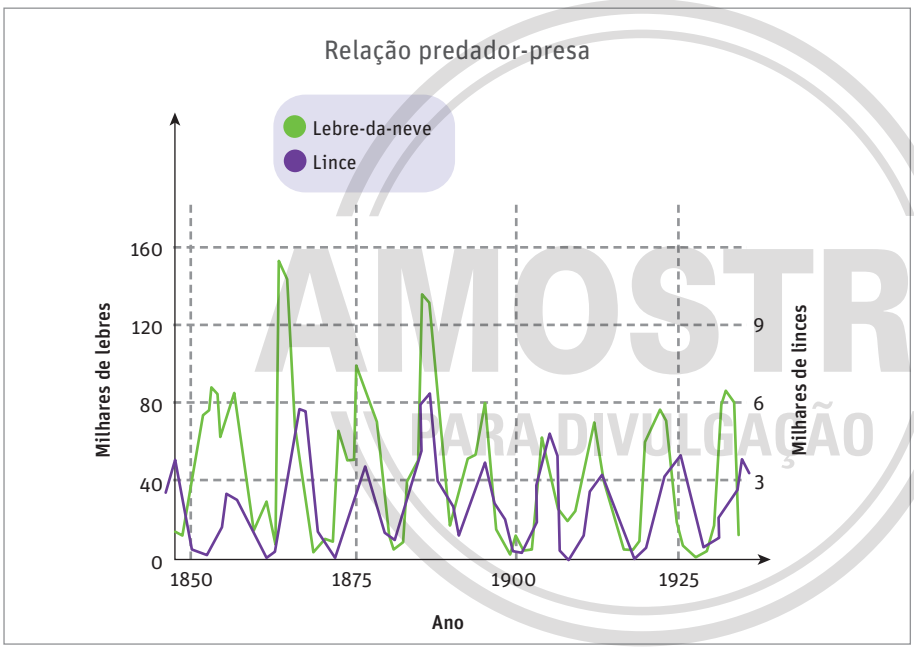
Predação

Em geral, a predação ocorre entre indivíduos de populações diferentes, embora possa ocorrer entre indivíduos da mesma espécie (canibalismo). Ela é um fator importante na regulação do tamanho das populações envolvidas, tanto da população de predadores quanto da de presas.

Sob condições naturais, a predação geralmente não coloca a população de presas em perigo de extinção. De fato, se as presas deixassem de existir, a capacidade de suporte do meio para os predadores se reduziria, podendo, em casos extremos, levar também a população predadora à extinção.

Observa-se inicialmente que a atividade predatória reduz o número de indivíduos da população de presas. Com o passar do tempo, em razão da menor disponibilidade de alimento, a resistência do meio aumenta para a população de predadores, diminuindo o número de indivíduos. Essa redução se dá tanto pelo aumento da taxa de mortalidade, devido à falta de alimento e à maior competição entre os indivíduos, quanto pela diminuição da taxa de natalidade resultante da escassez de recursos.

Um ecossistema com poucos predadores oferece baixa resistência ambiental para a população de presas. Como resultado, a densidade dessa população aumenta novamente. Assim, ora a população de presas é maior do que a de predadores, ora ocorre o inverso. Em ecossistemas equilibrados, essas oscilações fazem os tamanhos populacionais de presas e predadores permanecerem relativamente constantes ao longo do tempo, garantindo a coexistência, ou seja, a convivência de ambas as populações no mesmo território.



AMj Studio/ID/BR

Exemplo de controle de densidade populacional fundamentado na relação presa-predador. O gráfico representa as oscilações nas populações de linces e de lebres da baía de Hudson, Canadá, registradas no período de 1845 até 1935.

Fonte de pesquisa: Ricklefs, Robert E. *A economia da natureza*. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2003. p. 321.

AMOSTRA
PARA DIVULGAÇÃO

BIOLOGIA SE DISCUTE

Relações complexas

Em geral, a relação predador-presa não é tão simples como o mostrado no gráfico acima. Em quase todas as comunidades existem vários tipos de presa para o mesmo predador, bem como diferentes predadores para a mesma presa.

O caso da lebre-da-neve (*Lepus americanus*) e o lince canadense (*Lynx canadensis*) é um exemplo debatido pelos ecólogos. Estudos sobre dinâmica de populações mostram que as variações no tamanho das populações da lebre são determinadas não só pela interação com o predador (o lince é o principal predador da lebre), mas também pela interação entre as lebres e seu alimento.

1. Comente a afirmação: "A predação pode até ser ruim para a presa, mas, se considerada toda a população dessa mesma presa, a predação pode ser extremamente benéfica".



Dr. P. Marazziq/SPL/Latinstock

Lebre-da-neve (*Lepus americanus*) no Parque Nacional de Yellowstone, Wyoming, EUA.

Fatores abióticos dos ecossistemas

A constituição biológica dos ecossistemas pode variar incrivelmente. Essa variação se deve não apenas à diversidade biológica e às relações entre os seres vivos, mas também aos aspectos físicos do ambiente, isto é, às características abióticas dos ecossistemas.

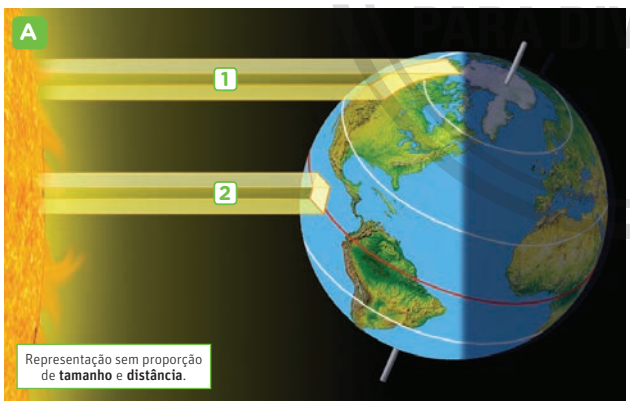
A seguir são apresentados os principais fatores abióticos determinantes dos ecossistemas, considerando sua distribuição desigual por todo o planeta.

Energia solar

O Sol fornece a energia luminosa e a energia térmica necessárias para a manutenção da vida na Terra. É a energia solar que sustenta os organismos produtores e promove, direta ou indiretamente, os ciclos biogeoquímicos.

A quantidade de radiação solar, denominada **insolação**, entretanto, não é igual nas diferentes latitudes do planeta. Na região entre os trópicos, os raios solares incidem de maneira quase perpendicular sobre a superfície terrestre. Esse ângulo diminui gradativamente em direção aos polos, onde os raios solares atingem a superfície obliquamente. Assim, a energia solar que chega aos polos incide sobre uma área maior, em comparação com a mesma quantidade de energia que chega ao Equador. Ou seja, os polos recebem menor quantidade de energia solar por área. Esse gradiente de incidência da energia solar ocorre devido ao formato esférico do planeta (imagem **A**).

Luis Moura/ID/BR

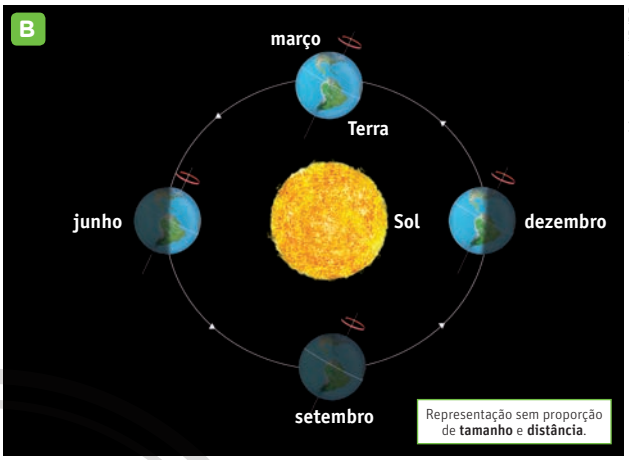


Representação da incidência de energia solar em duas regiões do planeta. Note que, em regiões próximas aos polos (**1**), uma determinada quantidade de energia solar incide em uma superfície maior do que no Equador (**2**).

Fonte de pesquisa: Universidade Federal do Paraná. Disponível em: <http://fisica.ufpr.br/grimm/aposmeteo/cap2/cap2-1.html>. Acesso em: 29 fev. 2016.

Estações do ano

O eixo de rotação da Terra é inclinado cerca de 23,5° em relação a uma reta perpendicular ao seu plano orbital. O plano orbital terrestre é o plano imaginário no qual a Terra percorre sua órbita em torno do Sol durante o movimento de translação. A combinação da inclinação do eixo de rotação com o movimento de translação faz com que ora a superfície do hemisfério Norte, ora a do hemisfério Sul fique mais exposta às radiações solares, determinando as estações do ano (imagem **B**).



Marcos Aurélio/ID/BR

A inclinação do eixo de rotação da Terra, associada ao movimento de translação, causa as variações de temperatura e luminosidade no hemisfério Sul e no hemisfério Norte ao longo das estações do ano.

Fonte de pesquisa: Universidade Federal do Paraná. Disponível em: <http://fisica.ufpr.br/grimm/aposmeteo/cap2/cap2-1.html>. Acesso em: 29 fev. 2016.

A atmosfera e os materiais que constituem a superfície do planeta têm propriedades físico-químicas diversas e absorvem a energia solar de maneira diferenciada.

A energia absorvida pela atmosfera, por exemplo, é quase duas vezes menor do que a absorvida pela superfície terrestre, considerando-se os oceanos e os continentes; além disso, a atmosfera aquece e resfria rapidamente. Já as áreas continentais cobertas de vegetação absorvem e perdem energia mais devagar do que os desertos. A água dos oceanos, que cobre cerca de 70% da superfície terrestre, absorve mais energia, aquecendo-se e resfriando-se ainda mais lentamente do que os continentes.

Essas diferenças de temperatura sobre a superfície do planeta provocam a movimentação das massas de ar e das correntes marítimas, segundo alguns padrões mais ou menos estáveis. Como apresentado a seguir, esses movimentos proporcionam a distribuição da energia solar que chega aos trópicos para as zonas mais frias da Terra, os polos. Proporcionam também o padrão de distribuição da água no planeta, com a ocorrência das chuvas. Temperatura, umidade do ar e precipitação são fatores determinantes na manutenção dos ecossistemas terrestres.

ATIVIDADES

2. Como você descreveria a variação na incidência anual de luz na cidade onde você mora? As estações do ano são bem definidas?

AMOSTRA
PROIBIDA A REPRODUÇÃO

Não escreva no livro.

Altitude

Sabe-se que a cada 200 m de altitude a temperatura diminui cerca de 1 °C e que o regime de chuvas também sofre alteração.

A distribuição da vegetação em uma montanha ajuda a compreender os efeitos da altitude. Nas regiões mais altas, as temperaturas são muito baixas e pode haver precipitação de neve. Em razão disso, comumente se estabelece uma relação entre os ecossistemas comuns a determinadas latitudes e os que compõem as montanhas em suas diferentes altitudes (imagem **A**).

Solo

O solo é formado a partir do **intemperismo**, um processo que desgasta as rochas da superfície do planeta. Esse desgaste se dá por meio de choques térmicos – o calor do Sol aquece as rochas, e as chuvas logo as resfriam – associados à ação dos ventos, das chuvas e dos seres vivos. O resultado é a fragmentação das rochas em partículas menores (imagem **B**).

Os diferentes tipos de solo são determinados pela sua granulometria, ou seja, pelo tamanho das partículas que o compõem.

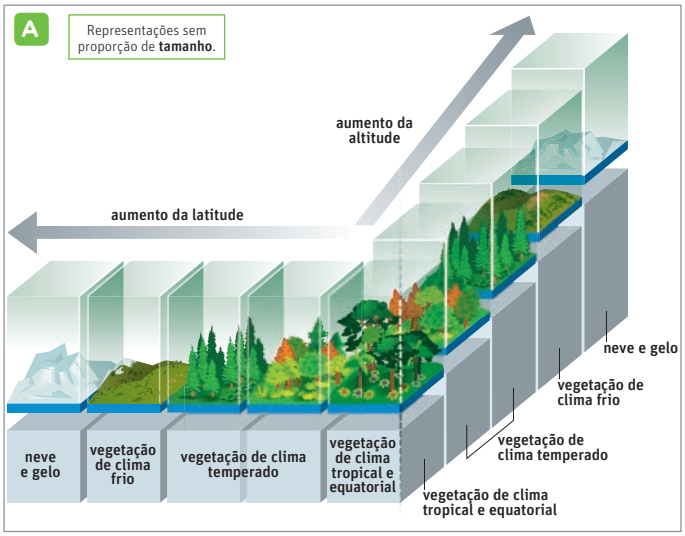
Os solos arenosos são formados por 70% de areia, cuja granulometria é alta. Por serem muito porosos, os solos arenosos não retêm a água das chuvas. Esta penetra facilmente até as camadas mais profundas, carregando consigo os sais minerais que servem de nutrientes para as plantas, razão pela qual os solos arenosos são considerados pobres para o crescimento de populações vegetais de grande porte.

Os solos argilosos estão no outro extremo. Com granulometria muito baixa, podem ser tão pouco porosos que se tornam quase impermeáveis.

Os solos mais adequados para as plantas são aqueles compostos por partículas de vários tamanhos e ricos em matéria orgânica parcialmente decomposta, denominada **húmus**. No entanto, solos menos favoráveis – arenosos demais ou argilosos demais – são ocupados por plantas adaptadas a esses tipos de ambiente.

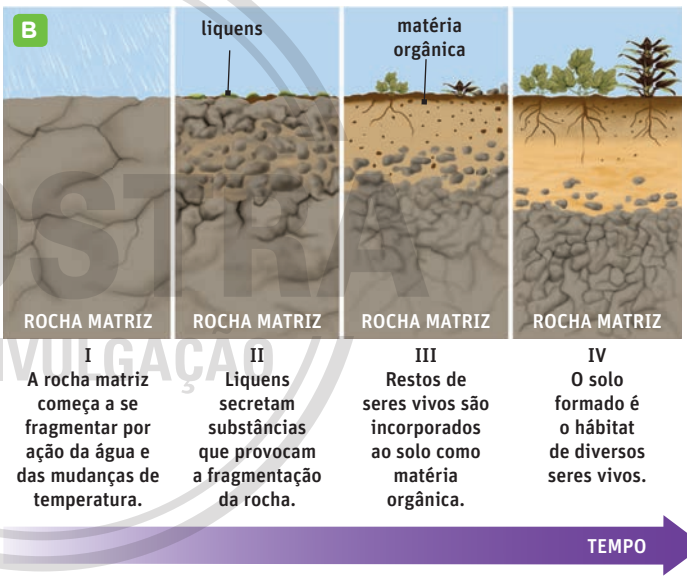
Correntes oceânicas

As águas dos oceanos estão em movimento constante (imagem **C**). O modo como elas se movem influencia o clima e as condições de vida, inclusive nos continentes. As correntes oceânicas são massas de água que fluem em padrões complexos afetados por ventos, pela salinidade da água, temperatura da água e da atmosfera, topografia dos fundos oceânicos e pelo movimento de rotação da Terra.



Adilson Secco/ID/BR

Comparação entre a distribuição dos ecossistemas em virtude da latitude e da altitude. As condições em latitudes altas são muito semelhantes às de altitudes altas. O mesmo vale para baixas latitudes e baixas altitudes. Cores-fantasia.



Vagner Coelho/ID/BR

Representação da formação do solo. O intemperismo age nas camadas superficiais das rochas, desgastando-as progressivamente. Cores-fantasia.

Fonte de pesquisa: Leinz, Viktor; Amaral, Sérgio Estanislau do. *Geologia geral*. São Paulo: Nacional, 2003. p. 68.



SPL/Latinstock

Esquema das correntes oceânicas aplicado a uma imagem, obtida por satélite, da Terra vista do espaço. As linhas vermelhas representam as correntes de água quente, e as azuis, as de água fria.

Fonte de pesquisa: <http://www.ces.fau.edu/nasa/module-3/why-does-temperature-vary/ocean-currents.php>. Acesso em: 30 abr. 2016.

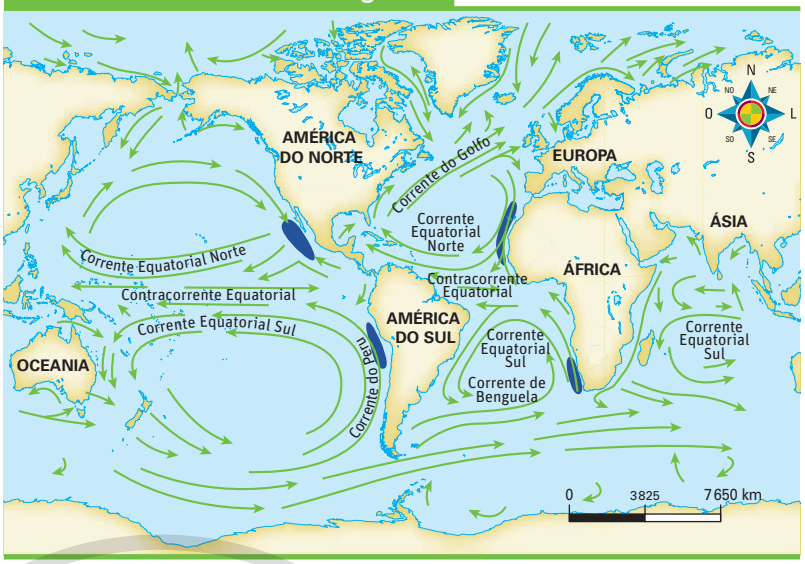
AMOSTRA
PARA DIVULGAÇÃO

Ressurgência

Em certos locais do planeta, a topografia oceânica e a ação de ventos fortes, associadas ao movimento de rotação terrestre, empurram a água quente da superfície dos oceanos em direção oposta à dos continentes, forçando a água profunda e fria a subir para a superfície.

Nesse fenômeno, denominado **ressurgência** (imagem **A**), as correntes frias, ricas em nutrientes, emergem e favorecem o desenvolvimento das cadeias alimentares, tornando mais abundante a quantidade de peixes de grande porte. Praticamente metade da produção pesqueira no mundo depende dessas correntes frias. Apesar de ricas em quantidade, elas são pobres em diversidade de espécies de peixes. Ao contrário, as correntes quentes abrigam pequenas populações de muitas espécies.

Correntes oceânicas e ressurgência **A**



AllMaps/ID/BR

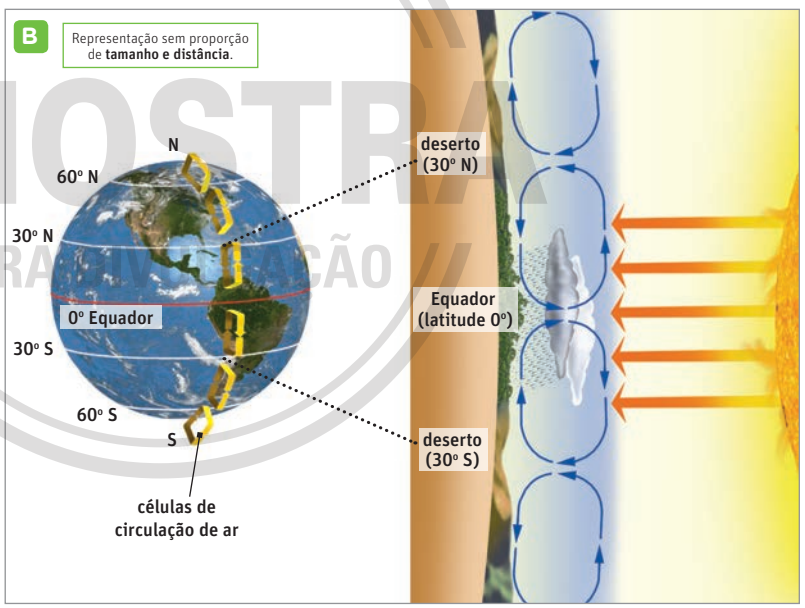
Representação das principais correntes oceânicas (setas verdes). As manchas escuras a oeste dos continentes representam regiões de ressurgência.

Fonte de pesquisa: Ricklefs, R. E. *A economia da natureza*. 6. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2010. p. 59.

Correntes atmosféricas

A radiação infravermelha (IV) é um componente dos raios solares. Certos gases presentes na atmosfera, como o vapor de água, o dióxido de carbono e o metano, absorvem parte da radiação infravermelha do Sol, o que contribui para o aquecimento da atmosfera.

Quando a radiação IV proveniente do Sol atinge a superfície do planeta, ela sofre reflexão, aquecendo a massa de ar mais próxima da superfície. Uma vez aquecida, essa massa de ar fica menos densa do que a camada imediatamente superior e sobe para altitudes maiores. O espaço deixado pelo ar ascendente (ar aquecido) é preenchido por massas de ar frio, mais denso, que se formam nas maiores altitudes e descem para as camadas mais baixas. Esses deslocamentos de massas de ar, que dependem da temperatura e da densidade, são chamados de movimentos de **convecção** e ocorrem devido à variação da quantidade de energia nas diferentes latitudes (imagem **B**).



Luis Moura/ID/BR

Representação dos movimentos de convecção na atmosfera da Terra. Cores-fantasia.

Fonte de pesquisa: Ricklefs, R. E. *A economia da natureza*. 6. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2010. p. 57.

Nas regiões equatoriais, o ar se aquece mais do que em outras regiões da Terra. Menos denso, ele sobe, no movimento de convecção. As correntes de ar mais frias, vindas de regiões sul e norte do globo, preenchem o espaço deixado. O ar aquecido ganha altitude e se distancia da linha do Equador, formando uma corrente de ar rumo ao norte e outra rumo ao sul. Esfriando-se gradualmente, o ar volta a descer à superfície próximo às latitudes de 30° norte e sul. Mais uma vez o ar se aquece e sobe, atingindo grandes altitudes; então, esfria e desce, retornando à superfície, agora próximo às latitudes de 60°. O mesmo movimento se repete mais uma vez e em direção aos polos.

AMOSTRA
PARA APRECIAÇÃO

Não escreva no livro.

Temperatura

Qualquer organismo vivo é um sistema complexo altamente dependente da temperatura. Essa dependência se manifesta de várias maneiras. O metabolismo, conjunto de todas as reações bioquímicas que mantêm as células vivas, depende diretamente da ação de uma série de enzimas. Sob baixas temperaturas, as enzimas ficam praticamente inativas, reduzindo drasticamente a sua atividade biológica. Na situação oposta, quando a temperatura aumenta acima de 41 °C, as enzimas também são inativadas, dessa vez, porém, porque sua estrutura espacial foi alterada.

As variações de temperatura ao longo do ano determinam propriedades peculiares. Os animais de regiões mais frias comumente apresentam pelagens densas e camada espessa de gordura subcutânea, estruturas que ajudam a manter a temperatura corpórea relativamente constante (imagens **A** e **B**). Em regiões secas, muitas plantas podem perder as folhas na época mais quente do ano, o que reduz a perda de água por transpiração (imagem **C**).



Noah Strycker/iStock/Getty Images



Outdoorsman/Dreamstime.com/D/BR

Animais característicos das regiões mais frias da Terra: (**A**) pinguim-imperador, que tem uma espessa camada de gordura corporal; (**B**) raposa-do-ártico, cuja pelagem a protege contra o frio.

Água

A importância da água para os seres vivos é bem conhecida. Além de ser o principal meio onde ocorrem as reações químicas relacionadas à manutenção da vida, sua evaporação contribui para a regulação da temperatura dos seres vivos e do ambiente.

As chuvas são uma importante fonte de água para os ecossistemas. O padrão de chuvas de uma região é definido por uma série de componentes abióticos e bióticos, entre os quais se destacam a temperatura, as taxas de evaporação de águas pluviais e marinhas, o regime dos ventos, a topografia e a flora local. As regiões equatoriais são as que apresentam as maiores médias anuais de precipitação.

A combinação entre precipitação e temperatura interfere no tipo de vegetação existente em um local (imagens **D** e **E**).



Cândido Neto/Opção Brasil Imagens

Vegetação de Caatinga, adaptada a altas temperaturas e à seca; observe que as árvores perderam as folhas. Oeiras (PI), 2015.

AMJ Studio/D/BR

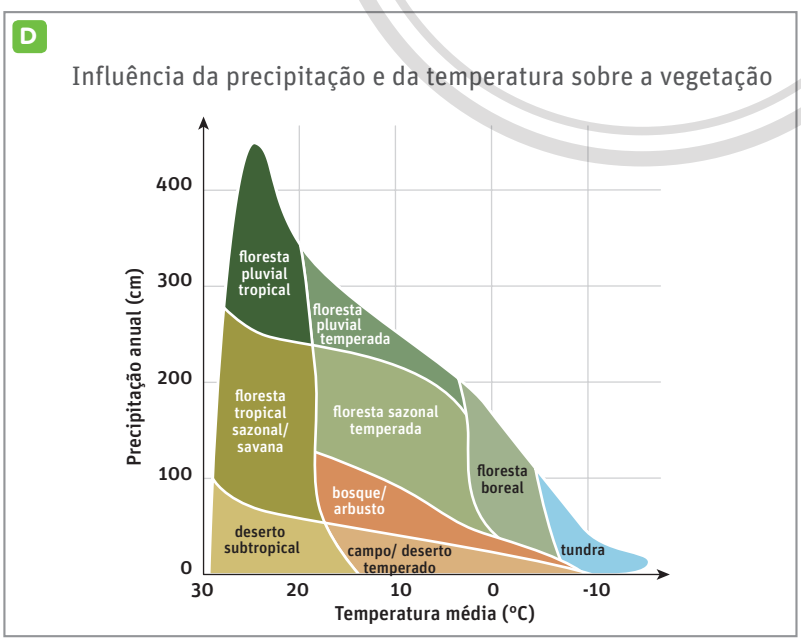
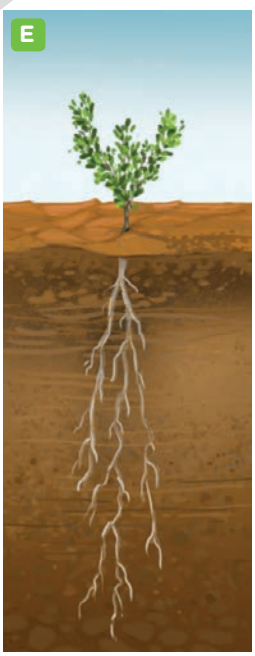


Gráfico representando a influência da precipitação e da temperatura no tipo de vegetação de uma região.

Fonte de pesquisa: Ricklefs, R. E. *A economia da natureza*. 6. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2010. p. 81.



Petra Elster/ID/BR

Os organismos também estão adaptados à quantidade de água disponível. Certas plantas que vivem em locais secos têm raízes longas, que alcançam a água existente em regiões profundas do solo. Cores-fantasia.

AMOSTRA PARA DIVULGAÇÃO

Sucessão ecológica

As comunidades biológicas não são entidades estáticas ao longo do tempo. Certos eventos, como incêndios, erupções vulcânicas, deposição de areia pelas águas de rios e mares, entre outros, originam ambientes novos, abertos à colonização por uma nova comunidade biológica. Também as comunidades biológicas mudam ao longo do tempo, na medida em que elas próprias alteram as condições do ambiente colonizado.

Esse processo de contínua alteração dos ecossistemas é denominado **sucessão ecológica**. Ele é influenciado por diversos fatores, como a profundidade e o tipo de solo, o clima da região, a disponibilidade de água e o tipo de organismos que se instalam no ambiente. De acordo com o avanço do processo de sucessão, costumam-se distinguir três categorias de comunidades biológicas: comunidades **pioneiras**, **intermediárias** e **clímax**. Trata-se de uma divisão didática com o objetivo de simplificar um complexo processo ecológico influenciado por inúmeros fatores.

Comunidades pioneiras

Alguns ambientes são extremamente impróprios ao estabelecimento de seres vivos, pois não apresentam as propriedades mínimas exigidas por muitas espécies. Esse tipo de ambiente, com baixíssima capacidade de suporte, é comumente referido como ambiente **inóspito**.

Em geral, um ambiente inóspito apresenta solo nu, exposto a intenso intemperismo, como é o caso das superfícies rochosas e das dunas de areia. Nesses ambientes, a intensa exposição à radiação solar resulta em altas taxas de luminosidade e de temperatura e em baixa umidade; a água das chuvas escorre ou logo evapora, e a ação dos ventos também pode ser muito intensa.

Apesar das características adversas, como as altas intensidades de luz e temperatura e a escassez de água e sais minerais, esses ambientes podem ser colonizados por algumas espécies tolerantes, denominadas **espécies pioneiras**, como os liquens, as gramíneas e pequenos invertebrados (imagens **A**, **B** e **C**).

Ao colonizar ambientes inóspitos, essas espécies constituem a **comunidade pioneira**, assim chamada por ser aquela que coloniza o ambiente primeiro, iniciando a sucessão ecológica.

Fases da sucessão

Com o estabelecimento da comunidade pioneira, o ambiente inicialmente inóspito começa a sofrer transformações que favorecem o aparecimento de novas populações. O substrato, inicialmente infértil, recebe matéria orgânica dos organismos pioneiros que morrem e sofre a ação dos ácidos orgânicos, o que forma os primeiros vestígios de solo.

A presença das espécies pioneiras facilita a retenção da umidade, diminui a temperatura da superfície e protege-a contra a ação do vento. À medida que as espécies pioneiras se propagam, o ambiente torna-se gradativamente favorável à instalação de outras espécies, menos resistentes às condições adversas iniciais. Essas comunidades, denominadas **comunidades intermediárias**, por sua vez, continuam alterando o ambiente e tornando possível o estabelecimento de novas espécies, mais exigentes, que só sobrevivem em condições ambientais mais restritas.

Por fim, estabelecem-se as espécies mais exigentes quanto aos recursos ambientais, constituindo a **comunidade clímax**. Esta pode ser um campo, uma floresta, ou outro tipo de vegetação, uma vez que o estágio clímax sempre será influenciado pelas características próprias do lugar em que ocorre e pelo conjunto de seres vivos que conseguiram se estabelecer na área.

A comunidade clímax, por sua vez, ainda estará sujeita a eventuais perturbações ambientais e, portanto, pode continuar sofrendo alterações ao longo do tempo.



Dario Bajurin/Dreamstime.com/ID/BR



Angela Bell/iStock/Getty Images



Premaphotos/Alamy/Latinstock

Exemplos de espécies pioneiras: liquens (**A**), gramíneas em solo arenoso (**B**) e pequenos insetos (**C**), como esse besouro (*Cauricara eburnea*).

Não escreva no livro.

Tipos de sucessão

Os ecólogos reconhecem dois tipos distintos de sucessão ecológica, definidos conforme o tipo de ambiente em que a sucessão se origina.

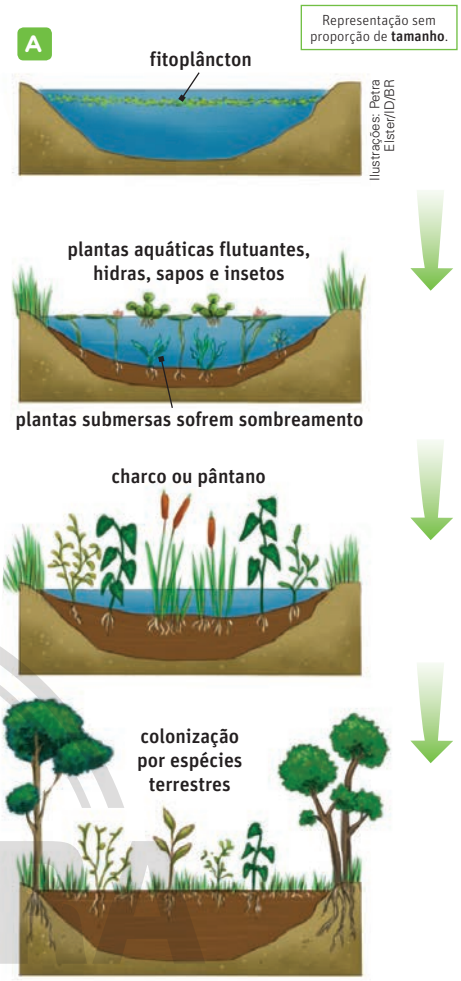
A **sucessão primária** tem início em terrenos que nunca foram habitados anteriormente por comunidades semelhantes às que se formam durante o processo. O tempo necessário para que uma sucessão primária atinja um clímax pode contar milhares de anos.

A colonização de uma lagoa (imagem **A**) é um exemplo de sucessão primária. São possíveis várias situações diferentes, conforme a interação existente entre a comunidade aquática e a de suas margens. No entanto, há um padrão mais ou menos definido de colonização desse tipo de ambiente. Inicialmente, a água da lagoa é colonizada pelos microrganismos que compõem o fitoplâncton. Em seguida, instalam-se plantas aquáticas flutuantes, e, mais perto das bordas, algumas outras plantas. A presença de plantas atrai animais de pequeno e médio portes. Os detritos desses organismos (algas, plantas e animais) se depositam sobre o fundo da lagoa junto com os materiais orgânicos e particulados de solo levados das encostas adjacentes pelas chuvas.

Com o passar do tempo, a lagoa fica cada vez mais rasa, e, ao mesmo tempo, seu fundo, mais rico em nutrientes, ampliando a variedade de espécies que podem instalar-se em suas margens e mesmo sobre a água. Aos poucos, os detritos depositados no fundo tomam o espaço da água, transformando em pântano a área inicialmente ocupada pela lagoa. As gramíneas se instalam sobre esse solo alagado e ajudam a drenar a água. Essas condições são apropriadas para o desenvolvimento das sementes em arbustos e árvores. Gradativamente pode se formar uma floresta no local.

A **sucessão secundária** tem início em ambientes cujas comunidades sofreram grandes perturbações, que podem ou não ser causadas por influência humana. As mais comuns são as queimadas (naturais ou não), as inundações e os desmatamentos. Nesse tipo de sucessão, a comunidade pode atingir um clímax muito mais rapidamente do que o observado em sucessões primárias.

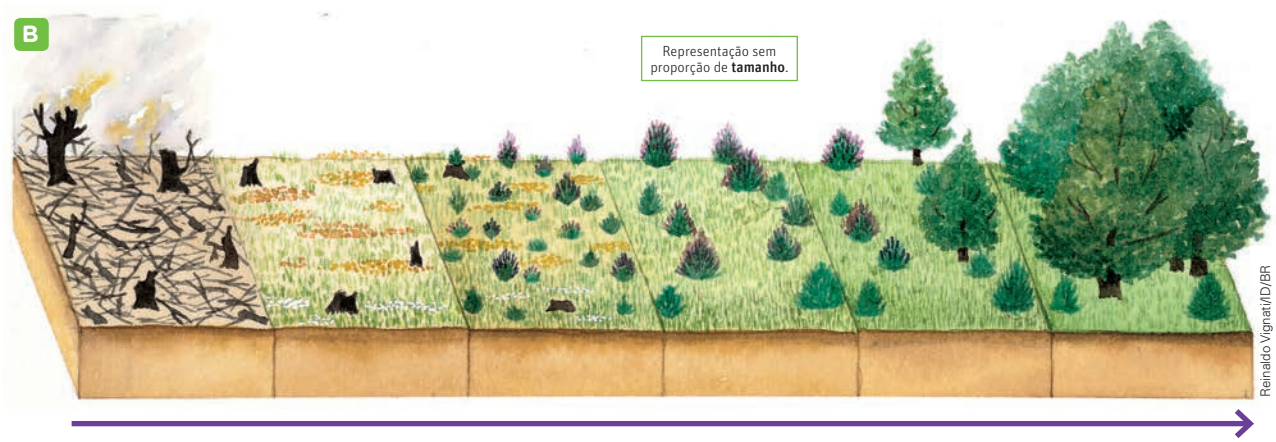
Um caso clássico de sucessão secundária é o que ocorre em locais desmatados para a prática da agricultura que permanecem abandonados por tempo relativamente longo. Nessas áreas abandonadas, o solo já é rico em nutrientes minerais e matéria orgânica, o que possibilita a colonização do local por gramíneas, espécies pioneiras características da sucessão secundária. O fim da sucessão secundária pode ou não resultar em uma comunidade clímax composta das mesmas populações que existiam antes do desmatamento (imagem **B**).



Esquema de sucessão primária em uma lagoa. As setas verdes indicam a passagem do tempo. Cores-fantasia.

ATIVIDADES

3. Descreva um processo de sucessão primária e um de sucessão secundária diferentes dos citados no texto ao lado.



Esquema de sucessão secundária em região queimada e abandonada. A direção da seta indica a passagem do tempo. Cores-fantasia.

AMOSTRA PARA DIVULGAÇÃO

Tendências ao longo da sucessão

Do início ao fim de uma sucessão ecológica, o ambiente passa por profundas alterações. Observa-se, por exemplo, que a quantidade de matéria orgânica existente, ou seja, de **biomassa**, altera-se intensamente.

No início, a quantidade de matéria orgânica sintetizada pelos produtores, por fotossíntese, é muito maior do que a necessária para a sustentação de toda a comunidade. Nos estágios mais tardios da sucessão, a quantidade de matéria orgânica requerida pelas populações aumenta muito, e toda a biomassa produzida tende a ser consumida na manutenção dessas populações. Há, portanto, certa estabilidade entre o que é produzido e o que é consumido.

Algumas pesquisas indicam que a diversidade de espécies é um dos fatores que conferem estabilidade às comunidades clímax. Segundo essa hipótese, quanto mais complexo é o ecossistema, mais numerosas as relações ecológicas e maior a variedade de condições ambientais e recursos disponíveis. Isso permite que a flora e a fauna apresentem nichos mais diversificados, aumentando tanto a diversidade quanto a biomassa do ecossistema.

A existência de relações complexas entre os seres vivos torna o ecossistema menos suscetível às variações do ambiente. Por exemplo, quando existem diferentes espécies de produtores, adaptadas a obter e armazenar água de diferentes maneiras, uma mudança na disponibilidade de água poderá afetar somente alguns produtores, mas não todos. O ecossistema, portanto, continuará estável e sem grandes modificações.

Assim, os ecossistemas mais complexos e altamente integrados, como os das florestas tropicais, apresentam uma estabilidade considerável, e no estágio de clímax são capazes de recuperar-se das agressões, desde que elas não sejam muito intensas (quadro abaixo).

Comparação de ecossistemas em sucessão e em clímax

Características	Ecossistema em sucessão	Ecossistema em clímax
diversidade biológica	baixa	alta
biomassa total	pequena	grande
número de relações	pequeno	grande
teia alimentar	simples	complexa
relação de produção/consumo	maior que 1	igual a 1
estabilidade	instável	estável
resistência aos distúrbios externos	baixa	alta

Fonte de pesquisa: Universidade Federal de Campina Grande. Disponível em: <www.hidro.ufcg.edu.br>. Acesso em: 26 fev. 2016.

BIOLOGIA NO COTIDIANO

Pioneiras indesejáveis

Certas espécies com características de plantas pioneiras podem, algumas vezes, causar prejuízos aos seres humanos. Conhecidas como ervas daninhas, essas plantas crescem rapidamente, constituindo grandes populações em pouco tempo. Muitas vezes, as populações de ervas daninhas se desenvolvem em ambientes agrícolas, reduzindo a produtividade da cultura e a qualidade das colheitas, além de competir por nutrientes com as plantas cultivadas.

BIOLOGIA SE DISCUTE

Pesquisa analisa balanço de carbono na Amazônia

[...] A Amazônia brasileira tem um papel de destaque na contenção do processo de aquecimento global. Ela estoca cerca de 90 bilhões de toneladas de carbono, o que corresponde a 35% do carbono presente nas florestas tropicais no mundo. Mas nessa conta [estão] apenas o estoque referente às florestas intactas e as perdas causadas pelo desmatamento. A novidade [de um] estudo é que a exploração madeireira e os incêndios acidentais na região causam a perda de cerca de 54 milhões de toneladas de carbono, que representam 40% da perda anual pelo desmatamento da floresta [...]

A combinação dos danos causados pela extração de madeira e incêndios acidentais pode então transformar as florestas em um mato denso, cheio de árvores e cipós de pequeno porte [...]

A pesquisadora Erika Berenguer, da Universidade de Lancaster [...] explica que a degradação florestal frequentemente começa com a extração de madeiras de alto valor comercial, como o mogno e o ipê. A retirada dessas árvores causa danos a dezenas de árvores vizinhas. "Uma vez que a floresta tenha sido explorada, formam-se muitas aberturas, o que significa que a floresta se torna muito mais seca devido à exposição ao sol e ao vento, o que por sua vez aumenta o risco de fogos acidentais se espalharem por dentro dessa vegetação", afirma. [...]

Lima, A. L. Pesquisa analisa balanço de carbono na Amazônia. *Embrapa*, 9 jun. 2014. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/1802292/pesquisa-analisa-balanco-de-carbono-na-amazonia>. Acesso em: 29 fev. 2016.

1. Com os desmatamentos ocorridos na floresta Amazônica pela ação humana, seria plausível afirmar que essa floresta teria, hoje, seu estado de sucessão ecológica – clímax – alterado? Explique.

AMOSTRA PARA DIVULGAÇÃO

Não escreva no livro.

Estimativa de tamanho populacional

Objetivo

Simular o *método da captura e recaptura*, utilizado por pesquisadores para estimar o tamanho de populações.

Material

- garrafa plástica de 600 mL
- marcador permanente vermelho
- grãos de feijão, milho ou grão-de-bico
- copinhos plásticos de café



Eduardo Santaliestra/IB/BR

Material utilizado na atividade.

Procedimento

1. Forme um grupo de cinco integrantes. Encha a garrafa de plástico com os grãos de feijão (ou de milho, etc.). As sementes representam o número total de indivíduos da população.
2. Encha um copinho de café com parte dos grãos, conte-os e marque-os com um traço vermelho para identificá-los. Esses grãos marcados representam a primeira amostra capturada da população (A), a qual é marcada e devolvida ao ambiente. Portanto, o próximo passo é devolver os grãos marcados para a garrafa.
3. Em seguida, misture os feijões, agitando a garrafa vigorosamente, e colha outra amostra, enchendo novamente o copinho de café com grãos de feijão. Agora, conte o número total de grãos no copinho (B) e o número de grãos de feijão marcados (C) e, em seguida, devolva a segunda amostra para a garrafa. Se em uma amostra não aparecerem grãos de feijão marcados, desconsidere-a e repita o procedimento de mistura e coleta com o copinho.
   Para que o experimento tenha eficácia é preciso repetir o procedimento várias vezes e anotar em uma tabela os dados obtidos. Veja o exemplo a seguir e, se necessário, acrescente mais linhas à tabela.

Número da coleta ou tentativa	Total de grãos marcados e devolvidos para a garrafa (A)	Total de grãos no copinho (B) da segunda amostra	Total de grãos marcados no copinho (C)	Estimativa do nº total de grãos na garrafa (população)

Resultado

1. Para estimar a quantidade total de grãos de feijão na garrafa, utilize a seguinte fórmula: População = $\frac{A \times B}{C}$ em que:
   - A é o número total de feijões coletados na 1ª amostra;
   - B é o número total de feijões coletados na 2ª amostra;
   - C é o número de feijões marcados presentes na 2ª amostra.
2. Aplique a fórmula para os dados de cada coleta e, em seguida, calcule a média. A média representa a estimativa da quantidade total de grãos de feijão na garrafa.
3. Retire todos os feijões da garrafa e conte-os. Compare a estimativa com o número real de grãoes contidos na garrafa.

Discussão

1. Compare o resultado obtido por seu grupo com o de outras equipes. A estimativa aproximou-se do número total de sementes?
2. Qual é a importância desse método em uma situação real de estimativa de tamanho populacional?

AMOSTRA PARA DIVULGAÇÃO

Não escreva no livro.

O desenvolvimento do conceito de ecossistema

Na década de 1930, a ecologia era um assunto que interessava aos biólogos da Grã-Bretanha, cujo império abrangia várias colônias com ambientes e sociedades bastante diversificados. Essas diferenças propiciaram o surgimento de dois enfoques nos estudos ecológicos. O primeiro deles foi adotado em Oxford, na Inglaterra, por Arthur George Tansley (1871-1955), e o segundo na África do Sul por Jan Smuts (1870-1950). Este último serviu de inspiração para o botânico sul-africano John Phillips (1899-1988).

Nessa época, Tansley era professor de Botânica na Universidade de Oxford. Seus colegas biólogos da universidade viam a ecologia como um caminho novo e melhor para organizar a natureza, a sociedade e o conhecimento em um mundo que ainda sentia os efeitos da Primeira Grande Guerra e vislumbrava o início da Segunda Guerra Mundial.

No período considerado, quando a ecologia se institucionalizava como área de pesquisa científica, estavam sendo propostos vários termos e conceitos tanto na Grã-Bretanha como nos Estados Unidos. Tansley não concordava com algumas dessas propostas, como, por exemplo, o conceito de "organismo complexo" do colega e botânico estadunidense Frederic Clements (1874-1945).

Para Clements, a comunidade de plantas passava por alguns estágios de desenvolvimento de modo análogo a um organismo. Essa comunidade, que estava sujeita a mudanças progressivas, podia ser considerada como um "organismo complexo" cuja fisiologia podia ser estudada do mesmo modo que um organismo em laboratório.



Luiz Claudio Marigo/Nature PL/Fotoarena

Para Tansley, o estudo das comunidades deveria levar em conta também os fatores físicos do ambiente, como a água. Pantanal, (MT). Foto de 2014.

Os estudos de Tansley com plantas no estado natural levaram-no a crer que elas formavam comunidades – no que estava de acordo com Clements – e que o ecólogo deveria se preocupar em entender como era a estrutura dessas comunidades. Porém, Tansley rejeitava a ideia de que apenas os organismos formariam as comunidades. A seu ver, deveriam ser considerados também os fatores físicos que constituíam o meio ambiente em que os organismos vivem – ou seja, não deveria haver uma separação entre esses dois componentes. Além disso, criticava as analogias que eram feitas entre essas comunidades e um organismo, como as desenvolvidas por John Phillips, por exemplo. Nesse sentido, Tansley propôs o conceito de "ecossistema" em um artigo publicado em 1935.

Ao que tudo indica, antes de 1935 Tansley já procurava um termo que pudesse expressar as relações entre componentes físicos, biológicos e o meio ambiente. Nessa época, ele teria consultado um jovem botânico de Oxford, Arthur Roy Clapham (1904-1990), que sugeriu o termo "ecossistema".

> Eu já apresentei as razões para minha rejeição aos termos "organismo complexo" e "comunidade biótica". O termo inicial de Clements "bioma" para se referir ao complexo de organismos que habitam uma determinada região está acima de qualquer objeção e é conveniente para alguns fins. Mas a concepção mais fundamental me parece ser a totalidade do sistema (no sentido da Física), o complexo de organismos, mas também o complexo inteiro de fatores físicos que formam o que chamamos de bioma – os fatores do hábitat no sentido mais amplo. Ainda que os organismos possam reivindicar nosso interesse primário, quando estamos procurando pensar fundamentalmente não podemos separá-los de seu meio especial, com o qual eles formam um sistema físico.
>
> Os sistemas assim formados, do ponto de vista do ecólogo, são as unidades básicas da natureza sobre a superfície terrestre. Nossos preconceitos humanos naturais nos forçam a considerar os organismos (no sentido do biólogo) como as mais importantes partes desses sistemas, mas certamente os "fatores inorgânicos" são também parte deles – não pode haver sistemas sem eles, e há uma troca constante dos mais variados tipos dentro de cada sistema, não apenas entre os organismos, mas também entre o orgânico e o inorgânico. Esses ecossistemas, como podem ser chamados, são dos mais variados tipos e tamanhos.

TANSLEY, Arthur George. The use and abuse of vegetational concepts and terms. *Ecology*, v. 16, n. 3, p. 299, 1935. Disponível em: <http://www.esf.edu/cue/documents/Tansley_Use-Abuse-VegConcepts_1935.pdf>. Acesso em: 13 maio 2016. (Tradução dos autores.)

Não escreva no livro.

Por "ecossistema", portanto, Tansley entendia a totalidade do sistema que abrangia tanto os seres vivos como o meio físico e as trocas que ocorriam entre os componentes físicos e biológicos. Os ecossistemas podiam ter desde dimensões muito pequenas, como as de um átomo, até muito grandes, como o universo. Os sistemas menores seriam parte dos sistemas maiores, e ocorreria uma interação entre todos eles. No entanto, era possível isolá-los para poder estudá-los.

Para Tansley, o desenvolvimento dos ecossistemas se daria em direção a uma maior integração e estabilidade, o clímax, no que ele estava de acordo com Clements:

> A ideia de clímax no desenvolvimento da vegetação foi sugerida inicialmente por Hult em 1885 e então avançou mais ou menos independentemente por diversos investigadores durante a década seguinte ou mais adiante [...]. Ela foi aplicada a um estágio final mais ou menos permanente e ao estágio final de uma sucessão particular [...]. O conceito de clímax como um organismo complexo conectado de modo inseparável ao clima [...] foi introduzido por Clements (1916).

CLEMENTS, Frederic E. Nature and structure of the climax. *The Journal of Ecology*, v. 24, p. 253, 1936. (Tradução dos autores.)

De acordo com Tansley, essa estabilidade, no entanto, poderia variar, de forma que alguns desses ecossistemas poderiam se desintegrar no decorrer do tempo. As plantas, animais, clima e solo seriam elementos importantes para o reconhecimento de um ecossistema.

Durante os vinte anos que se seguiram à proposta de Tansley, o termo "ecossistema" foi pouco usado em publicações na Grã-Bretanha. Em outros países apareceu esporadicamente. Foi utilizado, por exempo, pelo ecólogo norte-americano Raymond Lindeman (1915-1942), que o definiu como "um sistema composto por processos físico-químico-biológicos que atuam dentro de uma unidade de espaço-tempo de alguma magnitude" (LINDEMAN, Raymond. The trophic dynamic aspect of ecology. *Ecology*, v. 23, p. 400, 1942).

Na década de 1950, o uso do termo "ecossistema" foi retomado. Porém, foram acrescentadas algumas ideias que não faziam parte da proposta original de Tansley. Uma delas foi a ênfase nos ciclos de nutrientes, como o caminho circular do carbono e do nitrogênio através dos componentes bióticos e abióticos do sistema. Outra ideia acrescentada foi a da via única do fluxo de energia através do sistema. Esse fluxo não se referia apenas à nutrição dos organismos, mas também ao dispêndio de energia em suas atividades vitais. Assim, a análise dos ecossistemas passou a se concentrar principalmente nos ciclos químicos que ocorriam dentro do sistema e no fluxo de energia através dele.

Em 1953, Eugene Odum (1913-2002) reconheceu dois componentes do ecossistema: os autotróficos e os heterotróficos. Indicou também quatro elementos constituintes: os abióticos, os produtores, os consumidores e os decompositores. Mais tarde, no final da década de 1960, ele definiu o ecossistema ou sistema ecológico como "a unidade de organização biológica composta por todos os organismos em uma dada área (isto é, comunidade). Interagindo com o meio físico de forma que um fluxo de energia leva a uma estrutura trófica característica e a ciclos materiais dentro do sistema" (ODUM, Eugene P. The strategy of ecosystem development. *Science*, v. 164, p. 262, 1969).

Na concepção de ecossistema de Odum é possível encontrar alguns elementos que estavam presentes na concepção de "organismo complexo" de Clements e que são abordadas na fisiologia, como, por exemplo, a capacidade autorreguladora de um organismo. Porém, também é possível perceber na concepção de Odum uma aproximação ao conceito de ecossistema de Tansley no que tange às interações com o meio físico, procurando mensurá-las, pensando-o de forma mais ampla.

O conceito de ecossistema surgiu em uma época de fragmentação da sociedade, no período entre guerras, como uma ideia de integração. Ao ser proposto por Tansley, esse conceito não foi aceito prontamente, já que várias outras propostas coexistiam – como é normal ocorrer na fase de institucionalização de uma ciência. O conceito de ecossistema foi sofrendo várias modificações até chegar à proposta de Odum, quando então se tornou um conceito central nos estudos de ecologia.

ATIVIDADES

1. Com base no texto, o que você entendeu por ciência institucionalizada?
2. Por que Tansley não concordava com a ideia de "organismo complexo" de Clements?
3. De que maneira a definição de ecossistema dada por Odum resgata aquela elaborada por Tansley?

AMOSTRA Livre de direitos autorais

Não escreva no livro.

CAPÍTULO

15 Biomas

O QUE VOCÊ VAI ESTUDAR

Os principais biomas mundiais e brasileiros.

As condições que determinam a distribuição dos biomas.

Algumas adaptações de plantas e animais aos biomas em que vivem.



Marcos Amend/Pulsar Imagens

Vista aérea do rio Anauá cortando a floresta Amazônica, uma das maiores florestas tropicais do mundo. Caracaraí (RR), 2016.

Ao sobrevoar a floresta Amazônica, é possível avistar uma imensidão verde, formada pelas copas entrelaçadas das árvores. Sob a espessa camada de galhos e folhas, esconde-se uma fauna e uma flora rica em espécies. Conforme o voo prossegue em direção ao sul, a paisagem natural vai ficando diferente: as árvores já não estão mais tão próximas umas das outras, e a vegetação rasteira fica visível. As espécies que vivem sob a copa das árvores amazônicas provavelmente não sobreviveriam nesse novo ambiente, cujas condições ambientais são bem diferentes. Mas o que teria ocasionado essa mudança na vegetação? Por que as árvores teriam se tornado mais baixas e mais esparsas?

As mesmas perguntas podem ser feitas em escala global, quando analisamos os demais continentes. Uma visão geral da Terra, por exemplo, nos mostra que sua superfície apresenta paisagens de aspectos distintos, mas que eventualmente se repetem: florestas, campos e desertos existem tanto ao norte quanto ao sul da linha do Equador. No entanto, embora com aspectos por vezes similares, dois ambientes nunca são exatamente iguais. As características e a distribuição das diversas paisagens na Terra é o tema deste capítulo.

Não escreva no livro.

Os biomas do mundo

A distribuição dos seres vivos nos diferentes ecossistemas depende das condições ambientais, que incluem os fatores abióticos (o conceito de ecossistema é tratado no capítulo 12). Uma grande área com fatores abióticos relativamente homogêneos, especialmente aqueles que se referem ao clima e ao solo, na qual a fauna e a flora são adaptadas, constitui um **bioma**.

A ocorrência dos biomas está relacionada ao fato de que nenhum ser vivo está adaptado a todas as variações ambientais encontradas na biosfera. Se assim fosse, o planeta seria coberto por um único tipo de bioma, e a diversidade biológica com certeza seria menor.

Os tipos de biomas

A classificação dos **biomas terrestres** é feita principalmente com base na fisionomia vegetal, isto é, no aspecto da vegetação encontrada em cada local. A maioria dos ecólogos reconhece os seguintes biomas terrestres: florestas tropicais, florestas temperadas, taiga, árvores e bosques, tundra, savanas, pradarias e estepes, desertos e zonas de altitude elevada (veja mapa abaixo).

O clima está entre os principais fatores determinantes da distribuição desses biomas pela superfície da Terra, o que inclui a temperatura e a pluviosidade, ambos influenciados pela latitude e pela altitude. Outros fatores determinantes são o tipo de solo e o relevo.

Ao contrário dos ambientes terrestres, os ambientes aquáticos são menos influenciados pelo clima. Nesses casos, os principais fatores determinantes são a salinidade e a disponibilidade de nutrientes, a temperatura, a luminosidade, a profundidade e a velocidade de deslocamento da água, ou correnteza. Nos ambientes costeiros, o padrão das marés também é um fator importante na distribuição das espécies.

ATIVIDADES

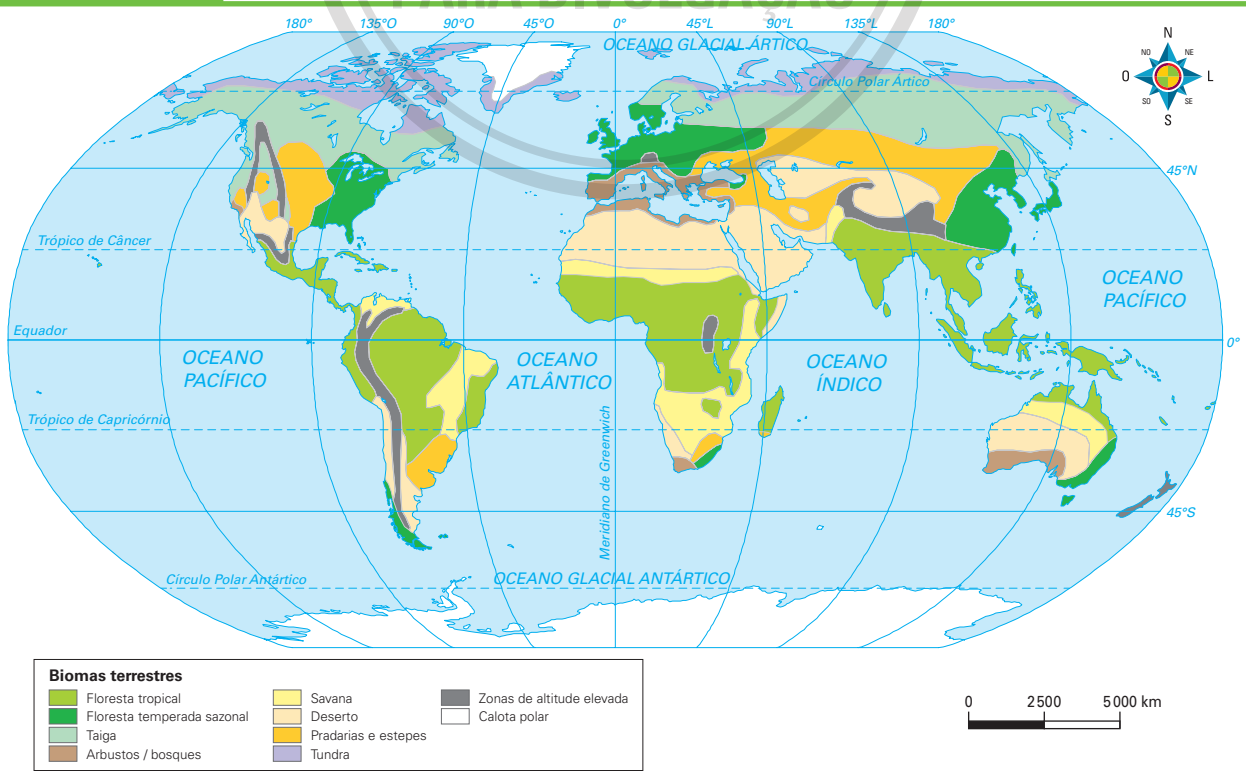
1. O que ocorre com a temperatura quando aumenta a latitude? E quando a altitude aumenta? Explique.

AMOSTRA PARA DIVULGAÇÃO

Fonte de pesquisa: Reece, J. B. et al. *Campbell Biology*. 10. ed. [S.l.]: Pearson, 2014. p. 1165.

Mapa representando a distribuição dos principais biomas terrestres.

Biomas terrestres



João Miguel A. Moreira/ID/BR

Tundra

Este bioma está localizado próximo às zonas polares da Terra. Devido ao frio intenso, a vegetação é bastante rala (imagem **A**). A temperatura média anual é inferior a –5 °C. As temperaturas médias mensais apresentam-se acima do zero grau Celsius apenas no verão, entre junho e setembro, no hemisfério Norte, e entre dezembro e março, no hemisfério Sul. A pluviosidade média anual é inferior a 600 mm.



NK Sanford/Alamy/Latinstock

Uma das características da tundra é a ausência de vegetação arbórea. Alasca, EUA, 2014.

A **tundra ártica**, ou boreal, forma um cinturão ao redor da zona polar ártica, ao norte do planeta. Ocupa o norte da Europa, Ásia e América do Norte. A vegetação é composta por líquens, musgos e algumas plantas de raízes superficiais. A fauna, ativa e abundante durante o verão, é composta por insetos com ovos resistentes ao congelamento, aves migratórias, como a gaivota-rapineira (imagem **B**), e mamíferos, como o urso-polar (imagem **C**), o boi-almiscarado e a rena.

A **tundra antártica** cobre parte da Patagônia, no sul da Argentina e do Chile. Os mamíferos raramente são avistados, ao contrário das aves, como os pinguins, que formam grandes colônias.

Taiga

Também conhecida como **floresta boreal** ou **floresta de coníferas**, este bioma existe apenas ao norte da Europa, da Sibéria e do Canadá. O clima caracteriza-se por invernos longos e rigorosos. A temperatura varia de –50 °C no inverno a mais de 20 °C no verão, com precipitação entre 400 mm e 1 000 mm ao ano. O verão é curto, de dois a três meses, em média. Devido às baixas temperaturas, a evaporação é lenta, e os solos, permanentemente úmidos. A decomposição das folhas que caem também é lenta. Forma-se, assim, uma extensa camada de material orgânico semidecomposto na superfície, o que torna o solo ácido e pouco fértil.

A vegetação da taiga consiste em extensos bosques onde predominam os pinheiros (imagem **D**) e outras coníferas. Alguns animais encontrados na taiga são mamíferos, como os lemingues (imagem **E**), as lebres e os linces, e aves migratórias, como corujas e gaivotas.

Solo permafrost

É o solo permanentemente congelado que ocorre nos biomas de tundra e taiga. Durante o verão, apenas uma fina camada superficial do solo degela, pois a camada imediatamente abaixo permanece congelada e, portanto, impermeável à água. Assim, mesmo com a baixa pluviosidade, o solo é encharcado durante toda a estação mais quente do ano.

Os cientistas que estudam os efeitos do aquecimento global alertam para as possíveis consequências do derretimento do permafrost. Uma das mais preocupantes é a liberação de gases do efeito estufa pela exposição de matéria orgânica em decomposição, que até então estava aprisionada no permafrost.

ATIVIDADES

2. Muitos animais vertebrados da tundra apresentam hábitos migratórios. Quais fatores podem explicar esses hábitos?



Gertjan Hooijer/Shutterstock.com/ID/BR



Jochen Wijnands/Picture Contact/Alamy/Latinstock

(**B**) Gaivota-rapineira (*Stercorarius skua*) na Noruega. (**C**) Ursos-polares (*Ursus maritimus*) no Canadá.



Pierre Verney/Biosphoto/AFP



Blickwinkel/Alamy/Latinstock

(**D**) Pinheiros em taiga na Finlândia, 2016. (**E**) Lemingue na Noruega.

AMOSTRA PARA DIVULGAÇÃO

Não escreva no livro.

Zonas de altitude elevada

Nas regiões mais elevadas – montanhas e regiões serranas – a altitude produz um clima caracterizado por temperaturas muito baixas, com a presença permanente de neve e ventos de intensidade variável.

Nessas regiões, onde não existem árvores, a vegetação é predominantemente rasteira. Pequenos mamíferos, aves migratórias e insetos compõem a fauna.

Adaptações aos ambientes frios

Em ambientes de clima muito frio, o verão é a estação de crescimento e de desenvolvimento para plantas e animais. No inverno, a sobrevivência de cada espécie depende das adaptações que ela possui às baixas temperaturas.

Os musgos, por exemplo, entram em um estado de **latência** sob baixa temperatura e pouca umidade, o que lhes permitem, em certa medida, resistir ao frio e aos ventos fortíssimos até que as condições ambientais sejam novamente favoráveis à sua proliferação.

Outras plantas, como as coníferas, possuem folhas perenes (não caem durante o inverno), mas com textura semelhante ao couro e formato de agulha, o que contribui para reduzir a evapotranspiração. O tronco também é bastante lenhoso.

Entre os animais endotérmicos, as aves e os mamíferos frequentemente adotam **hábitos migratórios**, deslocando-se para regiões mais quentes quando a temperatura ambiental começa a baixar. Alguns mamíferos, no entanto, abrigam-se em tocas e alimentam-se de sementes que coletaram durante o verão. Essas espécies podem diminuir o metabolismo, entrando em estado de **hibernação**, o chamado sono de inverno, o que permite economizar energia e reduzir a ingestão de alimento.

Os animais ectotérmicos, como os insetos, interrompem seu desenvolvimento quando chega o inverno, entrando em **diapausa**, um estado de baixa atividade metabólica (imagem **A**). Quando o verão se aproxima, as temperaturas aumentam e esses insetos retomam seu desenvolvimento, atingindo o estágio reprodutivo.



SPL/Latinstock

Rainha de vespa europeia (*Vespa crabro*) em diapausa durante o inverno. Quando chega o verão, ela emerge do solo, coloca ovos e funda uma nova colônia.

Floresta temperada sazonal

Bioma encontrado na Europa Central, no leste dos Estados Unidos, na China, no Japão, na Nova Zelândia e no Chile. O clima se caracteriza por invernos com neve e verões quentes, além de chuvas abundantes. A água que penetra no solo forma lençóis subterrâneos ou cursos de água superficiais. Os solos, profundos e ricos em nutrientes, possibilitam o desenvolvimento de grandes árvores (como faias e carvalhos) e de vegetação arbustiva e herbácea (imagem **B**). A estação de crescimento varia de cinco a seis meses, dependendo da latitude e, portanto, da duração e intensidade do inverno.



Robert McGouey/AGE Fotostock/Easy Pix

Durante o outono, a floresta temperada sazonal adquire cores vivas e variadas. Canadá, 2015.

As florestas temperadas são ditas sazonais porque o aspecto da vegetação muda bastante de uma estação do ano para outra. No outono, quando as temperaturas começam a baixar, as árvores reabsorvem os nutrientes das folhas, que se tornam amareladas. No inverno, as folhas caem, o que permite a planta economizar energia. Por essa razão, as florestas temperadas são também chamadas de **florestas decíduas** ou **caducifólias** (com folhas caducas, ou seja, que se desprendem da árvore). A retomada do desenvolvimento e o brotamento de novas folhas, bem como a floração, ocorrem na primavera, quando as temperaturas se elevam e tem início a estação de crescimento, que dura até o final do verão. Essa retomada é favorecida pela presença de uma espessa camada superficial de material orgânico em decomposição, rica em nutrientes, resultante do acúmulo das folhas que caíram no outono.

A riqueza vegetal favorece a presença de uma fauna variada, com mamíferos como raposas, roedores, javalis e cervídeos, além de muitas espécies de aves e insetos. A proximidade com humanos, porém, provocou a diminuição das populações de alguns predadores de grande porte, como os ursos.

AMOSTRA PARA DIVULGAÇÃO

Arbustos e bosques

Esse bioma ocorre tanto ao sul da Europa e ao norte da África, onde é chamado de **chaparral** ou **vegetação mediterrânea**, como também ao sudoeste dos Estados Unidos e em algumas regiões da Austrália e da América do Sul. O clima é temperado, com verão seco e inverno chuvoso, porém menos frio que o das florestas temperadas. As árvores têm folhas perenes e a vegetação arbustiva é abundante (imagem **A**). A fauna inclui pequenos mamíferos (coelhos e raposas), aves, répteis e insetos.



Emmanuel Lattes/Alamy/Latinstock

Aspecto da vegetação mediterrânea. Espanha, 2015.

ATIVIDADES

3. Insetos são animais ectotérmicos que estão presentes em quase todos os biomas do planeta. Como se explica a presença desses animais em biomas de clima frio, onde as temperaturas permanecem negativas durante a maior parte do ano?

Adaptações aos ambientes temperados

Em ambientes de clima temperado, as estações do ano são bem definidas, com um verão quente e um inverno rigoroso. Por essa razão, muitos animais hibernam ou reduzem sua atividade durante o inverno. No verão, eles se protegem das altas temperaturas escondendo-se entre a vegetação de menor porte. Alguns mamíferos, como os coelhos e as raposas, podem ainda trocar de pelagem: na estação fria, a pelagem é branca, tornando-se parda ou marrom no verão. Isso favorece a camuflagem em todas as épocas do ano.

A umidade também varia bastante nos biomas sob clima temperado, o que se reflete nas características dos seres vivos. Nas regiões mais secas, as árvores apresentam folhas perenes e duras, dada a presença de uma espessa cutícula impermeabilizante, e raízes profundas, o que permite uma maior absorção de água durante o verão quente e seco. Nas regiões mais úmidas, as árvores apresentam folhas caducas, largas, delgadas e sem coberturas impermeáveis. A fauna também é mais diversa, devido à abundância de alimento e à maior variedade de hábitats.



Danièle Schneider/Photononstop/Other Images

Pradarias e estepes

Biomas localizados em regiões continentais, com pluviosidade variável, entre 300 mm e 850 mm anuais. A estação de crescimento pode variar de quatro a dez meses, a depender da latitude, sendo que seu ápice ocorre durante o verão quente e chuvoso. A vegetação predominante é de gramíneas e plantas herbáceas. As **pradarias**, ou campos, são encontradas na região central e no meio oeste da América do Norte e na América do Sul meridional (imagens **B** e **C**). As **estepes**, com vegetação mais rasteira, são encontradas na Ásia Central.

Os solos das pradarias e estepes são geralmente pouco ácidos e ricos em nutrientes. A precipitação relativamente baixa favorece o acúmulo de material orgânico com decomposição lenta. A fauna, muito variada, é composta de mamíferos (como cavalos selvagens, gazelas, bisões, roedores e lobos), aves e grande variedade e quantidade de insetos.



F1 Online/Other Images

Guanacos (*Lama guanicoe*) em pradaria no Chile durante o verão (**B**) e no inverno (**C**).

AMOSTRA
PARA DIVULGAÇÃO

Não escreva no livro.

Adaptações às pradarias e estepes

No final do verão, quando as chuvas cessam e o calor é intenso, a vegetação resseca, favorecendo a ocorrência natural de fogo. Muitas plantas apresentam caules subterrâneos, os **rizomas**, a partir dos quais os brotos renascem após as queimadas, que consomem as partes aéreas das plantas. Sementes resistentes ao fogo também são observadas em algumas espécies.

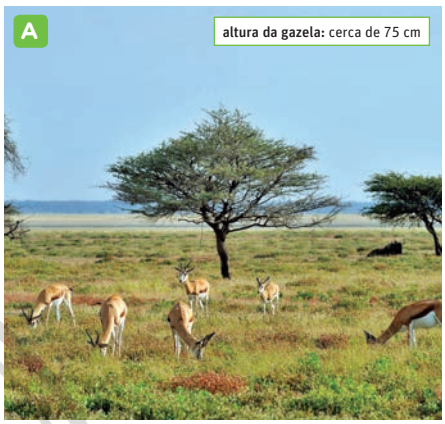
Os grandes mamíferos herbívoros, como bisões e cavalos, apresentam hábitos migratórios e se deslocam em direção às regiões de pastagens mais abundantes.

Savanas

As savanas situam-se nas zonas tropicais dos continentes: África, América Central, América do Sul, Ásia e Austrália. O clima é caracterizado por temperaturas anuais médias elevadas, com uma estação seca prolongada, correspondente ao inverno. A precipitação média anual varia de 900 mm a 1 500 mm e concentra-se no verão. Os solos são arenosos, ácidos e pobres em nutrientes.

A vegetação predominante é de gramíneas e plantas herbáceas, com arbustos e árvores esparsas (imagem **A**). Nas regiões de maior pluviosidade, a vegetação de maior porte pode predominar, conferindo um aspecto de floresta ao bioma.

A fauna das savanas africanas, por exemplo, inclui grandes herbívoros (antílopes e zebras), felinos de grande porte (como leões e guepardos), aves corredoras (como as avestruzes) e uma abundância de insetos (especialmente formigas e cupins).



Rent Mattes/Hemis.fr/Alamy/Latinstock

Gazelas (*Antidorcas marsupialis*) pastando em savana da Namíbia, 2014.

Desertos

Os desertos localizam-se nas zonas subtropicais da África, Austrália, Ásia e Américas. Caracterizam-se pelo clima extremamente seco, com precipitação anual média inferior a 250 mm, às vezes distribuída de forma esparsa ao longo do ano ou concentrada em um curto verão. Os solos geralmente são rasos e pobres em matéria orgânica. As elevadas temperaturas observadas durante o dia contrastam com o frio noturno.

A vegetação é composta de poucas plantas suculentas, como cactos, arbustos e pequenas árvores (imagem **B**). A fauna é formada por insetos, aracnídeos, aves, roedores, lagartos e serpentes.



Kelly vanDellen/Alamy/Latinstock

Vegetação em deserto na Califórnia, EUA, 2016.

Adaptações aos desertos

Nos desertos, o principal fator limitante para os seres vivos é a falta de água. As plantas apresentam raízes muito desenvolvidas e partes aéreas reduzidas, especialmente as folhas. Quando presentes, as folhas têm cutícula espessa ou são pilosas, o que reduz a evapotranspiração. Os cactos, com suas folhas modificadas em espinhos, são ainda capazes de armazenar água no caule e nas raízes.

Na maioria dos desertos subtropicais, a precipitação concentra-se em poucos meses do ano, quando as folhas brotam e as plantas florescem, produzindo sementes abundantes. Em geral, elas permanecem dormentes até a estação de chuvas seguinte, quando se desenvolvem e se reproduzem antes que a água se torne escassa novamente. Ao final desse curto período de crescimento, grande parte das plantas perde suas folhas, que brotam apenas na estação chuvosa seguinte.

Muitos animais são mais ativos à noite, evitando assim a exposição ao sol nas horas mais quentes. Durante o dia, permanecem sob pedras, enterrados na areia ou no interior de tocas, o que minimiza a transpiração. Esses animais obtêm a água necessária para sua sobrevivência diretamente dos alimentos. Além disso, apresentam mecanismos fisiológicos de retenção e reaproveitamento da água corpórea, como a produção de urina extremamente concentrada e de fezes secas.

AMOSTRA
PARA DIVULGAÇÃO

Floresta tropical

Bioma encontrado na América Central, na América do Sul, na África Central e em algumas regiões da Ásia e da Oceania. As florestas tropicais caracterizam-se pelo clima quente, com temperaturas médias anuais às vezes superiores a 20 °C, especialmente no nível do mar. Mesmo nas regiões de grande altitude, as temperaturas raramente atingem o ponto de congelamento. A precipitação é abundante, sobretudo nos meses mais quentes, frequentemente ultrapassando 2 mil mm de chuvas anuais.

Os solos são, em geral, antigos e desprovidos de material orgânico. Além disso, a intensa precipitação contribui para a erosão e a remoção de partículas orgânicas e minerais do solo tropical, tornando-o relativamente pobre. Assim, em geral, o solo desse bioma não apresenta condições favoráveis à prática da agricultura ou da pecuária. Os nutrientes das florestas tropicais provêm da **serrapilheira**, camada de folhas e matéria orgânica em decomposição que reveste o solo.

A vegetação das florestas tropicais é exuberante e se caracteriza pela presença de um **dossel**, teto formado pelo entrelaçamento das copas das árvores (imagem **A**). O dossel compõe o estrato superior, que recebe maior insolação e regula a passagem da luz para os estratos inferiores. As árvores que compõem o dossel são altas, atingindo entre 30 m e 40 m. Inúmeras lianas (cipós) escalam os troncos dessas árvores até atingir suas copas; epífitas (como samambaias e orquídeas) desenvolvem-se sobre os galhos do estrato superior. Esse estrato é perene, permanecendo verde durante todo o ano.

O dossel pode ser ocasionalmente ultrapassado por árvores emergentes, que atingem mais de 50 m. Devido à sua altura e maior exposição ao sol, as árvores do **estrato emergente** podem perder suas folhas nos meses de menor pluviosidade. Os estratos inferiores das florestas tropicais compreendem o **sub-bosque** e o **estrato herbáceo**, que incluem as plantas que não ultrapassam os 10 m de altura, como arvoretas, arbustos e ervas. Estas, porém, são esparsas e adaptadas a viver em baixa luminosidade, uma vez que a maior parte da luz solar é retida pelo dossel.

A fauna das florestas tropicais é muito abundante e variada, com mamíferos como macacos (imagem **B**), lêmures, esquilos, preguiças, felinos e veados; aves, como papagaios, colibris, sabiás; além de répteis, anfíbios e insetos, que ocupam todos os estratos de vegetação.

ATIVIDADES

4. Nas zonas mais quentes do planeta são encontradas savanas, florestas tropicais e desertos. Qual fator (ou quais fatores) determina(m) a ocorrência de cada um desses biomas em seus respectivos locais?



Ricardo Azoury/Pulsar Imagens



Fabio Colombini/Acervo do fotógrafo

(**A**) Dossel da Floresta Amazônica em Calçoene (AP), 2015. (**B**) Uacari-vermelho (*Cacajao rubicundus*) na Floresta Amazônica. Manaus (AM), 2014.

AMOSTRA PARA DIVULGAÇÃO

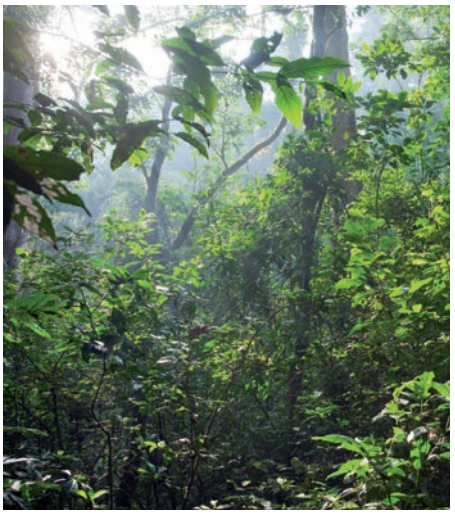
Não escreva no livro.

Adaptações aos ambientes tropicais

As florestas tropicais concentram as maiores biodiversidades do planeta. Os seres desse tipo de bioma vivem em um meio com condições climáticas relativamente favoráveis, onde a água é abundante durante todo o ano e as temperaturas são elevadas.

Essas condições favorecem o desenvolvimento da vegetação, com intensa competição por luz solar (imagem ao lado). Observa-se, assim, a ocorrência de árvores altas ou emergentes, e também de trepadeiras e epífitas, que crescem sobre outras plantas, obtendo assim uma maior quantidade de luz do que se crescessem sobre o solo. Muitas espécies apresentam ainda folhas largas e delgadas, o que amplia a área de captação de luz solar, ou ainda coloração verde-escura, dada a maior quantidade de clorofila, o que aumenta a eficiência na absorção luminosa. As raízes, por sua vez, são pouco profundas e desenvolvem-se horizontalmente, abrangendo uma grande superfície do solo.

Os anfíbios formam um grupo abundante nas florestas tropicais, devido à intensa umidade que aí predomina. A presença de musgos também é notável pelo mesmo motivo. A maioria das aves e mamíferos são de pequeno porte quando comparados aos de outros biomas. Estudos científicos mostram que essa adaptação facilita o deslocamento pela vegetação cerrada das matas tropicais. Muitos animais arborícolas apresentam adaptações que os ajudam a deslocar-se pelo dossel, como, por exemplo, cauda preênsil e polegar oponível.



Simon Colmer/Alamy/Latinstock

Nas florestas tropicais, as plantas competem por luz solar devido à presença do dossel. Uganda, 2011.

FERRAMENTAS DA CIÊNCIA

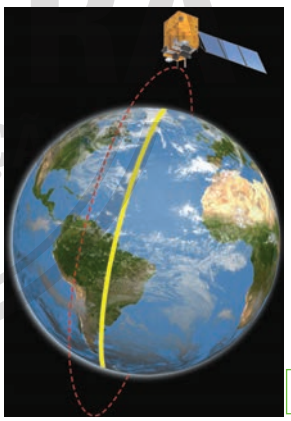
Sensoriamento remoto

O Sol ilumina toda a superfície da Terra. Sabe-se que apenas uma pequena fração da radiação solar estimula o olho humano, mas outros tipos de radiação invisíveis, como o infravermelho e o ultravioleta, também estão presentes. Assim, podemos distinguir entre o **espectro solar** (o conjunto de toda radiação solar que atinge o planeta) e o **espectro visível** (a radiação percebida pelo olho humano).

Os objetos não apresentam a mesma capacidade de absorver ou de refletir a radiação incidente. Objetos que percebemos como transparentes transmitem a radiação, que os transpassa. Outros absorvem parte da radiação e refletem outra parte. Uma folha de árvore, por exemplo, é verde porque sua superfície reflete a fração de radiação que percebemos como verde. Outras frações da radiação, como o azul, são absorvidas pela folha, e, portanto, não são devolvidas para o ambiente. Assim, cada objeto apresenta uma **assinatura espectral**, dependendo do tipo de radiação que é capaz de absorver ou de refletir.

Um **sensor remoto** é um aparelho como uma câmera fotográfica de alta acuidade (digital ou convencional), ou ainda uma câmera sensível à **radiação infravermelha**, a mais utilizada atualmente. Quando instalados em aeronaves ou em satélites, os sensores remotos podem registrar a radiação refletida por áreas específicas da superfície terrestre, gerando imagens que são analisadas e interpretadas por computadores. Em seguida, atribui-se uma cor às assinaturas espectrais dos diferentes objetos: a cor verde geralmente corresponde à vegetação; a cor azul, às massas de água; e os tons avermelhados, às áreas urbanizadas ou desmatadas.

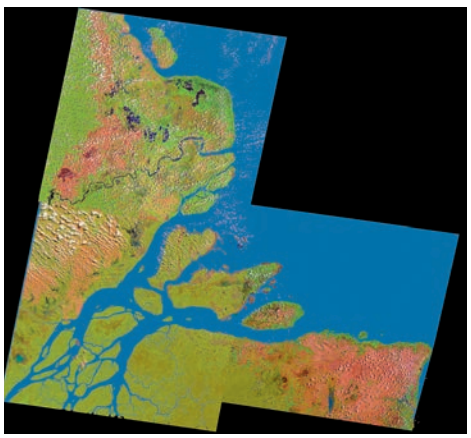
Os satélites constituem o modo mais barato e eficaz de coletar dados utilizados em estudos da vegetação, detecção de desmatamentos, queimadas, redes de drenagem, inundações, entre outros.



Luis Moura/ID/BR

Sensores remotos instalados em satélites fornecem amplas imagens da superfície terrestre.

Representação sem proporção de **tamanho e distância**.



Engesat/ID/BR

Delta do rio Amazonas em imagens obtidas pelo satélite Landsat-5 entre 2008 e 2009.

AMOSTRA
PROIBIDA PUBLICAÇÃO

Os biomas brasileiros

O território brasileiro é bastante extenso no sentido norte-sul. A extensão latitudinal, associada a um relevo variado, além de uma costa oceânica com mais de 3 mil km contribuem para a ocorrência de biomas diversificados.

Os grandes biomas brasileiros são: floresta Amazônica, Mata Atlântica, Pampas, Pantanal, Cerrado e Caatinga (mapa ao lado).

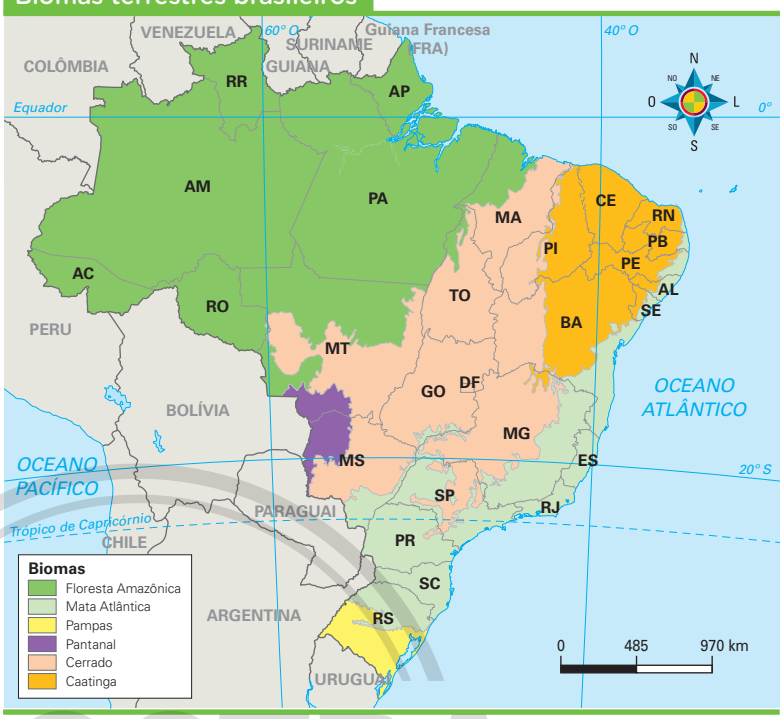
Floresta Amazônica

A floresta Amazônica é a maior floresta tropical do mundo, abrangendo atualmente cerca de 7 milhões de km². Mais de 60% dessa área encontra-se em solo brasileiro; os 40% restantes estão em países vizinhos: Peru, Venezuela, Bolívia, Colômbia, Guiana, Guiana Francesa, Suriname e Equador. Situada na bacia dos rios Orinoco e Amazonas, a Amazônia concentra mais de 30% da água doce disponível na superfície da Terra.

O clima na região amazônica é quente e úmido, com temperaturas médias anuais em torno de 25 °C e precipitação anual entre 2 mil mm e 4 mil mm, dependendo da localidade. O solo é de modo geral arenoso, com origem estimada em mais de 600 milhões de anos. Acredita-se que a região amazônica era coberta por águas oceânicas, quando seu relevo foi soerguido acima do nível do mar durante o período Carbonífero, entre 345 e 280 milhões de anos atrás. A formação dos Andes, na Era Cenozoica (há aproximadamente 65 milhões de anos), originou os rios que compõem a bacia Amazônica.

Além de arenosos, os solos da região amazônica são bastante pobres em nutrientes. Estima-se que 75% dos nutrientes minerais estejam retidos na biomassa vegetal, 17% estariam na serrapilheira, e apenas 8% estariam disponíveis no solo. Esses solos são caracteristicamente ácidos, com alto teor de alumínio e baixos teores de fósforo e potássio.

Biomas terrestres brasileiros



Allmaps/ID/BR

Mapa da distribuição dos principais biomas terrestres brasileiros, à época da chegada dos europeus.

Fonte de pesquisa: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/home/presidencia/noticias/21052004biomashtml.shtm>. Acesso em: 7 jan. 2016.

Biodiversidade

O clima quente e a grande disponibilidade de água favorecem a biodiversidade na floresta Amazônica, que abrange cerca de 20% das espécies reconhecidas mundialmente. Pesquisas indicam que muitas espécies são endêmicas da região, isto é, ocorrem apenas na floresta Amazônica, que é tida como uma das áreas de maior biodiversidade no planeta.

Estimativa da biodiversidade encontrada na floresta Amazônica

Organismos	Nº estimado de espécies
plantas	30 mil
mamíferos	311
aves	mais de 1 mil
répteis	240
anfíbios	163
peixes	mais de 1 300
invertebrados	desconhecida

Fonte de pesquisa: Museu Paraense Emílio Goeldi. Disponível em: <http://marte.museu-goeldi.br/marcioayres/index.php?option=com_content&view=article&id=10&Itemid=11>. Acesso em: 6 jan. 2016.

AMOSTRA PARA DIVULGAÇÃO

Não escreva no livro.

Variações na fisionomia da floresta Amazônica

Além da estratificação vertical, típica das florestas tropicais, a floresta Amazônica apresenta também uma distribuição horizontal variada, incluindo manchas de vegetação características de Cerrado e Caatinga nas regiões de menor pluviosidade. Estima-se que essas áreas mais secas correspondam a 14% da extensão total da Amazônia. As áreas mais úmidas abrangem diferentes fisionomias vegetais, como **igapós**, **várzeas** e **mata pluvial** propriamente dita.

Igapó

É a denominação dada à mata que ocorre nas áreas de relevo plano, próximas às margens de rios. Consequentemente, os igapós sofrem inundação constante (imagem **A**). As árvores não ultrapassam 20 m de altura. Epífitas, cipós e plantas aquáticas são abundantes. Estima-se que os igapós ocupem cerca de 4% da cobertura vegetal amazônica.

Várzea

As matas de várzea, por estarem situadas em áreas de maior elevação do que os igapós, sofrem inundações apenas ocasionais. Suas árvores podem atingir entre 25 m e 30 m de altura (imagem **B**). Estima-se que as matas de várzea ocupem 36% da cobertura vegetal amazônica.

Mata pluvial

Também chamadas de **matas de terra firme**, as matas pluviais ocupam as áreas mais elevadas, nunca sujeitas a inundação. Os solos não inundados são mais firmes, capazes de sustentar árvores de grande porte, que podem atingir 50 m de altura. A mata de terra firme apresenta o perfil característico já descrito para as florestas tropicais, com vários estratos de vegetação e dossel espesso, que impede a passagem de luz, e consequentemente a formação de um estrato herbáceo desenvolvido (imagem **C**). Estima-se que as matas de terra firme ocupem 38% da cobertura vegetal amazônica.

O futuro da Amazônia

Concentrando uma das maiores biodiversidades do planeta, grande quantidade de água doce e muitas riquezas minerais – como reservas de ouro, estanho, nióbio e gás natural –, o futuro da Amazônia é incerto. As principais ameaças são: o desmatamento (tabela ao lado), prática muito adotada pela agricultura, pecuária e mineração, e as mudanças climáticas decorrentes da intervenção desordenada.

Cerca de 50% das chuvas que caem sobre a região amazônica são originadas pelo ciclo da água local, resultante da evapotranspiração. O desmatamento pode, portanto, resultar em uma drástica diminuição da pluviosidade, um dos fatores essenciais à manutenção da floresta. Além disso, quando a floresta é queimada para fins agropecuários, não apenas a vegetação é destruída, mas também a camada mais superficial do solo, que é rica em matéria orgânica em decomposição, comprometendo eventuais tentativas de recuperação das áreas destruídas.

As mudanças climáticas podem causar um aumento da temperatura média mundial, reduzindo as chuvas e causando a diminuição da floresta. Muitos especialistas defendem que a floresta Amazônica é um importante regulador do clima, contribuindo para o arrefecimento da temperatura média mundial. Eventuais destruições da mata criam um círculo vicioso que altera o clima, o que, por sua vez, provoca retração da floresta e a expansão das áreas com vegetação savânica.



Fábio Colombini/Acervo do fotógrafo

Mata de igapó em Manaus (AM), 2014.



Fábio Colombini/Acervo do fotógrafo

Mata de várzea no canal do rio Jari em Santarém (PA), 2013.



Fábio Colombini/Acervo do fotógrafo

Interior de mata pluvial em Manaus (AM), 2014.

Desmatamento da Amazônia			
Ano	2011	2012	2013
Área desmatada	6 418 km²	4 656 km²	5 843 km²

Uma imensa área de floresta é desmatada todos os anos na Amazônia, apesar de ocorrerem variações anuais.

Fonte de pesquisa: Projeto de Monitoramento do Desmatamento dos Biomas Brasileiros por Satélite (PMDBBS). Disponível em: <http://siscom.ibama.gov.br/monitorabiomas/amazonia/Amazonia.htm>. Acesso em: 6 jan. 2016.

AMOSTRA PARA DIVULGAÇÃO

Matas de cocais

Ocorrem principalmente nos estados do Maranhão e do Piauí. A denominação desse ecossistema deve-se à predominância de diferentes espécies de palmeiras (imagem **A**), especialmente o babaçu, a carnaúba e o buriti, cujos frutos são chamados de cocos.

Muitas matas de cocais são densas e escuras em seu interior, pois as copas das palmeiras formam um dossel contínuo, a 15 m ou 20 m de altura. Outras são mais abertas, com as plantas mais espaçadas.

Especialistas afirmam que as matas de cocais são formações secundárias que se desenvolveram onde antigamente havia matas semelhantes à floresta Amazônica. Como é comum nas florestas tropicais, as palmeiras formavam o estrato emergente dessas matas. Suas sementes caíam sobre o solo e germinavam, mas as plantas jovens, à sombra das maiores, não progrediam. No entanto, com a derrubada das florestas para fins agrícolas, as sementes em estado de dormência germinaram e se desenvolveram. Assim, as matas de cocais não constituiriam uma formação natural e não poderiam ser considerados biomas, como outras formações vegetais que ocorrem naturalmente.

As matas de cocais são muito importantes para a economia regional. Do babaçu se extraem óleos, glicerina e fibras. A carnaúba fornece cera de excelente qualidade. No entanto, o valor comercial de seus produtos não impede que as palmeiras sejam derrubadas para a instalação de pastagens. A recuperação pode ser feita com o plantio de sementes em áreas abertas, uma vez que essas palmeiras crescem com facilidade em ambientes fortemente iluminados.



Fabio Colombini/Acervo do fotógrafo

A carnaúba é uma das espécies típicas das matas de cocais. Barreirinhas (MA), 2013.

Mata Atlântica

Originalmente, a Mata Atlântica ocupava todo o território costeiro do Brasil, estendendo-se do Rio Grande do Norte ao Rio Grande do Sul e avançando até o interior de alguns estados. Estima-se que essa floresta tropical tinha uma área de 1,3 milhão de km², mas atualmente restam menos de 5% da mata original, aproximadamente 52 mil km² (imagem **B**). A maior parte dos remanescentes florestais está restrita aos topos de serra, onde o acesso é mais difícil.

A degradação da Mata Atlântica está relacionada à ocupação iniciada pelos portugueses desde o século XVI e que, ainda hoje, concentra as áreas de maior densidade demográfica (quantidade de habitantes por km²) no país. Essa intensa ocupação do bioma foi acompanhada de atividades de grande impacto ambiental, como a exploração do pau-brasil e a agricultura, em especial da cana-de-açúcar e do café.

O clima da Mata Atlântica é equatorial no nordeste do país e temperado nas regiões mais ao sul. As temperaturas médias anuais são, porém, sempre elevadas, variando de 14 °C a 21 °C. A pluviosidade está entre as maiores do mundo, especialmente onde o relevo forma uma barreira para a entrada dos ventos oriundos do oceano Atlântico.

Os solos são antigos e erodidos pela alta pluviosidade e pelas temperaturas elevadas. Nas regiões costeiras, a inclinação do terreno favorece a erosão provocada pelas fortes chuvas. A fertilidade deve-se à rápida decomposição dos restos vegetais que caem sobre o solo.

A topografia é bastante irregular ao longo do bioma. Da Bahia ao Rio Grande do Sul, verifica-se a presença de uma cadeia montanhosa (Serra do mar), com altitude média em torno de 900 m, que dá lugar aos planaltos que se estendem pelo interior das regiões Sudeste e Sul. Na Região Nordeste, as maiores elevações estão afastadas do litoral.

ATIVIDADES

5. Por que a mata de cocais não é um bioma?

6. Como se explica a grande variação nas temperaturas médias encontradas em diferentes localidades da Mata Atlântica?



João Miguel A. Moreira/ID/BR

Mapa da atual distribuição da Mata Atlântica.

Fonte de pesquisa: Fundação SOS Mata Atlântica/ Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (Inpe). Disponível em: <http://mapas.sosma.org.br/site_media/download/atlas_2008-10_relatorio%20final_versao2_julho2011.pdf>. Acesso em: 7 jan. 2016.

AMOSTRA
PROIBIDA PARA DIVULGAÇÃO

Não escreva no livro.

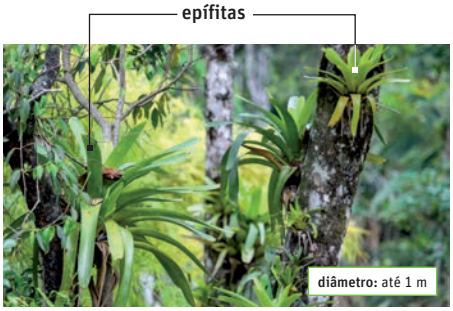
Biodiversidade

A Mata Atlântica (imagem ao lado) apresenta biodiversidade elevada, característica das florestas tropicais, com árvores que atingem de 20 m a 30 m de altura e muitas espécies endêmicas. Nas regiões litorâneas, onde predominam as escarpas da serra do Mar, o diâmetro do tronco das árvores é mais reduzido, em comparação com o daquelas que se desenvolvem nos planaltos interioranos. Nos dois casos, há vários estratos de vegetação, com estrato herbáceo pouco desenvolvido.

Na Mata Atlântica estão presentes espécies vegetais sempre verdes e muitas outras que perdem suas folhas durante o inverno. Essa característica é mais notável nas regiões de planalto, onde ocorre estiagem entre os meses de junho a setembro.

Muitas espécies de árvores familiares, como goiabeira, jabuticabeira, jequitibá, pitangueira, jacarandá, pau-brasil e palmeiras são típicas da Mata Atlântica. Entre os vertebrados, onças, caititus, macacos, aves (macuco, jacutinga, tucano, papagaio e araponga), répteis e anfíbios eram abundantes na mata original (quadro ao lado).

A redução dos hábitats e a exploração desenfreada dos recursos florestais, porém, colocaram em risco de extinção grande parte das espécies da Mata Atlântica. Ela é o bioma brasileiro que abriga o maior número de espécies ameaçadas. Entre as 633 espécies de animais consideradas ameaçadas de extinção pelo Ministério do Meio Ambiente em 2004, 383 pertencem a esse bioma, como o mico-leão-dourado (*Leontophitecus rosalia*), o mico-leão-da-cara-dourada (*Leontopithecus chrysomelas*), o mono-carvoeiro (*Brachyteles arachnoides*) e a preguiça-de-coleira (*Bradypus torquatus*).



Vitor Marigo/Opção Brasil Imagens

As epífitas são abundantes na Mata Atlântica. Área de proteção ambiental em Resende (RJ), 2015.

Estimativa da biodiversidade encontrada na Mata Atlântica

Organismos	Nº estimado de espécies
plantas	20 mil
mamíferos	270
aves	849
répteis	200
anfíbios	370
invertebrados	desconhecido

Fonte de pesquisa: Ministério do Meio Ambiente. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/biomas/mata-atlantica>. Acesso em: 6 jan. 2016.

AMOSTRA
PARA DIVULGAÇÃO

SAIBA MAIS

Restingas

É o nome dado aos ecossistemas situados junto ao mar, com solo formado pela deposição de areia trazida pelo mar e/ou rios e com uma vegetação adaptada às condições ambientais onde está localizado. Com aspecto bem diferente daquele observado nas florestas, as restingas não podem ser consideradas um ecossistema associado à Mata Atlântica, e também não devem ser confundidas com a vegetação de dunas, que é composta por ervas e arbustos pequenos que se desenvolvem sobre a praia propriamente dita.

O solo das restingas é arenoso, razão pela qual ele não retém água e é pobre em nutrientes. Assim, as plantas apresentam raízes superficiais, adaptadas a absorver rapidamente a água das chuvas, antes que ela seja drenada, e dependem da rápida decomposição do material orgânico nas camadas superficiais. As plantas também sofrem influência do mar, como a deposição de sal presente nas gotículas de maresia trazida pelos ventos, e têm folhas espessas e coriáceas, dotadas de grossa cutícula ou camadas impermeabilizantes, que ajudam a diminuir a transpiração.

Mais próximo à praia, a vegetação é composta por arbustos e árvores de pequeno porte. Em direção ao interior, ela se adensa, e as árvores tornam-se mais altas (imagem acima). Cajueiro, pitangueira, figueira, caxeta, aroeirinha são exemplos de árvores da restinga. A vegetação arbustiva é abundante, assim como as epífitas, que incluem bromélias e orquídeas.



Fabio Colombini/Acervo do fotógrafo

Restinga na praia da Lage, Ilha do Cardoso, Cananeia (SP), 2012.

A fauna é composta por mamíferos como o quati (*Nasua nasua*) e o mão-pelada (*Procyon cancrivorus*), aves como o tié-sangue (*Ramphocelus bresilius*), além de muitas espécies de répteis. Entre os invertebrados predominam os insetos e os crustáceos.

Atualmente, a principal ameaça às restingas é a especulação imobiliária ao longo da orla. Com a remoção da vegetação, o solo fica exposto aos ventos, formando dunas móveis.

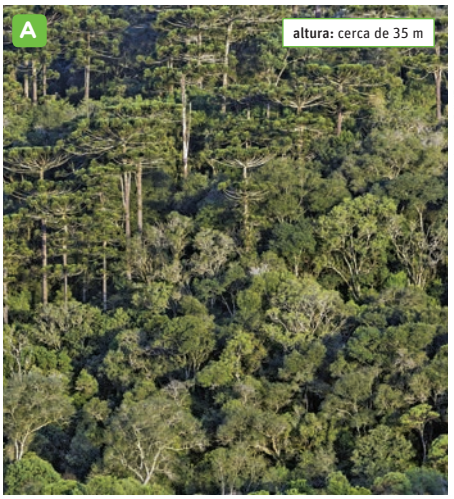
Mata de araucárias

Considerando a ocorrência geográfica e a fisionomia da vegetação, as matas de araucárias podem ser consideradas uma subdivisão da Mata Atlântica. A denominação se deve à predominância, entre as espécies vegetais, da *Araucaria angustifolia*, o pinheiro-do-paraná (imagem **A**). Encontradas principalmente nos estados do Paraná e Santa Catarina, atingem também regiões de São Paulo e do Rio Grande do Sul, onde ocorrem pequenas "manchas" desse tipo de formação vegetal.

O clima pode ser classificado como subtropical ou temperado úmido, com pluviosidade em torno de 1 400 mm anuais e temperaturas médias anuais moderadas. Nas localidades de maior altitude, o inverno pode registrar temperaturas próximas ou abaixo de 0 °C. Os solos onde ocorrem as matas de araucária são bem férteis.

O pinheiro-do-paraná é uma árvore que atinge até 50 m de altura e cujo tronco chega a quase um metro de diâmetro. Outras espécies arbóreas importantes são o cedro, a gameleira, o angico e a imbuia. Algumas epífitas, como orquídeas e bromélias, também são encontradas em meio à copa. O estrato arbustivo é denso. Nele se destaca a erva-mate, planta bastante usada no preparo do chimarrão, uma bebida típica da Região Sul. O estrato herbáceo é formado por gramíneas de pequeno porte.

Originalmente, a mata de araucárias ocupava uma área de cerca de 4 milhões de hectares, hoje bastante reduzida. A exploração da madeira e o uso das terras para a agricultura são os principais impactos ambientais desse ecossistema. Além de não se preocupar com o reflorestamento, a indústria madeireira prefere replantar árvores de crescimento mais rápido do que a araucária. O cultivo de espécies exóticas à flora acabou por afetar também a fauna típica dessas matas, como é o caso da gralha-azul, ave-símbolo do Paraná (imagem **B**) e que hoje está ameaçada de extinção nesse estado.



André Dib/Pulsar Imagens

Mata de araucárias em Ponte Serrada (SC), 2016.



Fabio Colombini/Acervo do fotógrafo

Gralha-azul (*Cyanocorax caeruleus*), Parque das Aves, Foz do Iguaçu (PR), 2011.

Pampas

Os Pampas ("plano", no idioma dos indígenas que habitavam a região) ou **Campos Sulinos,** correspondentes ao bioma de pradaria, estão localizados no Rio Grande do Sul e em países vizinhos (Uruguai e Argentina). O clima é subtropical frio, com temperaturas médias anuais de 19 °C, e apresenta pluviosidade entre 500 mm e 1 000 mm anuais. As extensas planícies que caracterizam o relevo dos Pampas favorecem a propagação dos ventos fortes e gelados, conhecidos por minuanos.

A vegetação predominante é formada por gramíneas, com a presença bastante esparsa de arbustos e árvores (imagem **C**). A fauna é composta por uma grande variedade de espécies. Destas, muitas são endêmicas e estão sob ameaça de extinção, como o tuco-tuco (*Ctenomys* sp.), o sapinho-de-barriga-vermelha (*Melanophryniscus dorsalis*), o veado-campeiro (*Ozotoceros bezoarticus*) e o pica-pauzinho-chorão (*Veniliornis mixtus*).

O relevo plano e a predominância de gramíneas fazem dos Pampas uma área muito conveniente para a criação de gado e para a agricultura. No entanto, o cultivo de pastagens e plantas de interesse econômico, especialmente trigo e arroz, tem levado à destruição da vegetação original.



Gerson Gerloff/Pulsar Imagens

Pampa gaúcho em Guaraí (RS), 2014.

AMOSTRA PARA DIVULGAÇÃO

Não escreva no livro.

Caatinga

A Caatinga (palavra de origem tupi, "mata branca") ocorre nas regiões de clima semiárido do Nordeste do Brasil. Ocupa 850 mil km², abrangendo a maior parte dos estados de Alagoas, Bahia, Ceará, Paraíba, Pernambuco, Piauí, Rio Grande do Norte e Sergipe, além do norte de Minas Gerais. O clima se caracteriza pelas temperaturas médias anuais elevadas e pela precipitação anual entre 300 mm e 600 mm. As chuvas são concentradas e a estação seca dura cerca de oito meses.

O clima e o regime de chuvas são os principais fatores que influenciam a vegetação das caatingas. Por essa razão, existem variações regionais, como o **agreste**, situado entre as regiões litorâneas mais úmidas (que podem estar ocupadas por Mata Atlântica) e o interior mais árido, e o **sertão**, onde as secas são mais longas, podendo durar anos.

Os solos rasos, em muitas regiões, são ricos em nutrientes. A água, portanto, é o principal fator limitante para o desenvolvimento da vegetação.

São conhecidas aproximadamente novecentas espécies vegetais da Caatinga. Muitas são endêmicas. As plantas mais comuns são árvores (a umburana, o umbu, o juazeiro), cactos (mandacaru e coroa-de-frade) e uma abundante vegetação arbustiva, que forma um estrato denso, com galhos retorcidos e espinhosos.

As adaptações das plantas à escassez de água incluem folhas pequenas e com cutícula espessa, o que ajuda a reduzir a perda de água por evapotranspiração, e o acúmulo de água no caule. Além disso, as plantas da Caatinga respondem rapidamente ao ciclo das chuvas. Quando estas cessam, as folhas caem, e a mata adquire um aspecto cinza-esbranquiçado, o que deu origem ao nome do bioma. Quando as chuvas retornam, as folhas brotam rapidamente, e as plantas produzem grande quantidade de flores, frutos e sementes (imagens **A** e **B**).

A diversidade de espécies animais é muito grande. Dentre elas estão mamíferos, como o tatu-bola (*Tolypeutes tricinctus*), o mocó (*Kerodon rupestris*) e o veado-catingueiro (*Mazama gouazoubira*); aves, como a avoante (*Zenaida auriculata*); e répteis, como a cascavel (*Crotalus* sp.).

Único bioma exclusivamente brasileiro, a Caatinga está severamente degradada, devido principalmente ao desmatamento ilegal para a produção de carvão e lenha. Uma das consequências ambientais é a **desertificação**, processo que torna o solo incapaz de sustentar qualquer tipo de vegetação, nativa ou exótica ao bioma (boxe abaixo).

ATIVIDADES

7. Qual(is) características do bioma Caatinga permite(m) classificá-lo como semiárido, e não como deserto?



Fábio Colombini/Acervo do fotógrafo



Fábio Colombini/Acervo do fotógrafo

(**A**) Foto da Caatinga durante a estação seca e (**B**) da Caatinga durante a estação chuvosa, ambas em São Lourenço do Piauí (PI), 2015.

SAIBA MAIS

A desertificação no Nordeste

Conforme define a Agenda 21, na Conferência Rio-92, a desertificação é o processo de degradação da terra nas regiões áridas, semiáridas e subúmidas secas, resultante de diferentes fatores, dentre eles as variações climáticas e as atividades humanas, sendo que por "degradação da terra" se entende a degradação dos solos, da fauna e flora e dos recursos hídricos, com a consequente redução da qualidade de vida da população. No Brasil, [...] grande parte das terras com níveis de susceptibilidade à desertificação de moderada a muito alta se encontra nas áreas semiáridas e subúmidas do Nordeste, o que corresponde a cerca de 181 000 km², abrangendo, aproximadamente, 20% do semiárido nordestino.

De forma geral, as causas da desertificação no Nordeste não são diferentes daquelas normalmente encontradas em outras áreas do mundo. Quase sempre se referem à exploração dos recursos naturais, à agricultura irrigada de forma insustentável (como, por exemplo, a transposição do rio São Francisco), a práticas indevidas do uso do solo (superpastoreio e cultivo excessivo) e, sobretudo, a modelos de desenvolvimento regionais imediatistas. O aumento da intensidade do uso do solo e a redução da cobertura vegetal nativa têm levado, em especial, à redução da sua fertilidade, o que demonstra a fragilidade desse ecossistema. [...]

Araújo, C. S. F; Souza, A. N. Estudo do processo de desertificação na Caatinga: uma proposta de educação ambiental. *Ciência & Educação*, Bauru, v. 17, n. 4, 2011. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1516-73132011000400013>. Acesso em: 10 mar. 2016.

AMOSTRA PARA DIVULGAÇÃO

Cerrado

Alguns pesquisadores consideram que o Cerrado brasileiro é um tipo de savana. Ele ocupa o equivalente a 2 milhões de km² (25% do território nacional), em uma extensa área contínua pelo planalto central brasileiro, além de "manchas" em meio à floresta Amazônica e à Mata Atlântica. Aproximadamente metade dessa área está situada entre 300 m e 600 m acima do nível do mar.

As temperaturas médias anuais nesse bioma oscilam entre 22 °C e 23 °C, e a pluviosidade, entre 1 200 mm e 1 800 mm anuais, com chuvas concentradas entre setembro e maio. Isso caracteriza um clima tropical sazonal com inverno seco.

O solo do Cerrado

Em geral, os solos do Cerrado são arenosos, ácidos e pobres em material orgânico. Profundos e bem drenados, não acumulam água próximo à superfície.

As raízes superficiais das plantas herbáceas absorvem rapidamente a água durante a estação chuvosa, sobrevivendo durante a estação seca com as reservas acumuladas nos órgãos subterrâneos.

Outras plantas têm raízes longas, que atingem até 20 m de profundidade, onde se encontra o lençol freático. Essas plantas podem permanecer verdes durante todo o ano, mas geralmente apresentam folhas coriáceas, que têm pouca perda de água por evapotranspiração.

Vegetação do Cerrado

Costuma-se classificar o Cerrado em tipos, de acordo com o aspecto da vegetação. No **campo limpo** predominam as plantas herbáceas, e no **cerradão** predominam as árvores. São reconhecidos também tipos intermediários – **campo sujo**, **campo cerrado**, **cerrado** – de acordo com a abundância de espécies lenhosas e de maior porte.

No Cerrado são encontradas mais de 5 mil espécies vegetais, sendo 80% delas ervas e arbustos. As plantas herbáceas apresentam bulbos e caules subterrâneos que acumulam nutrientes. Suas raízes geralmente são superficiais. As plantas lenhosas apresentam troncos e galhos retorcidos (imagem ao lado), casca espessa e raízes profundas, adaptações ao fogo e ao tipo de solo.

O Cerrado e o fogo

A longa estiagem e a grande quantidade de matéria orgânica seca acumulada no solo durante esse período favorecem a ocorrência de incêndios, muitos deles naturais. A maioria das espécies vegetais, porém, apresenta adaptações que permitem sobreviver ao fogo. Os órgãos de reserva são subterrâneos, não sendo portanto destruídos pelo fogo, e a casca espessa das espécies lenhosas protege as plantas do calor excessivo. Embora as folhas sejam destruídas, tanto as espécies herbáceas quanto os arbustos e as árvores brotam logo após o incêndio.

A ocorrência de fogo é considerada um fator importante na manutenção da fisionomia do Cerrado. O fogo acelera a ciclagem de alguns dos nutrientes presentes na vegetação seca acumulada sobre o solo. As cinzas oriundas da queima dessa vegetação rapidamente incorporam-se ao solo, e os nutrientes são absorvidos pelas raízes superficiais das plantas. No entanto, parte significativa dos nutrientes perde-se para a atmosfera durante os incêndios.

Incêndios frequentes, porém, podem impedir que a vegetação lenhosa se estabeleça, causando grande prejuízo ambiental.

A fauna do Cerrado

Inclui répteis, como o teiu (*Tupinambis merianae*) e a cascavel (*Crotalus* sp.); aves, como a ema (*Rhea americana*), a siriema (*Cariama cristata*) e o carcará (*Carcara plancus*); e mamíferos, como o tamanduá-bandeira (*Myrmecophaga tridactyla*), o lobo-guará (*Chrysocyon brachyurus*) e a onça parda (*Puma concolor*). Entre os invertebrados, destacam-se os cupins, as formigas, os gafanhotos e as abelhas.



Rogerio Reis/Tyba

Cerrado em Pirenópolis (GO), 2015. Note a vegetação com galhos retorcidos, típica desse bioma.

AMOSTRA PARA DIVULGAÇÃO

Não escreva no livro.

Pantanal

Localizado entre a floresta Amazônica e o Cerrado, o Pantanal estende-se pela bacia do alto rio Paraguai, penetrando também em países vizinhos, como Paraguai e Bolívia, onde é denominado **chaco** (termo derivado do idioma falado pelos aborígenes nativos dessa região e que significa "terra de caça"). Trata-se de uma região com enorme biodiversidade, principalmente em relação à fauna.

Massas de ar quente e úmido, provenientes da região amazônica, influenciam o clima da região, que pode ser definido como tropical úmido. As temperaturas médias anuais oscilam entre 23 °C e 25 °C. Eventualmente, porém, massas de ar frio, provenientes da região antártica, provocam quedas bruscas de temperatura, fenômeno conhecido como friagem. A pluviosidade não é muito elevada, entre 1 100 mm e 1 500 mm anuais, com as chuvas concentradas entre os meses de novembro e abril.

Os solos do Pantanal são formados por sedimentos trazidos pelo rio Paraguai e seus afluentes, como o São Lourenço, o Miranda, o Taquari, o Sepotuba, entre outros. Ao longo de milhares de anos, os sedimentos acumulados formaram solos de até 80 m de espessura.

Os principais rios do Pantanal nascem no Cerrado, por isso o desmatamento e a poluição desse bioma afetam diretamente o Pantanal. Outros problemas que atingem o Pantanal são o garimpo, o desmatamento e a poluição causada por usinas de produção de álcool e açúcar.

O ciclo das águas no Pantanal

Toda a vida pantaneira está relacionada ao regime das águas (imagens **A** e **B**). A pluviosidade, embora não muito elevada e concentrada em poucos meses, provoca cheias que persistem por grande parte do ano. O relevo plano, com a maior parte em altitudes inferiores à dos biomas circundantes, explica esse fenômeno.

Na época das chuvas, as águas invadem os terrenos mais baixos. As planícies não favorecem a vazão, deixando inundados extensos terrenos pantaneiros. Entre maio e julho, período denominado de **vazante**, as águas vão lentamente escoando e formando rios temporários. Finalmente, entre agosto e outubro, advém a **seca**, durante a qual persistem os grandes rios e os pequenos cursos de água permanentes, denominados **corixos**. Esse regime das águas interfere em toda a vida da região, determinando diversos ciclos biológicos.

Vegetação pantaneira

As áreas mais elevadas, conhecidas como "terra firme" ou "cordilheiras", nunca são inundadas. Nelas, forma-se uma vegetação com características de mata ou cerrado, além de matas que acompanham o curso dos rios. Em regiões de elevação moderada, denominadas várzeas, ocorre a inundação temporária. Essas áreas são anualmente fertilizadas pelos sedimentos ricos em nutrientes trazidos pelas águas dos rios. Nas secas, desenvolve-se nas várzeas uma exuberante vegetação herbácea, que serve de pastagem para a fauna nativa e também para o gado, introduzido pelo ser humano. Nas regiões mais baixas formam-se baías e lagos permanentes, onde se desenvolve grande variedade de plantas aquáticas.

Fauna pantaneira

Inclui aves, como o tuiuiú (*Jabiru mycteria*), a garça grande (*Ardea alba*), e a arara-azul (*Anodorhynchus hyacinthinus*); mamíferos, como a onça-pintada (*Panthera onca*) e o cervo-do-pantanal (*Blastocerus dichotomus*); répteis, como a sucuri (*Eunectes notaeus*) e o jacaré-de-papo-amarelo (*Caiman latirostris*); e incontáveis espécies de peixes (pintado, jaú, pacu, dourado, entre outros).



Fabio Colombini/Acervo do fotógrafo



Fabio Colombini/Acervo do fotógrafo

(**A**) Foto do Pantanal durante a época das cheias e (**B**) do Pantanal durante a vazante, ambas em Poconé (MS), 2014.

PARA DIVULGAÇÃO

Ecossistemas aquáticos

Nos ecossistemas aquáticos, a fotossíntese é realizada principalmente por seres microscópicos, como algas unicelulares e cianobactérias. Não se forma, portanto, uma "vegetação" contínua, com estrutura e distribuição definidas, características utilizadas pelos biólogos para diferenciar os biomas terrestres. Além disso, nos ambientes aquáticos, a temperatura oscila menos do que nos ambientes terrestres, e a pluviosidade não interfere na disponibilidade de água, a não ser em situações muito específicas, como lagos e cursos de água temporários. Sendo assim, os ecossistemas aquáticos são caracterizados com base em outros fatores abióticos, como a salinidade, a profundidade e a mobilidade das águas. De acordo com esses critérios, vários sistemas de classificação de ecossistemas aquáticos podem ser elaborados.

Neste livro usaremos como critério a salinidade. Dessa maneira, os ecossistemas aquáticos serão divididos em três grandes grupos: ecossistemas marinhos (de água salgada), de água doce e de água salobra.

Ecossistemas marinhos

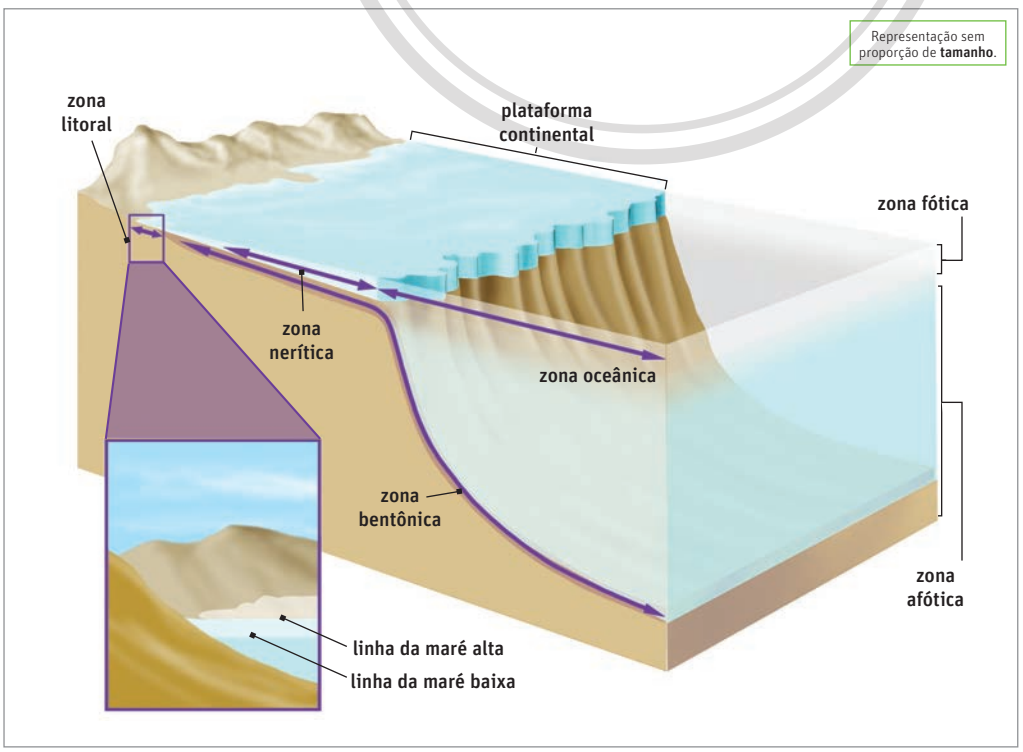
O fundo do mar, ou assoalho oceânico, tem uma topografia característica, apresentando regiões mais rasas, próximas ao continente, e regiões profundas relativamente afastadas. De acordo com a profundidade, podem ser reconhecidas algumas zonas ecológicas (imagem abaixo).

A **zona litoral** (ou entre marés) é a região litorânea compreendida entre os limites das marés mais altas e mais baixas. Portanto, num intervalo de 24 horas, essa região apresenta períodos de exposição à atmosfera e períodos de submersão. Os organismos que vivem na zona litoral são capazes de suportar o estresse ocasionado por essas mudanças periódicas.

A **zona nerítica** começa no limite da maré mais baixa e se estende até profundidades de aproximadamente 200 m, acompanhando o relevo do fundo do mar, correspondente à plataforma continental. Esta é interrompida abruptamente por precipícios que conduzem ao fundo oceânico, a profundidades que podem atingir milhares de metros. Na zona nerítica, a produtividade é elevada, pois suas águas mais superficiais são iluminadas, e as correntes são capazes de remover sedimentos do fundo e trazê-los à superfície. Nessa movimentação, os nutrientes acumulados no fundo tornam-se disponíveis para os produtores, que compõem a base das cadeias alimentares.

A **zona oceânica** inicia-se no limite da zona nerítica e se estende desde a superfície até regiões de águas muito profundas. Nessa zona, a disponibilidade de nutrientes geralmente é bastante reduzida. Por esse motivo, a produtividade também é baixa.

As zonas nerítica e oceânica podem ainda ser subdivididas em **zona fótica**, mais superficial, onde há luminosidade suficiente para a ocorrência de fotossíntese, e **zona afótica**, mais profunda, onde a luz não penetra. A **zona bentônica** corresponde ao assoalho marinho, sob suas águas.



Vagner Coelho/ID/BR

Diagrama representando as zonas ecológicas dos ecossistemas marinhos. Na zona nerítica, a zona fótica não passa dos 40 m; na zona oceânica, pode chegar até 200 m. Cores-fantasia.

Fonte de pesquisa: Reece, J. B. et al. *Campbell Biology*. 10. ed. [S.l.]: Pearson, 2014. p. 1171.

AMOSTRA PARA DIVULGAÇÃO

Não escreva no livro.

Os organismos marinhos

Os organismos marinhos podem ser classificados em categorias ecológicas, de acordo com as zonas marinhas em que se situam preferencialmente.

Plâncton

Formado por organismos microscópicos e incapazes de vencer as correntes, o plâncton flutua passivamente nas águas superficiais. Algas unicelulares e cianobactérias compõem os produtores do **fitoplâncton**, que serve de alimento para protozoários, microcrustáceos e outros animais microscópicos que constituem o **zooplâncton**.

Nécton

Formado por animais capazes de nadar e deslocar-se ativamente, o nécton é capaz de superar as correntezas. Peixes, cefalópodes e mamíferos aquáticos são exemplos de organismos nectônicos. Geralmente, eles têm o corpo em forma de fuso (fusiforme), o que diminui a resistência ao deslocamento na água. Além de gerar propulsão, as nadadeiras ajudam a manter o equilíbrio e a direção de deslocamento.

Bentos

Os organismos bentônicos vivem próximos ao assoalho marinho (imagem **A**), fixos a um substrato, enterrados no lodo ou na areia, rastejando ou nadando.

Além de animais, o bentos também compreende as algas multicelulares que se distribuem pela zona fótica, sendo característica a ocorrência de algas verdes em águas mais superficiais; as algas pardas em profundidades intermediárias, e as algas vermelhas em regiões mais profundas, até um limite aproximado de 100 m da zona fótica. Essa distribuição decorre do fato de cada grupo de algas apresentar pigmentos fotossintetizantes capazes de absorver diferentes comprimentos de onda, que atingem diferentes profundidades na água.



Flip Nicklin/Minden/Fotoarena

Os organismos bentônicos da zona fótica formam ricas comunidades, exploradas também por organismos nectônicos. Em destaque, no centro da imagem, um siri (cerca de 7 cm de largura).

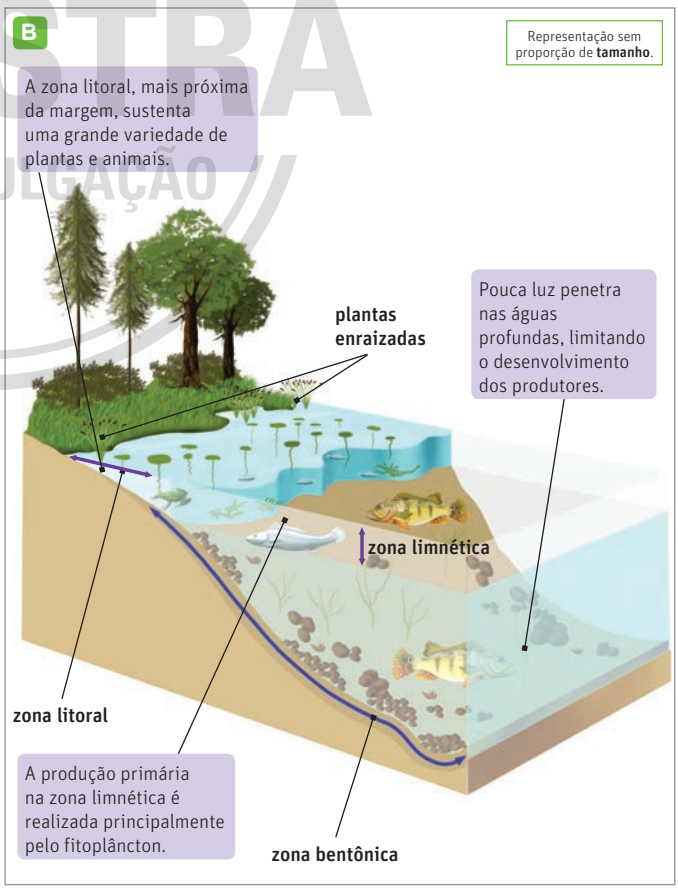
Ecossistemas de água doce

Os ecossistemas de água doce são assim chamados pela baixa quantidade de sais dissolvidos na água. Os ecossistemas de água doce podem ser de dois tipos: os **lagos** e **charcos**, caracterizados por águas com pouco movimento, e os **rios** e **cursos de água**, caracterizados pela água em movimento.

Lagos

Lagos são formados por massas de água acumuladas em depressões dos terrenos. De maneira semelhante aos biomas marinhos, os lagos podem ser divididos em regiões ecológicas distintas (imagem **B**).

A **zona litoral** corresponde à margem do lago, geralmente de pouca profundidade; nela podem ser encontradas plantas enraizadas. O afastamento da margem conduz à **zona limnética**, onde são encontradas as algas que compõem o **fitoplâncton**. O fundo do lago é a **zona bentônica**, onde se acumulam sedimentos transportados ao lago por cursos de água que o abastecem ou pelas enxurradas. Em lagos suficientemente profundos, pode ser reconhecida uma **zonação vertical**, com as águas mais superficiais iluminadas e as mais profundas escuras, onde não ocorre fotossíntese.



Vagner Coelho/ID/BR

Diagrama representando as zonas ecológicas de um lago. Cores-fantasia.

Fonte de pesquisa: Reece, J. B. et al. *Campbell Biology*. 10. ed. [S.l.]: Pearson, 2014. p. 1171.

AMOSTRA
PARA DIVULGAÇÃO

Rios

A velocidade da correnteza de um rio depende da inclinação do terreno. Em um rio podem ser reconhecidas três regiões ao longo de seu curso: **curso alto**, **curso médio** e **curso baixo**.

Curso alto

Caracteriza-se pela inclinação mais acentuada, águas com temperaturas relativamente baixas e com maior teor de gás oxigênio em virtude do elevado turbilhonamento. A velocidade da correnteza é suficiente para levar grande parte dos sedimentos; por isso, o fundo é geralmente coberto por rochas de tamanho variável e cascalho mais pesado. A correnteza também impede o desenvolvimento do fitoplâncton. Devido à ausência de material em suspensão e de fitoplâncton, as águas nessa região do rio são límpidas e transparentes. Organismos bentônicos fixos (como algas) ou dotados de órgãos de adesão (como certos moluscos e larvas de insetos) conseguem resistir à força da água. Peixes também podem ser encontrados.

Curso médio

Nessa região a inclinação do terreno diminui e, portanto, também a velocidade da água. O abrandamento da correnteza favorece a presença de peixes, bem como de organismos planctônicos, larvas de insetos, moluscos e vermes. A vegetação é abundante. O sedimento de peso intermediário pode acumular-se no leito do rio, assoreando-o em alguns trechos. A decomposição de material orgânico, os grãos de sedimento mais finos em suspensão e a presença de fitoplâncton fazem a água adquirir uma coloração esverdeada ou barrenta. Em alguns casos, no entanto, a decomposição das plantas (principalmente das folhas) libera grandes quantidades de **tanino**, substância que dificulta o desenvolvimento de algas. Por isso, o rio adquire uma tonalidade marrom-escura (imagem **A**).

Curso baixo

Nessa região, a velocidade das águas é menor do que nas regiões precedentes, e as variações de temperatura são mais notáveis. O rio se aproxima de seu final, desaguando em outro curso de água, em um lago ou no mar. A porção final dos rios que desembocam no mar é chamada de **estuário**.



Marcos Amend/Pulsar Imagens

Nas regiões de curso médio e baixo de um rio, as águas podem fluir lentamente, favorecendo o desenvolvimento de vegetação próxima às margens. Vista aérea do rio Anauá, em Caracaraí (RR), 2016.

AMOSTRA PARA DIVULGAÇÃO

SAIBA MAIS

Adaptações aos ambientes aquáticos

As **plantas aquáticas** podem apresentar raízes presas ao fundo ou suspensas na água. As folhas podem estar totalmente submersas, estendidas sobre a superfície da água ou até mesmo expostas. Os tecidos condutores de seiva são ausentes ou reduzidos. As folhas submersas não apresentam estômatos. As plantas de maior porte podem estar fortemente presas ao substrato por rizomas ramificados.

Os **animais aquáticos** são representados por diversas espécies. Os insetos são abundantes. Vivem aderidos à vegetação, nadando ou andando sobre a água. Muitos depositam seus ovos na superfície. As larvas aquáticas sofrem metamorfose, originando adultos geralmente terrestres. Alguns aracnídeos aprisionam bolhas de ar em suas teias subaquáticas e assim conseguem respirar abaixo d'água (imagem **B**).

Os peixes são os vertebrados mais característicos dos ambientes aquáticos. Muitas espécies são migratórias, deslocando-se das regiões marinhas ou estuarinas para o curso alto do rio ao longo do ciclo de vida.



Hecker/Alamy/Latinstock

Esta aranha aprisiona uma bolha de ar em sua teia e assim pode respirar o gás oxigênio aí confinado.

Não escreva no livro.

Estuários

Nos estuários, a salinidade é variável, devido ao movimento das marés. Quando a maré sobe, a água do mar avança rio acima, misturando-se à água do rio. Essas águas de salinidade variada, mas intermediária entre a do rio e a do mar, são chamadas **salobras**. Nos estuários, a produtividade é elevada.

Manguezais

No Brasil, é frequente os estuários tornarem-se **manguezais**, ambientes com grande quantidade de plantas adaptadas à água salobra. Estima-se que, no mundo, os manguezais ocupem uma área de 162 mil km^2. Destes, aproximadamente 12% estão no Brasil.

A flora do manguezal é constituída por plantas lenhosas, além de algas macroscópicas e microscópicas. No litoral brasileiro destacam-se o gênero *Avicennia* sp (mangue-preto ou canoé) e as espécies *Rhizophora mangle* (mangue-vermelho), *Laguncularia racemosa* (mangue-branco) e *Conocarpus erectus* (mangue-de-botão). Bromélias, orquídeas e liquens também são abundantes.

Diferentes adaptações podem ser observadas nas plantas que vivem nos manguezais. Nas folhas de algumas espécies há glândulas que excretam o excesso de sal. Os frutos e as sementes frequentemente apresentam coberturas impermeáveis e grande quantidade de reservas nutritivas. Assim, podem colonizar outras regiões quando levados pelas marés. O mangue-vermelho apresenta ainda raízes do tipo escora (imagem **A**), que permitem o crescimento dessas árvores sobre o solo lodoso. As raízes do mangue-preto, por sua vez, possuem estruturas denominadas pneumatóforos, que permitem as trocas gasosas aéreas, adaptação ao solo dos manguezais que se encontra permanentemente encharcado.

A todo momento, os manguezais recebem sedimentos e detritos orgânicos trazidos pelas águas dos rios. Associados aos restos de folhas, galhos, frutos e sementes originados da própria vegetação litorânea, os solos do mangue são escuros, ricos em material orgânico decomposto e, portanto, muito férteis, com odor bastante característico.

Devido a sua localização e fertilidade, os manguezais são de grande importância ecológica. Várias espécies de animais vivem e reproduzem-se no manguezal. Com o movimento das marés, a água rica em nutrientes avança rio acima, transportando material orgânico. Com a maré vazante, o rio avança sobre o mar, transportando material orgânico para zonas costeiras mais afastadas do estuário. Muitas plantas fixam-se ao solo, evitando a erosão das zonas costeiras.

Os manguezais também são ponto de parada e alimentação para diversas aves migratórias, como maçaricos e batuíras. As populações de peixes, crustáceos – como camarão, caranguejo-uçá, guaiamum (imagem **B**) e siri – e moluscos, como ostra, marisco, sururu e lambreta, comuns no litoral brasileiro, constituem uma biomassa significativa.

Do ponto de vista econômico, inúmeras comunidades pesqueiras sobrevivem ao longo do litoral, obtendo o sustento nas águas dos manguezais.

ATIVIDADES

8. Apesar da alta produtividade, os manguezais apresentam biodiversidade relativamente baixa, em comparação com outros ambientes.

Elabore uma hipótese para explicar a presença dessas duas características nesse bioma.



Rubens Chaves/Pulsar Imagens

Mangues-vermelhos à beira do rio São Francisco. Note as raízes do tipo escora. Piaçabuçu (AL), 2015.



Mauricio Simonetti/Pulsar Imagens

Guaiamum (*Cardisoma guanhumi*), espécie de caranguejo ameaçada de extinção, cujo consumo e comércio foram proibidos. .

Não escreva no livro.

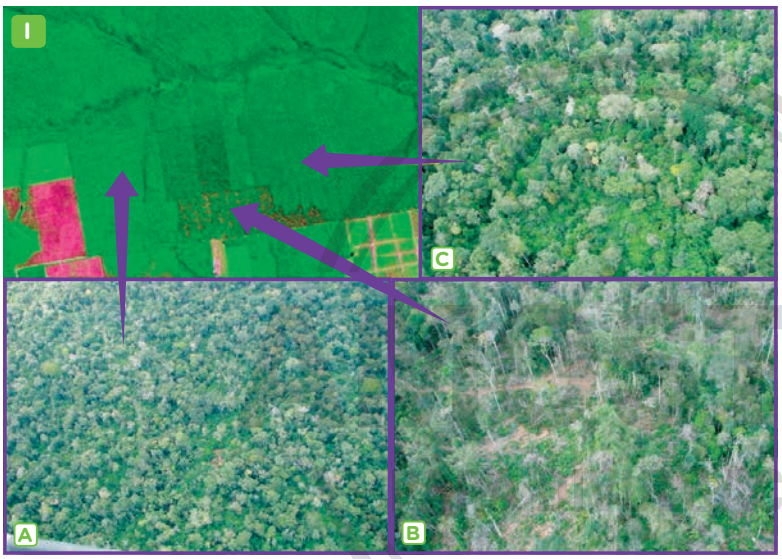
Interpretação de imagens

Objetivo

1. Analisar imagens de satélite e fotografias aéreas (tiradas em aviões).

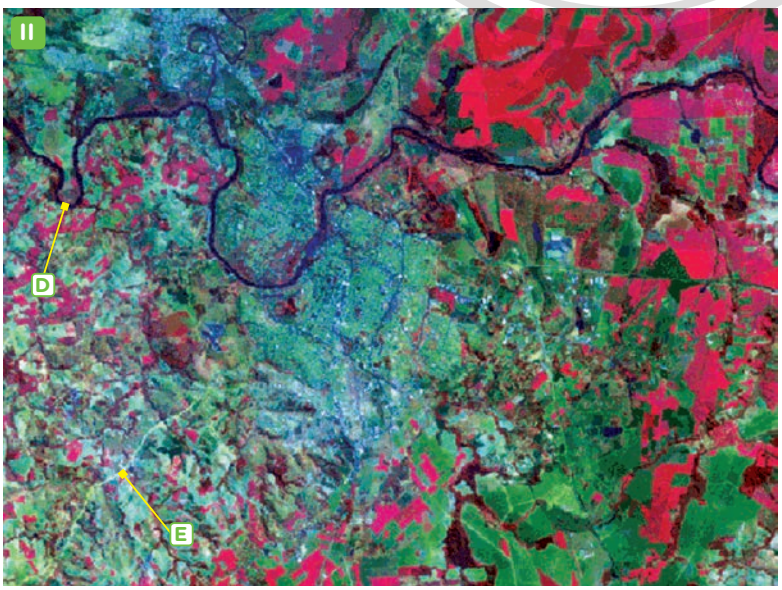
Procedimento

1. Com o auxílio do professor, forme grupos de dois a três alunos.
2. Observe as imagens de satélite mostradas em I e II e interprete os elementos da paisagem. Para isso, considere que as cores, aplicadas artificialmente, indicam diferentes elementos (áreas florestais, agrícolas, desmatadas, urbanizadas, rios, estradas, etc.). Note ainda que as imagens A, B e C são fotografias aéreas das zonas indicadas pelas setas roxas.



INPE/D/BR

Área de floresta Amazônica e fotografias aéreas (A, B e C) mostrando os níveis de degradação em três zonas diferentes. Imagem composta com dados obtidos pelos satélites Landsat e CBERS.



Almeida, C. M./INPE/D/BR

Região da cidade de Piracicaba (SP) e arredores. Imagem obtida pelo satélite e sensor Landsat 5 em 1985.

Discussão

Use a imagem I para responder às questões de 1 a 3 e a imagem II para responder às questões de 4 a 7.

1. Ao observar as fotografias aéreas, é possível perceber que a zona B é aquela que apresenta o maior grau de desmatamento. De que maneira isso também pode ser percebido na imagem de satélite?
2. Observe as áreas mostradas nos cantos inferiores esquerdo e direito da imagem de satélite. De que maneira você as interpreta?
3. Como o uso de imagens obtidas por satélite pode auxiliar os órgãos governamentais a fiscalizar a exploração dos recursos naturais em áreas florestadas?
4. A linha apontada pela seta **D** pode representar qual elemento da paisagem? Explique.
5. A linha apontada pela seta **E** pode ser interpretada como uma estrada. Você identifica outro tipo de ocupação humana nessa paisagem? Explique.
6. A imagem mostra terrenos que aparentemente não têm cobertura vegetal. Como esses terrenos podem ser identificados?
7. Considerando o tipo de ocupação a que está sujeita a área mostrada na imagem, explique como o uso de imagens obtidas por satélite pode fornecer subsídios para o planejamento urbano.

Não escreva no livro.

No Dia Nacional da Caatinga, organizações alertam sobre a degradação do bioma em Pernambuco

Único bioma exclusivamente brasileiro, a Caatinga é, também, o menos conhecido e estudado pelos pesquisadores no País. [A cada dia 28 de abril], data em que é celebrado o Dia Nacional da Caatinga, entidades não governamentais do Sertão pernambucano enfatizam a importância da conservação das riquezas naturais para o desenvolvimento do bioma.

A Caatinga ocupa 11% do território nacional e se espalha por dez estados do Brasil, com várias espécies de animais e plantas ameaçadas pelo desmatamento, as queimadas e a caça ilegal. No Estado, o bioma se encontra presente no Sertão e Agreste e tem como principal característica a vegetação seca, em consequência das chuvas irregulares da região.

Em Afogados da Ingazeira, no Sertão do Pajeú, o Sindicato de Trabalhadores Rurais (STR), a Casa da Mulher do Nordeste e outras entidades formaram o grupo Fé e Política para conscientizar a população sobre desenvolvimento sustentável e combate à degradação dos ecossistemas do local.

O bispo da Diocese de Afogados da Ingazeira, dom Egídio Bisol, coordenador do grupo, explicou que, hoje, a principal preocupação das organizações é combater a extração clandestina de madeira destinada à indústria de carvão, de gesso e de cerâmica nos municípios da região. As entidades exigem do governo uma fiscalização permanente. "Estamos pressionando o Estado para que reforcem o controle na retirada de madeira na Caatinga. A situação é muito grave em municípios como São José do Egito, Iguaraci e Tuparetama", afirmou.

De acordo com a coordenadora do STR de Afogados da Ingazeira, Maria das Dores Siqueira, além do desmatamento, a população retira uma grande quantidade de areia do rio Pajeú para vender a construtoras. "Temos consciência de que muita gente se sustenta com a extração de recursos do bioma, mas é preciso implantar políticas públicas direcionando um aproveitamento consciente", declarou.

A coordenadora do Centro de Conservação e Manejo de Fauna da Caatinga (Cemafauna), Patrícia Nicola, informou que a caça ilegal de animais, no bioma, é voltada à domesticação. "Aves de canto, gatos selvagens e répteis são retirados da natureza para serem criados como bichos de estimação", informou a gestora do centro, localizado em Petrolina. "As queimadas também prejudicam os animais, muitos chegam a nós machucados, cheios de queimaduras", completou.

Segundo o Ministério do Meio Ambiente, a Caatinga e o Cerrado são os únicos biomas brasileiros não considerados Patrimônio Nacional. Há cinco anos, tramita no Congresso um projeto de emenda à Constituição Federal, a PEC 504/2010, que pode incluir os biomas na lista e reforçar sua preservação.



Cândido Neto/Opção Brasil Imagens

Parte da madeira extraída ilegalmente da Caatinga é usada em fornos para produção de carvão. Desmatamento em Oeiras (PI), 2015.

Jardim, M. G. No Dia Nacional da Caatinga, organizações alertam sobre a degradação do bioma em Pernambuco. *JC On-line*. Disponível em: <http://jconline.ne10.uol.com.br/canal/cidades/cienciamambiente/noticia/2015/04/28/no-dia-nacional-da-caatinga-organizacoes-alertam-sobre-a-degradacao-do-bioma-em-pernambuco-178635.php>. Acesso em: 15 mar. 2016.

PARA DISCUTIR

1. A Caatinga é geralmente considerada um bioma mais simples e menos diverso do que a Mata Atlântica e a Amazônia. Por que você acha que a Caatinga é vista dessa maneira?
2. O texto cita algumas atividades humanas que têm causado impacto ambiental à Caatinga. Cite quais são elas e discuta suas consequências ao bioma.
3. Segundo o texto, muitos animais da Caatinga são capturados e comercializados ilegalmente. Que tipo de ações ajudariam a reduzir o tráfico ilegal de animais?

Não escreva no livro.

CAPÍTULO

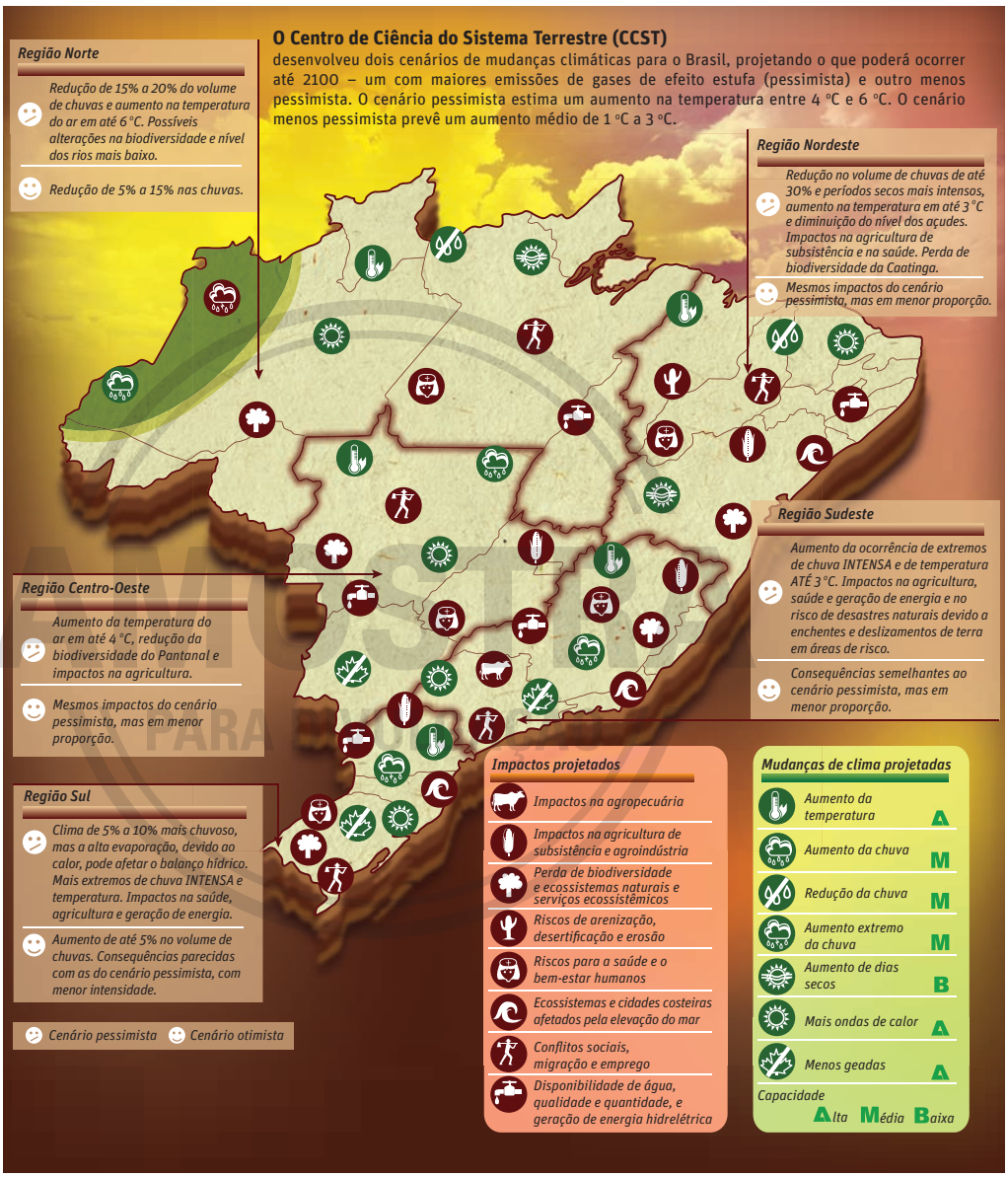
16 O ser humano e o ambiente

O QUE VOCÊ VAI ESTUDAR

O impacto humano sobre a atmosfera, a água e o solo.

Fatores que ameaçam a biodiversidade.

Fontes de energia.



Paula Radi/ID/BR

Mapa que indica alterações climáticas previstas nas regiões brasileiras até 2100, em consequência de emissões de gases de efeito estufa. As mudanças são projeções do Centro de Ciência do Sistema Terrestre (CCST) do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (Inpe).

Fonte de pesquisa: Amigos da Terra – Amazônia Brasileira. Disponível em: <http://amazonia.org.br/wp-content/uploads/2013/02/poster4impactosMenor.jpg>. Acesso em: 21 mar. 2016.

Onde quer que estejamos, relacionamo-nos diretamente com a natureza e seus recursos. A maneira como isso tem sido feito pela humanidade provocou a degradação do ambiente e dos recursos naturais necessários à sobrevivência de diversas espécies. Neste capítulo veremos os principais problemas ambientais provocados pelo ser humano e algumas formas de buscar soluções para eles.

Não escreva no livro.

Impacto humano sobre o ambiente

Como todo ser vivo, o ser humano interage com outras espécies e com o ambiente em que vive. Entretanto, algumas atividades humanas podem provocar alterações ambientais capazes de afetar a sobrevivência de diversas espécies.

Utilizando recursos tecnológicos, a espécie humana consegue ocupar ambientes diferentes em diversas regiões do planeta e assegurar a própria reprodução. Assim, o desenvolvimento da tecnologia propiciou a exploração dos recursos naturais e o aumento populacional: atualmente, a população mundial é de mais de 7 bilhões de habitantes e poderá ultrapassar 9 bilhões por volta de 2050.

Essa imensa população e a crescente extração de recursos naturais, para atender a um consumo cada vez mais voraz, representam enorme pressão sobre o planeta como um todo. As drásticas alterações provocadas na maior parte da superfície, bem como a geração de resíduos poluentes, estão comprometendo o funcionamento de toda biosfera. Sabe-se que os recursos planetários, que são finitos, não serão suficientes para manter o modelo de desenvolvimento vigente.

O futuro que queremos

Dependemos do ambiente e de seus recursos para sobreviver. O modelo de **desenvolvimento sustentável** preconiza o manejo dos recursos naturais para promover o desenvolvimento econômico e, ao mesmo tempo, a conservação do meio ambiente. Porém, há questionamentos sobre a possibilidade de conciliar esses dois processos na prática, e, portanto, muito debate ainda é realizado em torno do conceito de desenvolvimento sustentável.

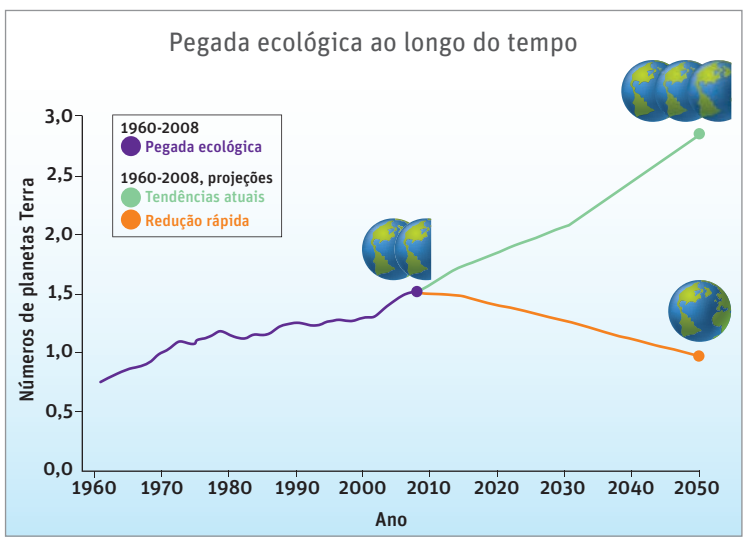
O impacto das atividades humanas sobre o ambiente vem sendo discutido em diversas reuniões e conferências mundiais. Uma das mais importantes, conhecida como Eco-92, aconteceu na cidade do Rio de Janeiro em 1992. Foi promovida pela ONU e contou com representantes de mais de 170 países, que se reuniram com o objetivo de analisar as mudanças na situação ambiental mundial desde a Conferência de Estocolmo, realizada na capital da Suécia em 1972. A Eco-92 também apontou estratégias em níveis regional e global para tratar das principais questões do meio ambiente, como o aquecimento global e a escassez de água, e buscou novos meios para aliar o desenvolvimento humano à conservação do meio ambiente e à eliminação da pobreza. Contudo, a maximização dessas três variáveis ainda é um grande desafio, que envolve difíceis escolhas e inclui questões éticas.

Um dos resultados dessa conferência foi a elaboração da **Agenda 21** – um plano de ação global para o século XXI para promover a sustentabilidade da vida no planeta.

A partir desse documento, foram formuladas também Agendas 21 locais, que levam em conta as particularidades de cada região.

Em 2012, uma nova conferência promovida pela ONU foi realizada na cidade do Rio de Janeiro. Conhecida como Rio+20, contou com líderes mundiais, participantes do setor privado e ONGs, que se reuniram para avaliar o progresso realizado desde os encontros anteriores e os desafios ainda existentes. Um dos resultados foi a elaboração de um documento chamado "O futuro que queremos", que reafirma compromissos estabelecidos anteriormente e sistematiza medidas para atingir o desenvolvimento sustentável.

A gravidade dos problemas ambientais foi reconhecida em todos os encontros realizados. Ainda assim, parte dos acordos e das medidas propostas não foi cumprida. O desejo de mudança e o compromisso em efetuá-la esbarram em problemas econômicos, políticos e limitações técnicas.



Fonte de pesquisa: Global Footprint Network. Disponível em: <http://www.footprintnetwork.org/en/index.php/GFN/page/world_footprint/>. Acesso em: 8 mar. 2016.

O termo "pegada ecológica" é usado para se referir à quantidade de recursos naturais necessários para suprir as demandas da humanidade. O gráfico abaixo mostra o número de planetas Terra consumidos pela pegada ecológica da população mundial entre 1960 a 2008. Os dados posteriores a 2008 representam duas projeções futuras: uma que considera a redução da pegada ecológica e outra relacionada às tendências atuais.

AMOSTRA
PARA DIVULGAÇÃO

Impacto humano sobre a atmosfera

Desde a Pré-história, as atividades humanas alteram a composição atmosférica, ainda que localmente. Há relatos datados da Antiguidade que registram os efeitos maléficos da fumaça para a saúde humana. Já no século XIII, a poluição em Londres, principalmente devido à queima do carvão, era considerada um problema. Mas a poluição atmosférica começou a agravar-se com a Revolução Industrial, iniciada na segunda metade do século XVIII, na Inglaterra – quando teve início o movimento migratório da população rural em direção às cidades, onde formaram-se exércitos de trabalhadores das indústrias.

A partir da primeira metade do século XX, grande parte da população mundial passou a concentrar-se em cidades, que, por sua vez, ficaram cada vez maiores. Nesses centros urbanos industrializados, a poluição do ar passou a ser um dos mais graves problemas, provocada principalmente pela presença das indústrias e pelo número crescente de automóveis – as duas principais fontes de poluição atmosférica decorrente da atividade humana.

Principais poluentes atmosféricos

De maneira geral, pode-se dizer que o uso de combustíveis fósseis, como o carvão, o petróleo e seus derivados, produz os principais poluentes atmosféricos, que são lançados na atmosfera pelos escapamentos de veículos automotores e pelas chaminés das fábricas. Mas outros processos, como as queimadas, também eliminam poluentes atmosféricos.

Entre os principais poluentes atmosféricos destacam-se o **monóxido de carbono**, os **óxidos de nitrogênio**, o **ozônio** e o **dióxido de enxofre**.

Monóxido de carbono (CO)

É um gás incolor e inodoro, que resulta da queima incompleta de combustíveis. Ele ocorre em altas concentrações nas grandes cidades, onde a quantidade de veículos automotores que circulam é muito grande.

Uma de suas características é a facilidade com que se liga à hemoglobina, molécula presente nas hemácias de seres humanos e outros vertebrados.

A hemoglobina é responsável pelo transporte de gás oxigênio no sangue. Porém, como a ligação da hemoglobina com o CO é muito mais estável que a ligação com o O_2, ela não é facilmente desfeita, o que diminui a disponibilidade de moléculas de hemoglobina para o transporte de O_2. Assim, mesmo em pequenas concentrações no organismo, o CO reduz significativamente a capacidade de transporte de O_2, debilitando a saúde das pessoas.

Óxidos de nitrogênio (NO_x)

Os principais poluentes derivados dos óxidos de nitrogênio, gases produzidos pela queima de combustíveis fósseis, são o monóxido de nitrogênio (NO) e o dióxido de nitrogênio (NO_2). As indústrias de fertilizantes, por queimarem combustíveis fósseis, estão entre as principais fontes de emissão desses gases.

O monóxido e o dióxido de nitrogênio são alguns dos principais poluentes de ambientes fechados, e seus efeitos podem ser agravados pelo mau uso dos sistemas de ventilação. Quando inalado, o NO_2 atinge os pulmões e pode causar doenças como o enfisema pulmonar.

Ozônio (O_3)

Entre 15 e 60 km de altitude, o gás ozônio forma uma camada que filtra parte dos raios ultravioleta emitidos pelo Sol, impedindo-os de chegar à superfície da Terra.

Porém, quando se forma próximo ao solo, por meio de reações químicas que envolvem óxidos de nitrogênio e luz solar, o ozônio é considerado um poluente, causando danos à saúde e à vegetação e reduzindo a visibilidade atmosférica.

Dióxido de enxofre (SO_2)

Resultado da queima de combustíveis fósseis, como gasolina e óleo *diesel*, esse gás pode reagir na atmosfera, produzindo ácido sulfúrico (H_2SO_4) e ocasionando **chuvas ácidas**. Essas chuvas provocam acidificação dos solos e das águas, danificam monumentos históricos, destroem a vegetação (imagem **A**), e prejudicam a saúde – causando irritação nas vias respiratórias e agravando quadros de asma e bronquite crônica.

Como o ozônio, o dióxido de enxofre também reduz a visibilidade na atmosfera.



(**A**) Estátua danificada por chuva ácida (Inglaterra, 2015). (**B**) Árvores mortas em consequência de chuva ácida (Alemanha, 2014).

AMOSTRA
VERSÃO DIVULGAÇÃO

Não escreva no livro.

O aquecimento global

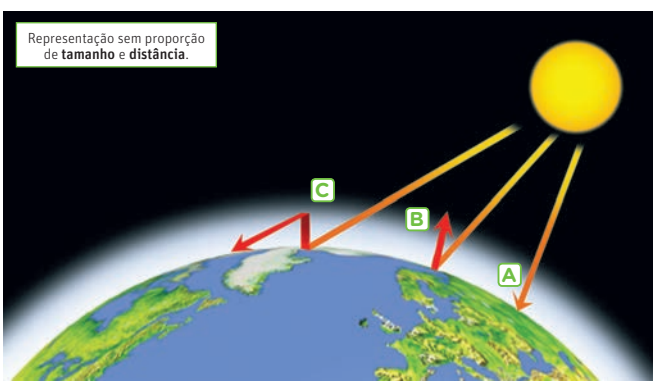
O **efeito estufa** é um fenômeno natural pelo qual parte da radiação solar permanece na atmosfera em forma de calor. Se esse fenômeno não ocorresse, a temperatura do planeta oscilaria muito e não haveria as condições para a manutenção da vida como a conhecemos.

Cerca de 35% da radiação solar que incide sobre a superfície do planeta é refletida de volta para o espaço, e cerca de 65% da que é refletida fica retida na atmosfera, sobretudo devido à ação do vapor de água e também de gases presentes na atmosfera, como o dióxido de carbono, o metano, os óxidos de nitrogênio e o ozônio (veja imagem abaixo). Esses gases retêm principalmente os raios infravermelhos e são chamados gases de efeito estufa (GEE).

A ideia de que os gases resultantes das atividades humanas poderiam aumentar a quantidade de calor retido na superfície terrestre foi registrada já em 1935, nos trabalhos do engenheiro britânico Guy Callendar (1898-1964). Ele analisou milhares de dados meteorológicos e concluiu que no período de 1890 a 1935 havia ocorrido um aumento de temperatura de quase 0,5 °C. Mas nos anos seguintes foram registradas temperaturas médias declinantes, e iniciou-se o debate sobre a proximidade de uma Era Glacial. Apenas na década de 1980 a tese de que os gases produzidos pela atividade humana estariam provocando a elevação da temperatura, fenômeno que passou a ser chamado de **aquecimento global**, voltou a ganhar atenção.

A tese do aquecimento global está baseada, principalmente, na associação entre os registros do aumento da temperatura média do planeta nos últimos 150 anos e o aumento da concentração de gás carbônico na atmosfera, nesse mesmo período, especialmente a partir da Revolução Industrial, quando a humanidade passou a usar combustíveis fósseis como principal fonte de energia. O setor industrial e o de transportes, além do desmatamento, são as principais atividades emissoras dos GEE. O desmatamento é a principal fonte das emissões brasileiras.

O relatório do Painel Intergovernamental para Mudanças Climáticas (IPCC, na sigla em inglês) de 2007, indica ser *muito provável* que as principais causas dessas mudanças sejam as emissões mundiais dos GEE produzidos pelas atividades humanas, denominadas emissões antropogênicas (do grego *anthropos*, "homem", e *genico*, "origem"). De acordo com esse relatório, as concentrações dos GEE teriam aumentado em cerca de 70% entre 1970 e 2004. O relatório prevê ainda que o aumento de temperatura pode levar ao derretimento parcial das calotas polares e ao consequente aumento do nível do mar, além da ocorrência de eventos climáticos extremos, como ondas de calor, furacões e secas, que provocariam um complexo conjunto de reações, afetando numerosos sistemas naturais. Usar energia de forma mais eficiente, adotar fontes de energia renováveis, reduzir as taxas de desmatamento e recuperar áreas verdes degradadas são algumas das maneiras de reduzir a emissão dos GEE e prevenir ou minimizar os impactos negativos do aquecimento global.



Luis Moura/ID/BR

Representação do efeito estufa. (**A**) A luz solar penetra na atmosfera e grande parte da radiação é absorvida pela superfície, aquecendo-a. (**B**) Uma parte da radiação solar é refletida pela Terra e retorna ao espaço. (**C**) Outra parte da radiação refletida pela superfície é retida pela camada de gases de efeito estufa, o que provoca o aquecimento do planeta. Cores-fantasia.

Fonte de pesquisa: Ricklefs, Robert E. *A economia da natureza*. 6. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2010. p. 46.

SAIBA MAIS

O Protocolo de Kyoto

Medidas contra a emissão dos GEE vêm sendo tomadas desde 1997, quando foi realizada a 3ª Conferência das Partes da Convenção das Nações Unidas sobre Mudanças Climáticas, em Kyoto, Japão, com a criação do Protocolo de Kyoto. De acordo com esse tratado, os países desenvolvidos deveriam reduzir emissões de GEE em 5,2%, no período de 2008 a 2012. Essa meta não foi cumprida e, no final de 2012, na Conferência da ONU sobre Mudanças Climáticas, a validade do Protocolo foi prorrogada até 2020, mas não se chegou a estabelecer novas metas. O novo acordo não foi ratificado pelos Estados Unidos e não foi assinado pelo Canadá, que não concordam com o fato de o Protocolo não estabelecer metas para países emergentes, como Brasil, China e Índia.

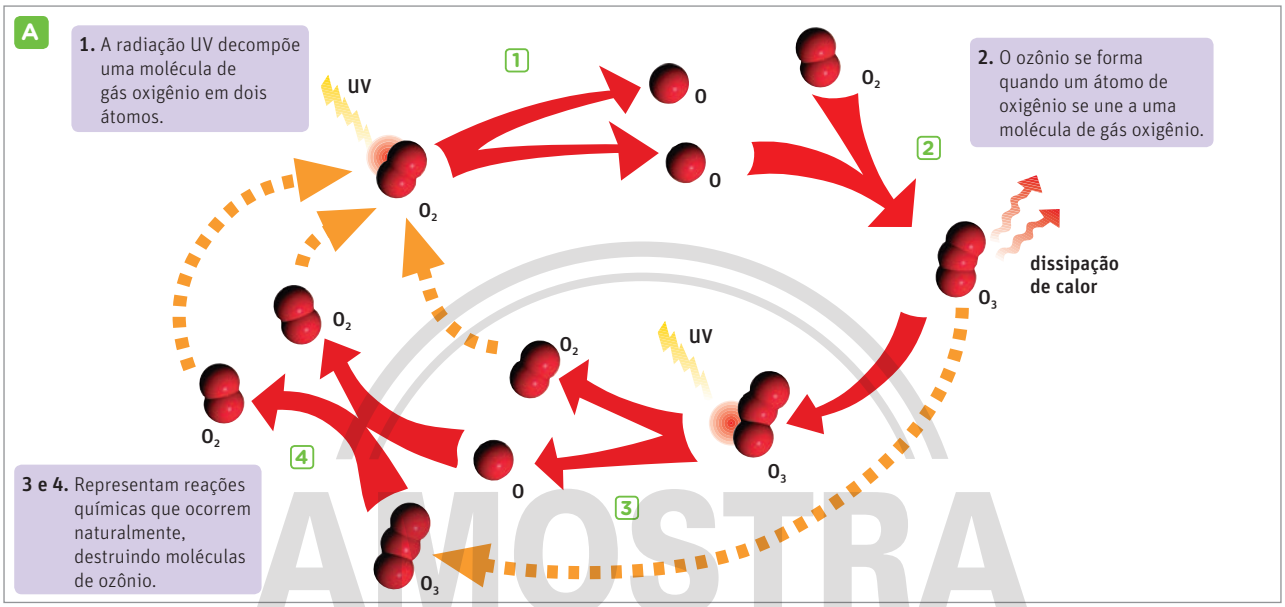
1. **Em sua opinião, os países emergentes, ou seja, em desenvolvimento, também devem se comprometer com metas de redução na emissão de GEE? Justifique.**

AMOSTRA PARA DIVULGAÇÃO

A camada de ozônio

O **ozônio** (O_3), gás formado por três átomos de oxigênio, encontra-se na **estratosfera**, camada da atmosfera situada entre 15 km e 60 km de altitude. A camada de ozônio, também chamada **ozonosfera**, apresenta uma espessura variável, que é maior no Equador e menor nos polos. Sua existência foi descoberta em 1929, e vários estudos mostraram que ela impede que parte dos raios ultravioleta (UV) emitidos pelo Sol chegue à superfície do planeta. Isso é importante porque alguns raios UV podem prejudicar os seres vivos, por exemplo, causando mutações gênicas, câncer de pele e doenças oculares.

A formação e a destruição de moléculas de gás ozônio ocorrem naturalmente (imagem **A**).



Reinaldo Vignati/ID/BR

Representação da formação e da destruição do gás ozônio na estratosfera. Cada esfera vermelha representa um átomo do elemento oxigênio. Cores-fantasia.

Fonte de pesquisa: <https://www.ec.gc.ca/ozone/default.asp?lang=En&n=DB5CBDE6-1>. Acesso em: 2 maio 2016.

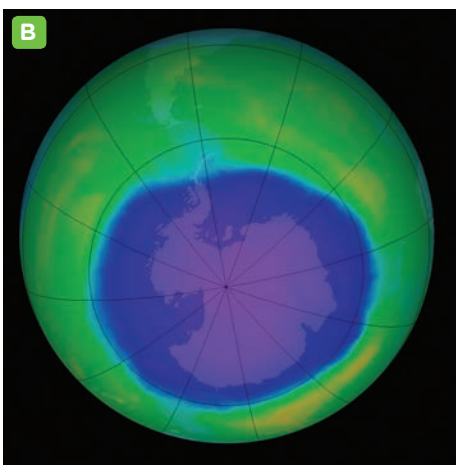
AMOSTRA PARA DIVULGAÇÃO

A destruição da ozonosfera por ação humana

A destruição natural do ozônio se intensifica com a liberação de gases como os clorofluorocarbonetos (CFCs), os hidroclorofluorocarbonetos (HCFCs), o brometo de metila (CH_3Br) e os óxidos de nitrogênio. Esse fenômeno foi observado pela primeira vez no fim da década de 1970 na Antártica, região onde a camada de ozônio se tornou mais rarefeita, provocando o chamado "**buraco**" **da camada de ozônio** (imagem **B**).

Os CFCs e HCFCs são gases utilizados em aerossóis, na fabricação de solventes, em sistemas de refrigeração e nos condicionadores de ar; o brometo de metila é um biocida empregado na agricultura; e os óxidos de nitrogênio são produzidos durante o processo de desnitrificação de compostos orgânicos utilizados nos adubos.

Para tentar atenuar a destruição da camada de ozônio, foi assinado um acordo internacional em 1987, o Protocolo de Montreal. Esse documento visava reduzir a produção e o consumo dos produtos citados acima, e hoje conta com a adesão de 180 nações, dentre as quais, o Brasil. Passados mais de vinte anos de sua assinatura, os resultados são animadores. Embora tenha alcançado tamanho recorde em 2006, o "buraco" vem diminuindo, e apresentou, no ano de 2012, o segundo menor valor das duas últimas décadas, sendo maior somente que o registrado em 2002. Se a tendência continuar, com as reduções de produção e emissão dos CFCs, talvez a camada de ozônio se regenere por volta do ano de 2065, de acordo com estimativas da Nasa (agência espacial estadunidense).



Goddard Space Flight Center/Nasa

Aspecto do "buraco" da camada de ozônio (em azul) sobre o continente antártico em outubro de 2015. Imagem colorizada, obtida por satélites.

Não escreva no livro.

Impacto humano sobre as águas

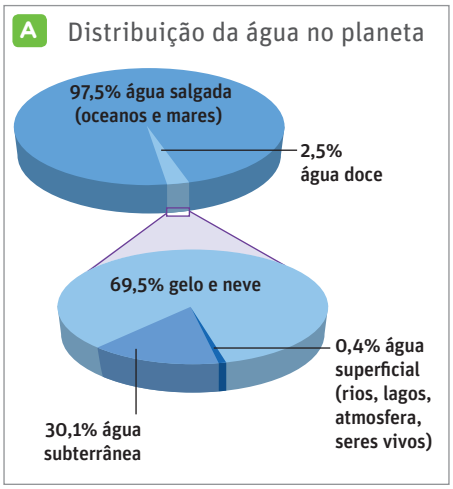
As sociedades humanas utilizam a água para os mais diversos fins, como o abastecimento de cidades e indústrias, a irrigação agrícola, a geração de energia elétrica, as atividades de mineração, a navegação, etc.

Nessas atividades, o ser humano utiliza principalmente água doce. No entanto, a maior parte da água do planeta, cerca de 97,5%, é salgada e está nos mares e oceanos (imagem **A**). E, dos cerca de 2,5% que correspondem à água doce, quase 70% estão na forma de neve e gelo. Além disso, apesar de a quantidade de água no planeta ser fixa – cerca de 1,4 bilhão de quilômetros cúbicos –, o volume disponível para o consumo humano varia de região para região, e também ao longo do tempo, em razão de mudanças climáticas. A água apropriada para consumo humano é, portanto, limitada.

Diante disso, dois aspectos tornam-se relevantes. O primeiro é o crescimento acelerado do consumo de água: entre 1950 e 2000 ele triplicou. Calcula-se que a agricultura seja a atividade que utiliza maior quantidade – cerca de 70% – de toda a água consumida em atividades humanas no mundo.

A indústria utiliza cerca de 2%, e o consumo doméstico responde por cerca de 10% do total da água consumida pelas populações humanas. Organizações internacionais avaliam que a humanidade enfrentará problemas graves de disponibilidade de água caso seu consumo continue crescendo nos próximos 25 anos.

O segundo aspecto diz respeito à degradação da qualidade da água provocada pelas atividades humanas. Mares, rios, lagos e represas, bem como as águas subterrâneas, são afetados, direta ou indiretamente, pela deposição de esgoto e lixo domésticos e industriais; pelo escoamento de substâncias tóxicas provenientes da agricultura (inseticidas e herbicidas) e da mineração (mercúrio); e pela deposição de solo removido em atividades como a agricultura ou a terraplenagem. A seguir, são apresentadas algumas das principais causas de degradação das águas.



AMJ Studio/ID/BR

Representação da disponibilidade de água doce no planeta.

Fonte de pesquisa: Clarke, R.; King, J. *O atlas da água*: mapeamento completo do recurso mais precioso do planeta. São Paulo: Publifolha, 2005. p. 20 e 21.

Poluentes biodegradáveis

O esgoto doméstico e o de algumas indústrias são ricos em matéria orgânica. Quando lançados em rios, lagos, ou mesmo nos mares, a matéria orgânica que carregam é decomposta por microrganismos. Esse processo consome oxigênio, reduzindo os níveis desse gás dissolvido na água, o que pode provocar a mortandade de peixes e outros animais aquáticos (imagem **B**).

No entanto, porque esse tipo de poluição é constituído principalmente por substâncias que podem ser decompostas por processos biológicos, ou seja, substâncias **biodegradáveis**, o impacto que provocam é reversível, desde que sejam eliminados os focos de poluição. A recuperação do rio Tâmisa, que corta a cidade de Londres, Inglaterra, é um exemplo de que a implantação de sistemas de coleta e tratamento de esgotos é uma solução para esse tipo de poluente.



Sergio Moraes/Reuters/Latinstock

Peixes mortos em consequência de baixos níveis de gás oxigênio na água. Lagoa Rodrigo de Freitas, Rio de Janeiro (RJ), 2013.

AMOSTRA
PARA DIVULGAÇÃO

Eutrofização

O aumento da concentração de certos nutrientes em ambientes aquáticos é chamado de **eutrofização** (do grego *eu*, "bom", e *trofos*, "nutrição"). Esse processo pode ocorrer naturalmente, mas também pode ser provocado pelo acúmulo de esgotos e fertilizantes agrícolas nos corpos d'água, pois isso leva ao aumento dos níveis de nitratos e fosfatos – substâncias utilizadas como nutrientes por cianobactérias e algas. O excesso de nutrientes, associado a condições favoráveis de temperatura, salinidade e luminosidade, proporciona a proliferação acelerada desses seres fotossintetizantes – fenômeno conhecido como **floração.**

Esse fenômeno pode turvar a água, diminuindo a luz disponível para a fotossíntese e provocando a morte de parte desses organismos. A decomposição dos organismos consome parte do oxigênio dissolvido na água, ocasionando os problemas já mencionados. Além disso, algumas algas e cianobactérias produzem toxinas que podem se acumular em organismos filtradores, como mexilhões e ostras. Aves, mamíferos marinhos e seres humanos, entre outros, podem intoxicar-se ao consumir esses animais. Também é desaconselhável banhar-se ou praticar esportes aquáticos em águas com florações.

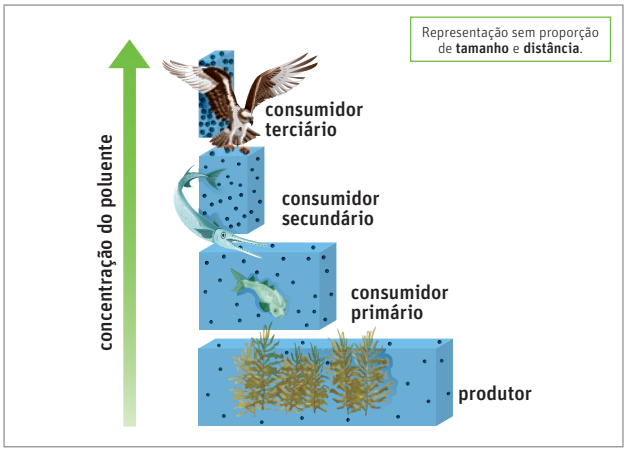
Um tipo conhecido de floração que ocorre no mar, conhecido como "maré vermelha", é provocado pela proliferação excessiva de dinoflagelados – organismos unicelulares flagelados. No Brasil, um caso ocorrido em 2007, na Bahia, ocasionou a morte de cerca de 50 toneladas de mariscos.

A eutrofização excessiva é comum nos rios das grandes cidades que recebem esgoto doméstico e industrial sem tratamento.

Poluição por substâncias não biodegradáveis

Substâncias como metais pesados, alguns detergentes, pesticidas e derivados do petróleo não são biodegradáveis, isto é, são decompostos muito lentamente ou não são decompostos por processos biológicos. Eles permanecem no ecossistema por longos períodos de tempo, causando danos muitas vezes irreversíveis, ou reparáveis apenas após décadas ou séculos.

Do ponto de vista ambiental, um dos problemas mais graves relacionados à presença desses poluentes é a **bioacumulação**, processo que afeta os diversos níveis tróficos da cadeia alimentar. Nesse processo, os poluentes que contaminam os produtores são gradativamente transferidos aos níveis tróficos superiores por meio da alimentação. Por não serem biodegradáveis, os poluentes permanecem no corpo dos seres vivos e tornam-se mais concentrados nos níveis mais altos da cadeia alimentar. Assim, um consumidor terciário que ingere várias presas fica contaminado pelos poluentes presentes no corpo de todas elas (imagem a seguir).



AMj Studio/ID/BR

Representação da bioacumulação. Metais pesados e outros poluentes, representados por pontos escuros, ficam mais concentrados nos níveis mais altos da cadeia trófica.

Metais pesados

Recentemente, atividades humanas vêm provocando o aumento dessas substâncias em vários ecossistemas. Os metais pesados estão presentes, por exemplo, em componentes eletroeletrônicos e produtos agrícolas, e participam de vários processos industriais na produção de plásticos, tintas e solventes. Alguns, como o ferro, o zinco e o selênio, estão presentes nos seres vivos, porém em concentrações muito pequenas. Outros, como o arsênio, o cádmio e o mercúrio, são potencialmente nocivos para plantas, animais e microrganismos.

O **mercúrio** é amplamente utilizado pela indústria na preparação de substâncias como o cloreto de vinila (usado na produção de plásticos PVC), a soda cáustica e o acetaldeído (usado na produção de tintas, resinas e borrachas). Quando despejado nas águas, o mercúrio acumula-se nos níveis tróficos da cadeia alimentar.

A ingestão de mercúrio pode causar envenenamento, com sintomas como tremores, depressão, perda de memória, irritabilidade, paralisia e pode até causar a morte. Em mulheres grávidas pode afetar o desenvolvimento do feto nas primeiras semanas.

O tratamento e a disposição adequada de resíduos industriais são fundamentais para prevenir a contaminação da água por metais pesados.

ATIVIDADES

1. Certo lago passou a receber parte do esgoto doméstico de uma cidade. Inicialmente, a água adquiriu tom esverdeado em decorrência da rápida proliferação de algas e bactérias fotossintetizantes. Depois de certo tempo, houve mortandade de peixes.

a) Que tipo de problema ambiental provavelmente aconteceu nesse lago?

b) Qual é a provável causa da morte dos peixes?

AMOSTRA
PROIBIDA A REPRODUÇÃO

Não escreva no livro.

Organoclorados

Outra importante classe de substâncias não biodegradáveis são os **organoclorados**. Usados na agricultura como inseticidas e herbicidas, essas substâncias, assim como o mercúrio, acumulam-se ao longo da cadeia alimentar e estão mais concentradas nos níveis tróficos superiores.

Entre os organoclorados, o **DDT** (sigla de diclorodifeniltricloroetano) é o mais conhecido; seu uso atualmente é proibido em vários países, incluindo o Brasil.

A presença do DDT nos ecossistemas aquáticos vem sendo constatada e avaliada por diversos estudos em várias partes do mundo, até mesmo nas regiões polares, onde a sua degradação é mais lenta que nos trópicos.

No ser humano, pesticidas como o DDT atuam no sistema nervoso central, alterando o comportamento, causando distúrbios nervosos e problemas respiratórios. A intoxicação aguda é caracterizada por dor de cabeça, convulsões, tonturas e insuficiência respiratória, podendo, nos casos mais graves, levar à morte.

Por tudo isso, o uso dessas substâncias deve ser responsável e criterioso, de acordo com as instruções do órgão ambiental responsável e evitando-se aplicações excessivas.

Poluição por derramamento de petróleo

O **petróleo** é uma das principais fontes poluidoras da água do mar. Extraído das profundezas da crosta terrestre, o petróleo tem importância vital para as sociedades modernas, não apenas como fonte de combustíveis, mas também de outras importantes matérias-primas utilizadas para os mais diversos fins, como plásticos, solventes, tintas, óleos lubrificantes, etc. A extração e o transporte do petróleo acarretam problemas ambientais quando ocorrem derramamentos de navios petroleiros, oleodutos, plataformas ou refinarias.

As extensas manchas de óleo provocadas por esses acidentes bloqueiam a passagem da luz e, consequentemente, impedem a realização da fotossíntese pelo fitoplâncton, além de dificultar a troca gasosa entre a água e a atmosfera.

O óleo derramado também cobre o corpo de aves e outros animais, impedindo a realização de diversas funções vitais. A presença de óleo nas brânquias dos peixes, por exemplo, pode levá-los à morte por asfixia. Aves marinhas que têm as suas penas cobertas por óleo ficam muitas vezes impossibilitadas de voar e de regular a temperatura do corpo (estresse térmico), morrendo em seguida. O mesmo pode acontecer com os mamíferos marinhos, como golfinhos, lontras e focas. Prevenir os acidentes relacionados à extração e transporte de petróleo é essencial para minimizar a frequência e a intensidade de desastres ambientais.

ATIVIDADES

2. Na obra clássica de Lewis Carroll, *Alice no País das Maravilhas*, uma das famosas personagens é o Chapeleiro Maluco. A referência do autor não é à toa: naquela época, o feltro usado na fabricação de chapéus era tratado com certa substância tóxica. Por isso, muitos chapeleiros acabavam ficando intoxicados, apresentando sintomas como descoordenação motora, dificuldade para caminhar, para falar e para se vestir. Esses mesmos sintomas, mais tarde, foram vistos nos habitantes de uma pequena cidade costeira do Japão, que acabaram intoxicados pela mesma substância.

Que substância provavelmente é essa?

SAIBA MAIS

O caso de Minamata

Em 1953, estranhos fatos começaram a acontecer em Minamata, uma pequena cidade do Japão, situada à beira-mar. Gatos perambulavam de maneira incomum; alguns corriam em direção ao mar, onde acabavam morrendo. Depois, foi a vez dos seres humanos: com problemas de falta de coordenação motora, eles não conseguiam calçar os sapatos, falar nem ouvir direito.

Caracterizado o quadro clínico e refutadas todas as possibilidades de doenças contagiosas causadas por vírus ou bactérias, descobriu-se, mais tarde, que se tratava de contaminação por mercúrio – presente nos resíduos despejados no mar por uma indústria química que desde 1930 fabricava acetaldeído. A partir daquele ano, pessoas e animais de Minamata começaram a ingerir mercúrio em pequenas doses, e de maneira indireta, ao se alimentarem de peixes e outros pescados da região. Com o passar do tempo, o metal acumulado no organismo levou ao envenenamento.

Em 2001, 2 265 pessoas foram oficialmente reconhecidas como tendo desenvolvido problemas causados por essa contaminação.



Michael S. Yamashita/Corbis/Fotoarena

Protesto em Minamata em 1993, quarenta anos após o incidente com mercúrio.

AMOSTRA PARA DIVULGAÇÃO

Impacto humano sobre os solos

É no solo que estão a água e os nutrientes essenciais para muitos seres vivos. Os solos interagem com a atmosfera com as águas superficiais e subterrâneas e com os seres vivos.

Os solos são modificados pela ação humana em diversas atividades, como o plantio, a pecuária, a extração de minerais, a construção de estradas, a edificação de cidades e a deposição de resíduos. Essas atividades, quando comprometem os solos, acarretam prejuízos ambientais e econômicos. As principais formas de degradação **antrópica** dos solos são a **erosão**, a **impermeabilização** e a **poluição**.

Antrópico: aquilo que é influenciado por ação humana.

Erosão

A **erosão** é um processo natural que, atuando em escala de tempo geológica, transporta as partículas de solo de um lugar para o outro. Os principais agentes erosivos são a água, o vento e o gelo, agentes físicos que atuam também no **intemperismo**, isto é, na desagregação das rochas em partículas de solo.

Algumas atividades humanas, porém, quando realizadas sem cuidado, podem acelerar a erosão do solo. Certas práticas de agricultura e o desmatamento removem a cobertura vegetal, deixando o solo exposto à ação do sol, dos ventos e das chuvas.

O solo exposto ao sol perde a umidade e as condições necessárias para a manutenção dos organismos que o tornam fértil. Ventos e chuvas retiram ainda a camada superficial do solo juntamente com seus nutrientes, provocando o aparecimento de **voçorocas** – sulcos e escavações no solo decorrentes da erosão pluvial (imagem abaixo).



Gerson Gerloff/Pulsar Imagens

Voçoroca em Júlio de Castilhos (RS), 2015.

Muitas vezes, partículas de solo são transportadas até cursos de água, onde se acumulam. Com o passar do tempo, a deposição dessas partículas e outros sedimentos no fundo de rios e represas diminui a profundidade dos mesmos. Esse processo é denominado **assoreamento**.

As chuvas alteram, ainda, a estrutura do solo, deixando-o compactado, o que dificulta a penetração da água. Assim, a água das chuvas passa a escorrer sobre a superfície e, acompanhando o declive do terreno, forma pequenas correntes que carregam porções de solo maiores, cavando ravinas cada vez mais profundas. Nas áreas urbanas, a erosão ocorre em solo exposto principalmente devido à terraplenagem (para a construção de estradas, habitações e indústrias) e à ocupação desordenada das encostas. A erosão é uma das principais causas dos desmoronamentos comuns em época de chuva.

SAIBA MAIS

A ameaça da desertificação

De acordo com a Agenda 21, desertificação é o processo de "degradação da terra que ocorre, principalmente, nas regiões áridas, semiáridas e subúmidas secas, resultante de vários fatores, entre eles as variações climáticas e as atividades humanas". Suas principais causas são o esgotamento do solo por práticas agrícolas não sustentáveis, o desmatamento e atividades como queimadas e mineração.

De acordo com dados das Nações Unidas, o processo de desertificação atinge 30% da área continental do planeta. No Brasil, segundo dados do Ministério do Meio Ambiente, as áreas suscetíveis a desertificação estão principalmente no Nordeste e representam 1,3 milhão de km^2 (15,72% do território brasileiro), nos quais habitam mais de 31,6 milhões de brasileiros (18,65% da população do país).



Cândido Neto/Opção Brasil Imagens

Área em desertificação em Gilbués (PI), 2014.

1. Considere as principais causas da desertificação apontadas no texto e proponha estratégias para diminuir a intensidade desse problema no Brasil.

AMOSTRA PARA DIVULGAÇÃO

Não escreva no livro.

Impermeabilização

A **impermeabilização** do solo ocorre quando a água deixa de penetrá-lo, ou seja, quando o solo se torna impermeável à água. Esse fenômeno ocorre tanto em áreas urbanas como em áreas rurais.

Nas áreas urbanas, as construções e a pavimentação de ruas e estradas impermeabilizam grande parte da área que poderia absorver as águas pluviais (imagem **A**).

Nas áreas rurais, a impermeabilização ocorre pela compactação, que torna os solos menos porosos. A compactação ocorre no solo nu exposto às intempéries e também é causada por maquinários agrícolas, pisoteio animal e passagem de veículos automotores. Esse processo dificulta ainda a troca de gases entre o solo e a atmosfera, diminuindo a sua aeração.



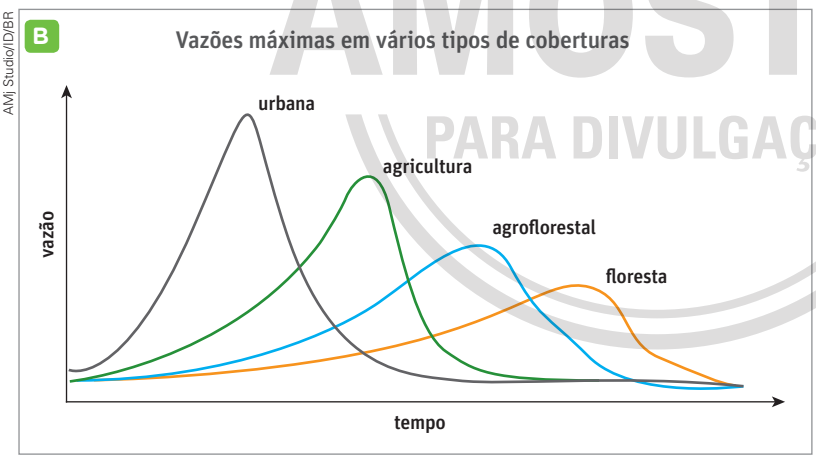
Delfim Martins/Pulsar Imagens

Grande parte dos solos das cidades está impermeabilizada por construções ou calçamentos. Teresina (PI), 2015.

Enchentes urbanas

Várias causas estão relacionadas às grandes enchentes urbanas: ocupação irracional do solo, chuvas intensas, lixo mal acondicionado e drenagem deficiente. Mas a impermeabilização dos solos está na origem dos problemas.

A água da chuva que chega à superfície pode evaporar, escorrer ou infiltrar no solo. No Brasil, como a maioria das ruas tem calçamento impermeável – como asfalto, concreto ou paralelepípedo –, a única possibilidade é o escoamento da água da chuva sobre a superfície, e muitas vezes um grande volume de água corre sobre as ruas em um pequeno intervalo de tempo (imagem **B**).



AM| Studio/ID/BR

Gráfico que representa a vazão da água, isto é, o volume de água que escoa num certo espaço por unidade de tempo, em diversos ambientes. Nas cidades, a vazão é maior e ocorre mais rapidamente, aumentando o risco de enchentes. Já nas florestas, parte da água infiltra e a vazão máxima ocorre lentamente e em níveis mais baixos.

Fonte de pesquisa: Couto, José Luiz Viana do. Mapa mental dos problemas das enchentes urbanas. UFRRJ. Disponível em: <http://www.ufrrj.br/institutos/it/de/acidentes/mma10.htm>. Acesso em: 8 mar. 2016.

A água que escoa sobre a superfície carrega lixo e outros objetos deixados nas ruas e calçadas, entupindo os bueiros e aumentando a quantidade de água que corre na superfície. Muitas vezes, esse lixo é lançado nos córregos e rios que cortam as cidades, formando obstáculos aos cursos da água. Assim, a água se acumula nas regiões baixas das cidades, provocando enchentes (imagem **C**).

As enchentes trazem graves consequências para as populações das regiões urbanas afetadas. Além de facilitarem a transmissão de doenças como leptospirose, diarreia e febre tifoide, destroem móveis, veículos, utensílios domésticos, produtos armazenados, etc.

Existem práticas que ajudam a evitar a ocorrência de enchentes urbanas. Entre elas, destacam-se o aumento das áreas verdes domésticas e públicas, o acondicionamento adequado do lixo e a prevenção do assoreamento dos rios e córregos.



Luciano Pontes/Futura Press

Enchente em Rio Branco (AC), 2015. Uma das principais causas das enchentes nas cidades é a impermeabilização do solo.

AMOSTRA
PARA DIVULGAÇÃO

Poluição dos solos

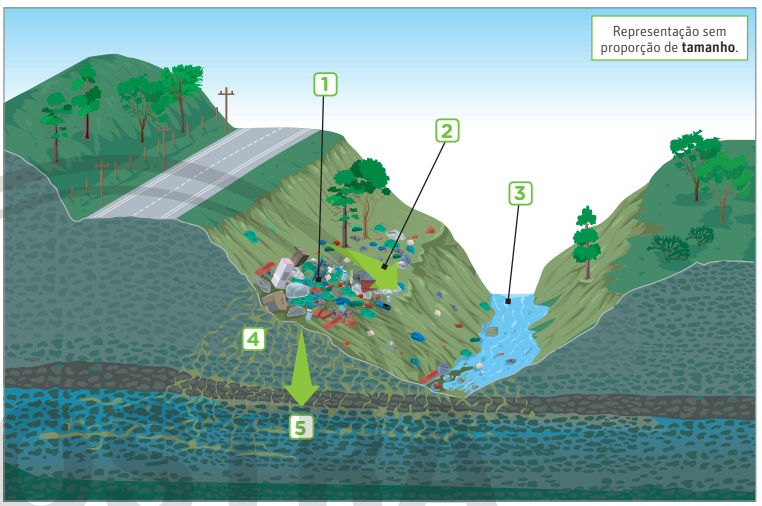
Entre as principais causas de poluição dos solos descatam-se a superexploração agrícola, a chuva ácida e a deposição indevida de resíduos domésticos e industriais.

A agricultura intensiva utiliza **fertilizantes** industriais e **biocidas** (substâncias letais para alguns seres vivos) que, dependendo da concentração, são tóxicos para algumas espécies de seres vivos. Essas substâncias penetram no solo e podem atingir os aquíferos, contaminando-os por centenas de anos.

Entre os principais poluentes dos solos estão os **metais pesados**, como o mercúrio, o cádmio, o níquel e o chumbo. Esses poluentes também se acumulam na camada superior do solo, sendo então facilmente captados pelas raízes das plantas. A partir daí entram na cadeia trófica dos ecossistemas, podendo causar intoxicação ou envenenamento em seres humanos e outros animais. Até mesmo os adubos domésticos podem conter resíduos de metais pesados, poluindo e envenenando hortas urbanas.

A chuva ácida se forma quando a água da chuva, ao precipitar-se, reage com contaminantes atmosféricos formando ácidos (ver página 258). Esse fenômeno provoca a acidificação do solo e afeta os seres vivos, podendo causar grandes alterações no ecossistema.

Outra causa da contaminação dos solos é o acúmulo de resíduos urbanos e industriais depositados indevidamente em lixões ou em aterros sanitários mal controlados. Os resíduos produzem substâncias que contaminam também os rios e as águas subterrâneas, como mostrado na imagem abaixo.



Reinaldo Vignati/ID/BR

Esquema que representa as consequências do solo. (**1**) Acúmulo de lixo. (**2**) Escoamento superficial. (**3**) Contaminação dos rios. (**4**) Contaminação do solo. (**5**) Contaminação das águas subterrâneas. Cores-fantasia.

AMOSTRA PARA DIVULGAÇÃO

AÇÃO E CIDADANIA

Lixo eletrônico

Responda rápido: quantos computadores e impressoras você já teve até hoje? E aparelhos de telefone celular? Na Era Digital, com o rápido avanço da tecnologia e o crescente aumento do consumo, é raro encontrar alguém que não queira ter o último modelo de celular ou o computador mais moderno.

[...]

[...] Mas existem alguns dados sobre o assunto que talvez você (ainda) não saiba. Um deles é que equipamentos eletrônicos como computadores, impressoras, carregadores de celular, pilhas e baterias que você descarta têm, em sua composição, dezenas de substâncias que podem contaminar as outras pessoas, os animais e o meio ambiente, como metais pesados (chumbo, cádmio, mercúrio) e outros elementos tóxicos. Por isso, o descarte deve ser feito de maneira adequada e nunca no lixo comum.

[...]

[...] De acordo com o documento do Pnuma [Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente] os aparelhos eletrônicos possuem placas com circuitos eletrônicos que podem chegar a utilizar mais de 60 tipos de elementos químicos. O crescimento do consumo no setor aumentou a utilização de recursos naturais para suprir esta necessidade e isto está levando à escassez destes recursos. Por outro lado, o descarte inadequado de aparelhos obsoletos contamina o meio ambiente, pois estes elementos químicos ou são valiosos ou são tóxicos, ou ambos. As atividades de mineração consomem altas taxas de combustível, com alta geração de CO_2, contribuindo negativamente para o efeito estufa.

Portanto, o mais sensato seria recuperar os metais utilizados nos aparelhos descartados do que produzir novos metais, ou seja, "minerar" o lixo eletrônico: uma tonelada de telefone celular sem bateria contém 3,5 quilos de prata, 340 gramas de ouro, 140 gramas de paládio e 130 quilos de cobre. [...] Especialistas no setor apontam que em 1 tonelada de PCs existe mais ouro do que 17 toneladas de minério bruto do metal. Por isso, é fundamental que a sociedade se mobilize para encontrar alternativas para lidar com essa realidade.

[...]

Dias, Valéria. Agência USP. Disponível em: <http://www5.usp.br/2071/da-geracao-de-renda-a-inclusao-digital-alternativas-para-o-lixo-eletronico/>. Acesso em: 8 mar. 2016.

Não escreva no livro.

O problema do lixo

As atividades humanas geram grandes quantidades de resíduos. O **lixo urbano** representa uma mescla de rejeitos e resíduos provenientes de atividades domésticas, do espaço público, das atividades comerciais, das fábricas, dos hospitais, etc. Trata-se, basicamente, de matéria orgânica, papel, plásticos, vidros e metais.

No Brasil, o destino de grande parte dos resíduos sólidos urbanos são os **lixões**, locais a céu aberto onde o lixo não recebe nenhum tipo de tratamento (imagem **A**). Os lixões causam mau cheiro, atraem ratos, baratas e outros animais que são vetores de diversas doenças. O **chorume**, líquido escuro resultante da decomposição do lixo, muitas vezes se infiltra no solo e contamina os aquíferos.

Outra parte do lixo é depositada em **aterros sanitários**. Nesses locais, o terreno é impermeabilizado para evitar a contaminação do solo. O lixo é então depositado, e sobre ele é adicionada uma camada de solo. Alterna-se, portanto, lixo e solo, o que evita o mau cheiro e a proliferação de animais (imagem **B**). Nos aterros mais modernos, o chorume é coletado, e os gases provenientes da decomposição, como o metano, são aproveitados como fonte de energia.

Entretanto, o crescimento das cidades e da produção de lixo aumenta a demanda por novos aterros, e é cada vez menor a disponibilidade de áreas adequadas às suas instalações. Aterros sanitários distantes dos centros de produção encarecem o serviço de coleta de lixo. Soluções mais efetivas para esse problema devem proporcionar uma mudança de hábitos e a aplicação dos conceitos de **redução**, **reutilização e reciclagem**.

A redução implica diminuir a produção de resíduos, mediante a diminuição do consumo de produtos e materiais no dia a dia.

A reutilização significa prolongar a vida útil de objetos que em geral são descartados após terem sido utilizados apenas uma vez, como envelopes, embalagens plásticas, caixas de papelão, talheres de plástico, etc.

A reciclagem é o reaproveitamento de diversos materiais, por indústrias especializadas, para a fabricação de novos produtos. Papel, vidro, metais e diversos tipos de plástico são exemplos de materiais recicláveis.



Cesar Diniz/Pulsar Imagens

Lixão a céu aberto em região de Caatinga. Rio de Contas (BA), 2014.



Ernesto Reghran/Pulsar Imagens

Vista aérea de aterro sanitário em Foz do Iguaçu (PR), 2015.

AMOSTRA PARA DIVULGAÇÃO

SAIBA MAIS

Resíduos radioativos

Resíduos radioativos potencialmente poluentes são produzidos nos hospitais e nas centrais nucleares. Depois de utilizado, o urânio radioativo continua a emitir radioatividade por um longo período de tempo. Essa radioatividade é prejudicial aos seres vivos e pode causar várias doenças.

Se não for descartado apropriadamente, o material radioativo pode contaminar o solo e as águas, causando danos irreparáveis ao meio ambiente.

O descarte apropriado depende de características particulares do resíduo e é regulamentado por normas da Comissão Nacional de Energia Nuclear.



Luciana Whitaker/Olhar Imagem

Resíduos radioativos armazenados na usina nuclear Angra-2. Angra dos Reis (RJ), 2007.

Ameaças à biodiversidade

Muitas das atividades humanas alteram de maneira significativa os ecossistemas, ameaçando sua diversidade biológica.

A agricultura, a pecuária, a mineração e a urbanização são exemplos de interferências humanas que causam grande impacto ambiental, colocando em risco de extinção muitas espécies. Além da destruição de hábitats, a caça e o comércio ilegais de seres vivos também contribuem para o declínio das populações nativas, o que é especialmente grave quando envolve **espécies endêmicas**, isto é, aquelas que ocorrem apenas em uma dada região. Outro fator que ameaça a biodiversidade de um ecossistema é a introdução de espécies.

Biodiversidade

Refere-se à diversidade de espécies e toda variação existente dentro dela (subespécies, raças, etc.). Engloba, portanto, a variação morfológica, genética, fisiológica e comportamental dos organismos vivos em escala local, regional e global.

Destruição de hábitats

O desmatamento, as queimadas e a poluição são alguns dos fatores que alteram as condições bióticas e abióticas de um ecossistema, afetando toda a comunidade que vive nele. No Brasil, depois da Mata Atlântica, o Cerrado é o bioma que mais sofreu alterações com as atividades humanas, sobretudo a agropecuária.



AMOSTRA
NÃO PODE SER DIVULGAÇÃO

Cerca de **12%** da fauna* e da flora brasileiras estão ameaçadas de extinção.

A expansão da fronteira agropecuária causa destruição das florestas, redução da biodiversidade, degradação do solo, problemas sociais e ainda agrava o quadro de mudanças climáticas.

*Os dados só se referem aos animais vertebrados.

Não escreva no livro.

Introdução de espécies

Muitas espécies são introduzidas de forma acidental ou proposital em ambientes onde não são nativas. Quando sobrevivem e se reproduzem com sucesso no novo ambiente, as **espécies exóticas** podem causar danos ao ecossistema e às espécies locais.

O **faveiro-de-wilson** (*Dimorphandra wilsonii*) é uma árvore típica do Cerrado que está "criticamente ameaçada", segundo a classificação de risco. Em 2014, um estudo indicou que havia apenas 219 exemplares na natureza.

Gil Tokio/ID/BR

No Brasil, existem mais de **500** espécies exóticas invasoras.

Além de causar prejuízos à agricultura, a **lebre-europeia** (*Lepus europaeus*) compete com o **tapiti** (*Sylvilagus brasiliensis*), espécie de roedor brasileiro.

Os **eucaliptos** (*Eucalyptus* sp.), árvores nativas da Oceania, são muito plantados no Brasil para a fabricação de papel.

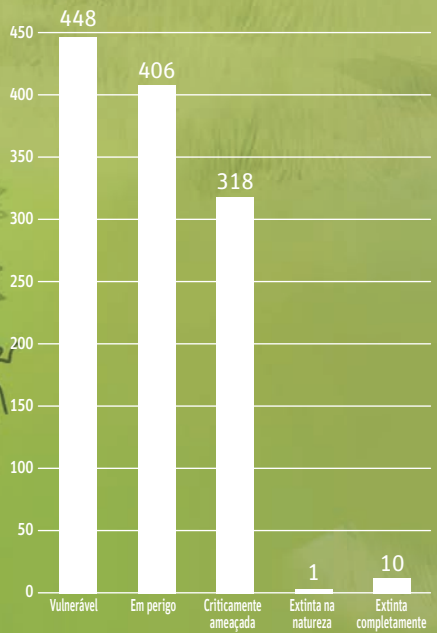
AMOSTRA
PARA DIVULGAÇÃO

Extinção de espécies

A extinção é um evento irreversível. Além da perda de biodiversidade, o desaparecimento de uma espécie afeta toda a comunidade onde ela estava inserida. Embora a extinção possa ser um evento natural, a intensidade com que ela vem ocorrendo nos últimos séculos está diretamente relacionada às atividades humanas.

O **lobo-guará** (*Chrysocyon brachyurus*), um animal típico do Cerrado, é tido como vulnerável à extinção.

Espécies animais ameaçadas de extinção no Brasil, por grau de ameaça (2014)



Quando se fala em risco de extinção, os ecólogos consideram vários graus de ameaça, que vão do "vulnerável" ao "extinto completamente". Em 2014, havia 1173 espécies animais consideradas ameaçadas no Brasil e dez já extintas completamente. Esses dados não incluem os animais invertebrados.

Fonte de pesquisa: ICMBio. Disponível em: <http://www.icmbio.gov.br/portal/biodiversidade/fauna-brasileira/lista-de-especies.html>. Acesso em: 2 maio 2016.

A viagem filosófica de Alexandre Rodrigues Ferreira

Nas três últimas décadas do século XVIII, o governo de Portugal caracterizou-se pelo absolutismo ilustrado, uma forma de Estado típico da transição feudal-capitalista. O absolutismo ilustrado inspirava-se nas ideias filosóficas do Iluminismo, que priorizava a ciência e a educação. Nesse contexto, foram estabelecidos os novos estatutos da Universidade de Coimbra, em 1772, e a formação da Academia de Ciências de Lisboa, em 1779.

Uma reforma curricular expressiva procurou romper com o antigo ensino escolástico praticado nas Faculdades de Leis, Teologia e Medicina. Além disso, foram criadas as Faculdades de Matemática e de Filosofia Natural, pautadas nas novas ciências que já se desenvolviam em outros países da Europa. Os doutores formados no curso de Filosofia Natural eram chamados de "naturalistas".

Nessa época, o Brasil contava apenas com os seminários jesuítas, sem instituições de ensino superior. Por isso, muitos jovens brasileiros das classes mais ricas foram enviados para estudar em Portugal. Entre eles, estava o baiano Alexandre Rodrigues Ferreira (1756-1815), que aos 14 anos foi enviado para a Universidade de Coimbra, em 1770. Após a reforma dos estatutos, transferiu-se para a Faculdade de Filosofia Natural, onde se titulou quatro anos depois, em 1778.

Enquanto estudava, Alexandre foi "demonstrador" de História Natural, atuando de modo semelhante a um técnico ou estagiário de laboratório de cursos de Ciências Biológicas hoje em dia. Essa experiência e seu engajamento no curso rendeu-lhe o convite de seu professor, Domingos Vandelli (1735-1816), para chefiar uma "viagem filosófica" pelas então capitanias do Grão Pará (atual estado do Pará), São José do Rio Negro (atual Amazonas) e Mato Grosso.

Os objetivos da expedição, que partiu do porto de Lisboa em 1º de setembro de 1783, eram muitos e variados. Havia uma forte motivação econômica, voltada ao inventário das riquezas naturais de interesse comercial. Do ponto de vista científico, interessavam não apenas os estudos sobre fauna, flora e minerais, como também os estudos antropológicos, inventariando os povos indígenas, seus hábitos e costumes. Havia, ainda, o objetivo político, pelo qual Alexandre Rodrigues Ferreira deveria incorporar-se às chamadas Comissões de Demarcação das Fronteiras, estabelecidas pelos Tratados de Madri (1750) e de Santo Ildefonso (1777), para discernir a América portuguesa das possessões espanholas, com base na ocupação efetiva do território.

Em expedições como essas, o naturalista viajante ocupava-se da elaboração de relatos descrevendo os produtos encontrados e do acondicionamento desses produtos. Dois artistas "riscadores" integraram a comitiva, produzindo ilustrações. Além dos relatórios técnicos e científicos, cabia a Alexandre a supervisão de todos os aspectos práticos da viagem, incluindo o fornecimento diário de alimentos e o cuidado com as condições de asseio e saúde dos acompanhantes. Consta que houve momentos em que Alexandre Rodrigues contou com cerca de 500 pessoas, entre soldados, guias e índios da região que serviam de remadores, caçadores e coletores. Ele também se ocupava de instruções burocráticas da Coroa Portuguesa e mediação com os líderes políticos e militares locais.

Durante nove anos, ele percorreu 39 mil quilômetros de hileia e sertão, o que lhe rendeu um riquíssimo material, coletado e enviado para o Real Museu de Lisboa.

Investigando os produtos naturais sob o olhar pragmático da exploração comercial, Alexandre Rodrigues Ferreira escreveu sobre a exploração do peixe-boi e das tartarugas. Sem antecipar qualquer preocupação conservacionista como a que seria desenvolvida a partir do final do século XIX, seu texto ilustra a visão exploradora que caracterizou as relações do homem com a natureza no século XVIII. Em 1786, por exemplo, ele transcreve relato do administrador do Real Pesqueiro dos lagos de Vila Franca (Pará), expressando as dimensões da exploração:

> Certifico [...] que nos dois anos da minha administração, [o pesqueiro] rendeu 3 873 arrobas de peixe e 8 683 potes de manteiga, havendo para isso a mortandade de 8 500 peixes-boi, pouco mais ou menos.

Ferreira, Alexandre Rodrigues. *Viagem filosófica pelas Capitanias do Grão Pará, Rio Negro, Mato Grosso e Cuiabá*: memórias – zoologia e botânica [1786]. Rio de Janeiro: Conselho Federal de Cultura, 1972. p. 63.

Ferreira menciona ainda que o administrador segue advertindo que os referidos gêneros sofreram grandes reduções, acarretando bastante prejuízo. Recomenda que sejam proibidas as pescarias mandadas fazer por pessoas particulares, as quais coletam muito mais peixe e manteiga que o próprio Pesqueiro Real.

Após descrever os usos que se pode dar à pele do peixe-boi, Ferreira ressalta as consequências econômicas da pesca sem controle:

> Sem dúvida de tantas utilidades quantas são as que deste mamífero se tiram, nenhum policiamento é feito de sua pesca. Um peixe-boi para chegar ao seu devido crescimento deve gastar anos e todos os que aparecem são arpoados, mesmo as fêmeas prenhas. As fêmeas não parem mais de um até dois filhos por ano. Os filhotes tirados do ventre das mães que são arpoadas, para nada servem. Não se conhece o tempo de criação e o arpoador fica feliz quando encontra um filhote para mais fácil arpoar a mãe. Arpoam-nos em todos os tamanhos,

AMOSTRA PARA DIVULGAÇÃO

Não escreva no livro.

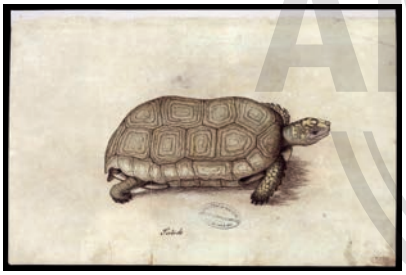
sem distinção de idade. Por isto não deve causar espanto a sua raridade em alguns lagos onde já não os encontramos há alguns anos. Conservava antes Sua Majestade dois pesqueiros reais, um nos lagos de Vila Franca e outro nos de Faro.

Ferreira, Alexandre Rodrigues. *Viagem filosófica pelas Capitanias do Grão Pará, Rio Negro, Mato Grosso e Cuiabá*: memórias – zoologia e botânica [1786]. Rio de Janeiro: Conselho Federal de Cultura, 1972. p. 62.

Em sua "Memória sobre a Jurararetê", ele explica a origem do nome dessa tartaruga, a sua distribuição e abundância relativa na região, os usos que se fazem de sua carne e ovos e do preparo da manteiga a partir da banha, além do tamanho, época, locais e modos de coleta. Alexandre complementa com dados que indicam o vulto da exploração:

Dizem os práticos que onze ninhadas dão um pote de manteiga. Uma canoa provida de gente hábil, em ano que não corra mal, faz cerca de mil potes e nas grandes safras, dobram essa quantia.

Ferreira, Alexandre Rodrigues. *Viagem filosófica pelas Capitanias do Grão Pará, Rio Negro, Mato Grosso e Cuiabá*: memórias – zoologia e botânica [1786]. Rio de Janeiro: Conselho Federal de Cultura, 1972. p. 39.





Fundação Biblioteca Nacional, Rio de Janeiro. Fotografias: ID/BR

Ilustrações: tartaruga (acima) e peixe-boi (abaixo), do acervo de Alexandre Rodrigues Ferreira.

Entretanto, aqui o autor já se mostra preocupado com a diminuição dos estoques naturais no curral das tartarugas da Fazenda Real de Barcelos, pertencente à Demarcação de Limites, bem como em outro curral pertencente à Capitania, entre 1780 e 1785, concluindo:

Em ambos [os currais] se aproveitaram 36 007 [tartarugas] e em ambos se desperdiçaram 17 461. Nesse número não figuram tartarugas entradas e mortas em outros currais de particulares, que são bastante numerosos pelo fato de elas serem o suprimento diário de carne de vaca de suas mesas. Tampouco vão incluídas as que morrem nas canoas durante a viagem dos pesqueiros até esta Vila, que são em maior ou menor número, segundo a estação quente ou fresca, segundo a maior ou menor carga das canoas ou se já têm ou não desovado.

Ferreira, Alexandre Rodrigues. *Viagem filosófica pelas Capitanias do Grão Pará, Rio Negro, Mato Grosso e Cuiabá*: memórias – zoologia e botânica [1786]. Rio de Janeiro: Conselho Federal de Cultura, 1972. p. 42.

Ferreira menciona o Ato de 19 setembro de 1769, que proibiu a "viração" no rio Branco, prática que leva ao "desperdício" de milhares de tartarugas ao serem viradas de peito para cima quando, após a postura, regressam à água, garantindo-se assim a sua imobilidade até que se possa cuidar de cada uma delas. No entanto, desde que as tartarugas passaram a representar o sustento não só da expedição da demarcação mas também de outras, a referida proibição deixou de ter validade.

Este anfíbio tão útil ao Estado ainda não mereceu cuidados ou providências que são requeridas para evitar os abusos que se praticam contra ele. Uma tartaruga para chegar ao seu devido crescimento gasta alguns anos. Anualmente são inúmeras as que se desperdiçam ao arbítrio absoluto dos índios; todas as ninhadas são descobertas, pisadas a eito e a maior parte das tartaruguinhas são comidas sem necessidade, o que em conjunto vem influir para sua raridade no decorrer do tempo".

Ferreira, Alexandre Rodrigues. *Viagem filosófica pelas Capitanias do Grão Pará, Rio Negro, Mato Grosso e Cuiabá*: memórias – zoologia e botânica [1786]. Rio de Janeiro: Conselho Federal de Cultura, 1972. p. 41.

AMOSTRA
VARA DIVULGAÇÃO

ATIVIDADES

1. Você já ouviu a expressão "déspota esclarecido"? Que associação pode ser feita entre essa expressão e o absolutismo ilustrado? Cite dois exemplos de "déspotas esclarecidos" e de que forma suas ações foram influenciadas pelo Iluminismo.
2. Como se percebe pelos relatos de Alexandre Rodrigues Ferreira, a exploração excessiva de recursos naturais, como a carne de tartaruga e do peixe-boi, é uma preocupação bastante antiga. Como você descreveria a situação atual desse problema? Os recursos naturais são explorados de forma mais racional?
3. Em um dos trechos reproduzidos nesta seção, Alexandre Rodrigues Ferreira chama as tartarugas de anfíbios. Em sua opinião, ele cometeu um erro? Em que grupo a taxonomia atual classifica as tartarugas?

Não escreva no livro.

Usos da energia e suas fontes

A energia é um recurso indispensável para a realização de todas as atividades da sociedade moderna. Necessitamos de energia para iluminar, para cozinhar, para o lazer, para o transporte, para as atividades comerciais, para a indústria e para a agricultura. Atualmente, a geração e o uso de energia estão na pauta da discussão dos problemas ambientais causados pelos seres humanos.

Um breve histórico

Na Pré-história, os primeiros seres humanos já faziam uso da energia do fogo para cozinhar alimentos, aquecer-se, iluminar e afastar predadores. Mais tarde, a energia do fogo seria utilizada também para forjar ferramentas e produzir cerâmica.

Nas sociedades pré-industriais, a energia mecânica produzida por tração animal ou humana foi de grande importância, usada para arar a terra, girar moendas e para o transporte. Nessas sociedades, a energia dos ventos também teve seu papel, principalmente nas chamadas Grandes Navegações, realizadas pelos europeus com suas caravelas entre os séculos XV e XVII.

A partir do século XVIII, com a Revolução Industrial, o carvão mineral passou a ser a principal fonte de energia, empregada nas indústrias, para aquecer as caldeiras que faziam movimentar as máquinas – como teares, locomotivas e navios –, e no aquecimento doméstico, especialmente nos países das zonas temperadas. Iniciava-se assim uma nova era, marcada pela utilização de combustíveis fósseis, trazendo às sociedades modernas grandes inovações tecnológicas, mas também problemas como a poluição e a degradação ambiental. Esses problemas se agravaram no final do século XIX, com o uso do petróleo e seus derivados – principais fontes de energia utilizadas até os dias de hoje.

Na segunda metade do século XX teve início o uso da energia nuclear para geração de energia elétrica em muitos países da Europa e da Ásia e nos Estados Unidos.

BIOLOGIA SE DISCUTE

Combustíveis fósseis: fim de uma era?

Atualmente, cerca de 80% da oferta mundial de energia provém da queima de combustíveis fósseis. Todos os processos de produção, bem como os modelos econômicos, e mesmo a cultura das sociedades modernas, estiveram fundamentados no uso desse tipo de combustível.

Para alguns cientistas, entretanto, a disponibilidade do petróleo pode estar perto do fim. Por serem combustíveis não renováveis, as reservas de gás e de petróleo podem se esgotar. Para evitar uma grande crise energética, diversos países têm investido na pesquisa e na implementação de novas fontes de energia.

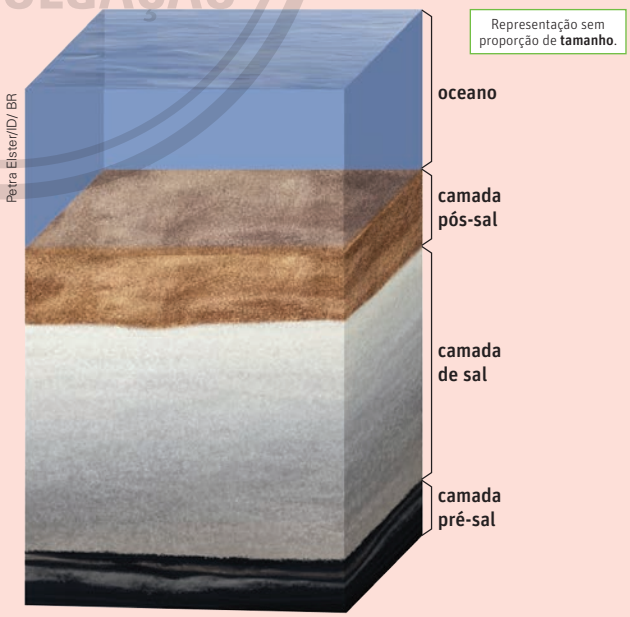
Pré-sal: petróleo profundo

A descoberta, em 2008, de grandes quantidades de petróleo em formações geológicas, conhecidas como camada pré-sal, na costa brasileira, abriu a perspectiva de o país se tornar um dos dez maiores produtores mundiais dessa fonte de energia na década seguinte.

O conjunto de campos petrolíferos do pré-sal se estende entre o litoral dos estados do Espírito Santo até Santa Catarina. O petróleo encontra-se a cerca de 7 mil metros de profundidade a partir da superfície do mar (veja imagem), e sua prospecção e extração envolvem investimentos tecnológicos e financeiros elevados, justificando o alto preço do petróleo no mercado mundial.

Na época da descoberta do pré-sal e durante a elaboração da legislação para regular a sua exploração e comercialização, houve intenso debate sobre os impactos econômicos e ambientais que a exploração desses recursos poderia provocar no país.

Muitos passaram a defender mudanças na Lei do Petróleo (Lei n. 9 478, de 1997), visando garantir que a maior parte dessa riqueza permaneça no país e reverta-se em benefícios para a população brasileira, inclusive em investimentos na área ambiental – minimizando os impactos desse tipo de extração sobre o ambiente.



Petra Elster/ID/ BR

Esquema de um corte geológico mostrando a localização da camada pré-sal no subsolo. Cores-fantasia.

Fonte de pesquisa: Petrobras. Disponível em: <http://www.petrobras.com/pt/energia-e-tecnologia/fontes-de-energia/pre-sal/>. Acesso em: 2 maio 2016.

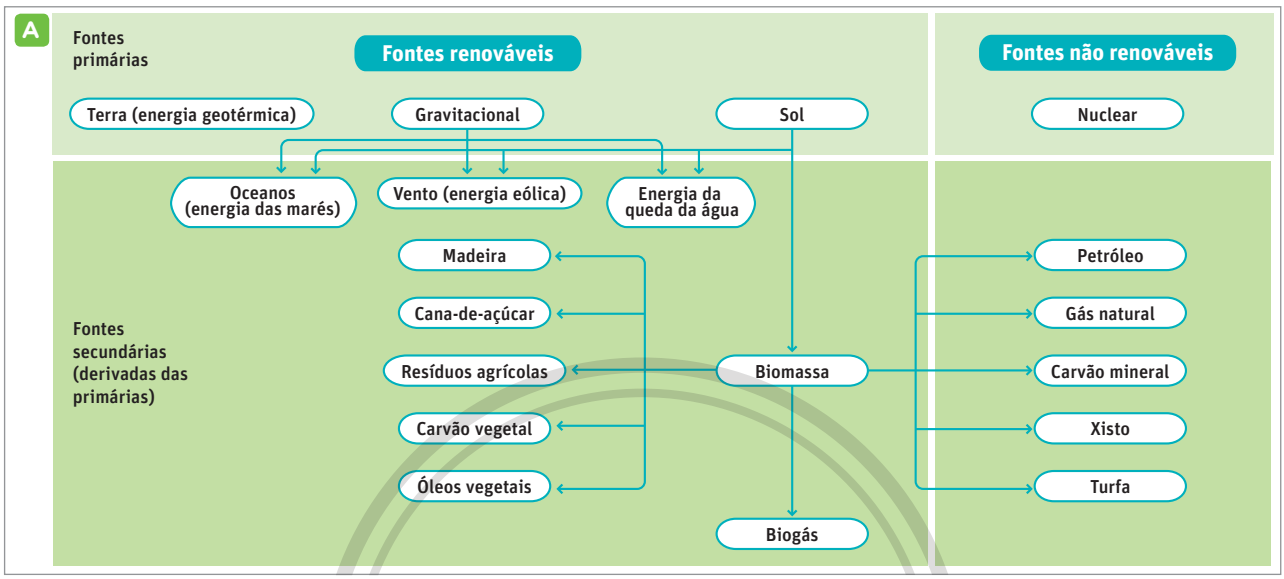
ARQUIVO DA EDITORA PARA DIVULGAÇÃO

Não escreva no livro.

Fontes de energia

Fontes de energia são corpos ou substâncias que liberam energia, como o Sol, o petróleo, o carvão mineral, o gás, o álcool, o urânio, etc. O movimento da água e do vento também pode ser utilizado para gerar energia elétrica.

As fontes de energia podem ser **renováveis** ou **não renováveis** (imagem **A**).



Reinaldo Vignati/ID/BR

Esquema simplificado representando as principais fontes de energia.

Fonte de pesquisa: Silva, Ennio Peres da. Fontes renováveis de energia para o desenvolvimento sustentável. *Com Ciência*, 10 dez. 2004. Disponível em: <http://www.comciencia.br/reportagens/2004/12/15.shtml>. Acesso em: 14 mar. 2016.

AMOSTRA PARA DIVULGAÇÃO

Fontes de energia não renováveis

Algumas fontes de energia, como o petróleo, o carvão e o gás natural, foram produzidas a partir de restos de seres vivos, em um processo que demorou milhões de anos sob condições ambientais adequadas. Essas fontes, portanto, são classificadas como **fontes de energia não renováveis**, pois seu tempo de reposição é muito longo.

Fontes de energia renováveis

A energia solar, a das marés, a da queda da água e aquela proveniente da biomassa (com exceção de petróleo, gás natural, carvão mineral, xisto e turfa) são designadas **fontes de energia renováveis**, pois, em princípio, pode-se dizer que elas estarão disponíveis por muitos anos ou que têm rápida reposição. Além disso, são relativamente limpas, isto é, produzem poucos resíduos. Existem também desvantagens associadas às fontes de energia renováveis: o impacto na paisagem, como o que ocorre na construção de hidrelétricas ou na instalação de turbinas eólicas, e a irregularidade na geração de energia elétrica devido a condições climáticas. Porém, de maneira geral, o uso de fontes de energia renováveis apresenta diversas vantagens sobre o uso de fontes não renováveis. As características de cada fonte desse tipo serão apresentadas a seguir.

Energia hidrelétrica

Energia obtida a partir do movimento das águas. A água represada por uma barragem cai de uma grande altura e movimenta uma turbina, gerando eletricidade. Apesar de ser energia limpa, a construção de uma usina hidrelétrica gera grandes impactos ambientais no entorno, pois altera o curso de rios (imagem **B**) e inunda grandes extensões de terra, destruindo hábitats e cidades.



Ernesto Reghran/Pulsar Imagens

Vista aérea da Usina Hidrelétrica de Itaipu, localizada no Rio Paraná, na fronteira entre Brasil e Paraguai. Foz do Iguaçu (PR), 2015.

Energia hidrelétrica

A energia utilizada na forma de eletricidade, combustível ou calor é indispensável para a atividade humana. Todos os veículos, máquinas e aparelhos que permitem conforto, deslocamento, produção de bens utilizam energia tirada do petróleo, do gás, do carvão, do urânio e do Sol. Mas as reservas de energia existem em quantidade limitada no subsolo da Terra. Apenas o Sol ainda brilhará por alguns bilhões de anos. [...].

Para não parar por falta de energia, precisamos evitar os desperdícios, desenvolver energias renováveis ou até inventar outras formas de produzir energia.

[...]

Barragem

Uma barragem é uma construção de concreto ou de terra que retém a água de um rio, criando um lago artificial. Controlando a liberação de água, podemos produzir eletricidade. Essa energia é chamada hidrelétrica. As grandes usinas hidrelétricas (UHE) geralmente se situam nas cabeceiras dos rios, em regiões mais altas. Ao longo do rio estão as chamadas usinas a fio-d'água (nas quais a água passa continuamente pelas turbinas), além das miniusinas conhecidas como PCHs (pequenas centrais hidrelétricas) instaladas nas corredeiras ou nas pequenas cachoeiras.

O potencial brasileiro para geração de energia hidrelétrica é um dos maiores do mundo. Cerca de 90% da eletricidade que consumimos vem das usinas hidrelétricas.

Vantagens

A energia produzida por uma barragem é renovável, porque o lago é alimentado continuamente pela chuva e pelos cursos de água que deságuam nele. A duração de vida de uma barragem bem conservada ultrapassa os cem anos. Em geral, considera-se que ela não é poluente, porque não há produção de resíduos; no entanto, sob certas condições, pode haver liberação de gases de efeito estufa.

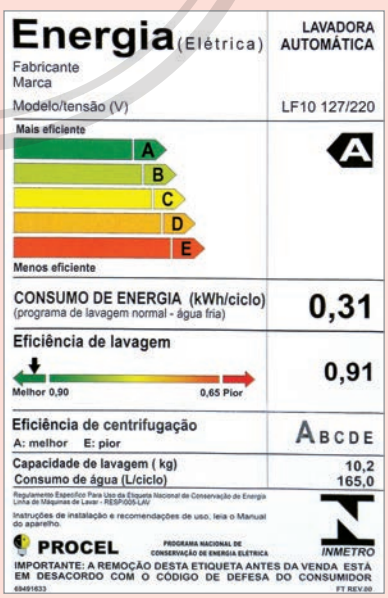
Desvantagens

O lago artificial inunda áreas silvestres e agropecuárias, e às vezes até cidades. Também altera os ecossistemas aquáticos. A regulação da vazão do rio favorece a multiplicação de aguapés e outras plantas flutuantes que asfixiam o ambiente aquático, privando-o de oxigênio. Na Amazônia, o impacto das barragens é grande, pois os lagos inundam grandes áreas de florestas e prejudicam muitas espécies de peixes migratórios.

Há também impactos sociais e culturais, pois as populações ribeirinhas são deslocadas pelo enchimento do lago. [...]

Nove dicas para economizar eletricidade

- Apagar as luzes ao sair de um aposento.
- Seja rápido ao tomar banho. O chuveiro elétrico é o aparelho que mais consome energia em uma residência, de 25% a 35% do valor na conta!
- Verificar se a temperatura está entre 5 °C e 8 °C no interior da geladeira e em –18 °C no congelador, nunca menos do que isso.
- Descongelar o congelador a cada três meses: com 4 mm de gelo o consumo de eletricidade dobra.
- Evitar o uso de secadoras de roupas elétricas, principalmente se você tem quintal e varal, porque as secadoras são muito gulosas e podem corresponder a boa parte do consumo anual de eletricidade.
- Desligar a função *stand-by* quando usar raramente equipamentos eletrônicos.
- Eliminar as lâmpadas halógenas, verdadeiras devoradoras de energia.
- Preferir as lâmpadas de baixo consumo (fluorescentes). Apesar de mais caras na compra, elas duram de cinco a dez vezes mais e consomem quatro vezes menos.
- Ao comprar uma geladeira, um *freezer* ou uma máquina de lavar, escolher aparelhos que consomem pouca energia (identificados pelo selo de eficiência do Inmetro/Procel).
- Ao usar ar-condicionado, mantenha janelas e portas fechadas, evitando a entrada do ar externo. Desligue o aparelho se não houver ninguém no aposento.



Eletrobrás/DIDBR

A etiqueta nacional de conservação de energia permite saber o consumo energético de um eletrodoméstico.

Fundação Nicholas Hulot. *EcoGuia*: guia ecológico de A a Z. São Paulo: Landy, 2008. p. 74-77 e 81-83.

1. Você e as pessoas da sua casa praticam alguma(s) das dicas indicadas acima? Qual(is)? Comente.

AMOSTRA PARA DIVULGAÇÃO

Não escreva no livro.

Energia solar

O Sol é uma fonte de energia praticamente inesgotável, que pode ser aproveitada de duas maneiras principais.

- **Para aquecimento.** Aquecedores solares instalados, por exemplo, nos telhados das residências são utilizados para aquecer a água de uso doméstico.
- **Para produção de energia elétrica.** A energia solar pode ser transformada em energia elétrica por meio de dois processos. O primeiro utiliza espelhos parabólicos que concentram os raios solares, obtendo, assim, temperaturas suficientemente altas para converter água em vapor e, com isso, mover uma turbina para gerar eletricidade. O segundo produz eletricidade, a partir da luz do Sol, utilizando dispositivos chamados células fotovoltaicas (imagem **A**).

Energia das marés

A energia das marés é resultante do movimento da água do mar durante as marés. Até agora não pode ser considerada uma alternativa energética efetiva, já que a tecnologia disponível atualmente requer custos de infraestrutura incompatíveis com a quantidade de energia elétrica produzida.

Energia da biomassa

Esse tipo de energia é obtido de compostos orgânicos. Existem três formas principais de aproveitamento da energia da biomassa.

- Cultivo de plantas com alto conteúdo de açúcar (cana-de-açúcar, milho, etc.), que é convertido em álcool para ser utilizado como combustível.
- Combustão direta da madeira. De uso tradicional, não é considerada uma boa alternativa, já que é uma das principais causas do desmatamento.
- Fermentação de resíduos urbanos, industriais ou agrícolas para a obtenção de gás, denominado biogás, composto de metano e dióxido de carbono.

Energia eólica

É a energia do movimento do ar, ou seja, do vento. Ao mover as pás de turbinas eólicas, o vento aciona um gerador de eletricidade. As turbinas devem ser instaladas em locais onde o vento sopra regularmente e com intensidade suficiente para mover as pás (imagem **B**). É uma energia tecnologicamente simples, limpa e com rendimento elevado.

Diversos países obtêm de turbinas eólicas parte da energia de que necessitam. Embora o Brasil apresente grande potencial para a geração de energia eólica, a participação desse tipo de energia no país é considerada pequena.

Energia geotérmica

A energia geotérmica provém das altas temperaturas do interior da Terra. O processo consiste em utilizar o calor do interior do planeta para produzir vapor de água. O vapor move turbinas que geram energia elétrica.



Agência RBS/Folhapress

Painéis em usina de energia solar. As células fotovoltaicas geram energia elétrica. Criciúma (SC), 2014.



Luciana Serra/Futura Press

Turbinas em complexo eólico nos municípios de Caetité, Guanambi e Igaporã (BA), 2014.

ATIVIDADES

3. Cite duas fontes de energia renováveis utilizadas no Brasil.

4. De que tipo de fonte é a maior parte da energia elétrica utilizada no Brasil? Cite vantagens e desvantagens dessa fonte de energia.

5. Considerando o processo de formação dos ventos e o ciclo da água, explique como a energia eólica e a energia hidrelétrica estão associadas à energia solar.

AMOSTRA PARA DIVULGAÇÃO

Aprendendo a fazer adubo caseiro

Objetivo

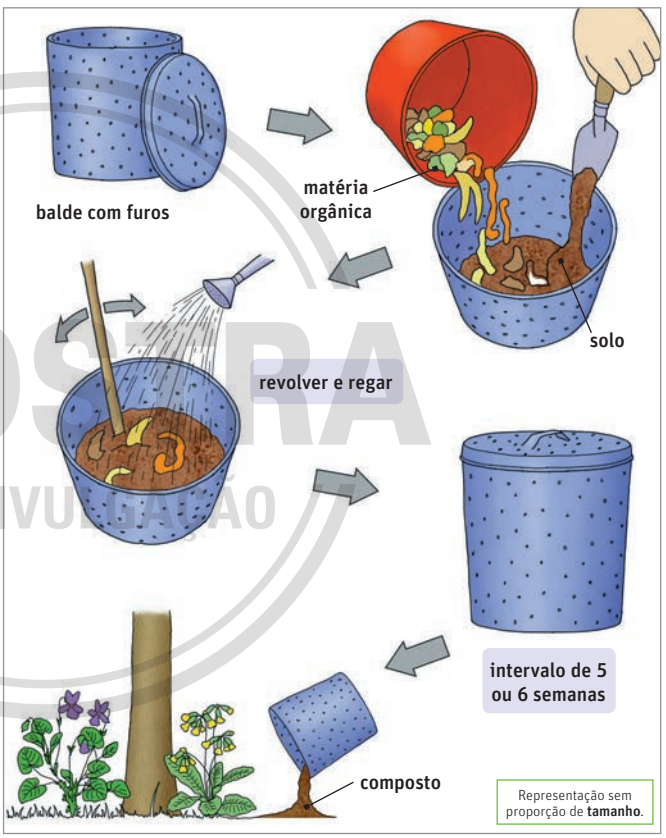
Fabricação de composto caseiro.

Material (por equipe de cinco alunos)

- balde de plástico com tampa
- pá de jardinagem ou ripa de madeira
- restos de matéria orgânica, como folhas secas, cascas de frutas e legumes, etc. (não utilize restos de alimentos cozidos nem produtos de origem animal)
- solo de jardim

Procedimento

1. Faça vários furos na tampa, nos lados e no fundo do balde de plástico (veja a imagem ao lado), para que o ar circule adequadamente e o excesso de água possa escorrer. **Atenção: tome cuidado ao fazer os furos para não se machucar com o objeto perfurante utilizado.**
2. Cubra o fundo do balde com solo de jardim e adicione sobre ele a mesma quantidade de restos de matéria orgânica.
3. Misture tudo com a pá e regue com água até que o solo fique bem úmido, sem encharcar. Se houver água em excesso, acrescente um pouco de solo seco.
4. Continue adicionando restos orgânicos e solo de jardim durante alguns dias, remexendo a mistura a cada dois dias. Não se esqueça de anotar a data e o tipo de material adicionado. Mantenha o balde destampado, mas em local coberto. Quando a mistura estiver um pouco acima da metade do balde, coloque a tampa para conservar o calor.
5. Revolva o conteúdo do balde semanalmente, durante cinco ou seis semanas, para arejar. Durante esse período, faça anotações sobre o aspecto e as transformações sofridas pelos restos de matéria orgânica.
6. Uma vez formado o composto (matéria escura, homogênea, de odor suave), espalhe-o pelo jardim como qualquer outro adubo.



Reinaldo Vignati/ID/BR

Representação de algumas etapas do procedimento. Cores-fantasia.

Resultados

1. Qual dos materiais adicionados levou mais tempo para desaparecer?
2. Os pedaços menores desapareceram mais rápido ou mais lentamente que os pedaços maiores? Por quê?

Discussão

1. O resultado teria sido o mesmo se, em vez de restos de matéria orgânica, você tivesse adicionado pedaços de plástico, metal ou vidro? Por quê?
2. Explique a importância da reciclagem de nutrientes nos ecossistemas.
3. Que tipos de organismos são responsáveis pela decomposição da matéria orgânica? De onde vieram os seres que decompuseram a matéria orgânica nesta atividade?

AMOSTRA PARA DIVULGAÇÃO

Não escreva no livro.

Recuperando o rio Doce

A recuperação mais completa do rio Doce, afetado pela lama de resíduos do reservatório de mineração, em Mariana (MG), dependerá não apenas da retirada da lama que o atingiu e se espalhou ao longo de todo o seu curso, mas essencialmente do tratamento de esgoto despejado, da recuperação de seus afluentes e matas ciliares, localizadas nas margens dos rios. O alerta é do professor do Programa em Pós-graduação em Ecologia da [Universidade Federal de Juiz de Fora-MG] Nathan Oliveira Barros, doutor em Ecologia e integrante da força-tarefa de pesquisadores convidados pelo Governo de Minas Gerais para colaborar com análises sobre a tragédia ambiental.

"A lama foi um dos impactos no rio Doce. Enorme impacto, diga-se de passagem, mas não é o único. Toneladas de esgoto não tratado são lançadas no rio." Em seus 879 quilômetros de extensão, a bacia do rio Doce abrange 228 municípios em Minas Gerais e Espírito Santo, totalizando 3,5 milhões de habitantes. A degradação também é uma característica de seus afluentes, como o Piracicaba, Casca e Suaçuí, que interferem no estado do rio.

A retirada da lama, se for feita, tem de ser uma das primeiras ações, por meio de dragagem, conforme o professor, para evitar a sedimentação e estabelecimento das partículas no sedimento. "Tão importante é também definir a destinação dessa lama e em que condição ela ficará armazenada caso seja retirada. [...] não seria adequado fazê-la daqui a cinco ou dez anos porque o próprio meio aquático entrará em outro estado de equilíbrio ecológico. A remoção posterior provocaria nova alteração no meio". Se a lama permanecer, mais fundamental é o tratamento do esgoto despejado no rio e a recomposição e a conservação da mata ciliar.

Ainda que a mineradora responsável pelo reservatório rompido [...] afirme que o material é inerte, ou seja, não é tóxico, a lama é capaz de exaurir o oxigênio do curso d'água e causar danos à vida aquática, como de fato ocorreu. "O aumento da turbidez, por si só, pode alterar os padrões migratórios de algumas espécies, modificar hábitats e dificultar o tratamento de água para abastecimento humano." [...]

Etapas

Nathan Barros lista três principais etapas do processo de restauração do rio Doce. Em primeiro momento, é necessário reunir o conhecimento disponível sobre a bacia, conhecer sua hidrologia, geomorfologia, características químicas, biológicas, variações climáticas e seus influenciadores.

Em segunda fase, recomenda analisar os impactos provocados pelo homem ao ambiente, identificando como ações humanas [...] afetam o curso d'água. "Conforme o tipo de atividade, pode haver o despejo de rejeitos químicos, como fertilizantes, direta ou indiretamente, quando são carreados pela chuva", afirma Barros. O pisoteamento de gados à beira do rio também provoca o desgaste do solo e da vegetação campeira e assoreamento. Nas cidades, o esgoto é lançado quase que *in natura* no rio. Além disso, há impactos desconhecidos, de acordo com o docente.

Como terceira etapa, será necessário definir e executar medidas de mitigação dos impactos e de prevenção de novos danos, como também implementar propostas socioeconômicas e políticas. Nesse momento, são incluídas a recuperação de mata ciliar, revisão ou criação de legislação ambiental e recuperação de 100% das nascentes nas serras da Mantiqueira e do Espinhaço, em Minas Gerais.

[...]

O professor acredita na possibilidade de recuperação do rio, desde que haja ações coordenadas e recursos de fato aplicados. [...]

"[...] Apesar de várias estimativas apontarem para o tempo de recuperação de mais de dez anos, acredito que ela pode ocorrer em menos tempo, desde que haja engajamento de vários setores da sociedade e que não seja feita de cima para baixo. Tem de haver a participação das pessoas que verdadeiramente usam o rio e vivem perto dele."

Conforme o professor, a capacidade de resiliência faz com que o rio possa se recuperar naturalmente, sem interferência humana, mas de modo muito mais longo, talvez na escala de dezenas ou centenas de anos. A ação humana que o degradou poderia acelerar sua recuperação.

Recuperação do rio Doce requer tratamento de esgoto e recomposição de matas ciliares. UFJF Notícias. Disponível em: <http://www.ufjf.br/noticias/2016/01/14/recuperacao-do-rio-doce-requer-tratamento-de-esgoto-e-recomposicao-de-matas-ciliares/>. Acesso em: 2 maio 2016.

AMOSTRA PARA EDUCAÇÃO

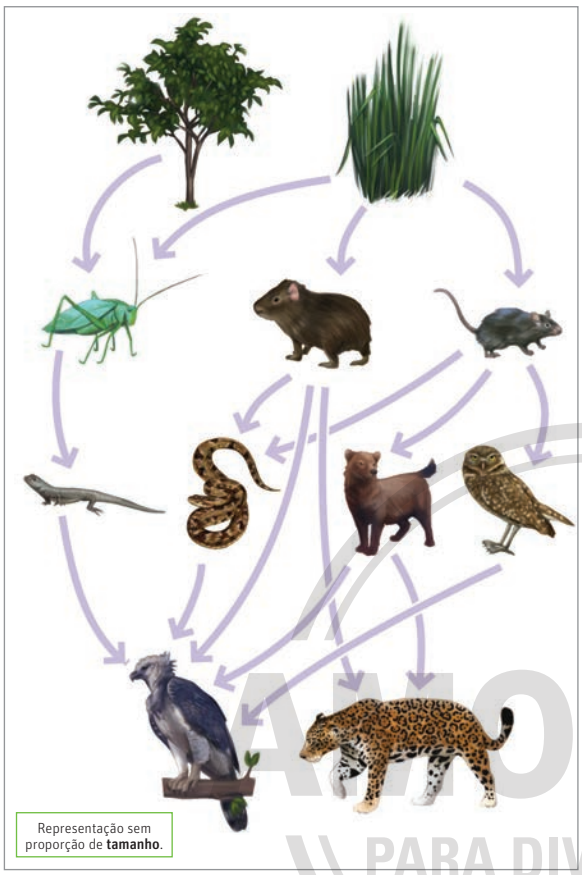
PARA DISCUTIR

1. O rompimento da barragem que causou o desastre ecológico citado no texto ocorreu em novembro de 2015. Procure por informações atualizadas e relate a situação do município de Mariana e do rio Doce atualmente.
2. O texto cita "pessoas que verdadeiramente usam o rio e vivem perto dele". Dê exemplos de atividades de subsistência e comerciais que podem ser relacionadas ao uso dos recursos de um rio.
3. Pesquise as punições aplicadas à mineradora responsável. Você as considera adequadas ao tamanho do impacto ambiental e social causado pelo rompimento da barragem? Justifique.

Não escreva no livro.

1. Observe a teia alimentar abaixo, em que os decompositores não estão representados.

Petra Elster/ID/BR



Representação sem proporção de **tamanho**.

Considere toda a teia e analise quais seriam as consequências da ausência dos seguintes seres vivos:

a) rato;
b) serpente;
c) onça;
d) capim.

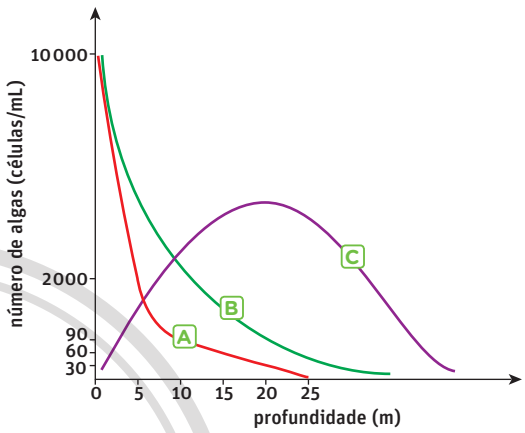
2. Considere um ecossistema hipotético onde convivem três espécies de herbívoros (A, B e C). Tanto a espécie A como a C se alimentam de gramíneas rasteiras; a espécie B se alimenta das folhas dos arbustos. Entre quais dessas espécies poderá haver sobreposição de nichos?

3. Os dados da tabela a seguir foram obtidos a partir de amostras recolhidas em um lago.

Amostra	Profundidade (metros)	Quantidade de algas (célula por mililitro)
1	0	10 000
2	5	2 000
3	10	90
4	15	60
5	20	30
6	25	0

Com base nos dados da tabela, observe o gráfico abaixo e indique em seu caderno qual das curvas representa corretamente a distribuição de algas. Explique a possível causa dessa distribuição.

Distribuição das algas em diferentes profundidades



Studio Caparroz/ID/BR

4. Sabendo-se que a energia utilizada e a energia perdida em cada nível trófico, a partir do produtor, correspondem a aproximadamente 90% da energia recebida, restando apenas 10% para o nível trófico seguinte, reproduza a tabela a seguir em seu caderno e complete-a, calculando a quantidade de energia para cada nível trófico da cadeia hipotética.

Níveis tróficos	Energia
vegetação (produto)	50 kcal/g
inseto herbívoro (consumidor primário)	
roedor insetívoro (consumidor secundário)	
serpente (consumidor terciário)	

5. Em seu caderno, nomeie as relações ecológicas que podem existir entre os seguintes conjuntos de seres vivos:

a) lobos e cervos;
b) morcegos e plantas (frutos);
c) seres humanos e tênias;
d) bovinos e grama;
e) gaviões e serpentes;
f) aranhas e insetos;
g) carrapatos e cachorros;
h) tamanduás e cupins.

AMOSTRA PARA DIVULGAÇÃO

6. Observe as imagens abaixo e escreva uma legenda para cada uma delas, de forma a explicar a relação ecológica entre os indivíduos representados.



iStockphoto/Getty Images

Ursos-polares.



Kelvin Aitken/Visual&Written SL/Alamy/Latinstock

Caravela.



Natasha Chamberlain/iStockphoto/Getty images

Leoa.



Florin Tirlea/iStockphoto/Getty Images

Abelhas.



Frank Leung/iStockphoto/Getty Images

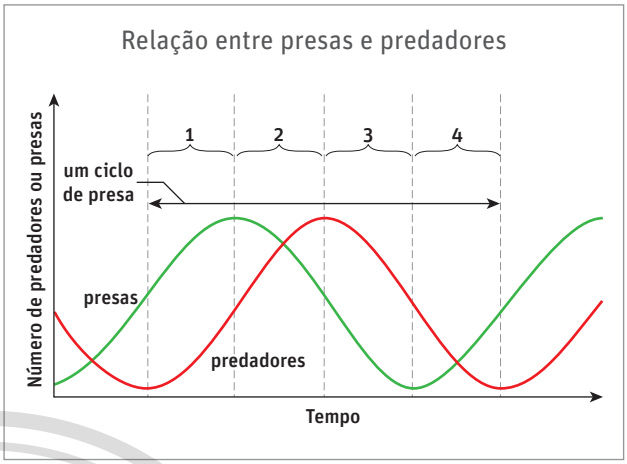
Beija-flor.



Richard Carey/iStockphoto/Getty images

Recife de corais (altura: de alguns centímetros a vários metros).

7. Observe o gráfico a seguir, que trata da relação entre presas e predadores.



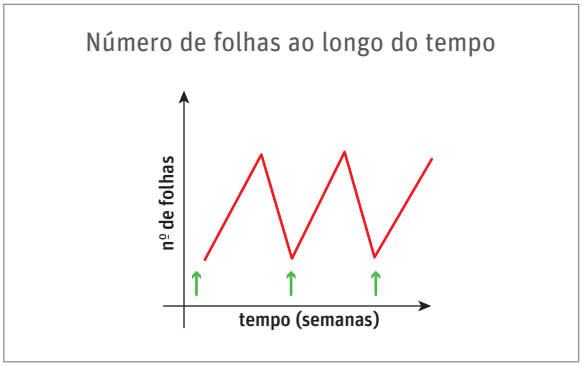
Studio Caparroz/ID/BR

Fonte de pesquisa: Ricklefs, Robert. *A economia da natureza*. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2003. p. 328.

No caderno, relacione as frases abaixo aos números presentes no gráfico.

- A diminuição da população de presas leva à diminuição da população de predadores.
- A população de predadores aumenta, levando à diminuição da população de presas.
- A diminuição da população de predadores faz com que a população de presas volte a aumentar.
- O aumento da população de presas é seguido pelo aumento da população de predadores.

8. Observe o gráfico abaixo, que representa o número de folhas de uma planta ao longo do tempo. As setas verdes indicam a liberação, no ambiente, de vespas que põem ovos dentro de lagartas (que se alimentam das folhas), levando essas larvas de inseto à morte.



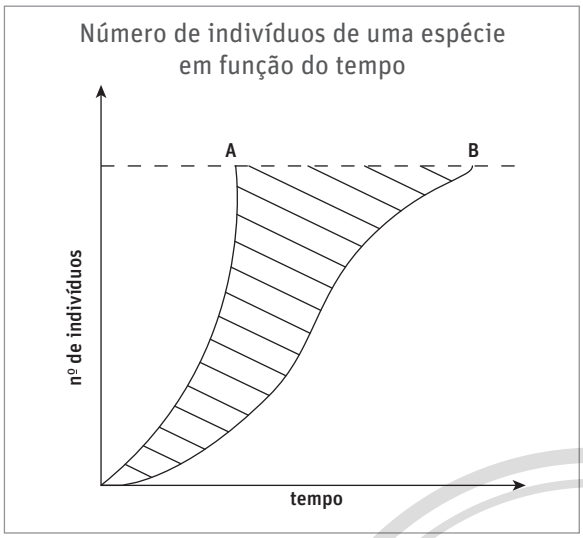
AM| Studio/ID/BR

a) Explique o efeito da liberação das vespas sobre as folhas.

b) Que nome recebe a utilização de uma espécie para controlar a população de outra, geralmente causadora de prejuízos agrícolas?

PARA DIVULGAÇÃO

9. Observe o gráfico hipotético a seguir.

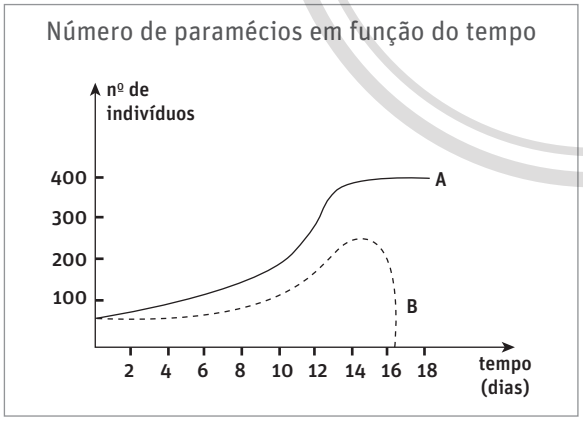


a) O que representam as curvas A e B?

b) O que significa a área compreendida entre as curvas A e B?

c) Explique qual é a relação dessa área com a curva B.

10. Duas espécies de paramécios foram colocadas em um mesmo aquário. Considere que a quantidade de nutrientes disponibilizados para as populações foi constante durante o experimento. O crescimento das populações ao longo do tempo está representado no gráfico abaixo.

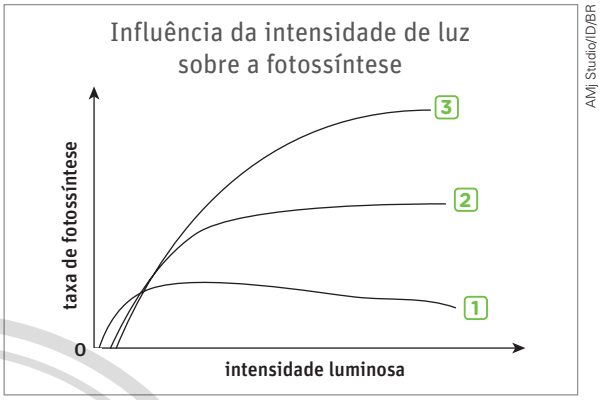


a) O que aconteceu com a população A? E com a B?

b) Elabore uma explicação para os resultados, considerando o conceito de resistência do meio.

c) O experimento é similar ao realizado por G. F. Gause, cujos resultados levaram à formulação de um princípio. Qual é esse princípio? Explique.

11. Durante um estudo de dinâmica populacional realizado na Mata Atlântica, um pesquisador analisou três populações. Ele percebeu que cada população analisada ocorria em um dos estágios de sucessão ecológica – comunidade pioneira, comunidade intermediária e comunidade clímax – e coletou um exemplar de cada uma das populações. Com os dados obtidos a partir dos exemplares de plantas, ele construiu o seguinte gráfico:



Qual das populações é a mais indicada para iniciar um programa de reflorestamento em um trecho da Mata Atlântica em que a vegetação foi derrubada para a prática de atividades agrícolas? Considere que uma das principais características do local é a altíssima disponibilidade de luz solar. Justifique.

12. O curso dos rios costuma ser dividido em regiões, de acordo com a topografia do terreno: alto curso, médio curso e baixo curso, cuja porção final recebe o nome de estuário. Nos estuários, frequentemente se formam manguezais, biomas relativamente comuns nas costas brasileiras. Em comparação com as regiões de alto curso, os manguezais são muito produtivos e habitados por espécies que suportam grandes variações nas condições ambientais.

a) Como se explica a maior produtividade dos manguezais, em comparação com as regiões de cabeceira?

b) Por que nos manguezais são encontrados organismos resistentes à flutuação das condições ambientais?

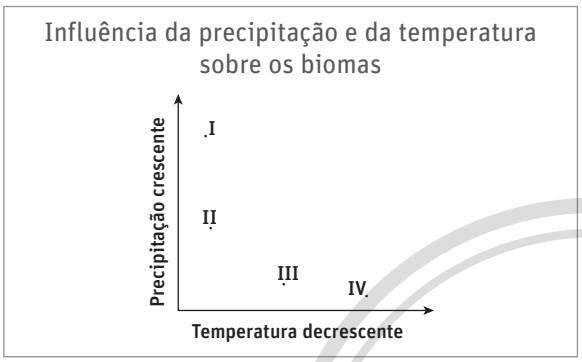
13. A região do Pantanal é considerada a maior planície inundável do mundo segundo a Comissão da ONU para o Meio Ambiente. No entanto, na região do Pantanal, a pluviosidade anual média não é mais elevada do que em outros biomas brasileiros, como o Cerrado, uma área não inundável.

a) Como se explica o fato de o Pantanal ser uma área onde ocorre inundação durante muitos meses do ano, mesmo com pluviosidade semelhante à de áreas não inundáveis?

b) Muitos especialistas associam a ocorrência periódica das inundações com a alta biodiversidade encontrada no Pantanal. Explique por que essa associação é possível.

AMOSTRA PARA DIVULGAÇÃO

14. Os biomas são geralmente definidos como grandes áreas com fatores abióticos relativamente homogêneos, onde a fauna e a flora são típicas, adaptadas a esses fatores. Dois deles são determinantes dos biomas: a temperatura média anual e a precipitação média anual. Observe o gráfico a seguir, que relaciona essas duas variáveis ambientais, e responda: Quais biomas podem estar representados pelos números I, II, III e IV? Justifique.



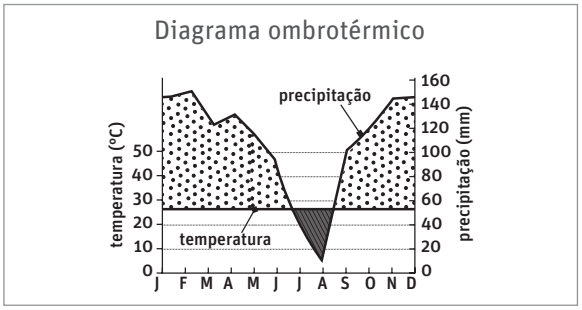
Studio Caparroz/ID/BR

15. O Cerrado ocupa uma vasta área contínua no território brasileiro, além de manchas em meio à floresta Amazônica e à Mata Atlântica.

a) Uma das características do Cerrado é a ocorrência de incêndios periódicos. Cite adaptações que permitem às espécies vegetais do Cerrado sobreviver ao fogo.

b) Considerando as características desse bioma, comente criticamente a frase: "O fogo é um elemento essencial para a manutenção dos biomas de campo cerrado".

16. O clima de uma região, caracterizado em termos de pluviosidade e temperatura, é um dos principais fatores determinantes de um bioma. Ele pode ser expresso em diagramas ombrotérmicos. Com base no exemplo a seguir, responda às questões.



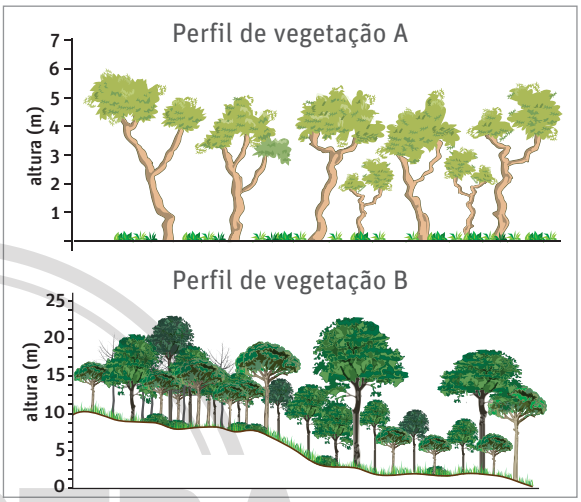
Studio Caparroz/ID/BR

a) Nessa região, quais meses do ano correspondem à estação mais abundante em chuvas?

b) Quais meses do ano correspondem à estação seca?

c) Qual ou quais bioma(s) brasileiro(s) poderia(m) desenvolver-se sob essas condições climáticas? Justifique.

17. O perfil da vegetação é um diagrama elaborado por biólogos para retratar o aspecto da vegetação de um lugar. Na elaboração do perfil, o biólogo procura registrar o tipo de vegetação predominante (ervas, arbustos, árvores, etc.), a altura e a presença dos vários estratos vegetais, a ocorrência de epífitas, etc. Observe os diagramas a seguir, que representam o perfil da vegetação de dois biomas brasileiros.



Reinaldo Vignati/ID/BR
Studio Caparroz/ID/BR

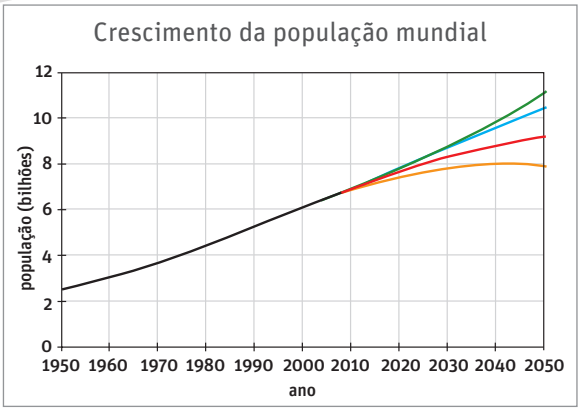
a) Quais estratos de vegetação são representados em cada diagrama?

b) Em qual dos biomas a vegetação arbórea alcança maior altura?

c) Em qual dos biomas pode-se dizer que há a formação de um dossel? Justifique.

d) Qual bioma pode estar representado em cada diagrama? Justifique.

18. O gráfico a seguir representa o crescimento da população humana entre os anos de 1950 e 2050.



AMj Studio/ID/BR

Gráfico do crescimento mundial da população humana entre 1950 e 2050. As linhas posteriores ao ano de 2008 representam quatro diferentes estimativas de crescimento feitas pela ONU.

Fonte de pesquisa: ONU. *World population prospects*. Disponível em: <http://www.un.org/esa/population/publications/wpp2008/wpp2008_highlights.pdf>. Acesso em: 21 abr. 2016.

AMOSTRA
PROIBIDA A REPRODUÇÃO

a) Cite alguns impactos que o crescimento populacional humano, aliado ao consumo excessivo de produtos industrializados, exerce sobre o ambiente.

b) Cite exemplos de acordos firmados entre diversos países para conter problemas como a destruição da camada de ozônio ou o aquecimento global.

19. Sobre o ozônio, responda:

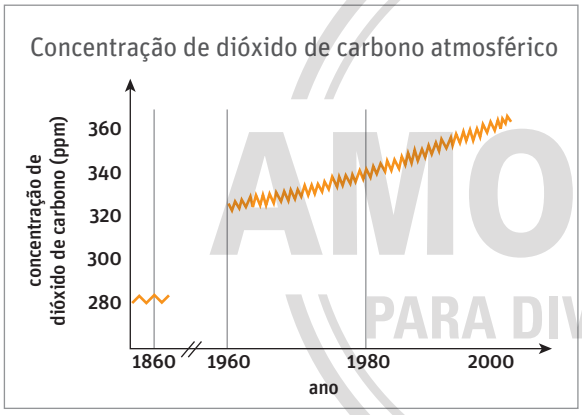
a) Explique brevemente como se forma a camada de ozônio da estratosfera.

b) O ozônio é um gás tóxico, quando inalado; entretanto a destruição do ozônio da estratosfera é uma preocupação mundial. Quais são as razões dessa preocupação?

c) Qual é o principal fator de destruição da camada de ozônio?

d) Que medidas têm atenuado a destruição da camada de ozônio?

20. Observe o gráfico e responda às questões a seguir.



AMj Studio/ID/BR

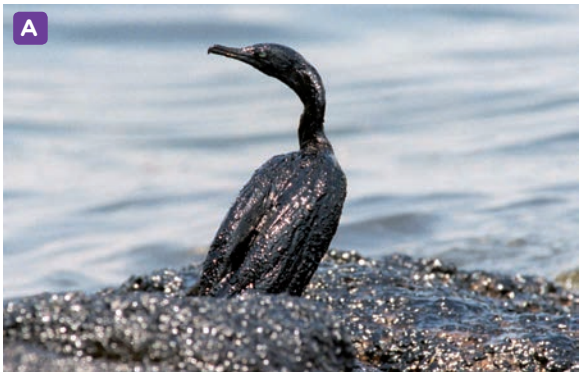
Fonte de pesquisa: Ricklefs, Robert. *A economia da natureza*. 5. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2003. p. 473.

a) De acordo com o gráfico, qual é a tendência da concentração de CO_2 na atmosfera?

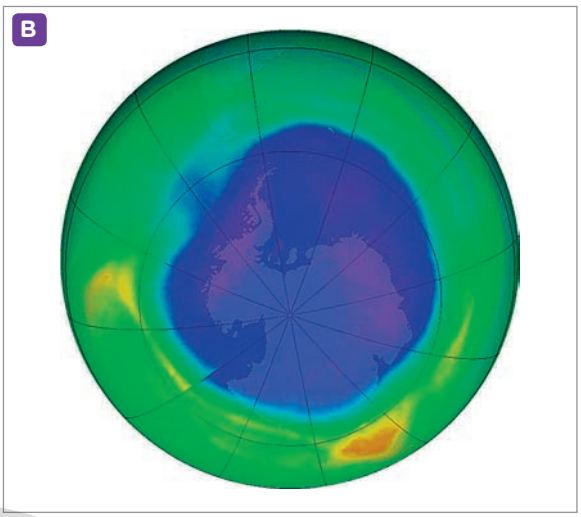
b) Que problema ambiental decorre dessa tendência?

c) O que pode ser feito para conter essa tendência?

d) Imagine que o gráfico tenha sido publicado em uma reportagem. Qual das imagens a seguir provavelmente estaria associada a ele? Justifique.



Severino Silva/O Dia/Futura Press



NASA/ID/BR



Theo Allofs/Corbis/Fotoarena

21. Sobre o solo, responda:

a) Quais são as principais causas da poluição dos solos? E as suas consequências?

b) Aponte algumas atividades humanas que podem comprometer a qualidade dos solos.

22. Imagine a seguinte situação: certa indústria que fabrica PVC descarrega diversas substâncias poluentes, entre as quais resíduos de mercúrio, em um rio próximo a uma cidade.

Os habitantes dessa cidade vivem da pesca e do consumo de certos peixes daquele mesmo rio. Além dos habitantes da cidade, algumas aves também se alimentam desses mesmos peixes. Esses peixes, por sua vez, consomem outros peixes menores (os quais são herbívoros), que se alimentam de plantas aquáticas.

Sobre o elencado acima, responda:

a) Em quais elos da cadeia trófica o mercúrio estará menos concentrado?

b) Em quais elos da cadeia o mercúrio estará mais concentrado?

c) Quais organismos correm risco maior de contaminação por essa substância?

AMOSTRA PARA DIVULGAÇÃO

ATENÇÃO: todas as questões foram reproduzidas das provas originais de que fazem parte. Responda a todas as questões no caderno.

1. **(Enem)** O nitrogênio é essencial para a vida e o maior reservatório global desse elemento, na forma de N_2, é a atmosfera. Os principais responsáveis por sua incorporação na matéria orgânica são microrganismos fixadores de N_2 que ocorrem de forma livre ou simbiontes com plantas.

ADUAN, R. E. et al. *Os grandes ciclos biogeoquímicos do planeta*. Planaltina: Embrapa, 2004 (adaptado).

Animais garantem suas necessidades metabólicas desse elemento pela

a) absorção do gás nitrogênio pela respiração.
b) ingestão de moléculas de carboidratos vegetais.
c) incorporação de nitritos dissolvidos na água consumida.
d) transferência da matéria orgânica pelas cadeias tróficas.
e) protocooperação com microrganismos fixadores de nitrogênio.

2. **(Enem)** A indústria têxtil utiliza grande quantidade de corantes no processo de tingimento dos tecidos. O escurecimento das águas dos rios causado pelo despejo desses corantes pode desencadear uma série de problemas no ecossistema aquático.

Considerando esse escurecimento das águas, o impacto negativo inicial que ocorre é o (a)

a) eutrofização.
b) proliferação de algas.
c) inibição da fotossíntese.
d) fotodegradação da matéria orgânica.
e) aumento da quantidade de gases dissolvidos.

3. **(Uece)** O movimento entre as substâncias provenientes do meio abiótico para o mundo vivo e o retorno delas a partir dos seres vivos para o meio ambiente se dá por meio dos ciclos biogeoquímicos. Assinale* com V (verdadeiro) ou F (falso) o que se afirma sobre os ciclos biogeoquímicos.

(IIII) O CO_2 que passa a circular na atmosfera é retirado do ambiente através do processo de fotossíntese realizado exclusivamente pelas plantas.
(IIII) No ciclo hidrológico, a água circula entre animais da cadeia alimentar, retornando à superfície através de evapotranspiração, respiração, fezes, urina ou decomposição.
(IIII) A maioria dos seres vivos consegue incorporar e utilizar o nitrogênio na forma de gás presente no ar.
(IIII) As rochas fosfatadas sofrem erosão e liberam para o solo o fósforo, elemento que será absorvido pelos vegetais, para a produção de ATP e ácidos nucleicos.

A sequência correta, de cima para baixo, é:

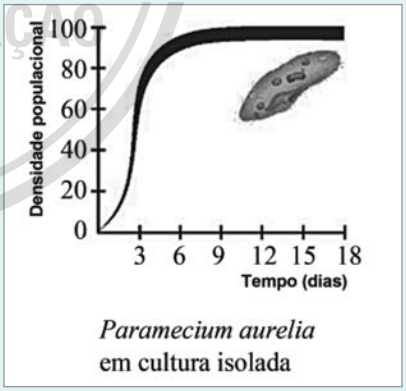
a) V, F, V, V.
b) F, V, F, V.
c) V, F, V, F.
d) F, F, F, V.

4. **(UEM)** Analise as seguintes cadeias alimentares, considerando-as em equilíbrio, e assinale** a(s) alternativa(s) correta(s).

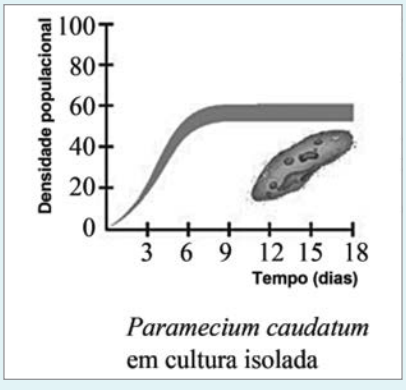
I. planta → gafanhoto → pássaro → cobra → gavião
II. planta → rato → cobra → gavião
III. planta → boi → carrapato → pássaro
IV. planta → pássaro → cobra

01) Nenhum dos seres relacionados nas quatro cadeias ocupa o mesmo nível trófico.
02) A cadeia III apresenta maior número de indivíduos no terceiro nível trófico do que no quarto nível.
04) Na cadeia I ocorre o maior aproveitamento de energia pelo gavião do que na cadeia II.
08) Nas cadeias acima são representados produtores, herbívoros, carnívoros, onívoros e decompositores.
16) O pássaro apresenta hábito alimentar do tipo onívoro.

5. **(PUC-RJ)** As figuras abaixo mostram o crescimento populacional, ao longo do tempo, de duas espécies de *Paramecium* cultivadas isoladamente e em conjunto. Os resultados desse experimento embasaram o que é conhecido como Princípio de Gause.



Paramecium aurelia em cultura isolada



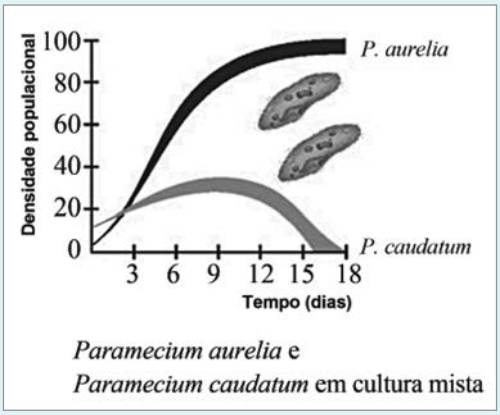
Paramecium caudatum em cultura isolada

PUC, 2013. Fac-símile: ID/BR

*Indique no caderno as alternativas verdadeiras (V) e as falsas (F).

**A resposta corresponde à soma das alternativas corretas.

AMOSTRA PARA DIVULGAÇÃO



PUC, 2013. Fac-símile: ID/BR

Paramecium aurelia e *Paramecium caudatum* em cultura mista

Considere o tipo de relação ecológica entre essas duas espécies e indique a afirmação correta.

a) A espécie *P. aurelia* é predadora de *P. caudatum*.

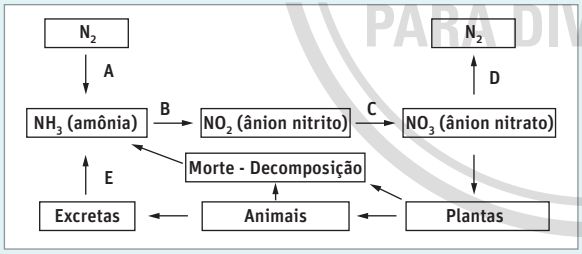
b) *P. aurelia* exclui *P. caudatum* por competição intraespecífica.

c) *P. aurelia* e *P. caudatum* utilizam recursos diferentes.

d) *P. aurelia* exclui *P. caudatum* por parasitismo.

e) *P. aurelia* exclui *P. caudatum* por competição interespecífica.

6. **(UFSC)** O esquema abaixo mostra de maneira simplificada o ciclo do nitrogênio na natureza. As letras A, B, C, D e E indicam processos metabólicos que ocorrem neste ciclo.



Paula Radi/ID/BR

Sobre este ciclo, é correto afirmar que:**

01. o processo mostrado em A é realizado somente por bactérias simbiontes que vivem no interior das raízes de leguminosas.

02. as mesmas bactérias que realizam o processo A realizam os processos D e E.

04. o esquema mostra que produtos nitrogenados originados de animais ou vegetais podem ser reaproveitados no ciclo.

08. o processo mostrado em D constitui uma etapa fundamental no ciclo, chamada de fixação do nitrogênio.

16. as plantas podem se utilizar diretamente da amônia e não dependem do processo que ocorre em C para obter os produtos nitrogenados.

32. o processo mostrado em E indica que os animais excretam a amônia.

64. o nitrogênio é importante para os seres vivos, pois entra na composição molecular dos aminoácidos e dos ácidos nucleicos.

**A resposta corresponde à soma das alternativas corretas.

7. **(Enem)** Os parasitoides (misto de parasitas e predadores) são insetos diminutos que têm hábitos muito peculiares: suas larvas podem se desenvolver dentro do corpo de outros organismos, como mostra a figura. A forma adulta se alimenta de pólen e açúcares. Em geral, cada parasitoide ataca hospedeiros de determinada espécie e, por isso, esses organismos vêm sendo amplamente usados para o controle biológico de pragas agrícolas.



SANTO, M. M. E.; FARIA, M. L. Parasitoides: insetos benéficos e cruéis. **Ciência Hoje**, v. 49, n. 291, abr. 2012 (adaptado).

Enem, 2014. Fac-símile: ID/BR

A forma larval do parasitoide assume qual papel nessa cadeia alimentar?

a) Consumidor primário, pois ataca diretamente uma espécie herbívora.

b) Consumidor secundário, pois se alimenta diretamente dos tecidos da lagarta.

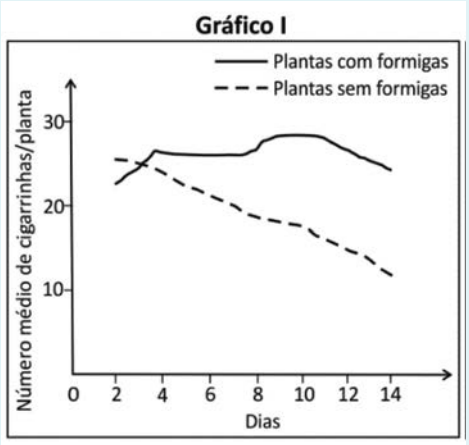
c) Organismo heterótrofo de primeira ordem, pois se alimenta de pólen na fase adulta.

d) Organismo heterótrofo de segunda ordem, pois apresenta o maior nível energético na cadeia.

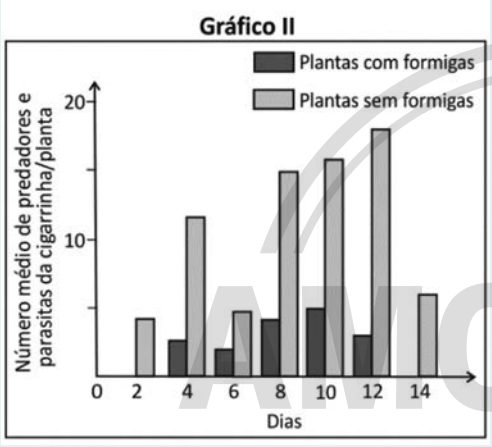
e) Decompositor, pois se alimenta de tecidos do interior do corpo da lagarta e a leva à morte.

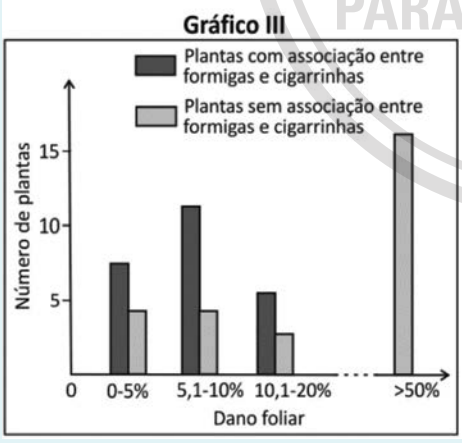
8. **(Fuvest-SP)** Determinada planta do cerrado abriga formigas, cigarrinhas, predadores e parasitas de cigarrinhas e também herbívoros que causam dano foliar. Os gráficos [a seguir] mostram os resultados de estudo sobre relações entre os animais e entre eles e a planta.

AMOSTRA PARA DIVULGAÇÃO



Fuvest, 2016. Fac-símile: ID/BR





K. Del-Claro & H. M. Torezan-Silingardi. *Ecologia das Interações Plantas-Animais*, 2012. Adaptado.

- Gráfico I: Número médio de cigarrinhas, em plantas com e sem formigas, ao longo de duas semanas.
- Gráfico II: Número médio de predadores e parasitas das cigarrinhas, em plantas com e sem formigas, ao longo de duas semanas.
- Gráfico III: Porcentagem de dano foliar em plantas com e sem associação entre formigas e cigarrinhas.

Com base nos resultados representados nos gráficos, responda:

a) A associação entre formigas e cigarrinhas é benéfica ou é prejudicial para alguma dessas populações de insetos? Cite o(s) gráfico(s) que permite(m) tal conclusão.

b) A associação entre formigas e cigarrinhas é benéfica ou prejudicial para a planta? Justifique sua resposta.

9. (UFBA) Fruto de milhões de anos de evolução, o manguezal é um precioso elo natural entre ambientes terrestres e marinhos. Ecossistema florestal que domina estuários, lagunas e áreas protegidas dos litorais tropicais e subtropicais, ocupa a interface terra-mar influenciada pela maré. [...]

Apenas 70 entre as mais de 500 mil espécies de plantas vasculares são consideradas verdadeiras plantas de manguezais, por só existirem neste hábitat. [...]

Associada à vegetação dos manguezais existe uma fauna altamente diversificada, constituída de animais residentes, principalmente crustáceos e moluscos, e visitantes [...], como peixes, aves e mamíferos. A predominância dos manguezais na região entre marés decorre de uma série de adaptações anatômicas e fisiológicas das plantas do mangue.

Lacerda, 200 9. p. 76-79.

A partir da análise do texto, identifique duas das condições ambientais que decorrem da localização dos manguezais na região entre marés e as respectivas adaptações de plantas endêmicas desse ecossistema.

AMOSTRA PARA DIVULGAÇÃO

Para explorar

Leia

***Terra, planeta em perigo*, de Vinícius Bertoletti. Brasília: Thesaurus, 2009.**

Obra que aborda a evolução dos seres vivos e discute as ações humanas em relação às outras espécies e ao próprio planeta.

Navegue

Ministério do Meio Ambiente

Entre outros assuntos, o *site* orienta sobre legislação ambiental, trata de temas como desmatamento e informa sobre o andamento de projetos de leis ambientais. Disponível em: <http://linkte.me/bru0v>. Acesso em: 21 abr. 2016.

Sua pegada ecológica

Nesse *site*, é possível calcular sua pegada ecológica, isto é, a área necessária para produzir os recursos que você consome e absorver os resíduos que você gera. Disponível em: <http://linkte.me/w1m06>. Acesso em: 21 abr. 2016.

Assista

***A Terra em 100 anos* (*Earth 2100: wild weather ahead*). Documentário. Ano: 2007. Produção: DF Paynter Productions & Discovery Channel.**

Em uma simulação de como estará o planeta Terra daqui a 100 anos, o filme apresenta a extrapolação de uma crise ambiental sem precedentes.

Compra, descarta, compra: uma reflexão sobre a sociedade de consumo

Vivemos em uma sociedade caracterizada por uma intensa produção industrial, grande disponibilidade de produtos e excessivo consumo de bens e serviços. Do ponto de vista ambiental, esse modelo tem se mostrado insustentável, já que a manutenção dos níveis crescentes de consumo e de produção implica um aumento na exploração de recursos naturais e na produção de lixo em um ritmo muito maior do que o da recuperação da natureza. Além disso, para que as taxas de crescimento econômico se mantenham, deve-se estimular o consumo – muitas vezes fazendo uso de estratégias de *marketing* agressivas, que criam falsas necessidades.

Na tentativa de reduzir o impacto ambiental causado pelo consumo excessivo, surgem movimentos que difundem um consumo mais consciente. Mas, para exercer com propriedade o consumo consciente, deve-se compreender a cadeia de processos pela qual passam os produtos industrializados, e os impactos sociais, ambientais e econômicos associados a esses processos.

O que você vai fazer

Neste projeto vocês irão conhecer e explorar as etapas de produção industrial por meio do desenvolvimento de um jogo de tabuleiro sobre cadeias produtivas.

Preparação e pesquisa

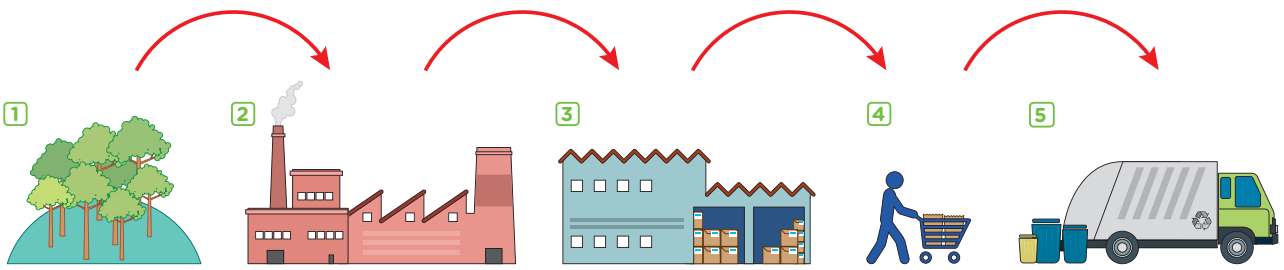
Sob a orientação do professor, formem equipes de até cinco alunos. Cada equipe irá elaborar um jogo de tabuleiro com o objetivo de educar e conscientizar o consumidor sobre os impactos gerados nas cadeias produtivas dos seguintes setores industriais: têxtil, eletrônico, de brinquedos, agropecuário e alimentício.

AMOSTRA PARA DIVULGAÇÃO

Mas o que é cadeia produtiva?

O esquema abaixo mostra as etapas de uma cadeia produtiva. Ela se inicia com a extração das matérias-primas do meio ambiente (1). Nas indústrias (2), essas matérias-primas sofrem uma série de transformações até chegarem ao produto final, que é transportado para os centros de distribuição e, desses, para as lojas (3), até atingir o consumidor final (4). A cadeia se encerra com o descarte do produto (5).

Representação sem proporção de **tamanho**.



Reinaldo Vignati/fD/BR

Esquema simplificado mostrando as etapas de uma cadeia produtiva. Cores-fantasia.

Todas as etapas das cadeias produtivas geram algum tipo de impacto ambiental e/ou social. As equipes deverão pesquisar quais são esses impactos e utilizar essas informações para a confecção do jogo.

A pesquisa pode ser feita através da internet: em páginas de jornais, revistas de divulgação científica e ONGs, por exemplo. Utilizem fontes de informação conhecidas e confiáveis – em caso de dúvida, consultem o professor.

Desenvolvendo o jogo

Após realizada a pesquisa, é hora de definir como será o jogo que vocês irão desenvolver. Para isso, procurem responder às perguntas a seguir.

- Qual será o tipo de jogo? Uma boa ideia é usar algum jogo já conhecido como referência.
- Qual será o objetivo do jogo? Fazer mais pontos, chegar primeiro ao final, se manter "vivo", juntar mais recursos?
- Como será a estrutura do tabuleiro? (Veja um exemplo na imagem abaixo.) Qual vai ser o número de casas? Os jogadores vão utilizar cartas, dados, roleta?
- Quais serão as regras? Dica: procurem criar regras simples e de fácil compreensão.

Para que o maior número de pessoas diferentes possa participar, o jogo deve ter curta duração – no máximo 15 minutos. Ele também deve ser inclusivo, de forma que todos os participantes permaneçam o máximo de tempo possível jogando.

Com o manual de regras pronto, é hora de construir o jogo. Comecem elaborando um protótipo, que pode ser bem simples, usando cartolina e peças de outros jogos.

Com o protótipo em mãos, testem as possibilidades do jogo. É nesse momento que vocês poderão testar as regras e resolver detalhes, como: o número mínimo e máximo de jogadores, o sistema de rodadas, se o jogo está difícil ou simples demais, etc. Realizem quantos jogos-teste forem necessários até chegarem à versão ideal. A equipe deve, então, dar um nome para o jogo criado.

É importante avaliar se o jogo: atinge o objetivo proposto; trata do assunto de forma abrangente e não está repetitivo; provoca reflexão; e se as informações contidas são atuais.

Depois do jogo testado, é hora de construir a versão final. Para o tabuleiro, pode-se utilizar cartolina, papel cartão ou folha de EVA. As peças que serão utilizadas para identificar cada jogador podem ser reaproveitadas de outros jogos de tabuleiro ou produzidas de acordo a criatividade da equipe.

Em um dia determinado pelo professor, as equipes levarão os jogos para a escola. Cada uma deverá apresentar seu jogo para a turma, explicando o tema tratado, os objetivos e as regras. Em seguida, o professor realizará um sorteio, para que cada equipe jogue e avalie um dos jogos desenvolvidos pelas outras equipes. Ao término de uma partida, as equipes devem trocar de jogos. Todas as equipes devem avaliar todos os jogos apresentados.

As avaliações devem considerar os seguintes critérios: aspecto visual; jogabilidade; diversão; didática; e se o jogo atingiu o objetivo proposto no projeto (conhecer as etapas de produção industrial). Ao final, as equipes entregarão suas avaliações para o professor.



Reinaldo Vignati/ID/BR

Exemplo fictício de tabuleiro. Cores-fantasia.

PARA DISCUTIR

1. Os jogos elaborados por sua turma poderiam ser utilizados para apresentar o problema do impacto ambiental das cadeias produtivas para pessoas de sua comunidade?
2. A partir do que vocês aprenderam com os jogos, discuta com seus colegas que mudanças poderiam ser adotadas dentro das cadeias produtivas para que se gerassem menos impactos ambientais.
3. Como os consumidores podem colaborar para a diminuição dos problemas ambientais gerados pela intensa atividade industrial?

AMOSTRA PARA DIVULGAÇÃO

Referências bibliográficas

Atlas geográfico escolar. 6. ed. Rio de Janeiro: IBGE, 2012.

Alberts, B. et al. *Molecular Biology of the cell*. 5. ed. New York: Garland, 2007.

Brusca, R. C.; Brusca, G. J. *Invertebrados*. 2. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2007.

Carneiro, C. D. R. et al. A determinação da idade das rochas. *Terrae Didatica*. Campinas, v. 1, n. 1, 2005.

Carvalho, I. S. *Paleontologia*. Rio de Janeiro: Interciência, 2000.

Clarke, R.; King, J. *O atlas da água*: mapeamento completo do recurso mais precioso do planeta. São Paulo: Publifolha, 2005.

Costello, M. J. et al. Can we name Earth's species before they go extinct? *Science*, v. 339, p. 413-416, 2013.

Dunbar, R. I. M. *The trouble with science*. Cambridge: The Harvard University Press, 1995.

Futuyma, D. J. *Biologia evolutiva*. 3. ed. Ribeirão Preto: Funpec, 2009.

Garcia, S. M. L.; Fernández, C. G. *Embriologia*. Porto Alegre: Artmed, 2001.

Gilbert, S. F. *Developmental Biology*. 10. ed. Sunderland: Sinauer, 2013.

Gould, S. J. *The book of life*. London: W. W. Norton & Company, 1993.

Griffiths, A. J. F. et al. *Introdução à genética*. 9. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2011.

Herculano-Houzel, S. *O cérebro nosso de cada dia*: descobertas da neurociência sobre a vida cotidiana. Rio de Janeiro: Vieira & Lent, 2002.

Hickman, C. P.; Roberts, L. S.; Larson, A. *Princípios integrados de zoologia*. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2001.

Junqueira, L. C.; Carneiro, J. *Histologia básica*. 12. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2013.

Kardong, K. V. *Vertebrados*: anatomia comparada, função e evolução. 5. ed. São Paulo: Roca, 2010.

Klug, W. C.; Cummings, M. et al. *Conceitos de genética*. 9. ed. Porto Alegre: Artmed, 2010.

Leinz, V.; Amaral, S. E. do. *Geologia geral*. São Paulo: Nacional, 2003.

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.

Meyer, D.; El-Hani, C. N. *Evolução*: o sentido da biologia. São Paulo: Ed. da Unesp, 2005.

Morgante, J. S.; Meyer, D. Darwin e a Biologia. *O Biólogo*. Conselho Regional de Biologia 1ª Região (CRBio-01), n. 10, abr./maio/jun. 2009.

Moraes, D.; Alonso, E. et al. Origem e diversificação da vida: seleção natural. In: *Instrumentação para o Ensino de Ciências Biológicas*. São Paulo: Instituto de Biociências-USP, 2008. v. 3.

Nestler, E. J. Comutadores ocultos do cérebro. *Scientific American Brasil*, ano 10, n. 116, jan. 2012.

Pierce, B. *Genetics:* a conceptual approach. 3. ed. New York: W. H. Freeman and Company, 2008.

Pough, F. H.; Heiser, J. B.; McFarland, W. N. *A vida dos vertebrados*. 4. ed. São Paulo: Atheneu, 2008.

Raven, P. H. et al. *Biologia vegetal*. 8. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2014.

Reece, J. B. et al. *Campbell Biology*. 10. ed. [S.l.]: Pearson, 2014.

_____ et al. *Campbell Biology*. 9. ed. New York: Pearson, 2009.

Ricklefs, R. E. *A economia da natureza*. 6. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2010.

Ridley, M. *Evolução*. 3. ed. Porto Alegre: Artmed, 2006.

Schmidt-Nielsen, K. *Fisiologia animal*: adaptação e meio ambiente. 5. ed. São Paulo: Santos Editora, 2010.

Silva, E. P. da. Fontes renováveis de energia para o desenvolvimento sustentável. *ComCiência*, 10 dez. 2004.

Sociedade Brasileira de Anatomia. *Terminologia anatômica*. Barueri: Manole, 2001.

Snustad, D.; Simmons, M. *Fundamentos de Genética*. 6. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2013.

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

Vilas-Boas, A.; Bucciarelli-Rodriguez, M. Entendendo a ligação gênica: uma simulação. Revista *Genética na Escola*, v. 1, n. 1, 2006.

AMOSTRA
PARA DIVULGAÇÃO

Siglas dos exames e das universidades

Enem – Exame Nacional do Ensino Médio
Fuvest-SP – Fundação Universitária para o Vestibular
PUC-RJ – Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro
Uece – Universidade Estadual do Ceará
UEM – Universidade Estadual de Maringá
Ufam – Universidade Federal do Amazonas
UFBA – Universidade Federal da Bahia
UFPR – Universidade Federal do Paraná
UFRN – Universidade Federal do Rio Grande do Norte
UFSC – Universidade Federal de Santa Catarina
UnB – Universidade de Brasília
Unesp – Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho
Unicamp-SP – Universidade Estadual de Campinas

AMOSTRA
PARA DIVULGAÇÃO

1 5 8 9 8 7

ISBN 978-85-418-1355-6

9 788541 813556