BIO 3

Sônia Lopes
Sergio Rosso

COMPONENTE CURRICULAR
BIOLOGIA

3ª ANO
ENSINO MÉDIO

MANUAL DO PROFESSOR



Editora Saraiva



BIO

COMPONENTE CURRICULAR
BIOLOGIA

3ª ANO
ENSINO MÉDIO

Sônia Lopes

Licenciada em Ciências Biológicas e Doutora em Ciências pela Universidade de São Paulo

Professora Doutora do Departamento de Zoologia do Instituto de Biociências da Universidade de São Paulo

Sergio Rosso

Licenciado em Ciências Biológicas e Doutor em Ciências pela Universidade de São Paulo

Professor Doutor do Departamento de Ecologia do Instituto de Biociências da Universidade de São Paulo

3

MANUAL DO PROFESSOR

3ª edição – 2016
São Paulo

Editora Saraiva

Bio, volume 3
© Sônia Lopes / Sergio Rosso, 2016

Direitos desta edição: Saraiva Educação Ltda., São Paulo, 2016
Todos os direitos reservados

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

Lopes, Sônia
Bio, volume 3 / Sônia Lopes, Sergio Rosso. -- 3. ed. -- São Paulo : Saraiva, 2016.

Obra em 3 v.
Suplementado pelo manual do professor
Bibliografia.
ISBN 978-85-472-0505-8 (aluno)
ISBN 978-85-472-0506-5 (professor)

1. Biologia (Ensino médio) 2. Biologia (Ensino médio) - Problemas e exercícios etc. I. Rosso, Sergio. II. Título.

16-03575 CDD-574.07

Índices para catálogo sistemático:

1. Biologia : Ensino médio 574.07



Gorila-das-montanhas (*Gorilla beringei*) fotografado na Floresta Impenetrável de Bwindi, em Uganda, África, em 2015.
A espécie pode atingir 1,7 m de altura e encontra-se criticamente ameaçada de extinção.

Diretora editorial	Lidiane Vivaldini Olo
Gerente editorial	Luiz Tonolli
Editor responsável	Isabel Rebelo Roque
Editores	Fabiola Bovo Mendonça, Mayra S. Hatakeyama Sato, Paula Signorini
Assistente editorial	Anderson Tamakoshi
Gerente de produção editorial	Ricardo de Gan Braga
Gerente de revisão	Hélia de Jesus Gonsaga
Coordenador de revisão	Camila Christi Gazzani
Revisores	Luciana Azevedo, Maura Loria, Sueli Bossi
Produtor editorial	Roseli Said
Supervisor de iconografia	Sílvio Kligin
Coordenador de iconografia	Cristina Akisino
Pesquisa iconográfica	Roberto Silva, Enio Rodrigo Lopes
Licenciamento de textos	Erica Brambila
Coordenador de artes	Aderson Oliveira
Design	Alexandre Santana de Paula
Capa	Simone Zupardo Dias com imagem de Luciano Candisani
Diagramação	Elis Regina de Oliveira
Assistente	Jacqueline Ortolan
Ilustrações	[sic] comunicação, Conceitograf, Cris Alencar, Ingeborg Asbach, Jurandir Ribeiro, Leo Teixeira, Ligia Duque, Luis Moura, Mário Yoshida, Osni de Oliveira, Paulo Cesar Pereira, Rodval Matias, Sonia Vaz, Studio Caparroz, Walter Caldeira
Cartografia	Dacosta Mapas, Mario Yoshida, Sonia Vaz, Studio Caparroz
Tratamento de imagens	Emerson de Lima
Protótipos	Magali Prado
078166.003.001 **Impressão e acabamento**	

O material de publicidade e propaganda reproduzido nesta obra está sendo utilizado apenas para fins didáticos, não representando qualquer tipo de recomendação de produtos ou empresas por parte do(s) autor(es) e da editora.

Nos livros desta coleção são sugeridos vários experimentos. Foram selecionados experimentos seguros, que não oferecem riscos ao estudante. Ainda assim, recomendamos que professores, pais ou responsáveis acompanhem sua realização atentamente.

Editora Saraiva

SAC 0800-0117875
De 2ª a 6ª, das 8h às 18h
www.editorasaraiva.com.br/contato

Avenida das Nações Unidas, 7221 – 1º andar – Setor C – Pinheiros – CEP 05425-902

CONVERSANDO COM VOCÊ, ESTUDANTE

É um prazer para nós saber que está usando este livro. Ele foi escrito com muita dedicação e cuidado, visando oferecer a você um bom material de estudo.

Nossa proposta é aproximar o universo biológico das questões cotidianas, abrindo espaços para a reflexão e o desenvolvimento do espírito crítico e de valores voltados para a cidadania.

Procuramos apresentar a Biologia de maneira integrada, interligando diversas de suas subáreas e relacionando-as com outras áreas do saber.

Para que possa aproveitar melhor esta coleção, recomendamos que, primeiro, conheça a estrutura do livro, descrita nas páginas seguintes. Mesmo sendo um livro bem completo, ele não substitui seus professores. São eles que estarão sempre ao seu lado, pessoalmente, contribuindo ainda mais para sua formação. Aproveite essa oportunidade e estude muito. Seu futuro agradecerá!

Esperamos que você, ao estudar Biologia, aprenda a amar e a respeitar cada vez mais a vida.

Com carinho,

Os autores

CONHEÇA SEU LIVRO

ABERTURA DE UNIDADE

Cada unidade aborda um grande tema da Biologia e inicia-se com destaque para uma fotografia e sua legenda. Uma frase instigante faz pensar sobre o que será estudado.

ABERTURA DE CAPÍTULO

Cada capítulo inicia-se com uma página de abertura que tem dois objetivos principais: despertar seu interesse pelo assunto e abrir espaço para que você diga o que já conhece a respeito do que será discutido.



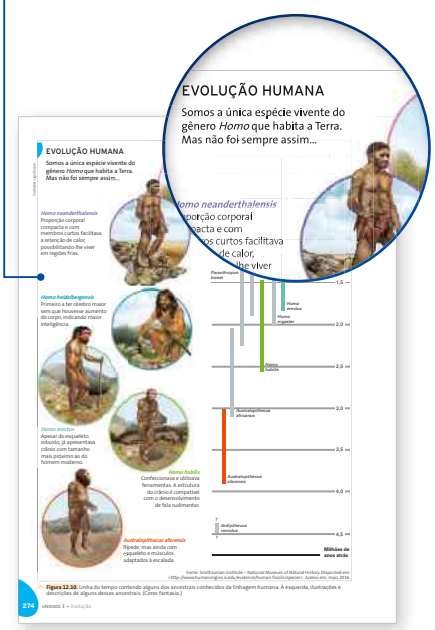


CONTEÚDO DO CAPÍTULO

Em linguagem clara e objetiva, o capítulo aproxima você dos conceitos básicos da Biologia, relacionando-os, sempre que possível, a outras áreas do saber.

INFOGRÁFICOS

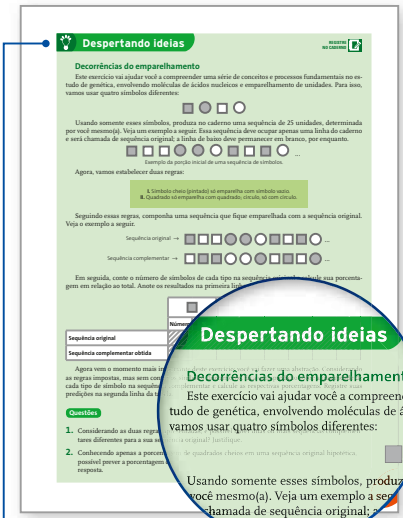
Os infográficos apresentam informações integradas às imagens, de forma dinâmica.





COLOCANDO EM FOCO

Destaca aspectos da Biologia ligados a cotidiano, saúde, cidadania, ética e sociedade, entre outros temas.

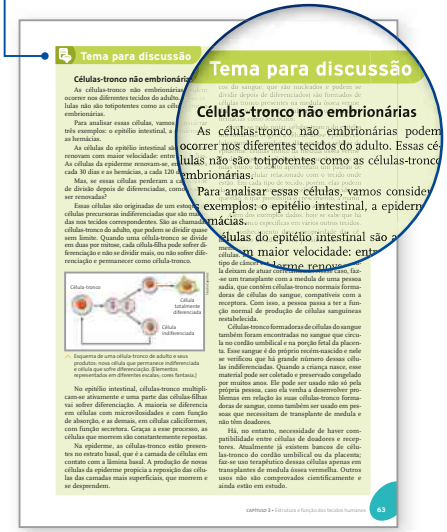


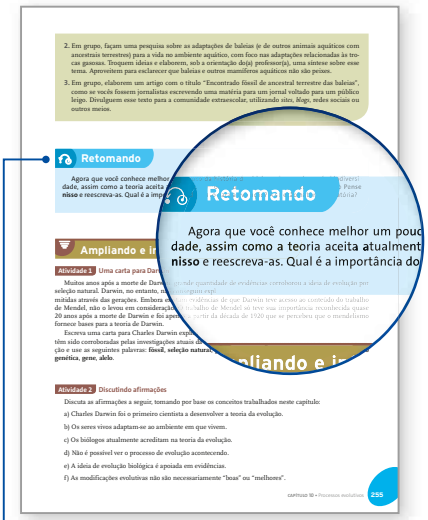
DESPERTANDO IDEIAS

Antes de um tema ser abordado no capítulo, essa seção, por meio de experimentos e outras atividades práticas, abre espaço para discussões sobre assuntos que serão tratados em seguida.

TEMA PARA DISCUSSÃO

Apresenta textos que ampliam a visão sobre o assunto do capítulo. As questões orientam a troca de ideias, o debate, a produção e a divulgação dos saberes, valorizando a cidadania.



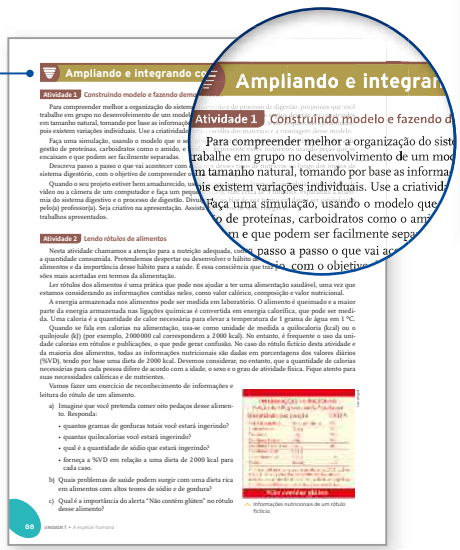


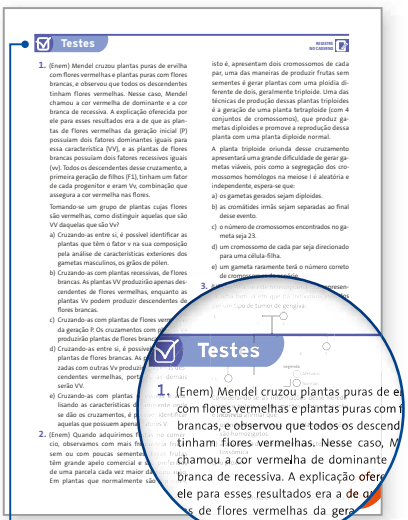
RETOMANDO

Momento de retomar a seção **Pense nisso**, presente na abertura do capítulo. Essa reflexão é fundamental para sua aprendizagem. Pare, reflita, pondere, reveja seus conhecimentos e estrutura o que aprendeu.

AMPLIANDO E INTEGRANDO CONHECIMENTOS

Atividades variadas, pautadas no desenvolvimento de competências e habilidades, como as exigidas pelo Enem. Muitas delas são trabalhadas em grupo.





TESTES

Seleção criteriosa de testes dos principais vestibulares e do Enem, para você estudar e se preparar para os exames de ingresso no Ensino Superior.

SUMÁRIO

Unidade 1
A espécie humana

Capítulo 1 • Reprodução e desenvolvimento embrionário humano

Pense nisso, 11

1. Noções gerais sobre reprodução, 12
2. Gametogênese, 12
   - 2.1. Espermatogênese, 12
   - 2.2. Ovulogênese, 14
3. Sistema genital masculino, 16
4. Sistema genital feminino, 16
5. Fecundação, 17
6. Doenças sexualmente transmissíveis, 22
7. Desenvolvimento embrionário humano: visão geral, 23
8. Fases do desenvolvimento embrionário, 23
   - 8.1. Clivagem e gastrulação, 24
   - 8.2. Organogênese, 27
   - 8.3. Da 9ª semana até o nascimento, 29
9. Gêmeos, 30
10. O nascimento na espécie humana, 31

Tema para discussão: Gravidez na adolescência, 34

Retomando, 35

Ampliando e integrando conhecimentos, 35

Testes, 36

Capítulo 2 • Estrutura e função dos tecidos humanos

Pense nisso, 38

1. Tecidos: objeto de estudo da histologia, 39
2. Tecidos epiteliais, 40
   - 2.1. Especializações das células epiteliais, 41
   - 2.2. Classificação dos tecidos epiteliais, 41
3. Tecidos conjuntivos, 45
   - 3.1. Tecido conjuntivo frouxo, 45
   - 3.2. Tecido conjuntivo denso, 46
   - 3.3. Tecido conjuntivo adiposo, 46
   - 3.4. Tecido conjuntivo reticular, 47
   - 3.5. Tecido conjuntivo cartilaginoso, 47
   - 3.6. Tecido conjuntivo ósseo, 48
   - 3.7. Sangue, 52
   - 3.8. Linfa, 55
4. Tecidos musculares, 55
   - 4.1. Estrutura e funcionamento da célula muscular estriada esquelética, 56
   - 4.2. A intensidade da contração muscular, 58
   - 4.3. Fontes de energia para a contração muscular, 58
5. Tecido nervoso, 59
   - 5.1. O impulso nervoso, 60
   - 5.2. Sinapse, 62
   - 5.3. Substância branca e cinzenta, 62

Tema para discussão: Células-tronco não embrionárias, 63

Retomando, 64

Ampliando e integrando conhecimentos, 64

Testes, 65

Capítulo 3 • Sistemas digestório, respiratório, cardiovascular e imunitário

Pense nisso, 67

1. Introdução, 68
2. Sistema digestório, 69
   - 2.1. O controle dos processos digestivos, 75
3. Sistema respiratório, 76
   - 3.1. O controle da respiração, 78
4. Sistema cardiovascular, 79
   - 4.1. O coração, 81
5. Sistema imunitário, 83
   - 5.1. Imunização ativa e passiva, 85

Tema para discussão: Por que controlar o tabagismo?, 86

Retomando, 87

Ampliando e integrando conhecimentos, 88

Testes, 89

Capítulo 4 • Sistemas urinário, nervoso e endócrino

Pense nisso, 91

1. Sistema urinário, 92
   1.1. Regulação da função renal, 94
2. Coordenação e regulação – noções gerais, 95
3. Sistema nervoso, 95
   3.1. Sistema nervoso central (SNC), 95
   3.2. Sistema nervoso periférico (SNP), 96
4. Sistema sensorial, 98
5. Sistema endócrino, 102
   5.1. O controle hormonal do ciclo menstrual, 105

Tema para discussão: Drogas: você sabe como entra, nunca como sai, 106

Retomando, 109

Ampliando e integrando conhecimentos, 109

Testes, 110

Unidade 2
Genética

Capítulo 5 • A Genética e os genes

Pense nisso, 113

1. Introdução, 114
2. A descoberta dos gametas, 115
3. A teoria da pré-formação, 115
4. A teoria da epigênese, 115
5. As teorias da pangênese e da herança ancestral, 116
6. Os fatores mendelianos e a teoria cromossômica da herança, 116
7. A natureza química do material genético, 117
8. O que são genes?, 121
9. Do DNA para o RNA: transcrição, 122
10. O código genético, 124
11. Síntese de proteínas: tradução, 125
12. Replicação do DNA, 127
13. Quem veio primeiro: o RNA, o DNA ou a proteína?, 128
14. Mutações, 128
    14.1. Mutações gênicas, 129
    14.2. Alterações cromossômicas, 130

Tema para discussão: Genoma: o que é e o que tem sido feito, 131

Retomando, 132

Ampliando e integrando conhecimentos, 132

Testes, 133

Capítulo 6 • A herança de uma característica

Pense nisso, 136

1. Introdução, 137
2. O material biológico, 137
3. O método de Mendel, 138
4. A herança de um caracter, 138
5. A relação entre a meiose e a primeira lei de Mendel, 140
6. Alguns termos importantes em Genética, 142
   6.1. Fenótipo e genótipo, 142
   6.2. Dominância e recessividade, 144
7. Noções de probabilidade, 145
   7.1. Regra da adição ou regra do "OU", 146
   7.2. Regra da multiplicação ou regra do "E", 146
8. Probabilidade e primeira lei de Mendel, 147
   8.1. Resolvendo problemas: probabilidade condicional, 149
9. Cruzamento-teste e retrocruzamento, 149
10. Genealogias ou heredogramas, 150
    10.1. Resolvendo problemas: análise de genealogias, 150
    10.2. Resolvendo problemas: montando e analisando genealogias, 151
11. Modificações nas proporções fenotípicas mendelianas do mono-hibridismo, 152
    11.1. Ausência de dominância, 152
    11.2. Codominância, 153
    11.3. Alelos letais, 153
12. Alelos múltiplos, 155
    12.1. Resolvendo problemas: alelos múltplos, 156

Tema para discussão: Expressividade e penetrância, 156

Retomando, 157

Ampliando e integrando conhecimentos, 157

Testes, 159

Capítulo 7 • A herança simultânea de duas ou mais características

Pense nisso, 161

1. A segunda lei de Mendel, 162
2. A segunda lei e a teoria das probabilidades, 163
3. Relação entre a meiose e a segunda lei de Mendel, 165
4. Quando a segunda lei não é válida, 165
5. Determinação dos tipos de gameta de acordo com a segunda lei, 166
6. A herança dos grupos sanguíneos humanos, 167
   - 6.1. A herança dos grupos sanguíneos do sistema ABO, 167
   - 6.2. A herança dos grupos sanguíneos do sistema Rh, 169
   - 6.3. Resolvendo problemas: grupos sanguíneos, 171
7. Genes ligados: restrição à segunda lei, 173
8. Permutação, 174
9. O método de Morgan e a descoberta dos genes ligados, 175
10. Como diferenciar ligação gênica de segregação independente, 178
    - 10.1. Resolvendo problemas: genes ligados, 178
11. Os mapas cromossômicos, 179
12. Mapeamento dos genes humanos, 180

Tema para discussão: Informar ou não informar, eis a questão, 180

Retomando, 182

Ampliando e integrando conhecimentos, 182

Testes, 184

Capítulo 8 • Outros mecanismos de herança

Pense nisso, 186

1. Introdução, 187
2. Pleiotropia, 187
3. Interação gênica, 188
   - 3.1. Interação gênica não epistática, 188
   - 3.2. Epistasia, 190
4. Herança quantitativa, 192
   - 4.1. Cálculo das proporções entre as classes fenotípicas, 193
   - 4.2. Resolvendo problemas: herança quantitativa, 194
5. Determinação do sexo biológico, 195
   - 5.1. O sistema XY, 195
   - 5.2. O sistema X0, 198
   - 5.3. O sistema ZW, 198
   - 5.4. Sistemas de determinação do sexo que não envolvem cromossomos sexuais, 198
6. Genes localizados nos cromossomos sexuais humanos, 199
   - 6.1. Heranças ligadas ao **X**, 200
   - 6.2. Herança ligada ao **Y**, 203
7. Outros mecanismos de herança relacionados com o sexo, 205
   - 7.1. Herança com efeito limitado ao sexo, 205
   - 7.2. Herança influenciada pelo sexo, 205
   - 7.3. Resolvendo problemas: herança autossômica ou relacionada com o sexo?, 205

Tema para discussão: Orientação sexual e identidade de gênero, 207

Retomando, 208

Ampliando e integrando conhecimentos, 208

Testes, 210

Capítulo 9 • Biotecnologia

Pense nisso, 212

1. Introdução, 213
2. DNA recombinante, 214
3. Clonagem de DNA, 215
4. Identificação de pessoas, 216
5. Técnica de reação em cadeia da polimerase (PCR), 217
6. Mapeamento da variabilidade humana, 217
7. Terapia gênica, 218
8. Vacinas gênicas, 221
9. Programas de triagem populacional, 221
10. Proteoma: o desafio para o século XXI, 221

11. Clonagem, 222
12. Organismos transgênicos, 223
13. Biologia sintética, 225
14. Recuperação de espécies em extinção, 226
15. Aconselhamento genético, 227
16. Diagnóstico pré-natal, 227
    16.1. Exame das vilosidades coriônicas, 228
    16.2. Amniocentese, 228
    16.3. Ultrassonografia, 228
    16.4. Fetoscopia, 229

Tema para discussão: Bioética como Ética Aplicada e Genética, 229

Retomando, 230

Ampliando e integrando conhecimentos, 231

Testes, 233

Unidade 3
Evolução

Capítulo 10 • Processos evolutivos

Pense nisso, 236

1. A vida em constante evolução, 237
2. Evidências da evolução, 238
    2.1. Fósseis, 238
    2.2. Homologia, 242
    2.3. Órgãos vestigiais, 243
    2.4. Evidências moleculares, 243
    2.5. Embriologia comparada, 243
3. As teorias evolutivas, 244
    3.1. A teoria de Lamarck, 244
    3.2. A teoria da seleção natural, 245
    3.3. A teoria sintética da evolução, 250

Tema para discussão: Evolução das baleias, 253

Retomando, 255

Ampliando e integrando conhecimentos, 255

Testes, 257

Capítulo 11 • Genética de populações e especiação

Pense nisso, 259

1. Introdução, 260
2. Frequências alélicas e frequências genotípicas, 260
3. Teorema de Hardy-Weinberg, 261
4. Especiação, 262
    4.1. Especiação alopátrica ou geográfica, 263
    4.2. Especiação simpátrica, 264
5. Os mecanismos de isolamento reprodutivo, 265

Tema para discussão: A jararaca da ilha da Queimada Grande, 266

Retomando, 267

Ampliando e integrando conhecimentos, 268

Testes, 268

Capítulo 12 • Evolução humana

Pense nisso, 270

1. Introdução, 271
2. A linhagem da espécie humana, 273
    2.1. O gênero *Homo*, 275

Tema para discussão: Raças humanas não existem como entidades biológicas, diz geneticista, 281

Retomando, 282

Ampliando e integrando conhecimentos, 282

Testes, 284

Sugestões de consulta, 286

Gabarito, 288

Orientações didáticas, 289

UNIDADE 1

A espécie humana

"O homem não morre quando deixa de viver, mas sim quando deixa de amar."

(Charles Chaplin)

Thinkstock/Getty Images



Desde o nascimento até o fim de nossa vida, são inúmeros os processos e as transformações que ocorrem em nosso corpo.

CAPÍTULO

1

Reprodução e desenvolvimento embrionário humano

Catharina van den Dikkenberg/E+ /Getty Images



Figura 1.1. A decisão de ter um filho deve ser tomada pelo casal de forma madura e responsável, já que é definitiva. Os pais devem estar preparados para receber o bebê em um ambiente de amor e carinho. São muitas as transformações pelas quais passam a mãe e o bebê durante a gestação. É impressionante pensar que todos nós fomos formados de uma única célula, resultado da união de duas outras: o gameta masculino e o feminino de nossos pais.

Pense nisso

- A chance de gravidez é igual em todos os dias do ciclo menstrual da mulher ou há períodos que são férteis? Há algum método anticoncepcional que você conheça relacionado com essa informação?
- Quais características da produção de gametas em homens e mulheres você conhece?
- Métodos anticoncepcionais e métodos que previnem doenças sexualmente transmissíveis são a mesma coisa?
- Como se alimenta e como respira o bebê enquanto ele está dentro do útero materno?
- Como o período de amamentação se relaciona com a saúde do bebê nos primeiros meses de vida?
- Você já ouviu falar em células-tronco embrionárias? Conhece alguma polêmica envolvendo esse tipo de células?

1. Noções gerais sobre reprodução

Professor(a), veja nas Orientações didáticas uma leitura sobre técnicas de reprodução assistida.

Nesta unidade do livro, nosso foco será na espécie humana. Vamos começar o estudo da reprodução e depois estudaremos a embriologia, a histologia, a anatomia e a fisiologia humanas.

A reprodução é uma característica de todos os seres vivos. Ela é fundamental para a perpetuação da espécie, uma vez que os seres vivos se originam de outros iguais a eles por meio da reprodução. Em nível molecular, a reprodução está relacionada com a capacidade que o DNA tem de se duplicar.

Dois processos são importantes na reprodução sexuada: a divisão celular por meiose e a fecundação. Por meiose, o número diploide (**2n**) de cromossomos é reduzido à metade e, pela fecundação, restabelece-se o número de cromossomos típico da espécie. Dessa maneira, ocorrem troca e mistura de material genético entre indivíduos de uma população, aumentando a variabilidade genética. Os descendentes que surgem por reprodução sexuada assemelham-se aos pais, mas não são idênticos a eles.

O corpo humano é constituído por células diploides formadas por mitose a partir de células preexistentes. Todas essas células originam-se de uma célula inicial, chamada **zigoto**. O zigoto forma-se por fecundação, que é a união de dois gametas (células haploides, **n**): o **óvulo** (gameta feminino) e o **espermatozoide** (gameta masculino).

Tanto o óvulo quanto o espermatozoide são formados por meiose de células denominadas **germinativas primordiais**, que são diploides. Os gametas têm origem em órgãos especializados chamados **gônadas**. Existem, portanto, gônadas femininas, os **ovários**, que produzem óvulos; e gônadas masculinas, os **testículos**, que produzem espermatozoides.

2. Gametogênese

O processo de formação de gametas denomina-se **gametogênese**. Como há dois tipos de gameta, existem também dois tipos de gametogênese:

- **espermatogênese**: processo de formação dos espermatozoides;
- **ovulogênese** ou ovogênese: processo de formação dos óvulos.

Vamos analisar a gametogênese humana.

2.1. Espermatogênese

A espermatogênese ocorre nos **túbulos seminíferos**, inúmeros túbulos enovelados que se encontram nos **testículos**. Esse processo pode ser dividido em quatro períodos, como mostra a figura 1.2.

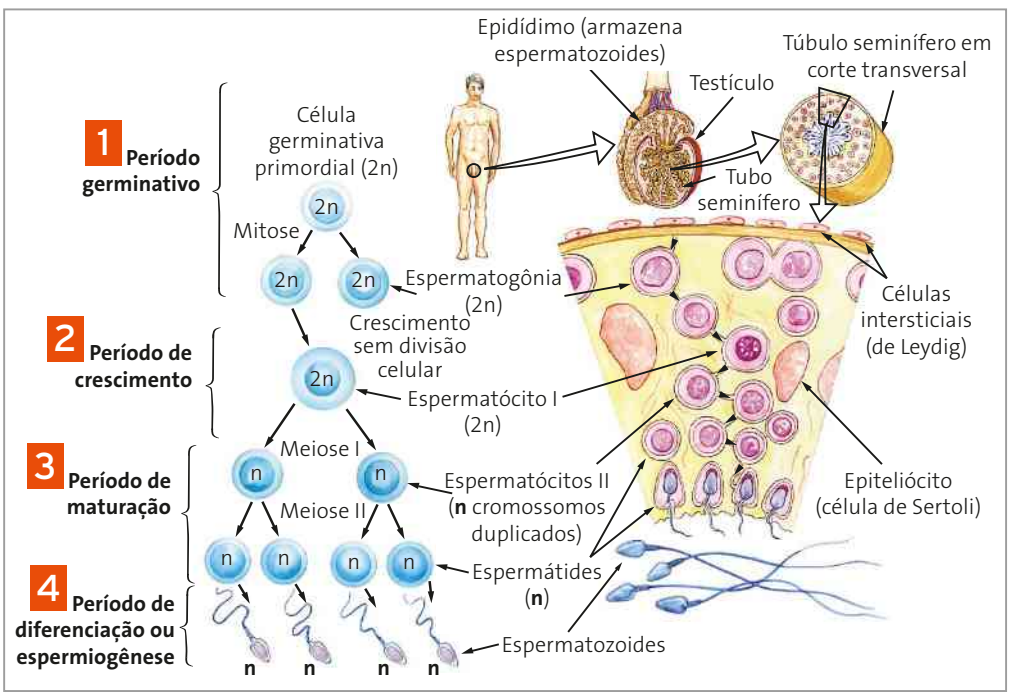


Figura 1.2. Este esquema correlaciona os períodos da espermatogênese com uma representação de corte histológico do túbulo seminífero. Ao redor dos túbulos seminíferos estão as células intersticiais (células de Leydig), produtoras do hormônio masculino testosterona, que estimula a espermatogênese. Na parede do túbulo seminífero, onde ocorre a espermatogênese, existem células que nutrem e dão suporte às células espermatogênicas: são os epiteliócitos (células de Sertoli). (Elementos representados em diferentes escalas; cores fantasia.)

No **período germinativo** as células germinativas primordiais, que são diploides, sofrem sucessivas divisões celulares mitóticas originando um grande número de **espermatogônias** (gônias masculinas), também diploides. Cada espermatogônia passa pelo **período de crescimento**, tornando-se maior. Durante esse período não ocorre divisão celular e as células passam a ser chamadas de **espermatócito I** (ou espermatócito primário ou de primeira ordem).

Em seguida, cada espermatócito I inicia o **período de maturação**, quando ocorre a meiose. Ao final da meiose I formam-se duas células chamadas **espermatócitos II** (ou espermatócitos secundários ou de segunda ordem), que são haploides. Os espermatócitos II sofrem meiose II, originando células haploides chamadas **espermátides**.

O quarto período do processo é a **espermiogênese** ou período de diferenciação, caracterizado pela diferenciação das espermátides em espermatozoides.

Durante a espermiogênese ocorre mudança na forma da célula, como resumido na figura 1.3.

O espermatozoide humano pode ser dividido em duas regiões: cabeça e cauda.

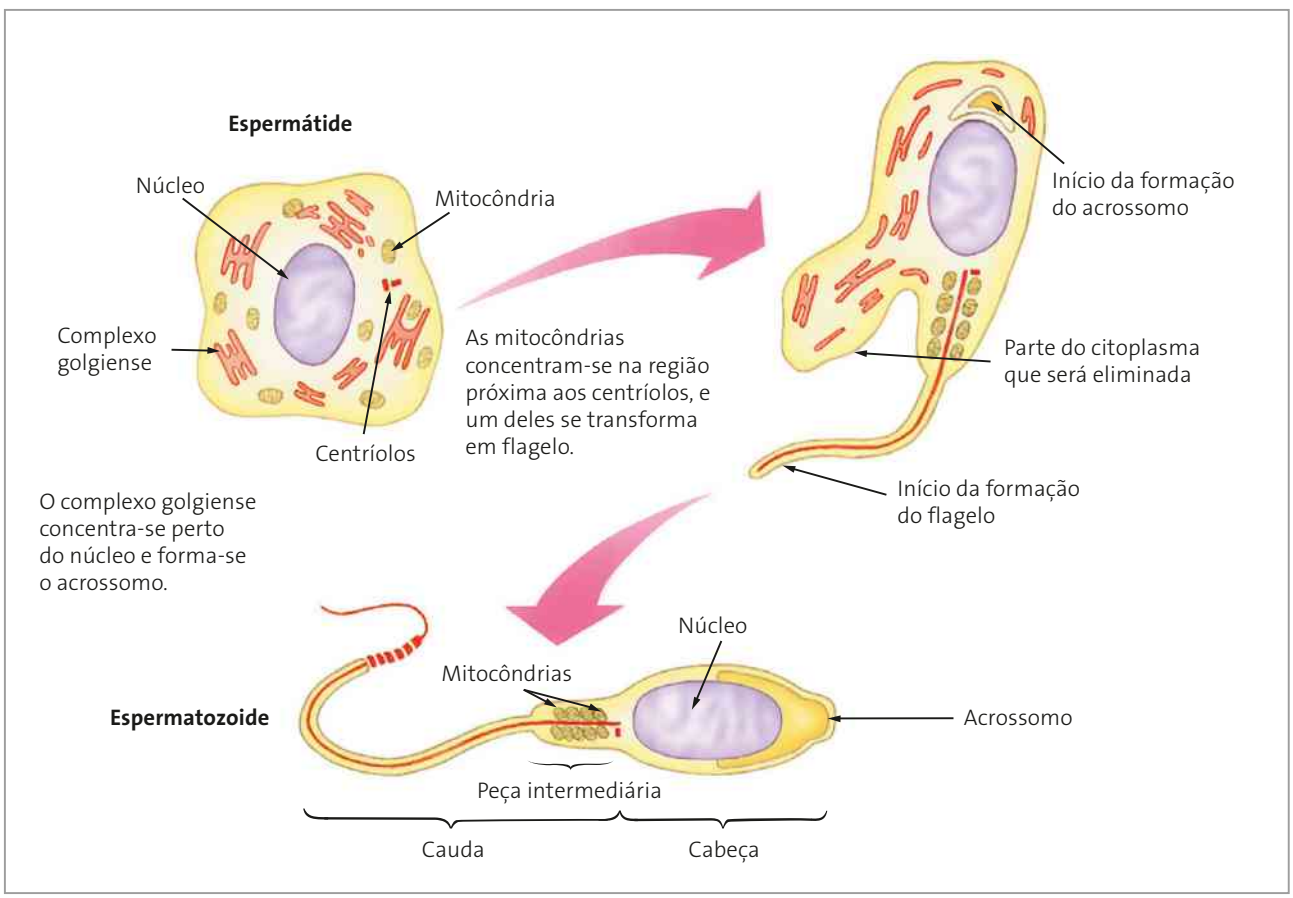
Na **cabeça** são encontrados o núcleo e o **acrossomo** ou capuz acrossômico, uma transformação do complexo golgiense onde estão enzimas importantes no processo de fecundação.

A **cauda** é responsável pela movimentação do espermatozoide e corresponde a um longo flagelo modificado. Logo no início da cauda há uma região chamada **peça intermediária**, rica em **mitocôndrias** responsáveis pela liberação da energia necessária à movimentação do gameta masculino.

O período germinativo da espermatogênese inicia-se durante o desenvolvimento embrionário. Quando a criança de sexo masculino nasce, ela apresenta várias espermatogônias. Essas células não se multiplicam até a puberdade, que nos homens se inicia geralmente entre 13 e 16 anos de idade. A partir da puberdade, a multiplicação das espermatogônias é intensa.

A espermatogênese é estimulada pelo hormônio sexual masculino chamado **testosterona**, que é produzido em células especializadas, que se localizam no testículo, entre os túbulos seminíferos.

O número aproximado de espermatozoides em um único evento de ejaculação é de cerca de 200 milhões a 600 milhões. Destes, apenas um vai fecundar o óvulo na reprodução.



Osni de Oliveira

Figura 1.3. Esquema da espermiogênese humana. O espermatozoide humano mede cerca de 65 µm de comprimento total, sendo que a cabeça mede cerca de 5 µm de comprimento por 3 µm de largura. (Elementos representados em diferentes escalas; cores fantasia.)

2.2. Ovulogênese

A ovulogênese pode ser dividida em três períodos (Fig. 1.4), que ocorrem no ovário. Não há período de diferenciação, como na espermatogênese.

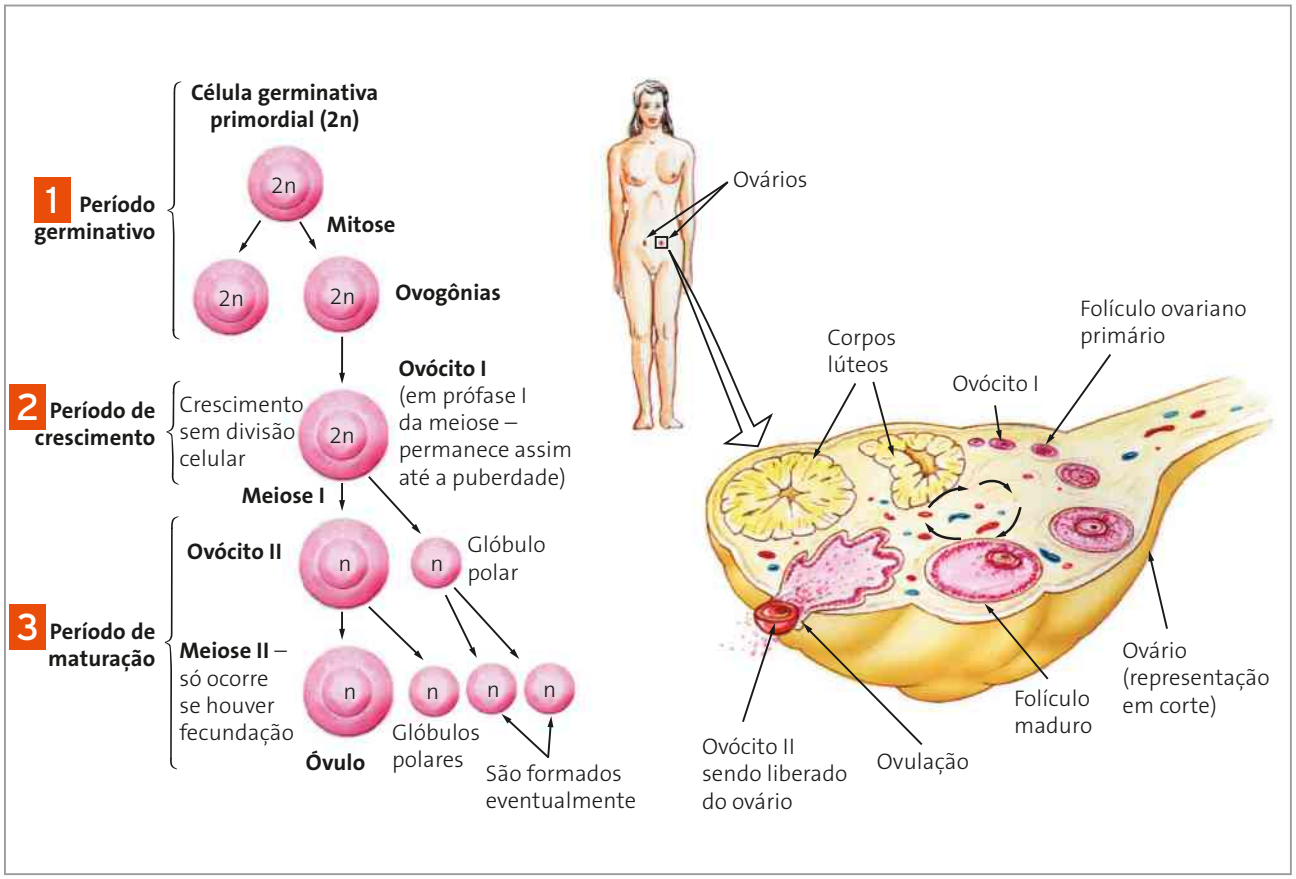


Figura 1.4. Esquema da ovulogênese. No ovário, cada ovócito está contido em um folículo, chamado folículo ovariano (ou folículo de Graaf). A cada ciclo menstrual, um desses folículos inicia a maturação, formando o ovócito II (diâmetro: 0,1 mm). O folículo, depois que eliminou o ovócito II, transforma-se no corpo lúteo (ou corpo amarelo), que secreta hormônios relacionados ao ciclo menstrual. Depois, o corpo lúteo regride. Todo esse processo é controlado por hormônios, como estrógeno, progesterona e outros, que serão comentados no capítulo 4 deste livro. (Elementos representados em diferentes escalas; cores fantasia.)

O **período germinativo** da ovulogênese caracteriza-se por divisões mitóticas das células germinativas primordiais, formando as **ovogônias** (gônias femininas), que são células diploides. Este período ocorre durante o desenvolvimento embrionário da mulher, entre o segundo e o sétimo mês de vida uterina. Parte das ovogônias degenera e as que persistem passam pelo **período de crescimento**, quando aumentam de tamanho e, sem sofrer divisão celular, passam a ser chamadas de **ovócitos I**. Isso significa que, ao nascer, a menina já apresenta todos os seus ovócitos I formados.

Os ovócitos I iniciam o processo de divisão celular por meiose, mas ele é interrompido na prófase I da meiose I. A maioria dessas células degenera ao longo da vida da mulher.

A partir da puberdade, que geralmente se inicia entre 12 e 15 anos de idade, a mulher passa a apresentar ciclos menstruais, que duram cerca de 28 dias. Esse período varia de mulher para mulher. Esses ciclos continuam a ocorrer até o final da vida fértil, por volta de 48 a 55 anos de idade. A primeira menstruação da vida de uma mulher é chamada **menarca**, e a cessação definitiva das menstruações corresponde à **menopausa**.

Em cada ciclo menstrual, em geral, amadurece apenas um dos ovócitos I. Isso significa que a meiose se reinicia e segue até a formação do **ovócito II**. O processo é novamente interrompido, agora na metáfase II da meiose II. Nesta fase, a célula é liberada do ovário e penetra na tuba uterina.

A meiose II só se completa quando o ovócito II recebe o estímulo causado pelo início da penetração do espermatozoide, durante a fecundação. Caso isso ocorra, o ovócito II completa sua divisão celular e torna-se óvulo, finalizando o **período de maturação**. A seguir, acontece a fusão entre os núcleos dos gametas feminino e masculino, formando a célula-ovo ou **zigoto**, iniciando a gravidez.

Nas mulheres, toda a gametogênese está relacionada a modificações hormonais que também preparam o útero para uma eventual gravidez. A atuação dos hormônios será analisada no capítulo 4 deste livro. A parede uterina fica espessa, e, caso a fecundação não ocorra, a gametogênese não se completa, o ovócito II degenera e o espessamento da parede uterina descama. Essa descamação da parede uterina é a **menstruação**. O primeiro dia da menstruação corresponde ao primeiro dia de um novo ciclo menstrual, quando todo o processo se repete.

Na ovulogênese, cada ovócito I forma apenas um óvulo. As três demais células são menores e denominam-se **corpúsculos polares**, que degeneram.

O óvulo é uma célula imóvel e muito maior que o espermatozoide. Como toda célula, apresenta membrana, citoplasma e núcleo. No citoplasma do óvulo encontra-se o **vitelo** ou **deutoplasma**, substância que serve de alimento ao embrião. No caso da espécie humana a quantidade de vitelo é praticamente nula, falando-se em óvulo **alécito** (*a* = prefixo de negação; do grego: *lekithos* = vitelo).

Despertando ideias

REGISTRE NO CADERNO

Construindo modelos das células reprodutivas humanas

Objetivos

Usando conceitos matemáticos, trabalhar com escalas e proporções na construção de modelos tridimensionais de espermatozoides e de óvulos a partir de figuras bidimensionais; comparar essas duas células quanto à forma e função.

Materiais

- Massa de modelar ou qualquer outro material sugerido pelo(a) professor(a).

Procedimento

1. Analise as figuras de espermatozoide e óvulo mostradas neste capítulo. Um espermatozoide mede cerca de 65 µm de comprimento e um óvulo, cerca de 100 µm de diâmetro.
2. Forme um grupo com seus colegas de classe para construir modelos tridimensionais (3D) dessas células. Os modelos deverão ter ampliação de 500 vezes. Respeitem as diferenças proporcionais de tamanho entre as duas células e entre suas partes. Qual vai ser o comprimento total do modelo de espermatozoide (em centímetros com uma casa decimal de precisão)? E da cabeça do espermatozoide, no modelo? E da cauda? Qual vai ser o diâmetro do modelo de óvulo (célula propriamente dita)?

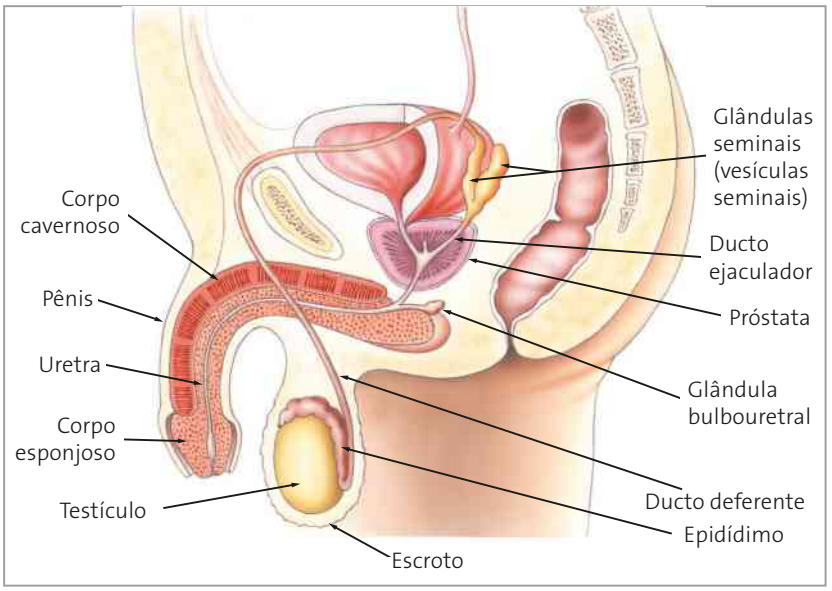
Discussão Professor(a), veja nas Orientações didáticas os comentários e as respostas das questões dissertativas.

1. Mostre o modelo elaborado por seu grupo para os demais colegas de classe. Compare os modelos e discuta a adequação da escala e das proporções, bem como a qualidade da transposição da condição 2D das representações do livro para a 3D dos modelos.
2. Discuta com seus colegas como se diferenciam as duas células do ponto de vista da forma e do tamanho.
3. Discuta de forma comparativa a relação que possa existir entre forma e função desses dois gametas na reprodução.

3. Sistema genital masculino

O sistema genital masculino (Fig. 1.5) consiste em:

- dois **testículos**: produzem os espermatozoides e também o hormônio sexual masculino testosterona. Ficam alojados no **escroto** ou bolsa escrotal;
- dois **epidídimos**: cada um deles é um tubo único, enovelado, e é associado a um testículo no escroto;
- dois **ductos** (ou dutos) **deferentes**: cada um partindo de um epidídimo, saem do escroto e penetram na cavidade abdominal;
- dois **ductos** (ou dutos) **ejaculatórios**: cada um deles na continuação de um ducto deferente;
- **uretra**;
- **pênis**;
- glândulas anexas: **próstata**, duas **glândulas seminais** (vesículas seminais) e duas **glândulas bulbouretrais**.



Walter Caldeira

Figura 1.5. Esquema de sistema genital masculino humano (vista lateral em corte). Só está representada uma das unidades das estruturas pares. (Cores fantasia.)

Os espermatozoides são produzidos nos testículos e passam para os epidídimos, onde ficam armazenados até serem eliminados durante o ato sexual.

Quando o homem é estimulado sexualmente, seu pênis fica ereto e rígido. Isso ocorre devido ao afluxo de sangue, que preenche os espaços existentes no corpo cavernoso desse órgão. Assim, pode haver penetração.

Continuando o estímulo sexual, deverá ocorrer a **ejaculação**. Nesse processo, os espermatozoides são conduzidos até a extremidade do pênis por contrações rítmicas da musculatura do epidídimo, dos ductos e da uretra. Passam inicialmente do epidídimo para o ducto deferente e em seguida para o ducto ejaculatório, já próximo à bexiga urinária.

No ducto ejaculatório, os espermatozoides recebem secreção fluida das glândulas vesiculosas. Essa secreção é fundamental para a nutrição dos espermatozoides e para o ajuste do pH vaginal que, sendo ácido, inibe a motilidade dos gametas masculinos.

Nas proximidades da porção inicial da uretra, órgão comum aos sistemas genital e urinário masculinos, os espermatozoides passam pela próstata, órgão que produz e libera uma secreção leitosa e alcalina, a qual é incorporada ao fluido seminal. Forma-se, assim, o **sêmen** ou **esperma**, composto principalmente pelos espermatozoides e pelas secreções das glândulas seminais e da próstata.

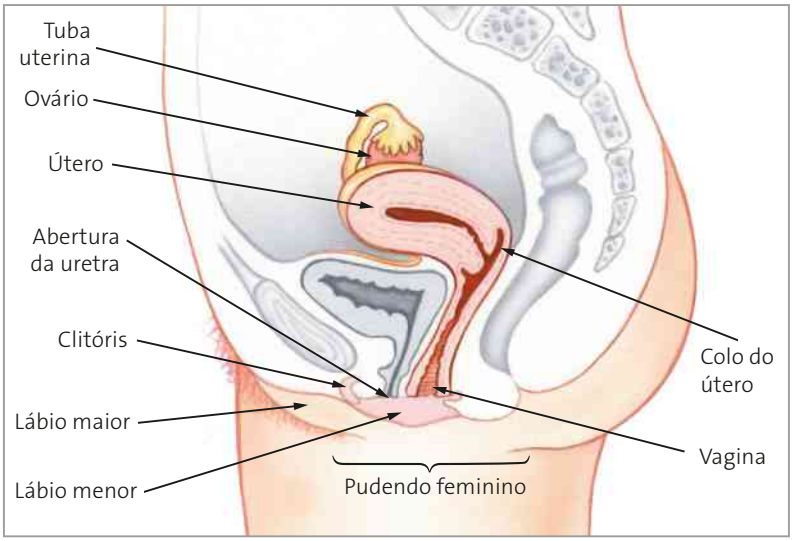
Ao entrar na uretra, o sêmen ainda receberá uma substância mucosa lubrificante secretada pela glândula bulbouretral, na base do pênis. Apenas cerca de 10% do volume do sêmen corresponde aos espermatozoides.

4. Sistema genital feminino

O sistema genital feminino (Fig. 1.6) consiste em:

- dois **ovários**, responsáveis pela formação dos ovócitos e pela produção dos hormônios sexuais femininos **estrógeno** e **progesterona**;
- duas **tubas uterinas** (trompas de Falópio ou ovidutos), condutos que vão desde a região do ovário até o útero;
- **útero**, onde ocorre o desenvolvimento embrionário e cuja parede descama na menstruação;
- **vagina**, estrutura que recebe o pênis durante a relação sexual e serve de canal de saída para o fluxo menstrual e para o bebê no momento do parto natural. A abertura da vagina para o exterior do corpo é circundada por uma membrana denominada **hímen**, geralmente rompida na primeira relação sexual da mulher;

- **pudendo feminino** (vulva), estrutura externa do sistema genital feminino (genitália externa). É formada pelos lábios maiores (grandes lábios) e pelos lábios menores (pequenos lábios), que são dobras adiposas da pele, pela abertura da vagina e da uretra e pelo **clitóris**, um pequeno órgão erétil, homólogo ao pênis, importante para o estímulo sexual da mulher.



Walter Caldeira

Figura 1.6. Esquema de sistema genital feminino humano (vista lateral em corte). Só está representada uma das unidades das estruturas pares. (Cores fantasia.)

O gameta feminino é liberado do ovário antes do término da meiose II, ainda como ovócito II, em metáfase interrompida. Ele se dirige para a tuba uterina e é deslocado em direção ao útero. Caso o espermatozoide inicie o processo de penetração no ovócito II, a meiose completa-se, formando o óvulo, por um curto espaço de tempo.

5. Fecundação

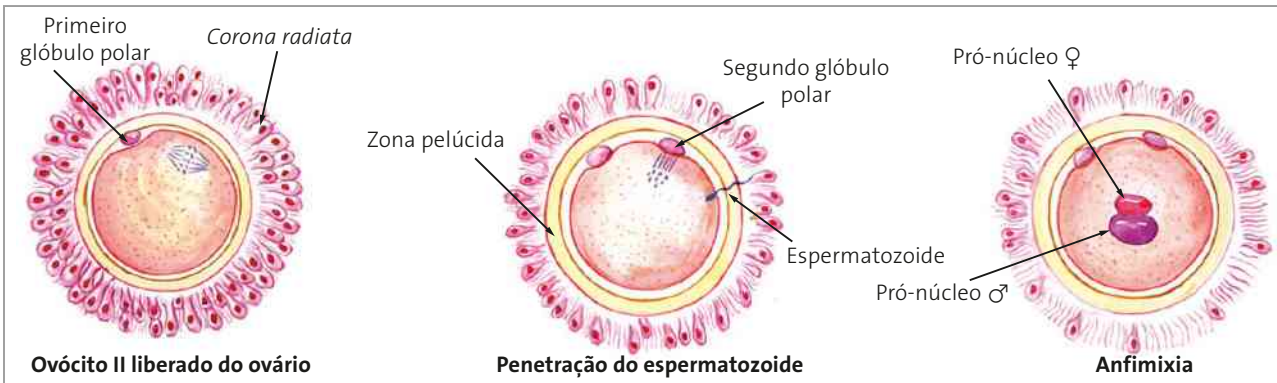
No ato sexual, os espermatozoides deslocam-se da vagina até a tuba uterina impulsionados pelo flagelo e auxiliados por contrações da musculatura lisa da parede do útero e da tuba uterina. A maioria dos espermatozoides degenera. Na tuba uterina chegam apenas cerca de duzentos espermatozoides, onde ocorre a fecundação. Apenas um espermatozoide fecunda o ovócito II.

Os espermatozoides podem permanecer viáveis no trato genital feminino por até 48 horas e o ovócito II deixa de ser viável cerca de 24 horas após a ovulação. Nesse intervalo de tempo pode haver fecundação e ter início a gravidez.

Em certos casos, mesmo não havendo penetração do pênis na vagina, se a ejaculação ocorrer no exterior, próximo à entrada da vagina, os espermatozoides poderão adentrar o sistema genital feminino e chegar até a tuba uterina. Se a mulher estiver em período fértil, poderá ter início a gravidez.

Na fecundação, antes de atingir a membrana do ovócito II, o espermatozoide atravessa a ***corona radiata***, formada por células derivadas do ovário (células foliculares), e a **zona pelúcida**, um revestimento externo do ovócito II composto principalmente de glicoproteínas (Fig. 1.7). O espermatozoide atinge, então, a membrana plasmática e inicia a penetração no ovócito II. Nesse momento, originam-se o óvulo e um corpúsculo polar. Forma-se também uma membrana de fecundação, a qual impede a entrada de outros espermatozoides.

O núcleo haploide do óvulo e o do espermatozoide recebem o nome de **pró-núcleo feminino** e **pró-núcleo masculino**, respectivamente. Com a união desses núcleos (**anfimixia**) temos a formação da célula-ovo ou zigoto e o início do desenvolvimento embrionário.



Osni de Oliveira

Figura 1.7. Esquema de fecundação. (Cores fantasia.)

Na fecundação, o pró-núcleo e o centríolo do espermatozoide farão parte do zigoto. As mitocôndrias do espermatozoide desintegram-se no citoplasma do óvulo. Todas as demais organelas citoplasmáticas e o pró-núcleo feminino estarão no óvulo, inclusive as mitocôndrias. Essa característica é importante para entendermos algumas doenças que são causadas por mutações no DNA mitocondrial e que, portanto, são transmitidas das mães para seus descendentes. A análise do DNA mitocondrial também tem sido usada em testes de maternidade, para verificar quem é a mãe de uma criança.

Colocando em foco

ALGUNS DOS PRINCIPAIS MÉTODOS ANTICONCEPCIONAIS

Ter filhos deve ser uma decisão muito pensada. Um planejamento familiar adequado pode ajudar os casais a oferecer aos filhos melhores condições de educação, moradia e saúde. Cada casal tem a liberdade de decidir quantos filhos quer ter, mas nessa decisão deve pesar a qualidade de vida que poderá dar a eles.

Como fator importante do planejamento familiar, devemos conhecer os principais métodos anticoncepcionais. Algumas religiões impõem restrições a certos métodos e você deve procurar saber quais são, ouvir sua família e médicos para uma melhor orientação a esse respeito.

Existem métodos reversíveis e métodos irreversíveis para se evitar a concepção. Reversível é o método que só evita a gestação enquanto estiver sendo utilizado, mas que permite o retorno à fecundidade quando se deixa de utilizá-lo; irreversível é aquele que, uma vez utilizado, faz cessar definitivamente a capacidade reprodutora.

MÉTODOS REVERSÍVEIS

1. Coito interrompido

É a remoção do pênis da vagina pouco antes da ejaculação. Com esse procedimento, evita-se que os espermatozoides penetrem no corpo feminino. Porém, há dois riscos: primeiro, pode ser que o homem não consiga controlar o momento da ejaculação; segundo, antes da ejaculação, pode ocorrer a liberação de pequenas quantidades de fluido seminal e há indícios de que essas pequenas quantidades já contêm espermatozoides. Portanto, não é um método muito eficiente.

2. Tabelinha

Vamos considerar uma mulher com ciclos menstruais regulares que duram 28 dias. A ovulação geralmente ocorre cerca de 14 dias antes da próxima data prevista para a menstruação. Assim, nesse caso, a ovulação ocorre por volta do 14º dia. Considerando que o ovócito e o espermatozoide permanecem viáveis por certo período de tempo, as relações sexuais devem ser evitadas cerca de 3 dias antes e 3 dias depois da data prevista para a ovulação. No caso, o período fértil poderia ser considerado do 11º ao 17º dia do ciclo.

O problema é que os ciclos variam de mulher para mulher e podem variar até na mesma mulher, por inúmeras razões, até mesmo por fatores de ordem emocional. Assim, a data da ovulação pode não ser o 14º dia.

Uma maneira de fazer a "tabelinha" é a mulher anotar por vários meses a duração de seus ciclos menstruais, cada um deles contado do primeiro dia de um ciclo ao primeiro dia do ciclo seguinte.

Para fazer a "tabelinha", devem-se considerar a duração do ciclo mais curto e a do ciclo mais longo.

Supondo que o ciclo mais curto tenha sido de 26 dias e o mais longo, de 30 dias, o cálculo é feito da seguinte maneira:

- subtraem-se 14 dias do tempo de duração do ciclo mais curto: no exemplo teríamos 26 – 14 = 12; portanto, a ovulação ocorreria no 12º dia do ciclo mais curto;
- subtraem-se 14 dias do tempo de duração do ciclo mais longo: no exemplo teríamos 30 – 14 = 16; portanto, a ovulação ocorreria no 16º dia do ciclo mais longo;
- subtraem-se pelo menos 3 dias da data de ovulação do ciclo mais curto e somam-se 3 dias à data da ovulação prevista no ciclo mais longo.

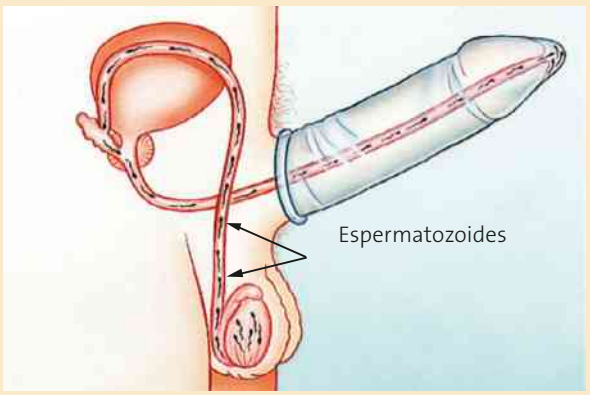
O período que corresponderá à fase provavelmente fértil no exemplo dado será do 9º ao 19º dia de qualquer ciclo menstrual. Os dias restantes serão os dias não férteis.

O inconveniente do método de controle da fertilidade pela abstinência sexual nos dias férteis é haver grande risco de erro de cálculo, podendo ocorrer uma gravidez não planejada. Quanto menos regular for o ciclo menstrual da mulher, maior será a possibilidade de o erro acontecer.

3. Camisinha ou *condom*

A camisinha atua como uma "luva" que se veste sobre o pênis ereto e que serve para reter a ejaculação. Ela deve ser colocada antes da penetração do pênis, recobrindo-o totalmente. É importante deixar uma pequena folga sem ar no ápice da camisinha (Fig. 1.8). Após a ejaculação, o pênis deve ser retirado do corpo feminino enquanto ainda estiver ereto.

Bem empregado, pode ser um bom método anticoncepcional, além de diminuir o risco de contágio de algumas doenças sexualmente transmissíveis, como Aids, sífilis e outras. A camisinha tem de ser de boa qualidade e, uma vez utilizada, deve ser descartada e nunca reaproveitada.



Walter Caldeira

Figura 1.8. Esquema da correta colocação da camisinha masculina. Os espermatozoides, que não são visíveis a olho nu, ficam presos no ápice da camisinha. (Elementos representados em diferentes escalas; cores fantasia.)

4. Camisinha feminina ou *femidom*

Trata-se de um dispositivo feito de polipropileno (menos alergênico do que o látex dos *condoms*) que parece um pequeno saco, com um aro na borda e outro aro solto no fundo. Esse dispositivo deve ser introduzido na vagina, deixando o aro da borda para fora; o aro do fundo serve como "lastro", ou seja, mantém o preservativo no lugar.

O pênis deve penetrar no dispositivo. Ao término do ato sexual, gira-se o aro externo, prendendo o conteúdo dentro do preservativo, que então pode ser retirado e jogado fora.

A camisinha feminina (Fig. 1.9) também protege contra doenças sexualmente transmissíveis, pois impede o contato das secreções dos parceiros.

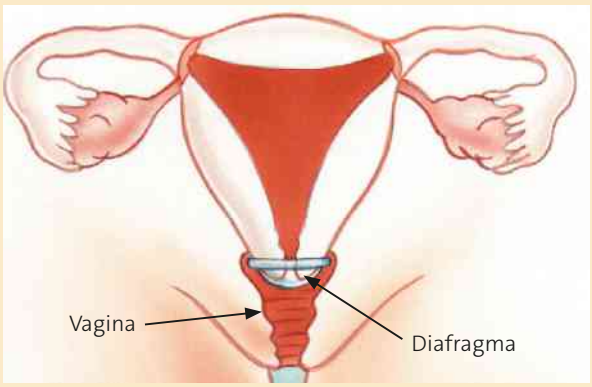


Thinkstock/Getty Images

Figura 1.9. Fotografia de camisinha feminina.

5. Diafragma vaginal

O diafragma é uma cúpula de látex ou de silicone, com um aro elástico na borda, que se coloca dentro da vagina, formando uma barreira que bloqueia a passagem dos espermatozoides (Fig. 1.10). É aplicado pela mulher, antes da relação sexual, e deve ser retirado algumas horas depois. Geralmente, é utilizada também uma geleia espermicida, da qual falaremos em seguida. O diafragma, desde que utilizado corretamente, na medida adequada e estando em boas condições, tem boa eficiência.



Walter Caldeira

Figura 1.10. Esquema da posição correta do diafragma. (Cores fantasia.)

6. Espermicidas

Várias substâncias químicas podem agir bloqueando a atividade dos espermatozoides, por isso são chamadas espermicidas. Eles podem ser utilizados na forma de geleias (Fig. 1.11), comprimidos ou espumas que se aplicam na vagina antes da relação sexual. Existem camisinhas que já são vendidas com lubrificante espermicida, o que aumenta sua eficiência.

Os espermicidas não são muito eficientes se forem utilizados como único método anticoncepcional, mas têm a vantagem de serem também antissépticos, diminuindo o risco de infecções transmitidas sexualmente.



Walter Caldeira

Figura 1.11. Esquema da aplicação de geleia espermicida em diafragma, o que aumenta sua eficácia. (Cores fantasia.)

7. Dispositivo intrauterino (DIU)

O DIU é um dispositivo de plástico ou metal aplicado pelo médico no interior do útero (Fig. 1.12). Esse dispositivo parece provocar uma hostilidade no interior do útero, o que impede a fecundação e a implantação do embrião. A eficiência do DIU é bastante alta. O inconveniente é que ele pode fazer a menstruação ficar mais abundante e pode causar cólicas menstruais.

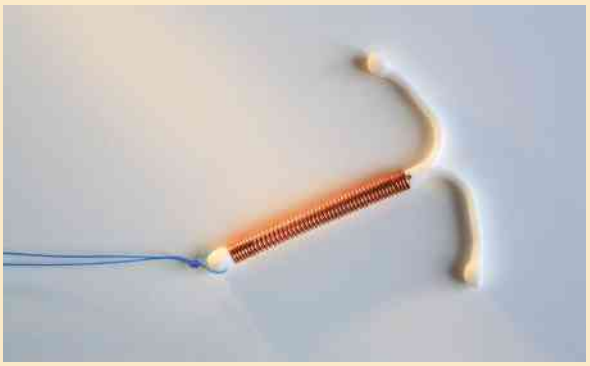

ImageBROKER/Alamy/Fotoarena

Figura 1.12. Fotografia de um dispositivo intrauterino (DIU).

8. Anticoncepcionais hormonais

Os hormônios femininos, em doses adequadas, podem agir impedindo a ovulação. Por isso, são os mais eficientes métodos anticoncepcionais reversíveis que existem até hoje, e sua indicação deve ser feita a critério médico. O tipo mais conhecido é o que se apresenta sob a forma de comprimido: a pílula anticoncepcional ou simplesmente pílula.

Outro tipo de contraceptivo hormonal é o injetável. Existem várias formulações, tanto para uso mensal (uma injeção ao mês) como para uso trimestral (uma injeção a cada 3 meses). Seu efeito é muito semelhante ao da pílula.

Existe ainda um contraceptivo hormonal de longa duração implantado sob a pele. Tem de ser aplicado e retirado por um médico, por meio de um pequeno procedimento cirúrgico normalmente realizado no próprio consultório. É sugerido principalmente para mulheres que já tenham tido os filhos desejados, pois se trata de um método para uso prolongado.

MÉTODOS IRREVERSÍVEIS

Muitas vezes, as pessoas procuram um método que as torne definitivamente estéreis. Isso também pode ser indicado em certas doenças, como as cardíacas, em que há risco para a saúde da mulher se ela ficar grávida.

Há muitos métodos que normalmente exigem algum tipo de cirurgia. Os mais comuns são a laqueadura tubária e a vasectomia, que devem ser considerados métodos definitivos. Porém, em determinados casos pode haver a possibilidade de se fazer outra cirurgia para reverter o estado de esterilidade, nem sempre se obtendo bons resultados.

1. Laqueadura tubária

Laqueadura ou ligadura tubária (Fig. 1.13) é um procedimento cirúrgico em que se interrompe a permeabilidade das tubas uterinas (há várias maneiras de fazê-lo). Com essa interrupção, não há mais a passagem do ovócito, não ocorrendo o encontro dele com os espermatozoides.

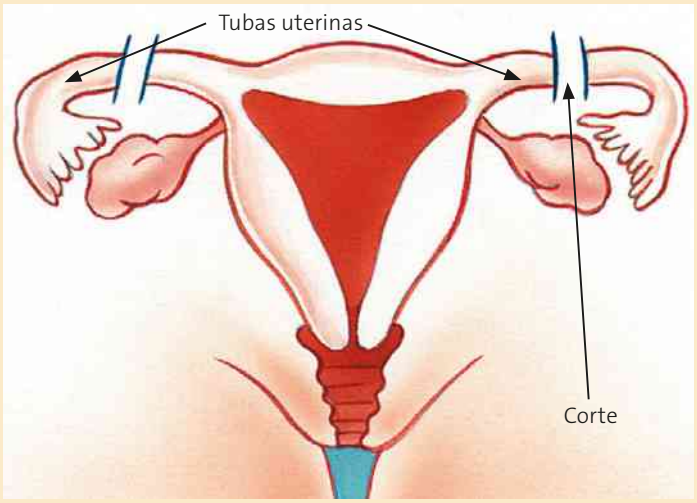


Figura 1.13. Esquema do sistema genital feminino mostrando o local da laqueadura tubária. (Cores fantasia.)

2. Vasectomia

É uma cirurgia em que se secciona o ducto deferente, interrompendo o caminho que seria percorrido pelos espermatozoides (Fig. 1.14). Como essa cirurgia é um procedimento simples, pode ser feita até em consultório com anestesia local. A produção hormonal e todos os demais detalhes do funcionamento do sistema genital masculino permanecem inalterados.

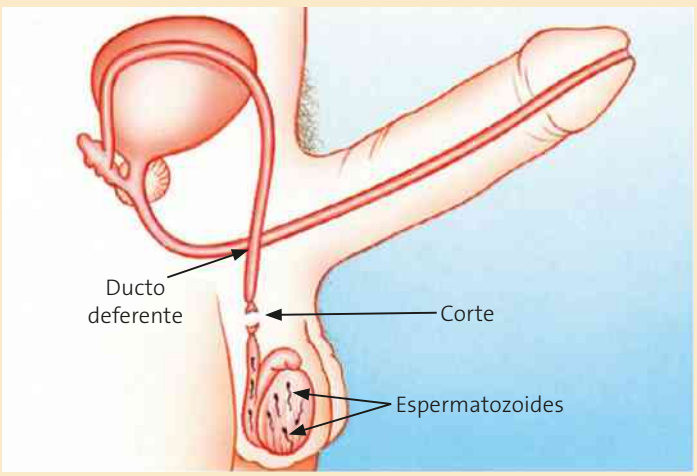


Figura 1.14. Esquema do sistema genital masculino mostrando o local da vasectomia. (Cores fantasia.) (Os espermatozoides não são visíveis a olho nu.)

UM POUCO SOBRE A EFICIÊNCIA DOS MÉTODOS ANTICONCEPCIONAIS

Os métodos irreversíveis são os mais eficientes de todos, mas eles devem ser utilizados apenas em algumas situações especiais. Dentre os reversíveis, os mais eficazes são os hormonais, depois o DIU, seguido dos métodos de barreira (*condom*, camisinha feminina e diafragma), e, por último, os comportamentais ("tabelinha" e coito interrompido).

ANTICONCEPÇÃO ORAL DE EMERGÊNCIA: PÍLULA DO DIA SEGUINTE

A pílula do dia seguinte só deve ser tomada sob recomendação médica em situações especiais, após relação sexual sem a devida proteção anticoncepcional. Não deve ser usada com frequência nem como medida padrão para se evitar a gravidez. Essa pílula impede ou retarda a ovulação e, caso a ovulação tenha ocorrido, dificulta a chegada do espermatozoide até o ovócito. Ela não interrompe uma gravidez que já se iniciou.

Texto elaborado com a colaboração da médica ginecologista do Hospital das Clínicas da Universidade de São Paulo, Profa. Dra. Ceci Mendes Carvalho Lopes.

6. Doenças sexualmente transmissíveis

Diversas doenças podem afetar diretamente o sistema genital masculino e o feminino. Existem algumas, no entanto, que, embora adquiridas por via sexual, têm efeito sobre o organismo todo.

Todas as doenças adquiridas pelo contato sexual chamam-se **doenças sexualmente transmissíveis** (**DST**).

Uma vez levantada a suspeita ou constatada qualquer doença sexualmente transmissível, um médico deve ser consultado imediatamente, para que seja realizado o diagnóstico e oferecido tratamento adequado. O tratamento inadequado dessas doenças pode trazer sérios comprometimentos ao sistema genital, à fertilidade e à saúde geral do indivíduo.

Dentre as doenças sexualmente transmissíveis, vamos estudar as mais comuns: sífilis, gonorreia, cancro mole, linfogranuloma venéreo, condiloma acuminado, pediculose pubiana e tricomoníase, conhecidas como doenças venéreas. Além dessas, existem a Aids e o herpes genital. A Aids e o herpes genital foram tratados no volume 2 desta coleção. Se considerar pertinente, retome o assunto com os estudantes.

- **Sífilis**

A sífilis é causada pela bactéria *Treponema pallidum*, transmitida pelo contato sexual. Existem, no entanto, outras vias muito importantes de transmissão, não relacionadas com o contato sexual: através da placenta (de mãe para filho) e por transfusão de sangue.

O primeiro sintoma da sífilis é o aparecimento de uma lesão em forma de pequena úlcera na genitália externa. Essa lesão é conhecida por cancro duro e aparece geralmente entre 7 e 15 dias após o contato sexual.

O cancro duro desaparece naturalmente, mas dentro de 2 meses após o seu aparecimento surgem lesões generalizadas na pele, como inúmeros pontos vermelhos e escamosos em diversas partes do corpo. Nos estágios mais adiantados podem surgir lesões mais graves na pele. Especialmente graves são as lesões que surgem em órgãos do sistema nervoso, cardiovascular e urinário, que podem levar à morte.

A sífilis é perfeitamente curável, mas é importante que seja tratada logo no início. Doenças causadas por bactérias geralmente são tratadas com o uso de antibióticos, mas somente com prescrição médica.

Essa doença pode permanecer latente durante algum tempo e, nesse caso, a pessoa pode transmiti-la sem nem mesmo suspeitar que está doente. Exemplos como esse são úteis para avaliarmos a importância do exame preventivo, que permite descobrir muitas doenças antes que elas se manifestem.

- **Gonorreia**

Também conhecida por blenorragia, a gonorreia é uma infecção da uretra e pode comprometer algumas vias genitais. É causada pela bactéria *Neisseria gonorrheae*, também conhecida por gonococo, transmitida pelo contato sexual. Como a gonorreia é causada por bactéria, o doente pode ser tratado com antibióticos.

Os primeiros sintomas surgem poucos dias após o contato sexual: ardor na uretra seguido de secreção purulenta.

- **Cancro mole**

O cancro mole é uma ulceração dolorida e mole da genitália externa causada pela bactéria *Hemophilus ducreyi*. O tratamento é feito principalmente com antibióticos.

- **Linfogranuloma venéreo**

O linfogranuloma venéreo é uma doença causada pela bactéria *Chlamydia trachomatis* e caracterizada pela formação de pequenas vesículas nos órgãos sexuais externos. Essas vesículas frequentemente evoluem para pequenas úlceras. A doença costuma causar inflamação na região inguinal (virilha) principalmente no homem.

- **Condiloma acuminado**

O condiloma acuminado é denominado vulgarmente crista-de-galo. É provocado pelo papilomavírus humano (HPV), que desencadeia o aparecimento de lesões verrugosas nas regiões genital e anal, semelhantes a uma crista-de-galo ou a uma couve-flor. Esse vírus pode permanecer latente na pessoa por muito tempo, sem se manifestar. Existem vários tipos de HPV, e alguns deles têm sido relacionados ao aparecimento de câncer genital, em especial o do colo do útero.

- **Pediculose pubiana**

Essa doença é provocada pelo inseto *Phthirius pubis*, vulgarmente chamado de "chato". São piolhos muito pequenos, que se instalam nos pelos pubianos provocando coceira e pequenas hemorragias, que aparecem como pontos de sangue.

- **Tricomoníase**

Doença provocada pelo protozoário *Trichomonas vaginalis*, caracterizada por corrimento vaginal e ardência na mulher ou por corrimento pela uretra nos homens. Em geral, os homens são portadores assintomáticos.

7. Desenvolvimento embrionário humano: visão geral

Neste capítulo, já analisamos a reprodução humana até o momento da fecundação. Agora, será abordado o processo do desenvolvimento do indivíduo, a partir do zigoto até o nascimento. O zigoto é portador de metade do material genético do pai, trazido no pró-núcleo masculino pelo espermatozoide, e de metade do material genético da mãe, trazido no pró-núcleo feminino pelo óvulo. Uma vez formado, o zigoto irá se dividir muitas vezes por mitose, originando um novo indivíduo. Assim, todas as células que formam o corpo de um indivíduo apresentam o mesmo material genético que existia no zigoto.

Apesar disso, ao longo do desenvolvimento embrionário, as células passam por um processo de **diferenciação celular**. Surgem, dessa maneira, tipos celulares com morfologia e funções distintas, que se organizam em tecidos.

Os tecidos reúnem-se e formam os órgãos; os grupos de órgãos formam os sistemas (Fig. 1.15), que, por sua vez, constituem o organismo.

A ciência que estuda o processo de desenvolvimento do indivíduo a partir do zigoto é a embriologia.

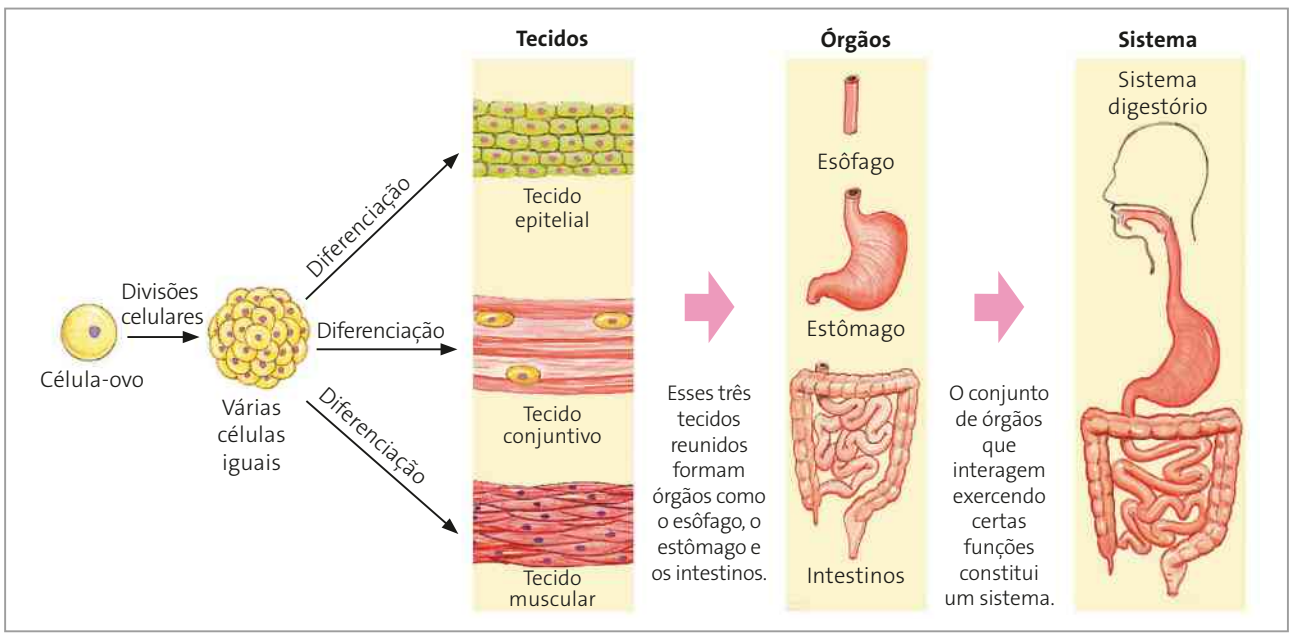


Figura 1.15. Esquema mostrando que, ao longo do desenvolvimento embrionário, o processo de diferenciação celular origina células de formas e funções distintas. Grupos de células que juntas desempenham determinadas funções se organizam em tecidos; estes, em órgãos, os quais formam os sistemas. (Elementos representados em diferentes escalas; cores fantasia.)

8. Fases do desenvolvimento embrionário

Na espécie humana (e na maioria das espécies animais), as principais fases do desenvolvimento de um embrião são: **clivagem** ou segmentação, **gastrulação** e **organogênese**.

Na clivagem, mesmo com o aumento do número de células, não há aumento do tamanho total do embrião, pois as divisões celulares são muito rápidas e praticamente não há tempo para as células crescerem.

O primeiro estágio da clivagem é a **mórula** (do latim: *morula* = amora), um maciço celular.

O segundo e último estágio da clivagem é a **blástula**, em que as células delimitam uma cavidade interna chamada **blastocele**, cheia de líquido produzido pelas próprias células.

As células permanecem indiferenciadas até o estágio de blástula. Assim, cada célula, se isolada, pode dar origem a um embrião completo. Além disso, células eventualmente retiradas da blástula não fazem falta para o embrião, pois as que permanecem são capazes de completar o desenvolvimento. Por essas características, até a fase de blástula, as células embrionárias são chamadas **células-tronco totipotentes**, pois têm o potencial de originar todos os tipos de célula do corpo.

A seguir, tem início a fase do desenvolvimento embrionário, chamado **gastrulação**. Nessa fase, além de o embrião começar a aumentar de tamanho, surge o intestino primitivo ou **arquênteron**, e ocorre a diferenciação dos **folhetos germinativos** ou **embrionários**: **ectoderme** (mais externa); **endoderme** (mais interna); **mesoderme** (entre a ecto e a endoderme). Esses folhetos darão origem aos diferentes tecidos do corpo.

Ao final da gastrulação, o embrião é chamado **gástrula**.

A última fase do desenvolvimento embrionário é a **organogênese**, em que ocorre a diferenciação dos tecidos e órgãos. O primeiro estágio da organogênese é a **neurulação**, quando há a formação do tubo neural, que se diferenciará no sistema nervoso central. Na neurulação, o embrião recebe o nome de **nêurula**.

8.1. Clivagem e gastrulação

A clivagem tem início aproximadamente 30 horas após a fecundação. Acompanhe o texto seguindo a figura 1.16. Entre o terceiro e o quarto dia após a fecundação o embrião encontra-se no estágio de mórula. No estágio seguinte, forma-se a blástula, também chamada **blastocisto**, que chega até o útero envolto pela zona pelúcida, a qual impede a adesão do blastocisto durante seu trajeto até o útero. Quando chega ao útero, o embrião libera-se dessa proteção e implanta-se na parede uterina, o que ocorre por volta do sexto dia após a fecundação. Ao final da segunda semana de gravidez, o embrião está totalmente envolto pela mucosa uterina.

Osni de Oliveira

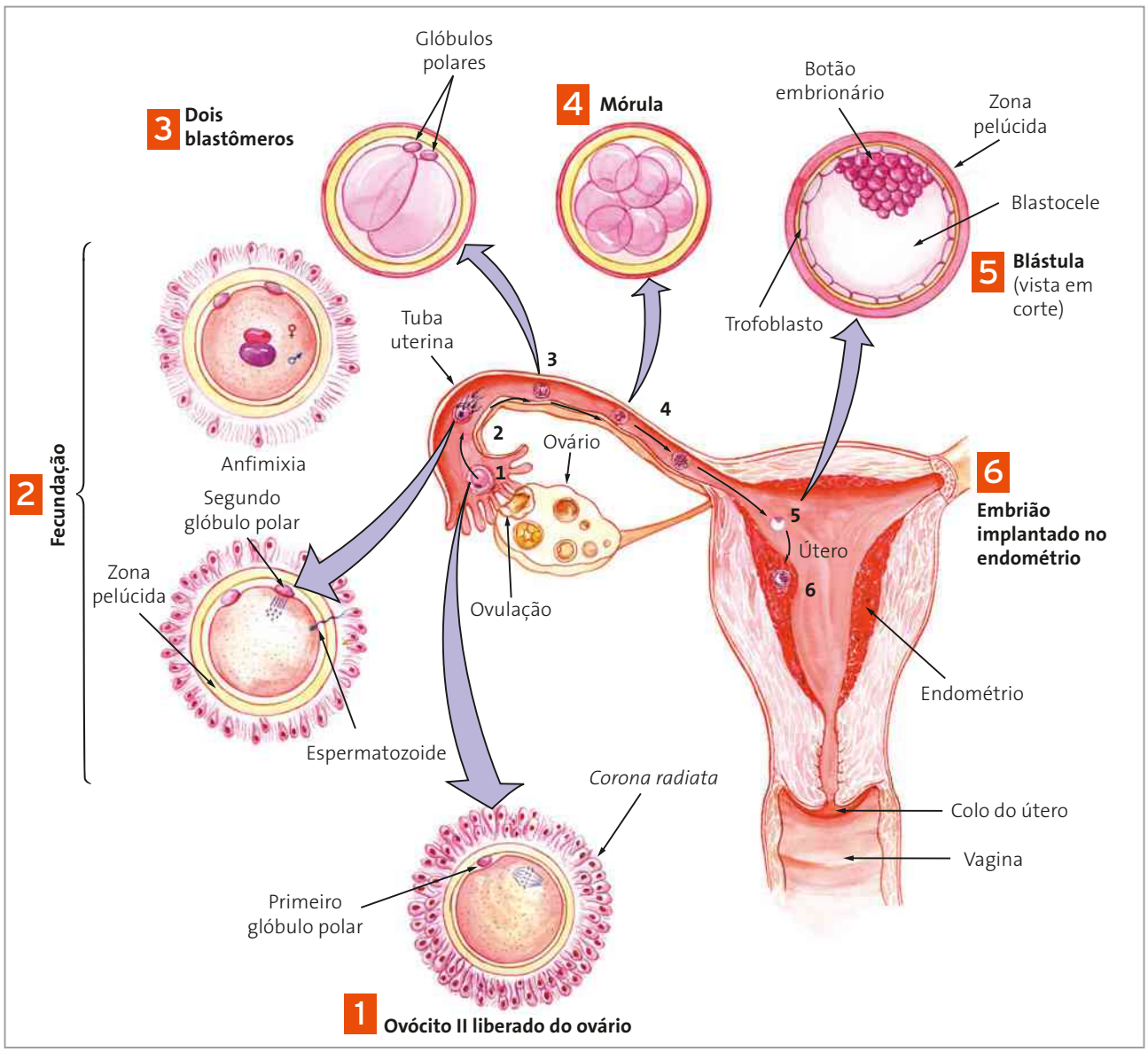


Figura 1.16. Esquema representando corte longitudinal da tuba uterina direita, do útero e de parte da vagina em algumas etapas da fecundação e no início do desenvolvimento embrionário humano. (Elementos representados em diferentes escalas; cores fantasia.)

O blastocisto apresenta-se como uma esfera formada por uma camada de células chamada **trofoblasto** (do grego: *trophé* = nutrir) que delimita uma cavidade interna na qual se observa um pequeno acúmulo de células, denominado **botão embrionário** (também chamado de botão germinativo ou embrioblasto).

No processo de implantação, as células do trofoblasto multiplicam-se ativamente e algumas delas se fundem e passam a produzir enzimas que digerem a parede do útero; outras liberam substâncias que evitam respostas imunes da mãe, as quais poderiam reconhecer o embrião como um corpo estranho e impedir o prosseguimento da gravidez. Há também glândulas que produzem o hormônio **gonadotropina coriônica** (**hCG**), responsável pela retenção do embrião na parede uterina. A quantidade de hCG ao final da segunda semana de gestação já é suficiente para ser detectada no sangue da mãe, sendo possível fazer análise de exames de sangue para confirmar a gravidez.

Ao mesmo tempo em que estão ocorrendo modificações no trofoblasto, o botão embrionário também se modifica, dando início à formação do embrião.

A fase de blástula termina com o início da gastrulação, o que ocorre por volta da terceira semana de gestação. Todo o desenvolvimento do corpo do embrião fica restrito às células derivadas do botão embrionário.

Além das modificações que envolvem a formação do corpo do embrião, surgem, na blástula, estruturas anexas que não fazem parte diretamente do corpo dele, mas que são fundamentais para sua sobrevivência até o nascimento.

As estruturas anexas são chamadas **membranas extraembrionárias** (ou anexos embrionários) e correspondem a quatro tipos: **âmnion**, **córion** (ou cório), **vesícula vitelina** (ou saco vitelino) e **alantoide**.

Resumidamente, as funções dessas membranas extraembrionárias são:

- **Âmnion**

Envolve o corpo do embrião delimitando uma cavidade cheia de líquido, a **cavidade amniótica** ou bolsa amniótica, que protege o embrião contra choques mecânicos e também contra a dessecação.

- **Córion**

Membrana extraembrionária mais externa; envolve o âmnion e no decorrer do desenvolvimento embrionário humano participará da porção fetal da placenta, como veremos mais adiante; rica em vasos sanguíneos embrionários.

- **Vesícula vitelina**

A função dessa estrutura, como o próprio nome diz, é armazenar vitelo, substância nutritiva importante para fornecer alimento ao embrião durante seu desenvolvimento. Nas espécies de animais vertebrados nas quais o ovo é rico em vitelo, a vesícula vitelina é bem desenvolvida, como ocorre nas aves. No caso da espécie humana e da maioria dos demais mamíferos, a vesícula vitelina é bastante reduzida, pois o ovo é praticamente desprovido de vitelo. A vesícula vitelina contém um fluido que atua na transferência seletiva de nutrientes para o embrião, mas a principal estrutura relacionada com a nutrição do embrião é a placenta.

- **Alantoide**

Última membrana extraembrionária a se diferenciar no desenvolvimento embrionário humano surge por volta do 16º dia após a fecundação. A alantoide participa da formação dos vasos sanguíneos do futuro cordão umbilical. Nos demais vertebrados em que a alantoide ocorre, sua função está relacionada ao armazenamento de excreta nitrogenada e trocas gasosas. Na espécie humana e na maioria dos demais mamíferos, as funções da alantoide são supridas pela placenta, pois é por ela que ocorrem as trocas gasosas entre mãe e embrião e a eliminação dos excretas do metabolismo do embrião.

As membranas extraembrionárias na espécie humana e na maioria dos demais mamíferos vivíparos formam-se na fase de blástula. Nos outros vertebrados, elas aparecem mais tarde, durante a organogênese. Esse desenvolvimento precoce nos mamíferos vivíparos, associado à formação da placenta, compensa a ausência do vitelo no ovo, suprindo a necessidade de nutrição extraembrionária desde os primeiros estágios da formação do embrião.

Placenta

A placenta é um órgão de dupla origem: tecidos maternos e membranas extraembrionárias do embrião. No caso da espécie humana, há participação da parede uterina e do córion (derivado das células do trofoblasto).

Pela placenta, a mãe fornece alimento e gás oxigênio para o embrião e este passa para a mãe gás carbônico e outros resíduos de seu metabolismo. Essas trocas são efetuadas por difusão, graças à proximidade entre os vasos sanguíneos da mãe e os do embrião.

É importante frisar que **não** existe continuidade física entre a circulação materna e a embrionária: os vasos sanguíneos da mãe não penetram no corpo do embrião, mas formam lacunas sanguíneas ao redor do tecido fetal da placenta, que é ricamente vascularizado. Os vasos sanguíneos do embrião também não penetram no corpo da mãe.

Colocando em foco

CÉLULAS-TRONCO

Trataremos aqui de um tema envolvendo biotecnologia e que pode conduzir a enormes avanços no tratamento regenerativo de lesões produzidas em tecidos diferenciados (Fig. 1.17). As perspectivas são impressionantes mesmo em prazo relativamente curto: trata-se das células-tronco.

Células-tronco são células indiferenciadas capazes de originar outros tipos celulares de diferentes tecidos do corpo. Existem três categorias de células-tronco: as **totipotentes** ou embrionárias, que são capazes de se diferenciar em qualquer um dos tipos de célula do corpo de um adulto; as **pluripotentes**, que se diferenciam na maioria dos tipos celulares do corpo; e as **multipotentes**, que podem se diferenciar em apenas alguns tipos celulares.

No corpo já formado não existem células-tronco totipotentes. Há, no entanto, células-tronco pluripotentes, como as da medula óssea vermelha, e células-tronco multipotentes, presentes em diversos tecidos.

O cordão umbilical é uma fonte de células-tronco pluripotentes. Embora seja um procedimento ainda caro, há a possibilidade de, assim que o bebê nasce, preservar o cordão umbilical em clínicas especializadas, para a eventualidade futura de tratamento de doenças, como a leucemia.

Células-tronco embrionárias humanas são obtidas do botão germinativo presente no interior de blastocistos, cerca de 5 dias após a fecundação. Essas células são separadas do trofoblasto, desagregadas e cultivadas em meios de cultura que propiciam sua proliferação. Depois de aproximadamente 7 dias nesses meios de cultura, essas células podem ser transferidas para meios de cultura especiais que contêm fatores de diferenciação celular. Esse procedimento, embora não tão simples como aqui explicado, permite a obtenção de diferentes tipos celulares que, uma vez diferenciados, podem ser transferidos para o corpo humano nos locais danificados, visando sua recuperação.

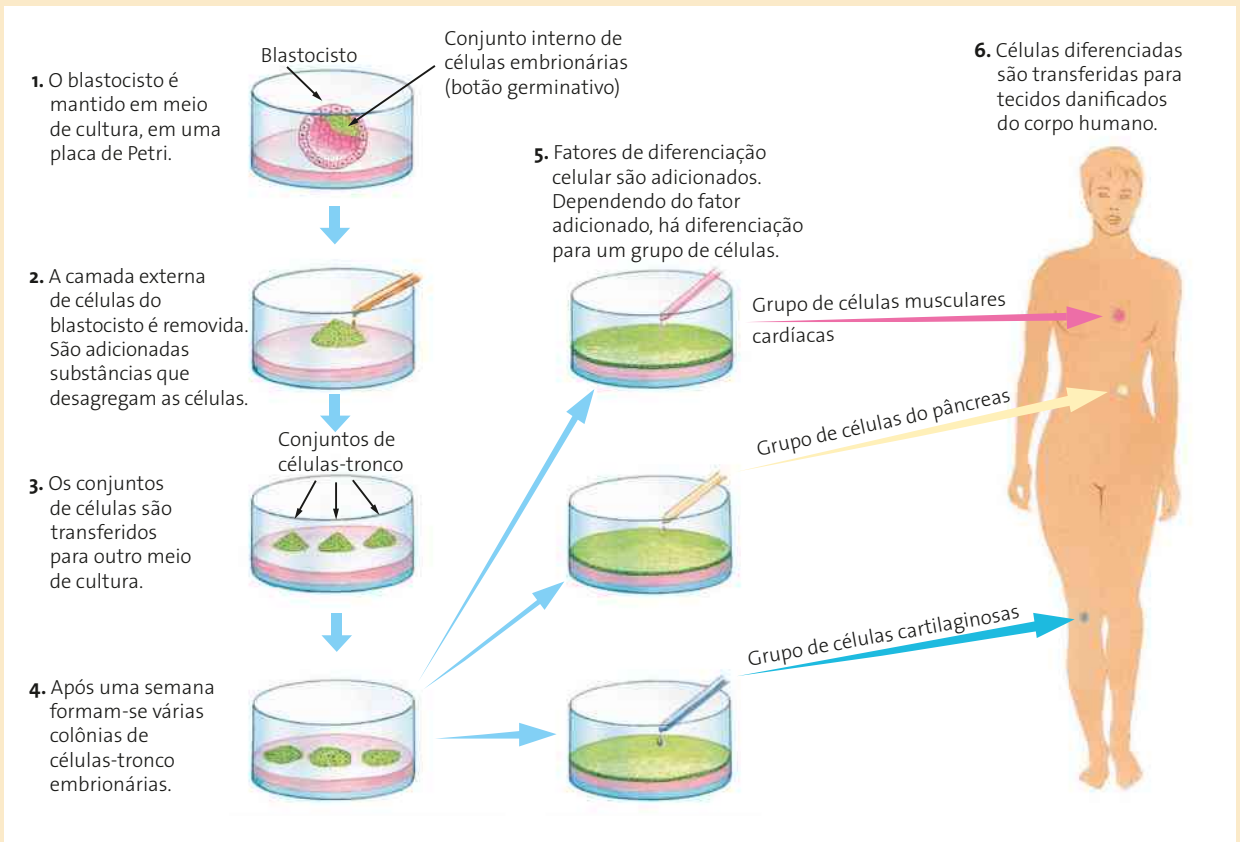


Figura 1.17. Esquema simplificado da obtenção de células-tronco embrionárias e da diferenciação em tecidos. Há grande esforço no desenvolvimento de tratamentos que permitam substituir as células danificadas de diferentes órgãos por células-tronco embrionárias diferenciadas em laboratório. (Elementos representados fora de escala; cores fantasia.)

A grande polêmica em torno das células-tronco embrionárias está na manipulação e destruição de embriões humanos. Estes geralmente provêm de processos de fertilização em laboratório (*in vitro*).

Como na fertilização *in vitro* são formados vários embriões, mantidos congelados em nitrogênio líquido, os que não são utilizados podem ser descartados depois de certo período, com o consentimento do casal. São esses os embriões empregados na obtenção de células-tronco embrionárias para uso em pesquisa científica com finalidades médicas.

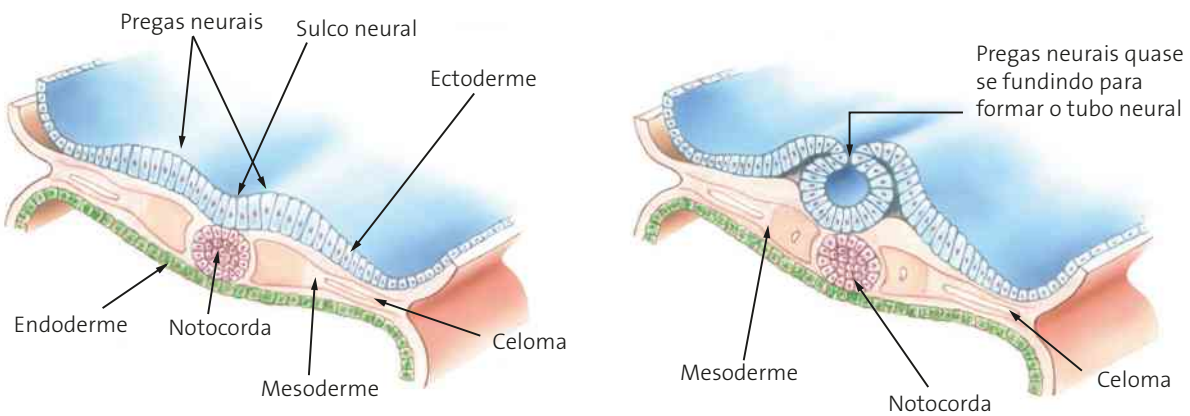
8.2. Organogênese

A partir da quarta semana de gestação tem início a organogênese, fase que termina por volta da oitava semana de gestação. Dizemos, então, que o período embrionário vai da fecundação até a oitava semana de gestação; nessa etapa, utiliza-se o termo **embrião**. A partir daí, o indivíduo em formação passa a ser chamado **feto**. O período fetal vai da nona semana até o nascimento.

Os três folhetos embrionários que surgem na gastrulação especializam-se, dando origem aos diferentes tecidos do corpo.

Logo no início da organogênese, a mesoderme embrionária começa a diferenciação de um bastão flexível que percorre longitudinalmente quase todo o dorso do embrião. Esse bastão é a **notocorda**, um eixo ao redor do qual as vértebras se organizarão, dando origem à coluna vertebral.

A notocorda em desenvolvimento induz a ectoderme sobre ela a se espessar e formar a **placa neural** (Fig. 1.18), tendo início a **neurulação**, uma fase da organogênese.



Jurandir Ribeiro

Fonte: MOORE, K. L.; PERSAUD, T. V. N. *Embriologia básica*. 5. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2000.

Figura 1.18. Esquemas da secção transversal do disco embrionário com cerca de 18 a 20 dias de gestação, mostrando a formação do tubo neural. (Cores fantasia.)

Durante a neurulação, ocorre invaginação ao longo do eixo central da placa neural, formando o **sulco neural**, com pregas laterais (**pregas neurais**) que, por volta do final da terceira semana, estão quase totalmente unidas dorsalmente.

Somente ao final da quarta semana as pregas neurais se fundem, formando o **tubo neural**, que possui um canal interno, o **canal neural**. O tubo neural separa-se da ectoderme da superfície do embrião, que formará a epiderme da pele. Nessa etapa, o corpo do embrião apresenta ectoderme externa, endoderme interna e, entre essas camadas, a notocorda, o tubo neural e os blocos mesodérmicos.

Durante a organogênese também ocorrem modificações na mesoderme e na endoderme.

A mesoderme organiza-se de modo a apresentar três regiões:

- **paraxial** (*para* = ao lado de) ou mesoderme dorsal: localiza-se imediatamente ao lado da notocorda e do tubo neural, que constituem o eixo central longitudinal do corpo. Formará blocos celulares que se repetem ao longo do tubo neural, os **somitos**. Essas células darão origem a muitos dos tecidos do dorso do embrião, como musculatura esquelética, ossos, cartilagens e derme;

- **intermediária**: também tem aspecto segmentado e formará os rins e as gônadas;
- **lateral**: originará as três cavidades celomáticas do corpo do embrião: a pleural (em torno dos pulmões), a pericárdica (em torno do coração) e a peritonial (em torno do estômago e intestinos); formará também o coração.

A endoderme origina os tecidos que revestem dois sistemas tubulares do corpo humano:

- o **tubo digestório**, composto de faringe (que é comum ao sistema respiratório), esôfago, estômago e intestino, com suas derivações: fígado, vesícula biliar e pâncreas (boca e ânus têm origem ectodérmica);
- o **tubo respiratório**, composto de faringe, laringe, traqueia, brônquios e pulmões; tonsilas, timo, glândulas tireóidea e paratireóideas (cavidades nasais têm origem ectodérmica).

A endoderme origina também o tecido de revestimento interno da bexiga urinária e a maior parte da uretra.

À medida que o embrião cresce, o útero cresce também, e há modificações nas membranas extraembrionárias e na placenta.

Por volta do 35º dia, o embrião e as estruturas que o envolvem já estão projetados para a luz do útero. A cavidade amniótica aumenta muito de volume, como pode ser observado na ilustração do 52º dia (Fig. 1.19).

A união do embrião com a placenta é feita pelo cordão umbilical.

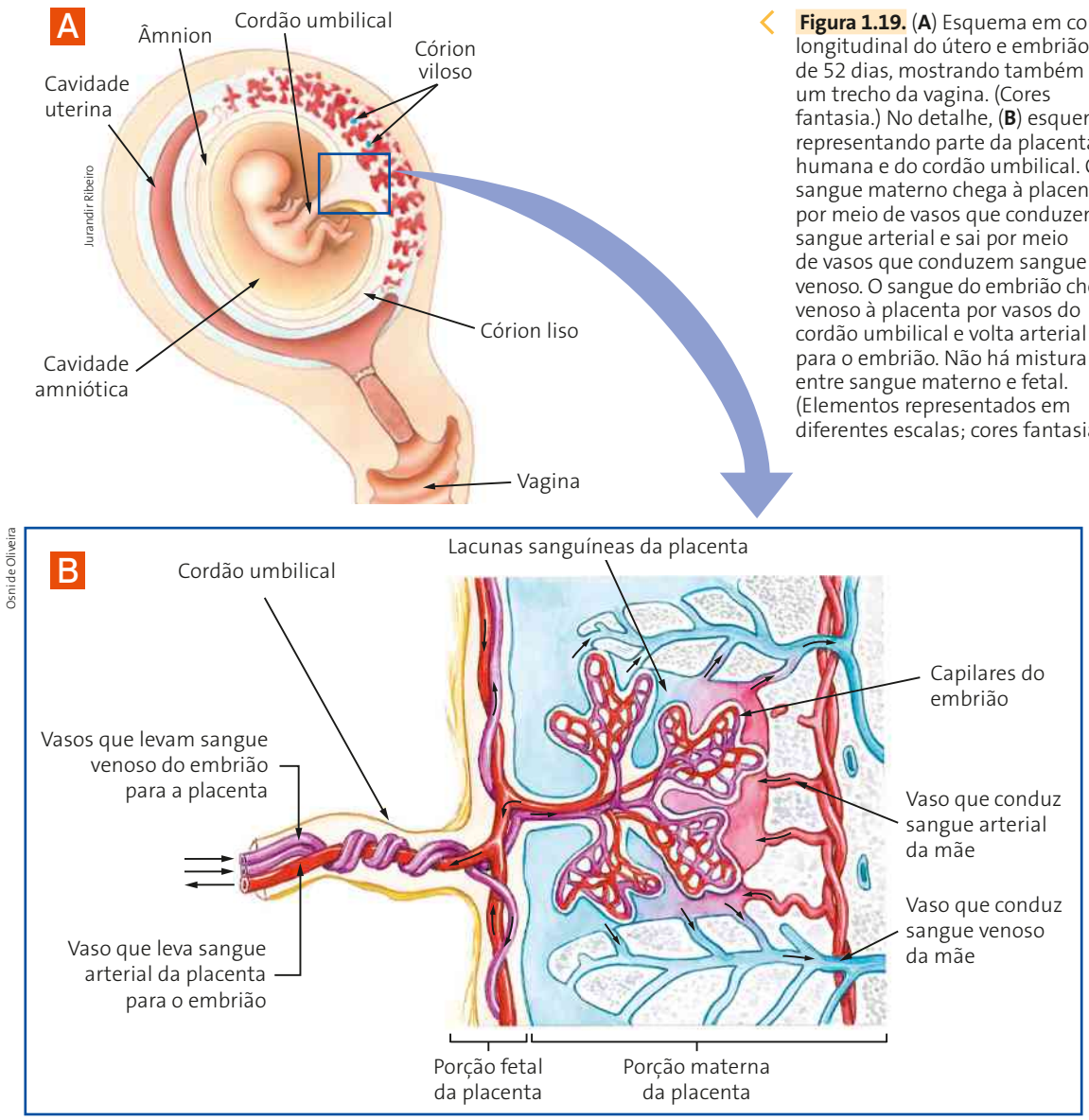
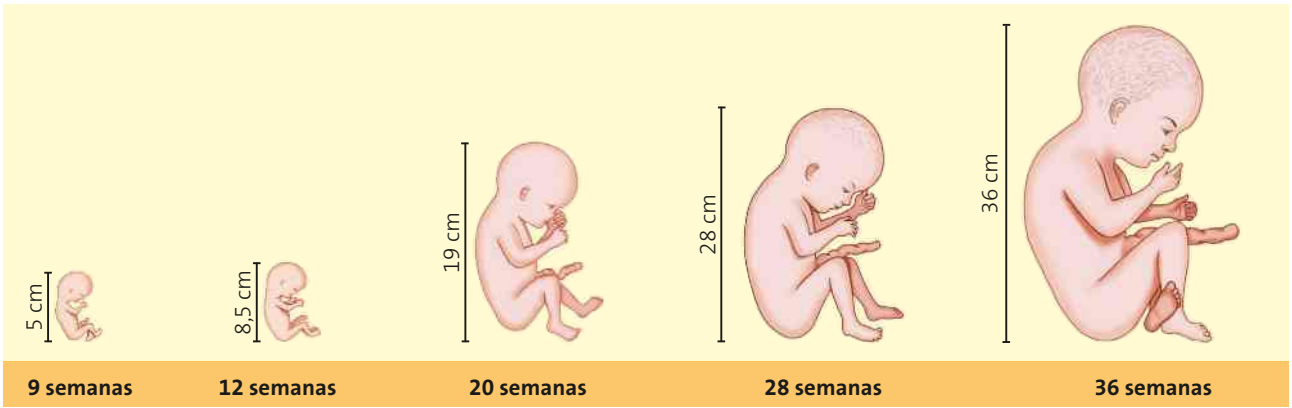


Figura 1.19. (**A**) Esquema em corte longitudinal do útero e embrião de 52 dias, mostrando também um trecho da vagina. (Cores fantasia.) No detalhe, (**B**) esquema representando parte da placenta humana e do cordão umbilical. O sangue materno chega à placenta por meio de vasos que conduzem sangue arterial e sai por meio de vasos que conduzem sangue venoso. O sangue do embrião chega venoso à placenta por vasos do cordão umbilical e volta arterial para o embrião. Não há mistura entre sangue materno e fetal. (Elementos representados em diferentes escalas; cores fantasia.)

Fonte: MOORE, K. L.; PERSAUD, T. V. N. *Embriologia básica*. 5. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2000.

8.3. Da 9ª semana até o nascimento

Da 9ª semana até o nascimento, que ocorre em geral na 38ª semana de gestação, passamos a chamar o indivíduo em formação de feto. Nesse período, verifica-se rápido crescimento do corpo do feto, que tem praticamente todos os seus tecidos, órgãos e sistemas já formados (Fig. 1.20).



Walter Caldeira

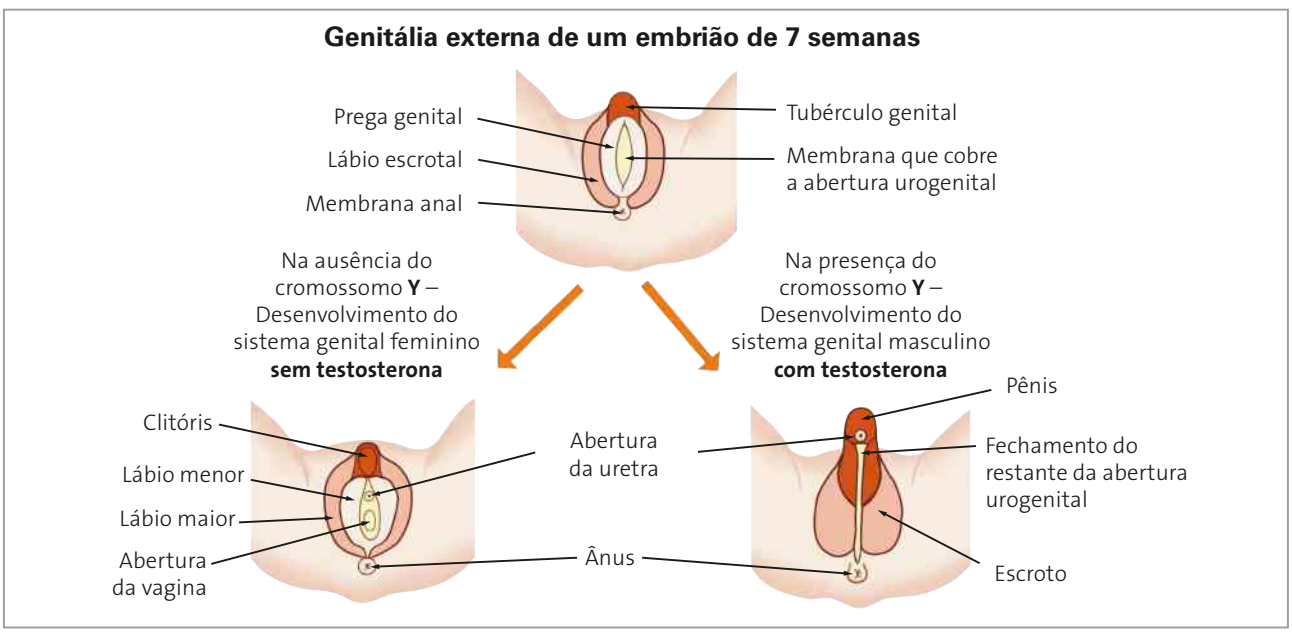
Figura 1.20. Esquema representando períodos do desenvolvimento do feto desde a 9ª até a 38ª semana de gestação. O tamanho indicado ao lado de cada figura corresponde ao comprimento aproximado medido entre a cabeça e a nádega. (Cores fantasia.)

O desenvolvimento de gônadas, ductos genitais e o início da formação da genitália externa ocorrem um pouco antes da 8ª semana de gestação, mas somente a partir da 12ª semana de gestação é possível diferenciar se o bebê em formação é menino ou menina. Veja esse processo de diferenciação da genitália externa na figura 1.21. Note a correspondência entre as estruturas femininas e masculinas.

A diferenciação sexual depende da presença do cromossomo **Y**: estando presente, o bebê é um menino; estando ausente, é uma menina.

O cromossomo **Y** é, assim, fundamental na diferenciação do sexo. Nele há um gene que comanda a síntese de um fator que estimula as gônadas indiferenciadas a se transformarem em testículos. Os testículos diferenciados começam a produzir o hormônio masculino, testosterona, que vai estimular o desenvolvimento da genitália externa masculina: pênis e escroto.

No sexo feminino não há cromossomo **Y**. Nesse caso, não se forma o fator que induz as gônadas primordiais a se diferenciarem em testículos e elas dão origem a ovários. Estes não sintetizam testosterona e, na ausência desse hormônio, diferencia-se a genitália externa feminina: clitóris, lábios maiores e menores, abertura da vagina e da uretra.



Walter Caldeira

Figura 1.21. Esquema da diferenciação da genitália externa no desenvolvimento embrionário. (Cores fantasia.)

9. Gêmeos

Na espécie humana, a maior parte dos casos de gêmeos envolve a gestação de dois indivíduos. Muito raramente, pode ocorrer em uma única gestação o nascimento de três ou mais gêmeos.

Esses casos mais raros acontecem geralmente em mulheres que se submeteram a tratamentos hormonais para engravidar. Os hormônios utilizados nesses tratamentos estimulam a ovulação múltipla, levando a mulher a produzir mais de um ovócito por mês. O nascimento de mais de dois gêmeos é comum também nos casos de mulheres que fazem fecundação *in vitro*, pois mais de um embrião é implantado no útero, visando a aumentar a chance de sucesso de gravidez.

Cerca de 75% dos casos de gêmeos são resultado da liberação de mais de um ovócito II do ovário da mãe, e cada um deles é fecundado por um espermatozoide. Esses são os chamados **gêmeos dizigóticos** (do grego: *dis* = dois; formam-se de dois zigotos distintos) (Fig. 1.22) ou **gêmeos fraternos**. Por serem provenientes de óvulos e espermatozoides diferentes, esses gêmeos não têm o mesmo patrimônio genético. A semelhança entre eles equivale à mesma que se verifica entre irmãos nascidos de gestações distintas, ou seja, eles não são idênticos.

Os restantes 25% dos casos são de **gêmeos monozigóticos** (do grego: *mónos* = um; são provenientes de um único zigoto), também chamados **idênticos** ou ainda **univitelinos**. Esses gêmeos têm a mesma herança genética e são sempre do mesmo sexo.

Jurandir Ribeiro

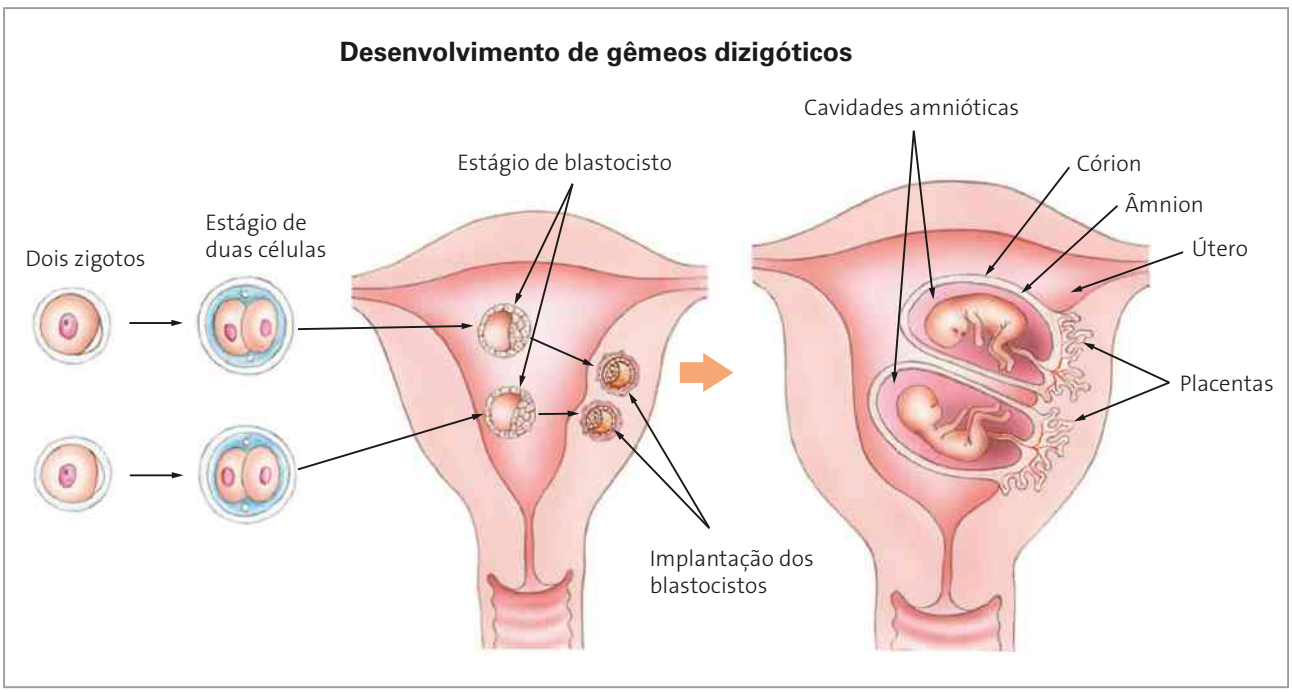


Figura 1.22. Esquema simplificado mostrando como gêmeos dizigóticos se desenvolvem de dois zigotos. (Elementos representados em diferentes escalas; cores fantasia.)

Os gêmeos monozigóticos podem ser formados de três modos principais (Fig. 1.23):

- cerca de 65% dos casos ocorrem pelo fato de o blastocisto conter dois botões embrionários em vez de um só. Cada um desses botões dará origem a um embrião. Nesse caso, como os gêmeos provêm de um único blastocisto que se implantará na parede uterina em um único ponto, a placenta será comum a ambos e há fusão dos córions. Entretanto, cada um dos gêmeos liga-se à placenta por seu próprio cordão umbilical e será envolto por sua própria cavidade amniótica;
- cerca de 35% dos casos decorrem da separação precoce dos blastômeros durante o estágio em que há de duas a oito células. Formam-se dois ou mais blastocistos independentes, que se fixam na parede uterina. Cada um deles terá sua placenta e suas membranas extraembrionárias, mas pode haver fusão secundária dos córions e das placentas;

- em casos extremamente raros, na mesma massa embrionária, dentro do blastocisto, pode ocorrer a diferenciação de dois eixos embrionários. Nesse caso, os gêmeos terão em comum a placenta e o córion, além de estarem na mesma cavidade amniótica; porém, cada embrião terá seu próprio cordão umbilical. Quando a separação dos embriões não é total, surgem os chamados gêmeos siameses, que nascem grudados um ao outro. Essa união pode ser pela cabeça, peito, um dos braços etc. Em certos casos, a separação pode ser feita por meio de cirurgia.

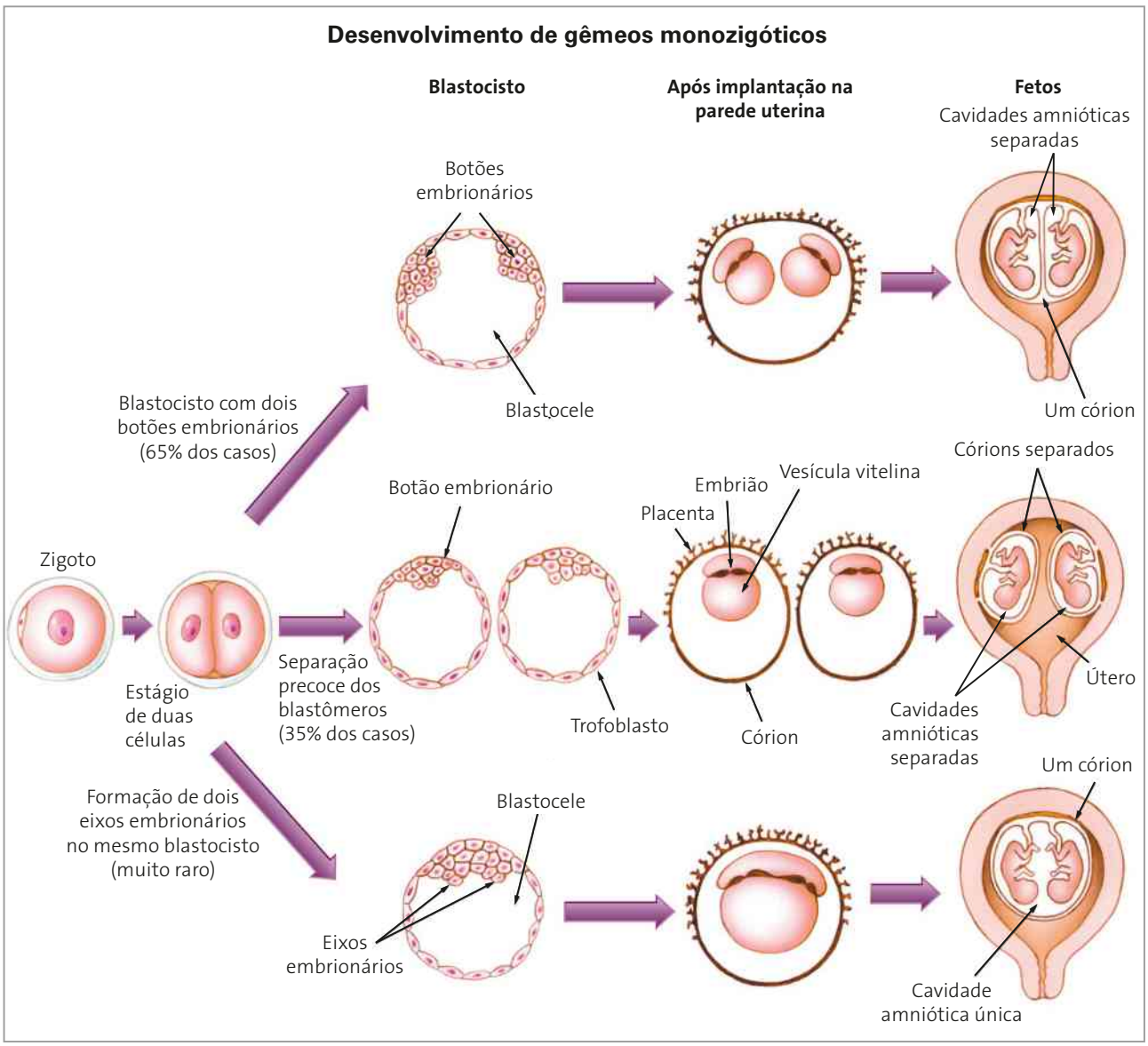


Figura 1.23. Esquema representando como os gêmeos monozigóticos podem ser formados. (Elementos representados em diferentes escalas; cores fantasia.)

10. O nascimento na espécie humana

Em condições normais, perto da data prevista para o nascimento (por volta da 38ª semana de gestação), ocorrem ciclos de contração e relaxamento dos músculos uterinos. Inicialmente esses ciclos são espaçados, mas aumentam em intensidade e frequência à medida que se aproxima o momento do parto. São essas contrações que causam as dores que as mulheres sentem nesses momentos.

Após o início das contrações, em um tempo que varia para cada caso, ocorre o rompimento do âmnion e o líquido amniótico sai pela vagina. Fala-se em rompimento da bolsa.

As contrações uterinas aumentam de intensidade e frequência e, quando atingem certo nível, provocam grande pressão na cavidade uterina, expulsando o feto, que sai pela vagina.

Em um parto sem complicações, a cabeça é a primeira parte do corpo a sair. O cordão umbilical é amarrado e cortado pelo médico, ficando pequena parte dele no corpo do bebê; depois de alguns dias, esse resto do cordão seca e cai, formando o umbigo.

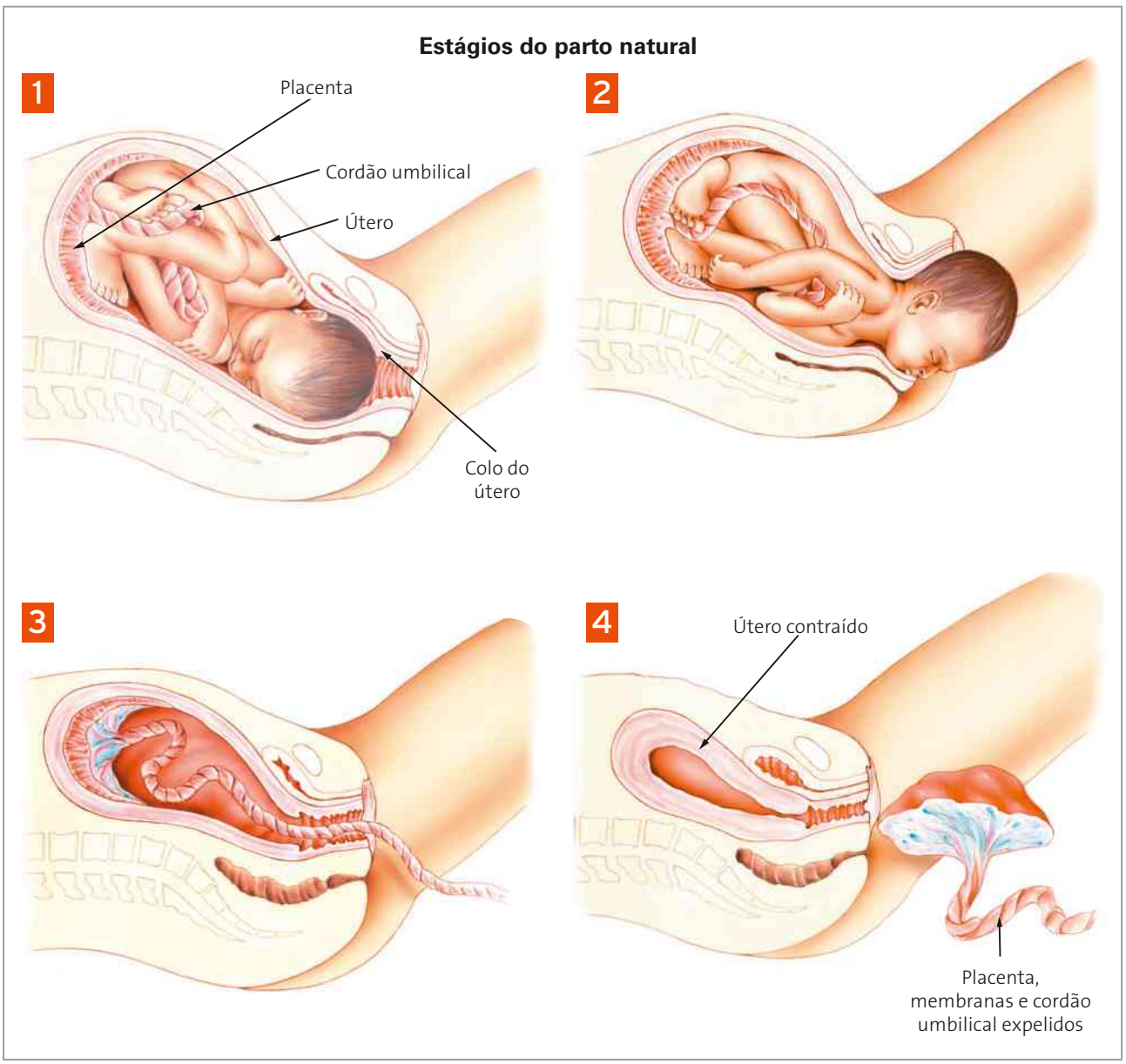
As contrações uterinas prosseguem mesmo após o nascimento do bebê, até a expulsão da placenta.

Esse processo descrito corresponde ao parto natural e está esquematizado na figura 1.24.

Quando o trabalho de parto não evolui bem ou por outras razões médicas, o parto pode ocorrer por **cirurgia cesariana**, uma intervenção cirúrgica no abdômen.

Tenha o bebê nascido por parto normal ou por cesariana, a mãe deve, em condições normais, amamentar seu bebê o mais breve possível após o nascimento. As glândulas mamárias, que aumentaram durante a gravidez, são estimuladas a produzir leite pela sucção do bebê. É esse estímulo que garante a continuidade da amamentação: se ele não for amamentado, as glândulas mamárias deixam de produzir leite, e as mamas reduzem de tamanho.

O leite materno é o melhor alimento para o bebê. Todo esse processo fisiológico de produção do leite materno depende de hormônios que serão estudados em outro capítulo.



Jurandir Ribeiro

Figura 1.24. Esquemas representando os três estágios do parto natural. (Cores fantasia.) **1)** O colo uterino dilata-se durante o primeiro estágio do trabalho de parto. **2)** O feto passa pelo colo uterino e pela vagina durante o segundo estágio do trabalho de parto. **3)** e **4)** Durante o terceiro estágio do trabalho de parto, o útero se contrai e a placenta se dobra e se desprende da parede uterina. A separação da placenta resulta em sangramento e formação de um grande hematoma (massa de sangue). A placenta é expelida e o útero se contrai.

Colocando em foco

POR QUE AMAMENTAR?

Quando um bebê nasce, precisa ser alimentado. Como mamífero que é, precisa de leite.

O leite produzido pela fêmea de cada espécie tem características particulares, propiciando nutrição específica e adequada ao filhote de cada uma dessas espécies. Com o ser humano ocorre o mesmo.

Nos dois ou três primeiros dias após o parto, a mulher ainda não produz leite, mas sim uma secreção amarelada, chamada colostro, rica em enzimas digestivas, vitaminas e substâncias imunizadoras. Entre o 3º e o 6º dia, em geral, a mulher passa a produzir leite, líquido branco, às vezes amarelado, fluido e de sabor adocicado. Sua composição pode variar um pouco, em função do tipo de alimentação materna, mas sua quantidade só escasseia se a nutrição da mãe for acentuadamente comprometida, como em situações de fome.

O leite materno tem a mais equilibrada proporção de gordura, de proteína, de água e de todos os nutrientes necessários ao bebê, na forma ideal para sua absorção. O leite humano contém, além da água, cerca de 1% de proteínas, 4% de gordura, 7% a 11% de lactose, 0,10% a 0,45% de sais. É rico em enzimas e vitaminas e em substâncias imunizadoras. Além de nutrir melhor, pelo aleitamento materno a mãe fornece anticorpos ao bebê, que ainda não tem sua capacidade de imunização completa. Portanto, é uma fonte de defesa contra agressões de germes.



Edson Sato/Pulsar Imagem

Figura 1.25. Indígena Yanomami amamentando filho, na Aldeia de Raita, em Santa Isabel do Rio Negro (AM).

O leite de outros mamíferos pode, às vezes, substituir o leite humano, no caso de este não poder ser administrado. O leite de cabra, por exemplo, se assemelha ao humano. O leite de vaca, no entanto, tem várias diferenças em relação ao leite humano, como os teores de água e de gordura. O tipo de proteína contido nele produz um coágulo de mais difícil digestão para o intestino da criança. Contém um teor elevado de germes e, pela necessidade de fervura ou de outro processo de esterilização, perde enzimas e vitaminas.

A indústria tem procurado produzir leites que se ajustem às necessidades da criança, acrescentando ou retirando substâncias, para que possam ser fornecidos como alimento, sem prejuízo à saúde. Portanto, são leites muito úteis e que podem salvar a vida daquelas crianças que não têm como ser alimentadas por suas mães.

Enquanto amamenta, a mãe toma contato com o filho, aninha-o e lhe faz carinho. Esse contato é muito importante na construção do equilíbrio emocional do bebê.

É por isso tudo que se costuma dizer que amamentar é um ato de amor.

Além disso, muitos estudos demonstram que mulheres que amamentaram seus filhos têm menor risco de desenvolver câncer de mama. Enfim, amamentar é econômico e cômodo, pois basta tomar cuidado com a higiene das mamas, sem precisar aquecer o leite, lavar e esterilizar mamadeiras e bicos.

Texto escrito especialmente para este livro pela médica ginecologista do Hospital das Clínicas da Universidade de São Paulo, Profª. Dra. Ceci Mendes Carvalho Lopes.

Tema para discussão

REGISTRE NO CADERNO

Gravidez na adolescência

Apesar do que frequentemente se propaga, os últimos anos têm assistido a uma redução do fenômeno da gravidez na adolescência no Brasil. A proporção de adolescentes de 15 a 19 anos com filho caiu de 12,6% para 10,7% entre 1996 e 2007 (dados da Pnad [Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios, realizada pelo IBGE]). A gravidez na adolescência é mais comum entre as jovens pertencentes aos estratos de renda mais baixos: 44,2% das meninas de 15 a 19 anos com filhos pertencem à faixa de renda média familiar *per capita* de até 1/2 salário mínimo (SM) – que concentra 26,7% das adolescentes nesta faixa de idade. Dito de outro modo, quase 18% das adolescentes do estrato de renda mais baixo são mães, enquanto no estrato de renda acima de cinco SMs esta proporção não chega a 1%. Contudo, é preciso ter em mente que a gravidez na adolescência não pode ser interpretada da mesma maneira para jovens inseridos/as em diferentes contextos sociais.

Nesse sentido, é preciso considerar que a gravidez nem sempre é indesejada. Pelo contrário, pesquisas qualitativas apontam que muitas vezes tanto a moça quanto o rapaz planejam a gravidez, ou, pelo menos, não se esforçam muito para evitá-la e ficam contentes quando é confirmada. Esses estudos apontam que a opção por ser mãe na adolescência, especialmente entre meninas de classes mais baixas, pode estar relacionada a um projeto de vida pessoal. A adolescente busca construir sua identidade e sentir-se mais adulta, mais mulher e com mais poder tendo seu próprio filho. O projeto de vida profissional, neste caso, pode dar lugar a outro projeto, o de construir uma família ou, pelo contrário, o fato de ter um filho pode reforçar o plano de seguir estudando e buscar ascender socialmente. No caso dos meninos, os estudos apontam que a paternidade está frequentemente relacionada a tornar-se adulto, assumir responsabilidade, de fato "virar homem".

Para as jovens, em geral, o abandono escolar torna-se inevitável. Das meninas com idade entre 10 e 17 anos sem filhos, somente 6,1% não estudavam (Pnad 2007); já entre as meninas com filhos, esta proporção chega a impressionantes 75,7%, sendo que 57,8% das meninas com filhos não estudavam nem trabalhavam, o que evidencia as dificuldades encontradas para engajar-se em alguma atividade fora de casa com um filho pequeno para cuidar.

É preciso ter em mente que o fato de as jovens mais pobres engravidarem e terem filhos em maiores proporções que as jovens mais ricas não pode ser explicado somente em termos de opções distintas de vida, sem que se considerem todo o contexto de vida e as oportunidades apresentadas a estas jovens. A maternidade, neste sentido, pode não se constituir em uma opção de fato, mas, ao contrário, pode ser fruto da ausência de opções e da dificuldade de forjar um projeto de vida para além de ser mãe de família.

Nesse sentido, é possível dizer que existe de fato um problema para as políticas públicas. Diante das contradições existentes e da profusão de preconceitos e estereótipos que surgem quando o tema da gravidez na adolescência é tratado, é preciso encarar a questão do ponto de vista das opções apresentadas aos jovens e de suas escolhas. Se, de certa forma, a escolha de uma jovem em ser mãe não pode ser de antemão criticada, de outra, é fundamental que alternativas sejam apresentadas a esta jovem ao longo de sua vida, de modo que a maternidade não represente a única forma de autoafirmação e construção da identidade. Assim, o fato de a maior parte dos jovens que se tornam pais ter abandonado os estudos parece evidenciar um contexto em que não há perspectiva de continuidade da qualificação visando a melhores inserções profissionais, não há mais vínculos com a escola, isto é, um contexto no qual as opções de construção de uma carreira ou de um caminho para o reconhecimento social pela via profissional são bastante reduzidas.

Por fim, pode-se destacar que o debate da gravidez na adolescência implica também analisar as convenções de gênero existentes em nossa sociedade. No caso da paternidade e da maternidade, as tradicionais convenções de gênero reforçam-se na responsabilidade atribuída ao pai de prover seu filho – e a consequente necessidade de trabalhar e ter renda – e a responsabilidade exclusiva da mãe pelos cuidados cotidianos.

A desconstrução de preconceitos e estereótipos em torno da gravidez na adolescência significa pensar as relações de gênero em um contexto mais amplo de reflexão sobre a vivência da sexualidade na juventude. Contudo, isto deve ocorrer a partir de uma perspectiva renovada, que substitua o olhar moralizante, culpabilizador e amedrontador sobre os jovens pela valorização de seus direitos, entre eles os direitos sexuais e os direitos reprodutivos.

O desafio para o poder público é oferecer políticas eficazes com vistas a evitar gestações indesejadas e conscientizar os adolescentes acerca da importância de vivenciar uma sexualidade saudável, de fazer escolhas consequentes, de prevenir doenças sexualmente transmissíveis, além de repensar os papéis de homens e mulheres e reconstruí-los de maneira mais igualitária.

FONTOURA, N.O. & PINHEIRO, L.S. Gravidez na adolescência. Ipea. Publicado em: maio 2010. Disponível em: <http://www.ipea.gov.br/desafios/index.php?option=com_content&view=article&id=1091:catid=28&Itemid=23>. Acesso em: abr. 2016.

1. Releia o 5º parágrafo do texto e discuta com os colegas as questões: A gravidez na adolescência é uma opção do casal? O vínculo com a educação está relacionado à tomada dessa decisão pelos adolescentes?
2. Em sua opinião, por que o texto afirma que um dos desafios do poder público para solucionar a questão da gravidez na adolescência é "repensar os papéis de homens e mulheres e reconstruí-los de maneira mais igualitária"? Quando uma garota adolescente engravida, você acha que a responsabilidade é igualmente dividida entre a mãe e o pai? Você acha que deveria ser? Discuta essas questões com os colegas, expressando a sua opinião e ouvindo com respeito a deles.
3. Como atividade em grupo, faça uma pesquisa em fontes confiáveis na internet a respeito dos dados estatísticos apresentados no texto: Hoje em dia, a tendência de redução das taxas de gravidez na adolescência persiste? Qual é a proporção de meninas adolescentes sem filhos que tem acesso a estudos? E qual é essa proporção entre meninas adolescentes que têm filhos? Apresente os dados obtidos para a classe e ouça a apresentação dos demais grupos. Se for possível, montem um *blog* da classe, visando discutir os dados obtidos e o tema gravidez na adolescência.

Retomando

Neste capítulo, você aprendeu sobre a reprodução humana. Viu também que o desenvolvimento embrionário é um período de rápidas e intensas transformações, no qual todo o corpo do indivíduo é formado. Em posse desse conhecimento, retome as respostas que deu às questões da seção **Pense nisso**. O que é menstruação? Como são os gametas nos seres humanos? Como ocorrem as interações do embrião e do feto com a mãe durante a gestação? O que são células-tronco e por que há tanta polêmica sobre o estudo dessas células?

Professor(a), veja nas Orientações didáticas os comentários e as respostas das questões dissertativas.

Ampliando e integrando conhecimentos

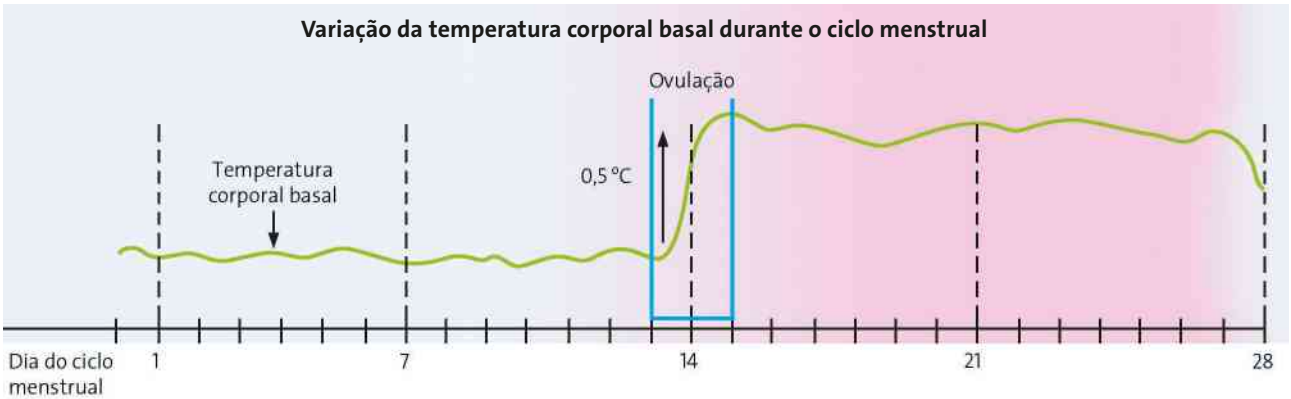
REGISTRE NO CADERNO

Atividade 1 Temperatura corporal e ovulação

Habilidades do Enem: H1, H14, H15, H17.

A técnica da medição da temperatura corporal basal, embora seja pouco precisa como método anticoncepcional, pode ser empregada para se ter uma ideia da época em que ocorre a ovulação. Essa técnica consiste na obtenção da temperatura corpórea com o uso de um termômetro clínico simples, logo ao despertar, antes mesmo de falar, comer ou se levantar da cama (por isso é chamada temperatura basal). Esses cuidados são necessários, pois as variações relevantes são da ordem de décimos de grau Celsius, e qualquer esforço físico pode afetar os resultados. As medidas podem ser feitas com o bulbo do termômetro posto sob a língua, mantendo a boca fechada, ou preso sob a axila, com o braço abaixado. Espera-se dois ou três minutos e faz-se uma primeira leitura. Em seguida, torna-se a colocar o termômetro, desta vez por um minuto, e faz-se a leitura novamente. Se a leitura for idêntica à primeira, então esse é o valor correto. Caso contrário, a operação deve ser repetida. Depois das primeiras medidas, a mulher se acostuma e o procedimento passa a ser mais fácil. A temperatura deve ser monitorada desde o primeiro dia da menstruação até o primeiro dia da próxima menstruação.

Suponha que uma mulher tenha feito esses procedimentos corretamente e tenha obtido o seguinte gráfico:



Fonte: SILVERTHORN, D. U. *Fisiologia humana*: uma abordagem integrada. 5. ed. Porto Alegre: Artmed, 2010.

Esse gráfico é bifásico, pois pode-se notar duas fases de temperatura corporal basal. Elas estão separadas por um curto período em que há rápida elevação da temperatura, correspondente à fase de ovulação.

a) Tomando por base essas informações e o que foi discutido neste capítulo, em quais dias do ciclo essa mulher deveria evitar relações sexuais, visando a contracepção? Se o dia 1 do ciclo menstrual indicado no gráfico corresponder ao dia 12 de abril, quais dias e mês correspondem ao período fértil, no qual pode haver concepção?

b) Suponha agora que uma mulher com cerca de 30 anos de idade também tenha feito corretamente as medidas de temperatura basal, só que obteve uma curva monofásica, sem variação térmica ao longo do ciclo menstrual. Nesse ciclo, essa mulher apresentou problemas no ovário ou na tuba uterina? Explique sua resposta.

Atividade 2 Ácido fólico e normalidade do desenvolvimento do embrião

Habilidades do Enem: H14, H30.

O ácido fólico é uma vitamina recomendada em doses maiores a mulheres que pretendem engravidar. Está comprovada a relação entre a deficiência de ácido fólico e a ocorrência de anomalias na formação do tubo neural, que comprometem seriamente o desenvolvimento do embrião.

Quando a gestante consome alimentos ricos em ácido fólico (ou suplementos receitados pelo médico), este é absorvido diretamente no intestino, caindo na corrente sanguínea. Descreva o caminho que a vitamina percorre desse ponto até chegar às células do embrião.

Testes

REGISTRE NO CADERNO

1. (Enem) A tabela abaixo representa, nas diversas regiões do Brasil, a porcentagem de mães que, em 2005, amamentavam seus filhos nos primeiros meses de vida.

Região	Período de aleitamento	
	até o 4º mês (em %)	de 9 meses a 1 ano (em %)
Norte	85,7	54,8
Nordeste	77,7	38,8
Sudeste	75,1	38,6
Sul	73,2	37,2
Centro-Oeste	83,9	47,8

Ministério da Saúde, 2005.

Ao ingerir leite materno, a criança adquire anticorpos importantes que a defendem de doenças típicas da primeira infância. Nesse sentido, a tabela mostra que, em 2005, percentualmente, as crianças brasileiras que estavam mais protegidas dessas doenças eram as da região:

X a) Norte.

b) Nordeste.

c) Sudeste.

d) Sul.

e) Centro-Oeste.

2. (Unesp) Considere a tabela seguinte, que contém diversas formas de contraceptivos humanos e três modos de ação.

	Modos de ação		
	Impede o encontro de gametas	**Impede a implantação do embrião**	**Previne a ovulação**
I	Camisinha masculina	Dispositivo intrauterino (DIU)	Pílula comum
II	Coito interrompido	Laqueadura tubária	Camisinha feminina
III	Diafragma	Pílula do dia seguinte	Pílula comum
IV	Dispositivo intrauterino (DIU)	Laqueadura tubária	Camisinha feminina
V	Vasectomia	Camisinha masculina	Diafragma

A relação entre tipos de contraceptivos e os três modos de ação está correta em:

a) I, apenas.
b) I e II, apenas.
X c) I e III, apenas.
d) III e IV, apenas.
e) III e V, apenas.

3. (UFG-GO) A idade materna avançada implica em preocupação com a possibilidade do nascimento de bebês com anomalias, porque:

a) os folículos ovarianos entram em atividade, mas, em geral, apenas um cresce e amadurece, enquanto os demais regridem.
X b) os ovócitos maternos permanecem um longo período em divisão meiótica, mais suscetíveis a agentes físicos, químicos e biológicos.
c) as ovogônias maternas interrompem a fase de multiplicação por volta da 15ª semana de vida fetal e transformam-se em ovócitos primários.
d) as gônadas têm células conservadas num estado indiferenciado e, quando estimuladas, iniciam a produção dos gametas.
e) as células do ovário materno sofrem inúmeras divisões mitóticas em resposta aos mecanismos de controle do ciclo celular.

4. (UFMS) Os casos de nascimento de gêmeos, na espécie humana, envolvem duas situações diferentes; na primeira, os gêmeos são referidos como univitelinos e, na segunda, como bivitelinos. Com relação aos gêmeos, é correto afirmar que:

(01) os gêmeos univitelinos são resultantes da bipartição de 1 oócito primário, cujas células resultantes são fecundadas por dois espermatozoides distintos.
(02) os gêmeos univitelinos são resultantes da bipartição de um óvulo, cujas células resultantes são fecundadas por dois espermatozoides distintos.
(04) os gêmeos bivitelinos são resultantes da fecundação de dois óvulos por dois espermatozoides e são sempre de sexos diferentes.
X (08) os gêmeos univitelinos são resultantes da fecundação de um único óvulo por um único espermatozoide, resultando sempre indivíduos do mesmo sexo.
(16) os gêmeos univitelinos são resultantes da bipartição de 1 oócito primário cujas células resultantes são fecundadas por um único espermatozoide.
X (32) os gêmeos bivitelinos são resultantes da fecundação de dois óvulos por dois espermatozoides, podendo resultar em indivíduos do mesmo sexo ou de sexos diferentes.

Resposta: 40 (08 + 32)

5. (UFRN) Considere as seguintes estruturas de um espermatozoide:

I. Acrossomo
II. Retículo endoplasmático rugoso
III. Complexo de Golgi

O caminho percorrido pelas enzimas digestivas responsáveis pela perfuração do óvulo é:

X a) II — III — I
b) II — I — III
c) III — II — I
d) I — II — III

6. (UFRGS-RS) Assinale a afirmativa correta, referente às doenças sexualmente transmissíveis (DST).

a) A sífilis é causada por um protozoário e, se não tratada, pode levar a alterações no sistema nervoso, circulatório e urinário.
b) A gonorreia é causada por um vírus que pode ser tratado com antibióticos.
c) A tricomoníase é provocada por uma bactéria, e sua maior ocorrência é em homens.
X d) A pediculose pubiana é causada por um inseto que provoca coceira na região pubiana.
e) O câncer de colo de útero é causado pelo HPV, e seu avanço pode ser controlado com antifúngicos.

CAPÍTULO

2

Estrutura e função dos tecidos humanos

Kent Wood/CMSP Custom Medical Stock Photo/Newscom/Glow Images

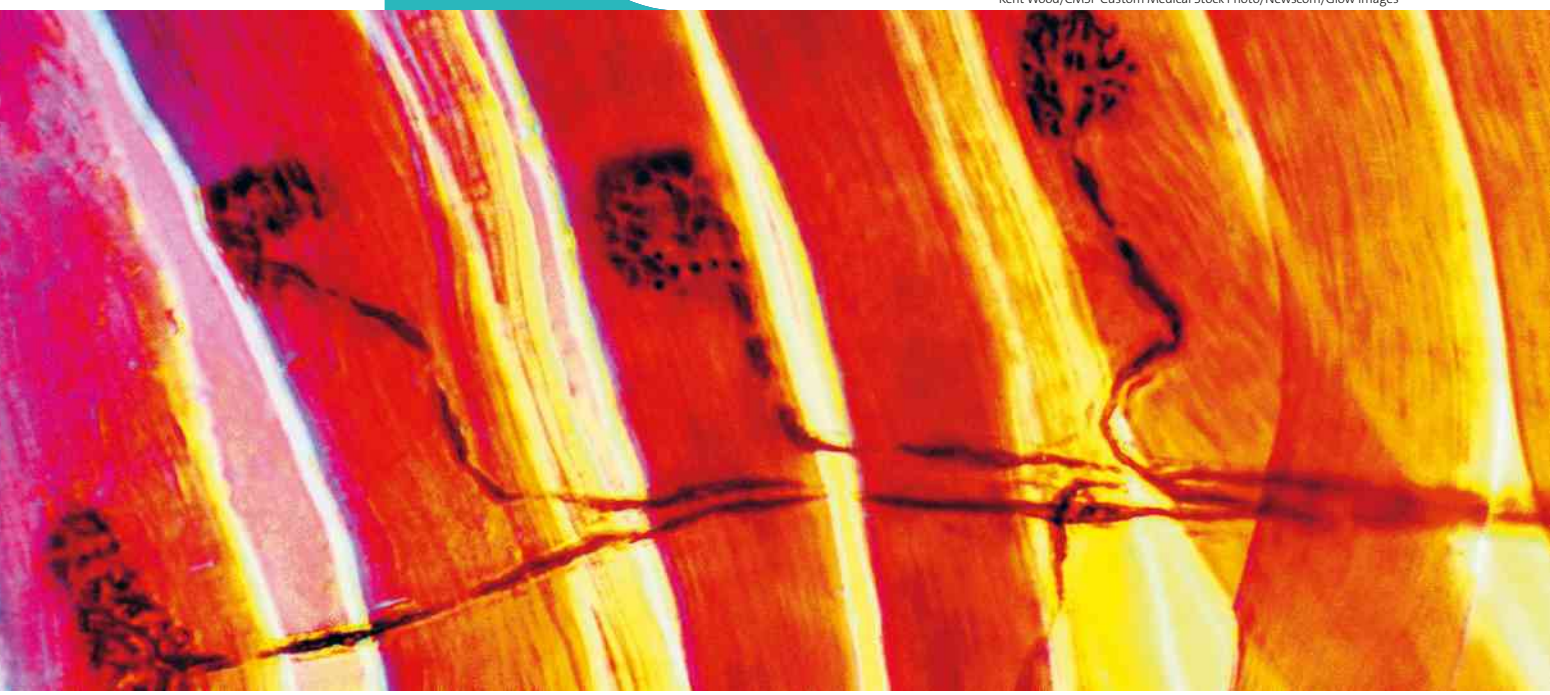


Figura 2.1. A diferenciação celular que ocorre durante o desenvolvimento embrionário gera os inúmeros tecidos de nosso corpo. Eles atuam de modo integrado na realização das diferentes funções que nos mantêm vivos. Esta fotomicrografia corada exemplifica uma dessas interações: a estrutura semelhante a uma "árvore com galhos", em preto, corresponde às terminações de uma célula nervosa que estão em contato com fibras musculares, em vermelho. Em amarelo e cor-de-rosa são vistos tecidos conjuntivos. São os estímulos transferidos por essas terminações que promovem uma resposta nas células musculares. (Aumento de 135 vezes.)

Pense nisso

- O uso do protetor solar é muito importante para proteger nossa pele dos efeitos nocivos dos raios solares. Por outro lado, o banho de sol por curto período de tempo, ao amanhecer ou ao entardecer, é fundamental para o fortalecimento de nossos ossos. Você saberia dizer a relação que há entre banho de sol, pele e ossos? Explique.
- Nossa pele pode apresentar pintas de vários formatos e tamanhos. Há, no entanto, pintas que correspondem a um dos tipos de câncer de pele com maior índice de letalidade: o melanoma. Você sabe como se formam as pintas? E o melanoma?
- Os bebês, ao nascerem, apresentam na cabeça o que se conhece por moleira. Você sabe o que é moleira e por que ela não ocorre no adulto?
- Uma pessoa sentada em uma cadeira, prestando atenção na aula, apresenta movimento em algum músculo do corpo? Se sim, sabe dizer qual? Se não, explique sua resposta.
- O uso do cinto de segurança e o apoio de cabeça do banco do carro são fundamentais para nossa proteção. Em acidentes de carro, uma das preocupações é o movimento brusco da cabeça para frente e depois para trás, que pode levar a lesões em vértebras do pescoço. Dependendo do acidente, a pessoa pode perder a movimentação dos braços e pernas, ficando tetraplégica. Por que uma lesão na região das vértebras do pescoço pode levar à paralisia dos membros citados?

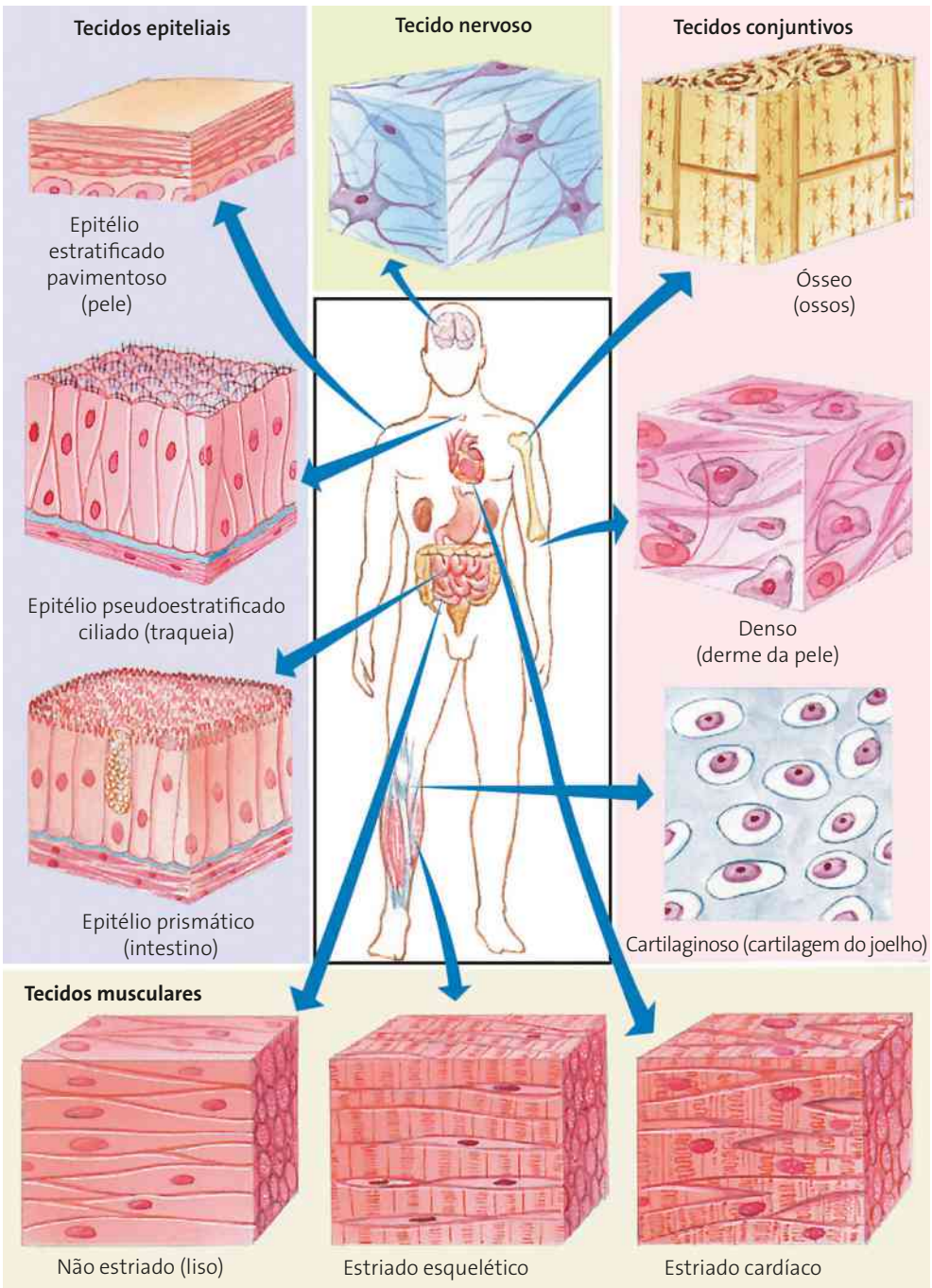
1. Tecidos: objeto de estudo da histologia

Em Biologia, tecidos são conjuntos de células que atuam de forma integrada, de modo a desempenhar funções específicas. Alguns tecidos são formados por células de mesma estrutura, enquanto outros são formados por células com diferentes formas e funções que, juntas, colaboram na realização de uma função geral maior.

O ramo da Biologia que estuda os tecidos e as células que os formam é a **histologia** (*histo* = tecido; *logia* = estudo). Neste livro, daremos atenção ao estudo dos tecidos humanos.

Os tecidos animais podem ser classificados em quatro tipos principais (Fig. 2.2):

- tecidos epiteliais;
- tecidos conjuntivos;
- tecidos musculares;
- tecido nervoso.



Fonte: JUNQUEIRA, L. C.; CARNEIRO, C. *Histologia básica*. 11. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2008.

Figura 2.2. Esquema dos quatro tipos principais de tecidos humanos com alguns exemplos e localização no corpo. (Elementos representados em diferentes escalas; cores fantasia.)

Despertando ideias

Veja nas Orientações didáticas os comentários e as respostas das questões dissertativas.

REGISTRE NO CADERNO

Comparando características dos tecidos do corpo humano

O estudo da histologia é mais prazeroso quando entendemos as funções dos diferentes tecidos, pois há relação entre função e estrutura.

Analise os esquemas apresentados na figura da página anterior e procure descrever características que poderiam ser usadas para agrupar os tecidos representados dentro das quatro categorias mais amplas de tecidos: epitelial, conjuntivo, muscular e nervoso.

Questões

1. O que há em comum entre o tecido epitelial estratificado pavimentoso que ocorre na pele, o pseudoestratificado ciliado que ocorre na traqueia e o tecido epitelial prismático que ocorre no intestino?
2. O que há em comum entre o tecido conjuntivo ósseo presente no osso, o tecido conjuntivo cartilaginoso presente na cartilagem do joelho e o tecido conjuntivo frouxo que ocorre na derme?
3. É possível identificar semelhanças entre os três tipos de tecido muscular? Quais são elas?
4. Como você caracterizaria o tecido nervoso?
5. Procure atribuir a cada tecido uma função, com base no que pode extrair da estrutura e localização no corpo. Retome o que descreveu aqui após o estudo deste capítulo e complemente suas observações.

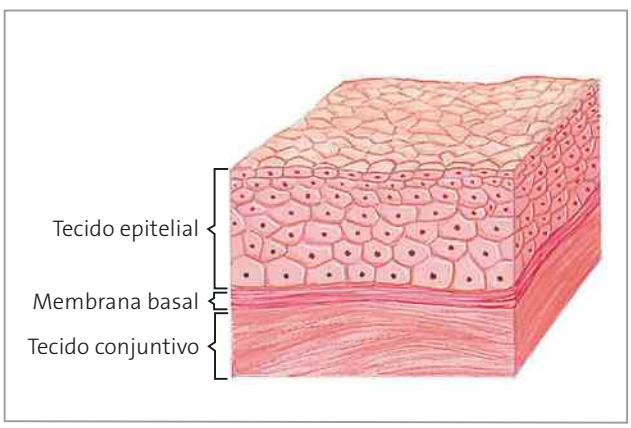
2. Tecidos epiteliais

Os tecidos epiteliais, ou simplesmente **epitélios**, são formados por células dispostas lado a lado (justapostas), firmemente unidas entre si, com pouca substância entre elas (substância intercelular ou matriz extracelular).

Os tecidos epiteliais podem ser originados de um dos três folhetos germinativos do embrião:

- da ectoderme originam-se, por exemplo, a epiderme e os epitélios do nariz, da boca e do ânus;
- da mesoderme origina-se o endotélio, epitélio que reveste os vasos sanguíneos;
- da endoderme originam-se, por exemplo, os epitélios que revestem o tubo digestório (com exceção de boca e ânus) e a árvore respiratória.

Todos os epitélios encontram-se assentados sobre tecido conjuntivo. Entre o tecido conjuntivo e as células epiteliais existe uma estrutura chamada **membrana basal**, rica em colágeno e fibras reticulares. A membrana basal atua como estrutura de suporte do epitélio, fixando-o firmemente ao tecido conjuntivo (Fig. 2.3).



Osni De Oliveira

Figura 2.3. Esquema de corte do epitélio, mostrando a membrana basal. (Cores fantasia.)

Não há vasos sanguíneos nos tecidos epiteliais. Assim, o gás oxigênio e os nutrientes chegam às células desse tecido por difusão, uma vez que essas substâncias saem de capilares (vasos sanguíneos de pequeno calibre) localizados no tecido conjuntivo adjacente aos epitélios. Da mesma forma, resíduos do metabolismo das células epiteliais passam para o tecido conjuntivo adjacente e são removidos pelos capilares.

2.1. Especializações das células epiteliais

As células epiteliais apresentam dois polos: um voltado para uma superfície livre (polo apical) e outro voltado para o tecido conjuntivo (polo basal).

No polo apical de certas células epiteliais podem existir diferenciações relacionadas à função que os epitélios desempenham. As principais diferenciações são os **cílios** e as **microvilosidades** (ou microvilos).

Os epitélios que apresentam células ciliadas são genericamente chamados **epitélios ciliados**. Esse tipo de epitélio é encontrado, por exemplo, na traqueia, onde o batimento ciliar desloca para o exterior do corpo muco com bactérias e partículas de poeira, evitando que elementos estranhos se acumulem nos pulmões.

As microvilosidades ocorrem em epitélios que realizam função de absorção, como o que reveste o intestino. Essas estruturas são projeções da célula em forma de dedos de luva e aumentam a área superficial da célula e, consequentemente, sua área de absorção. As células epiteliais ficam bem unidas entre si, dando aos tecidos epiteliais grande resistência à tração. (Fig. 2.4).

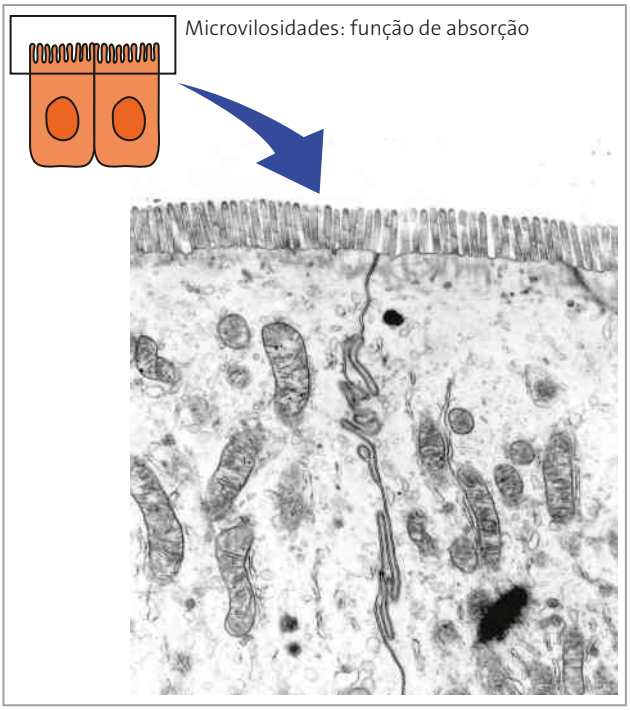


Photo Researchers/Biophoto Associates/Diomedia

Figura 2.4. À esquerda, esquema de células epiteliais com microvilosidades (cores fantasia); à direita, eletromicrografia de transmissão de duas células epiteliais, mostrando as mesmas estruturas (ampliação de 8 360 vezes).

2.2. Classificação dos tecidos epiteliais

Com base em sua estrutura e função, os tecidos epiteliais podem ser classificados em dois grandes grupos: os de **revestimento** e os **glandulares**.

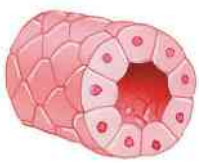
Os epitélios de revestimento delimitam estruturas, fornecem proteção e propiciam trocas controladas entre o exterior e o interior do corpo ou das cavidades. Os epitélios de secreção ou glandulares apresentam função secretora, formando as glândulas.

Tecidos epiteliais de revestimento

Os tecidos epiteliais de revestimento podem ser classificados quanto:

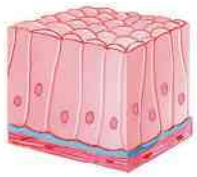
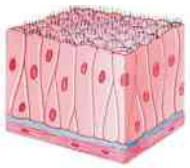
- ao número de camadas celulares: simples, estratificado, pseudoestratificado e de transição;
- à forma das células presentes na camada superficial: pavimentoso, cúbico e prismático.

A tabela a seguir (Fig. 2.5) ilustra e descreve brevemente os principais tipos de epitélio de revestimento.

Classificação dos epitélios	Estrutura e funções
Epitélio simples pavimentoso 	Formado por células achatadas e dispostas em uma única camada. Ocorre em locais do corpo onde a proteção mecânica não é fundamental. É um epitélio que permite passagem de substâncias, sendo encontrado nos alvéolos pulmonares (onde ocorrem as trocas gasosas) e revestindo os vasos sanguíneos e linfáticos. Nesses vasos recebe o nome de **endotélio**. Reveste também as cavidades pericárdica, pleural e peritonial. Nesses casos, recebe o nome de **mesotélio**.
Epitélio simples cúbico (ou cuboide) 	Formado por uma só camada de células cúbicas. Ocorre nos túbulos renais, tendo a função de absorção de substâncias presentes na urina, devolvendo-as para o sangue. Na superfície livre das células, existem invaginações que atuam aumentando a superfície de absorção, de modo semelhante ao que ocorre no caso das microvilosidades. Esse epitélio ocorre também no revestimento externo dos ovários e nos ductos de glândulas, com função de revestimento.

Ilustrações: Osni de Oliveira

Ilustrações: Osni de Oliveira

Classificação dos epitélios	Estrutura e funções
Epitélio simples prismático (ou colunar) 	Formado por uma só camada de células altas, prismáticas. Reveste o estômago e os intestinos. É comum a presença de glândulas mucosas unicelulares. Nos intestinos, a superfície livre das células é rica em microvilosidades, que aumentam a área de absorção. Esses epitélios têm função de proteção, lubrificação, absorção e secreção.
Epitélio pseudoestratificado 	Formado por apenas uma camada de células cujos núcleos estão em alturas diferentes, dando falso (pseudo) aspecto de estratificado, ou seja, de ser formado por mais de uma camada de células. Ocorre na cavidade nasal, na traqueia e nos brônquios, onde possui cílios e glândulas mucosas unicelulares. O muco aglutina partículas estranhas que penetram no corpo pelas vias aéreas, e os cílios transportam o material para fora.
Epitélio estratificado pavimentoso 	Formado por várias camadas de células, das quais apenas as células das camadas mais inferiores possuem capacidade de divisão celular (mitose). As funções desse epitélio são de proteção mecânica e de proteção contra a perda de água. Ocorre em áreas de atrito, como na pele e nas mucosas bucal e vaginal. Pode ser queratinizado (epiderme) ou não; neste último caso, ocorre na boca, esôfago, vagina e canal anal.
Epitélio estratificado de transição 	Modificação especial do epitélio estratificado pavimentoso, em que o número de camadas celulares e as formas das células variam de acordo com a distensão do órgão. Ocorre revestindo a bexiga urinária e ureteres.
Epitélio estratificado prismático colunar 	Ocorre na conjuntiva ocular, nos grandes ductos excretores das glândulas salivares e na maior parte da uretra. Exerce basicamente função de proteção.

Fonte: JUNQUEIRA, L. C.; CARNEIRO, C. *Histologia básica*. 11. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2008.

Figura 2.5. Tabela apresentando a estrutura e a função dos principais tipos de epitélio de revestimento na espécie humana. (Todas as representações são esquemas em cores fantasia.)

Colocando em foco

RENOVAÇÃO E TRANSFORMAÇÃO DOS EPITÉLIOS

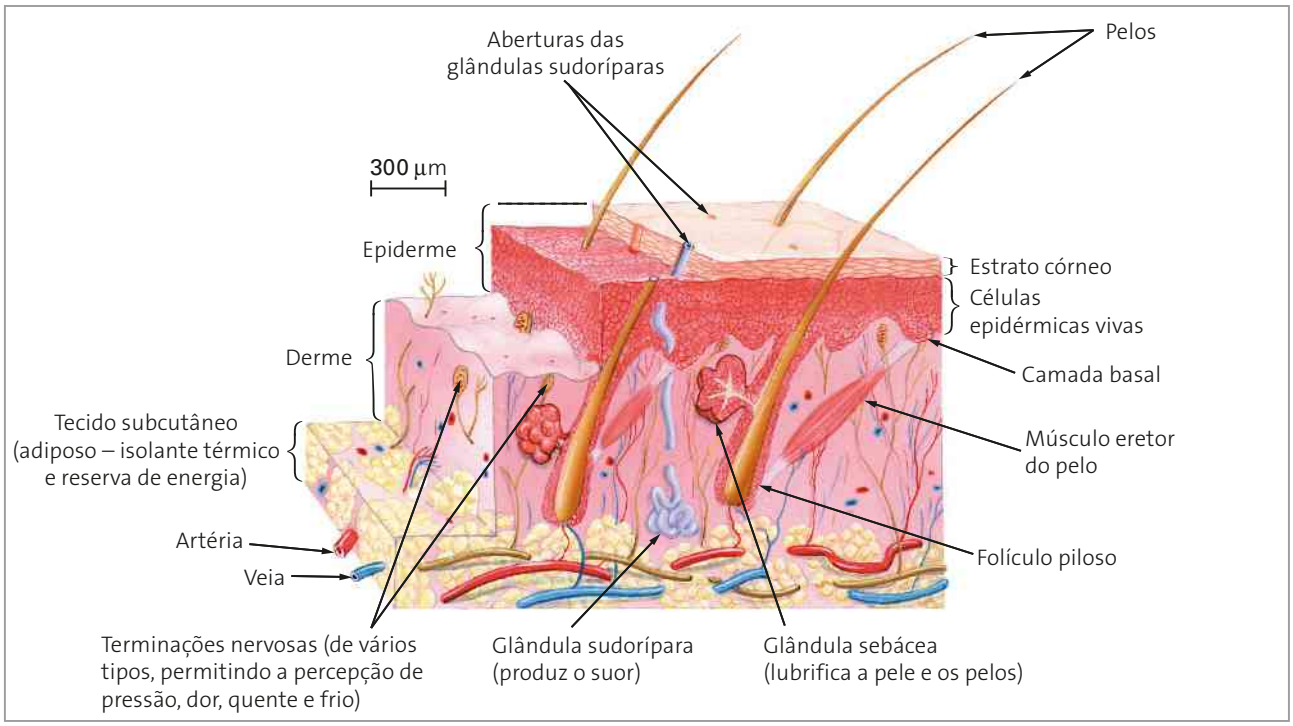
A mitose é um processo frequente nas células epiteliais, que têm vida curta e precisam ser constantemente renovadas. A velocidade dessa renovação varia de epitélio para epitélio. As células que se renovam mais rapidamente são as do epitélio intestinal: entre 2 e 5 dias são substituídas por células novas. As que se renovam mais lentamente são as células do pâncreas, que demoram cerca de 50 dias para serem substituídas.

Na pele, a renovação da epiderme ocorre em média a cada 30 dias. No couro cabeludo, pode ocorrer uma disfunção em que a descamação de parte da epiderme acontece a cada 3 ou 4 dias.

Assim como outros tecidos, os epitélios podem sofrer metaplasia, que é a substituição patológica de um tipo de tecido por outro. No caso de fumantes crônicos, por exemplo, o epitélio pseudo estratificado ciliado da traqueia e dos brônquios pode se transformar em pavimentoso pela ação irritante dos elementos presentes na composição do cigarro. Essa transformação altera a função desses órgãos, trazendo prejuízos à saúde.

Um exemplo de epitélio de revestimento: a epiderme

A epiderme é um epitélio pavimentoso estratificado de origem ectodérmica, que reveste todo o corpo humano. Ela faz parte da **pele** (Fig. 2.6), que é o maior órgão do corpo humano, representando cerca de 16% do peso de uma pessoa adulta. Nesta obra, optamos por não falar da crista neural, que deriva da ectoderme. Vários tecidos do corpo derivam da crista neural, como é o caso da derme da cabeça e do pescoço, que não têm origem da mesoderme.



Osni de Oliveira

Figura 2.6. Esquema da estrutura da pele humana, representada em corte. A epiderme, as terminações nervosas, os pelos e as glândulas sebáceas e sudoríparas são de origem ectodérmica. Já a derme, os músculos e o tecido adiposo são de origem mesodérmica. A principal função da derme é nutrir a epiderme, pois é rica em vasos sanguíneos. (Cores fantasia.)

A epiderme atua como uma estrutura que protege o corpo do atrito, da dessecação e da entrada de microrganismos. Ela possui de dez a trinta camadas celulares que, juntas, têm a espessura aproximada de uma folha de papel.

As células da epiderme são repostas continuamente por mitose, que é um processo frequente na camada celular em contato direto com a camada basal. As novas células originadas da reposição são empurradas para a superfície e passam a sintetizar queratina (uma proteína insolúvel em água). Essas células perdem o núcleo, acabam morrendo e formam o **estrato córneo**, que constitui a camada mais externa da epiderme que descama aos poucos.

O estrato córneo atua como impermeabilizante e protege as células vivas das camadas mais internas da epiderme, sendo mais espesso nas regiões do corpo onde o atrito é maior, como a sola do pé.

A epiderme apresenta também outros tipos de célula, como os melanócitos.

Os **melanócitos** se integram à composição da pele entre a 12ª e a 14ª semana de gestação. São células grandes que produzem melanina, pigmento marrom-escuro que tem função protetora contra a ação dos raios ultravioleta. Esse pigmento atua como um dos fatores responsáveis pela cor da pele: quanto maior a quantidade de melanina, mais escura será a pele, ocorrendo o mesmo com os pelos. Graças a essa característica protetora da melanina contra a radiação, indivíduos de pele muito clara, portanto com pouca melanina, possuem maior sensibilidade aos efeitos nocivos dos raios solares.

Quando ficamos expostos aos raios solares, nossa pele escurece em razão de dois fatores principais:

- primeiro, os raios solares atuam sobre a melanina já existente e provocam seu escurecimento;
- segundo, ocorre a intensificação da síntese de melanina.

A cor da pele também depende de outro pigmento chamado **caroteno**, que é alaranjado e fica acumulado no tecido adiposo subcutâneo.

Além da melanina e do caroteno, a cor da pele depende ainda da disposição dos vasos sanguíneos na derme. Quanto mais superficiais e dilatados forem os vasos, mais escura será a pele. Em algumas regiões do corpo a influência desses elementos é mais marcante, como ocorre com a cor dos lábios, que é mais escura que a da face.

Colocando em foco

COMO EVITAR O CÂNCER DE PELE?

No Brasil, o câncer mais frequente é o de pele, correspondendo a cerca de 25% de todos os tumores diagnosticados. A radiação ultravioleta natural, proveniente do Sol, é o seu maior agente causador. O tipo mais grave de câncer de pele, o melanoma, corresponde a 4% dos casos. Ele tem origem nos melanócitos que se dividem formando pintas com aspecto bem característico, identificadas pelo chamado ABCD das pintas. Analise as fotografias e esquemas das figuras 2.7, 2.8, 2.9 e 2.10.

Todas as pintas se devem a um número maior de melanócitos em determinados pontos da pele; em geral, as pintas não são malignas. Observá-las é importante e, se uma delas for sugestiva de melanoma, deve-se procurar rapidamente atendimento médico.

O melanoma é curável se detectado em estágios iniciais e removido. Caso contrário, a letalidade é muito alta em razão da capacidade de os melanócitos migrarem pelo corpo com possibilidade de metástase. As pessoas de pele clara que vivem em locais de alta incidência de luz solar são as que apresentam maior risco.

Considerando-se que os danos provocados pelo abuso de exposição ao Sol são cumulativos, é importante que cuidados sejam tomados desde a infância.

Para a prevenção não só do câncer de pele como também das outras lesões provocadas pelos raios ultravioleta (UV), é necessário evitar a exposição ao sol, sem proteção. É preciso usar filtros durante atividades ao ar livre, bem como chapéus, guarda-sóis e óculos escuros, além de evitar a exposição em horários em que os raios UV são mais intensos, ou seja, das 10 às 14 horas.

A





Figura 2.7. Assimetria: uma metade não se parece com a outra.

B





Figura 2.8. Borda irregular: borda recortada ou com fraca definição.

C





Figura 2.9. Cor variada: sombras marrons, pretas, às vezes brancas ou vermelhas.

D



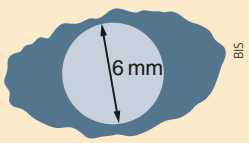


Figura 2.10. Diâmetro mais largo: 6 mm como regra (diâmetro de um lápis).

Tecido epitelial glandular

As glândulas podem ser unicelulares, como a célula ou glândula caliciforme (Fig. 2.11), que produz o muco presente em abundância no epitélio da traqueia e do intestino grosso, ou multicelulares (Fig. 2.12), caso da maioria. O produto da atividade glandular é denominado secreção, que pode ser mucosa (espessa e rica em muco), serosa (fluida e rica em proteínas) ou mista (mucosa e serosa).

As glândulas multicelulares ficam sempre imersas em tecido conjuntivo, dele recebendo nutrientes e oxigênio. Formam-se da proliferação de células epiteliais de revestimento que penetram no tecido conjuntivo.

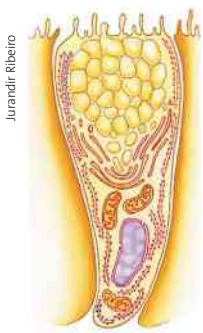


Figura 2.11. Esquema de glândula caliciforme (unicelular) — a secreção que produz é mucosa. (Cores fantasia.)

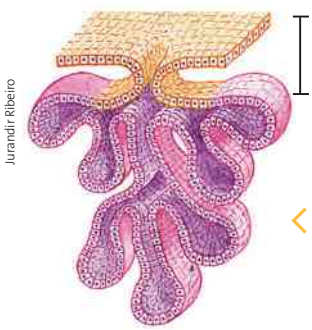


Figura 2.12. Esquema de parte de uma glândula salivar (multicelular) — a secreção que produz é mista: mucosa e serosa. (Cores fantasia.)

Há dois tipos de glândulas multicelulares: as **endócrinas** e as **exócrinas**. Existe, entretanto, uma glândula no corpo humano que possui tanto regiões endócrinas como regiões exócrinas: o pâncreas, por isso classificado como glândula mista.

- **Glândulas exócrinas**: apresentam a porção secretora associada a ductos que se abrem para o interior de cavidades do corpo (como as glândulas salivares, que eliminam a saliva na cavidade bucal) ou para fora do corpo (como ocorre com as glândulas sudoríparas, que eliminam o suor). Outros exemplos: glândulas mamárias, sebáceas e lacrimais.
- **Glândulas endócrinas**: apresentam a porção secretora, porém não apresentam ductos, sendo a secreção eliminada para os vasos sanguíneos localizados nas proximidades da glândula. As secreções das glândulas endócrinas são denominadas **hormônios** e atuam especificamente em determinados órgãos. Uma mesma glândula endócrina pode produzir mais de um hormônio, mas cada um deles tem atuação específica sobre o órgão-alvo. Exemplos: hipófise, glândulas tireóidea e paratireóideas, timo, glândulas adrenais, pineal, testículos e ovários.
- **Glândula mista**: apresenta regiões endócrinas e exócrinas. É o caso do pâncreas, cuja maior parte do volume é formada por vários conjuntos secretores exócrinos, que produzem o suco pancreático. Este é lançado no duodeno, onde participa da digestão dos alimentos. Imersas na parte exócrina do pâncreas existem verdadeiras ilhas endócrinas, denominadas ilhas pancreáticas (ou ilhotas de Langerhans). Elas produzem a insulina e o glucagon, dois hormônios que atuam regulando a taxa de glicose no sangue.

3. Tecidos conjuntivos

A maioria dos tecidos conjuntivos tem origem mesodérmica. As principais exceções são os tecidos conjuntivos da face e da pele da cabeça e do pescoço, que se originam de células inicialmente derivadas da ectoderme.

Os tecidos conjuntivos caracterizam-se morfologicamente por apresentarem diversos tipos de células imersas em grande quantidade de material extracelular ou **matriz**, que é sintetizado pelas próprias células do tecido.

A substância extracelular é constituída por uma parte não estruturada, chamada **substância fundamental amorfa** (**SFA**) ou simplesmente substância fundamental, e uma parte fibrosa, de natureza proteica, que são as **fibras do conjuntivo**.

Os diferentes tipos de tecido conjuntivo estão amplamente distribuídos pelo corpo, podendo desempenhar funções de preenchimento de espaços entre órgãos, de sustentação, de defesa e de nutrição.

A classificação desses tecidos baseia-se na composição de suas células e na proporção relativa entre os elementos da matriz extracelular.

Os principais tipos de tecido conjuntivo são: **frouxo**, **denso**, **adiposo**, **reticular** ou hemocitopoético, **cartilaginoso** e **ósseo**.

Professor(a), veja nas Orientações didáticas uma leitura sobre o escorbuto e as fibras do tecido conjuntivo.

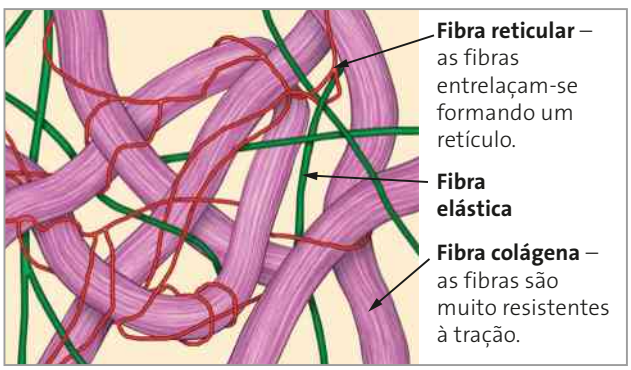
3.1. Tecido conjuntivo frouxo

O tecido conjuntivo frouxo preenche espaços não ocupados por outros tecidos, apoia e nutre células epiteliais, envolve nervos, músculos e vasos sanguíneos e linfáticos. Também faz parte da estrutura de muitos órgãos e desempenha importante papel em processos de cicatrização.

No primeiro parágrafo deste item, estamos nos referindo à crista neural, que deriva da ectoderme.

É o tecido de maior distribuição no corpo humano. Sua substância fundamental é viscosa e muito hidratada. Essa viscosidade representa, de certa forma, uma barreira contra a penetração de elementos estranhos no tecido.

As fibras desse tecido estão frouxamente unidas entre si e podem ser de três tipos: elásticas, reticulares e colágenas (Fig. 2.13).



Conceitograf

Figura 2.13. Esquema das fibras do tecido conjuntivo. (Cores fantasia.)

As **fibras elásticas** são formadas por proteínas fibrosas chamadas **elastina** e recebem esse nome em razão de sua boa elasticidade.

As **fibras colágenas** são formadas pela proteína filamentosa chamada **colágeno** e são muito resistentes à tração.

As **fibras reticulares** também são formadas por colágeno, mas são mais finas e podem se ramificar. Recebem esse nome porque se entrelaçam formando um retículo.

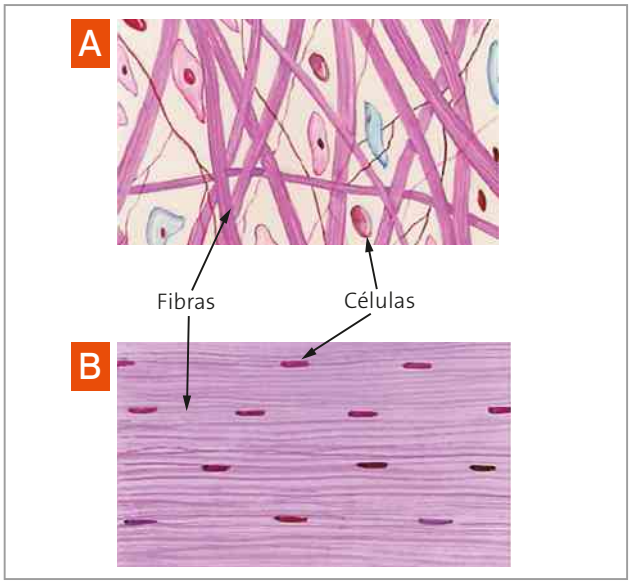
Os principais tipos celulares encontrados no tecido conjuntivo são os **fibroblastos**, que produzem as fibras e

a substância fundamental, e os **macrófagos**, células com grande capacidade de fagocitose, que capturam e digerem bactérias e outros elementos estranhos ao tecido.

3.2. Tecido conjuntivo denso

No tecido conjuntivo denso (Fig. 2.14) há predomínio de fibroblastos e de fibras colágenas. Dependendo do modo de organização dessas fibras, esse tecido pode ser classificado em:

- **não modelado**: formado por fibras colágenas dispostas em feixes que não apresentam orientação fixa. Um exemplo é a derme, tecido conjuntivo da pele;
- **modelado**: formado por fibras colágenas dispostas em feixes com orientação fixa, dando ao tecido características de maior resistência à tensão do que a dos tecidos não modelado e frouxo. Ocorre nos tendões.



Ilustrações: Osni de Oliveira

Figura 2.14. Esquemas de tecido conjuntivo denso não modelado (**A**) e modelado (**B**). (Elementos representados em diferentes escalas; cores fantasia.)

3.3. Tecido conjuntivo adiposo

Nesse tecido a substância intercelular é reduzida e as células são ricas em lipídios, por isso chamadas de **células adiposas**. Ocorre principalmente sob a pele, exercendo funções de reserva de energia, proteção contra choques mecânicos e isolamento térmico. Ocorre também ao redor de alguns órgãos, como rins e coração.

Colocando em foco

TECIDO ADIPOSO E SUAS VÁRIAS FUNÇÕES

De acordo com o Ministério da Saúde, 20% dos adolescentes e 48% da população brasileira estão acima do peso recomendado para a idade e a altura. Nesse cenário, os adolescentes representam um grupo de risco para problemas de saúde: estima-se que a prevalência de sobrepeso entre adolescentes no Brasil tenha triplicado – passou de 4% para 13% – na última década.

O aumento da obesidade se deve a inúmeros fatores, desde genéticos a comportamentais, como o desenvolvimento de novos hábitos alimentares ligados à modernização das sociedades. Assim, torna-se cada vez mais necessária a compreensão dos fatores que comprometem o controle do peso corporal. De nossos antepassados, herdamos genes que promovem a reserva de gordura em nosso corpo, o que era muito valioso em um período em que comer dependia da caça e da procura por alimento, nem sempre disponível. Assim, o metabolismo econômico tornou-se um fator de adaptação a essas condições, e isso perdura até os dias de hoje, apesar de nosso modo de vida ter mudado muito desde os tempos dos nossos antepassados.

Nosso corpo, quando sente que está sem receber alimento, libera substâncias que reduzem o metabolismo de forma a economizar energia e armazenar gordura, prevendo um período sem alimentos. Por isso, recomenda-se que sejam feitas pequenas ingestões de alimento a cada 3 horas, de modo a manter o metabolismo mais ativo e a reduzir problemas de excesso de peso.

A questão da obesidade tem que ser tratada sem preconceitos, entendendo que há múltiplos fatores envolvidos. Quanto mais cedo nos conscientizarmos disso, melhor.

Estudos recentes apontam que controlar o peso na adolescência é mais fácil do que na idade adulta; em adolescentes, a partir de uma redução de 8% da massa corporal, já é possível manter a fome sob controle e desfazer as alterações metabólicas causadas pela obesidade, como diabetes tipo 2, hipertensão, câncer, problemas nos rins, no pâncreas e no fígado, além de dificuldade para dormir. Em adultos, a perda de peso é mais difícil e há necessidade de se perder de 10 a 20% da massa corporal para obter o mesmo resultado.

Esses valores estão relacionados a um hormônio produzido pelas células adiposas e que atua no controle do apetite. Esse hormônio, descoberto em 1995, recebeu o nome de leptina (do grego: leptos = magro) e atua no hipotálamo (região do encéfalo). A leptina promove a redução da ingestão de alimentos e o aumento do gasto energético, além de incrementar o metabolismo de glicose e de gorduras.

Inicialmente, esses dados levaram a pensar que a leptina poderia ser usada no tratamento da obesidade. No entanto, verificou-se que a maioria dos obesos é resistente aos efeitos desse hormônio, pois não apresentam seu receptor no hipotálamo. Tanto a produção de leptina como a desse receptor são condições hereditárias. Assim, pode-se dizer que há indivíduos com predisposição genética à magreza e os que apresentam fatores genéticos que contribuem para uma possível obesidade.

As células adiposas têm vida longa e não se dividem. Mas, quando acumulam gordura até o máximo possível, enviam um sinal para que células indiferenciadas próximas ao tecido adiposo comecem a se dividir e a se transformar em mais adipócitos.

Outra condição que tem sido considerada importante na avaliação de riscos a doenças cardíacas e a diabetes tipo 2 é o modo como a gordura está distribuída no corpo. A tendência a ter um ou outro formato de corpo também é hereditária e, atualmente, os pesquisadores consideram essa distribuição de gordura mais um dos fatores a ser considerado na avaliação de riscos à saúde. A gordura abdominal pode aumentar o risco de hipertensão, diabetes e doença cardíaca. Assim, pessoas magras ou com peso ideal de acordo com o índice de massa corporal (IMC), mas que têm a barriga acentuada, devem ficar alertas. O IMC baseia-se somente na altura e no peso, sem levar em consideração a forma do corpo. O melhor a fazer, além de determinar o IMC, é medir o diâmetro da cintura: nos homens, deve ficar abaixo de 102 cm, e nas mulheres abaixo de 89 cm.

Elaborado com base em: FIORAVANTI, C. Grandes ganhos com pequena perda de peso. *Revista Pesquisa Fapesp*, ed. 209, jul. 2013. Disponível em: <http://revistapesquisa.fapesp.br/2013/07/12/grandes-ganhos-com-pequena-perda-de-peso>. Acesso em: abr. 2016.

3.4. Tecido conjuntivo reticular

O tecido conjuntivo reticular é constituído por fibras e células reticulares. Tais elementos compõem uma delicada trama, que dá suporte a células formadoras de células do sangue.

O tecido reticular pode ser encontrado nos órgãos que têm função hemocitopoética (que forma as células do sangue), representados pela medula óssea vermelha e órgãos linfáticos: tonsilas (amígdalas), timo, baço e linfonodos (gânglios linfáticos).

3.5. Tecido conjuntivo cartilaginoso

O tecido cartilaginoso ou simplesmente **cartilagem** apresenta consistência firme, mas não é rígido como o tecido ósseo. Tem função de sustentação, reveste superfícies articulares facilitando os movimentos e é fundamental para o crescimento de ossos longos.

Nas cartilagens não há nervos nem vasos sanguíneos. A nutrição das células desse tecido ocorre por difusão, uma vez que as substâncias nutritivas, o gás oxigênio e os resultados de processos metabólicos dessas células são transportados por vasos sanguíneos do tecido conjuntivo adjacente.

A cartilagem é encontrada no nariz, nos anéis da traqueia e dos brônquios, na orelha externa (pavilhão auditivo), na epiglote e em algumas partes da laringe. No feto, o tecido cartilaginoso é muito abundante, pois o esqueleto é inicialmente formado por esse tecido, que depois é em grande parte substituído pelo tecido ósseo.

Há dois tipos de células nas cartilagens: os **condroblastos**, que produzem as fibras e a substância fundamental, e os **condrócitos**, células com baixa atividade metabólica, situadas no interior de lacunas no tecido (Fig. 2.15).

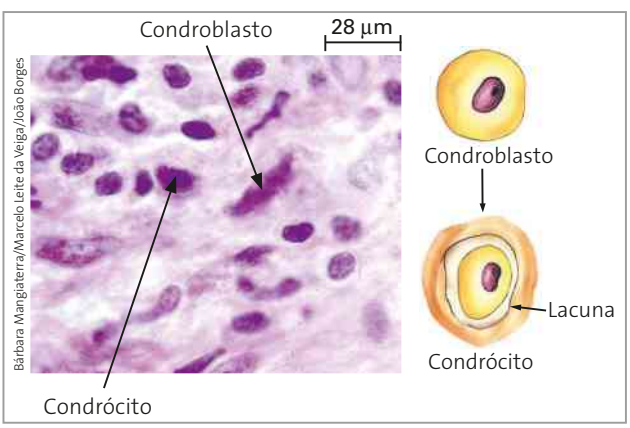


Figura 2.15. Fotomicrografia de corte histológico corado de cartilagem hialina mostrando condroblastos e condrócitos. À direita, esquema das células do tecido cartilaginoso. (Elementos representados em diferentes escalas; cores fantasia.)

As fibras presentes nesse tecido são as colágenas e as elásticas.

Dependendo do tipo e da quantidade de fibras presentes na cartilagem, ela pode ser classificada em: hialina, elástica ou fibrosa.

- **Cartilagem hialina**: apresenta matriz homogênea, com quantidade moderada de fibras colágenas. Essa cartilagem é a mais comum e ocorre no nariz, na laringe e nos anéis da traqueia e dos brônquios. No feto, a cartilagem hialina é muito abundante, pois o esqueleto é inicialmente formado por esse tecido, que depois é substituído pelo tecido ósseo.
- **Cartilagem elástica**: além das fibras colágenas, apresenta grande número de fibras elásticas, o que torna essa cartilagem mais resistente à tensão do que a cartilagem hialina, que não apresenta esse tipo de fibra. A cartilagem elástica é encontrada no pavilhão auditivo, na tuba auditiva (antigamente denominada trompa de Eustáquio), na epiglote e em algumas partes da laringe.
- **Cartilagem fibrosa** ou fibrocartilagem: é um tecido rico em fibras colágenas. Ocorre associada a algumas articulações do corpo humano e em pontos onde tendões e ligamentos se fixam aos ossos.

3.6. Tecido conjuntivo ósseo

O tecido ósseo tem consistência rígida e função de sustentação. Ocorre nos ossos do corpo, onde é o tecido mais abundante. Os ossos são órgãos ricos em vasos sanguíneos e apresentam, além do tecido ósseo, tecidos reticular, adiposo, cartilaginoso e nervoso.

O conjunto de ossos do corpo forma o **sistema esquelético**.

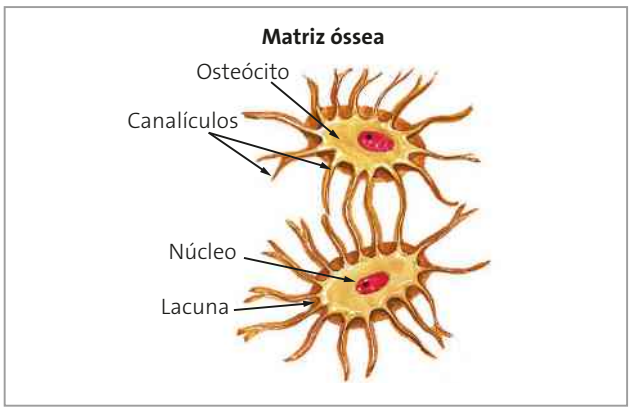
As funções do sistema esquelético são: sustentação e movimentação do corpo, proteção de órgãos internos, armazenamento de minerais e íons, e produção de células sanguíneas.

Nos tecidos ósseos de um adulto, a matriz óssea é formada por aproximadamente 50% de material inorgânico e 50% de orgânico. Dentre os materiais inorgânicos, o mais abundante é o fosfato de cálcio. Dentre os orgânicos, 95% correspondem a fibras colágenas.

As células do tecido ósseo são: **osteoblastos**, **osteócitos** e **osteoclastos**.

Os **osteoblastos** são células jovens, com muitos prolongamentos e que possuem intensa atividade metabólica. São responsáveis pela produção da parte orgânica da matriz, parecendo exercer influência na incorporação de minerais.

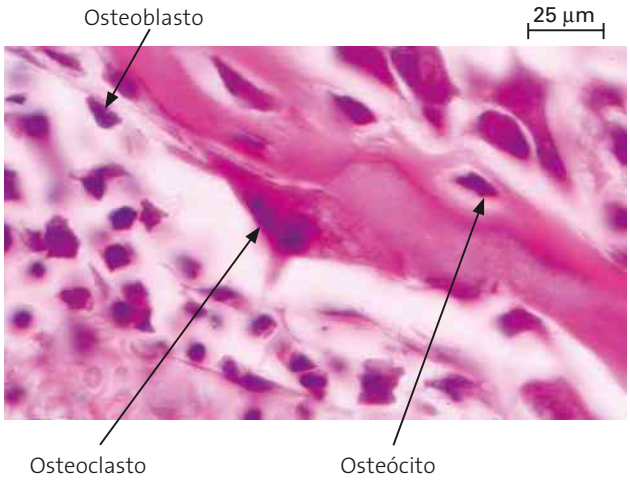
Durante a formação dos ossos, à medida que ocorre a mineralização da matriz, os osteoblastos acabam ficando em lacunas, diminuem a atividade metabólica e passam a se chamar **osteócitos**. Nos espaços ocupados pelos prolongamentos dos osteoblastos, formam-se canalículos, que permitem a comunicação entre os osteócitos e os vasos sanguíneos que os alimentam. Os osteócitos atuam na manutenção dos constituintes da matriz (Fig. 2.16).



Osni de Oliveira

Figura 2.16. Esquema das células do tecido ósseo. (Elementos representados fora de escala; cores fantasia.)

Os **osteoclastos** (Fig. 2.17) estão relacionados com a reabsorção da matriz óssea, pois liberam enzimas que digerem a parte orgânica propiciando a volta dos minerais para a corrente sanguínea. Eles também estão relacionados com processos de regeneração e remodelação do tecido ósseo.



Bárbara Mangiaterra/Marcelo Veiga/João Borges

Figura 2.17. Fotomicrografia de corte histológico de tecido ósseo corado mostrando osteoclasto, osteócito e osteoblasto.

Os osteoclastos apresentam grande mobilidade e muitos núcleos. Originam-se de monócitos do sangue que se fundem após atravessarem as paredes dos capilares. Assim, cada osteoclasto é resultante da fusão de vários monócitos.

Colocando em foco

COMO ATUAM OS APARELHOS NOS DENTES?

Apesar de o osso ser um órgão duro e resistente, ele pode ter sua estrutura interna remodelada em resposta a modificações nas forças a que está submetido.

O uso de aparelhos ortodônticos é um exemplo de técnica de remodelação dos ossos, nesse caso, da arcada dentária (Fig. 2.18).

Os aparelhos exercem forças diferentes daquelas a que os dentes estão naturalmente submetidos. Nos pontos em que há pressão ocorre reabsorção óssea, enquanto no lado oposto há deposição de matriz. Assim, os dentes movem-se pelos ossos da arcada dentária e passam a ocupar a posição desejada.



Thinkstock/Getty Images

Figura 2.18. Os aparelhos ortodônticos possibilitam a remodelação dos ossos.

A formação dos ossos

De acordo com a origem embriológica, há dois processos envolvidos na formação dos ossos: **ossificação intramembranosa** e **ossificação endocondral**.

A **ossificação intramembranosa** inicia-se em uma membrana do tecido conjuntivo embrionário e origina os ossos chatos do corpo, como os ossos do crânio. Nessa membrana conjuntiva surgem centros de ossificação caracterizados pela transformação de células mesenquimatosas em osteoblastos, que produzem grande quantidade de fibras colágenas. Esses centros vão aumentando, dando início à deposição de sais inorgânicos. À medida que isso acontece, os osteoblastos ficam em lacunas, transformando-se em osteócitos.

As fontanelas ("moleiras") encontradas na caixa craniana dos recém-nascidos representam pontos que não sofreram ossificação. Isso é importante, pois permite o crescimento da caixa craniana. Esse aumento também é possível graças à ação dos osteoclastos, que reabsorvem a matriz óssea, e dos osteoblastos, que depositam nova matriz.

A **ossificação endocondral** (Fig. 2.19) é o processo mais comum de formação dos ossos. Ele se caracteriza pela substituição de cartilagem hialina por tecido ósseo. Um exemplo desse tipo de ossificação é a formação do fêmur, um osso longo localizado na coxa. A ossificação começa no centro e ao redor do molde cartilaginoso e dirige-se para as extremidades, onde também tem início a formação de centros de ossificação.

Nos processos de ossificação, algumas regiões de cartilagem permanecem no interior dos ossos longos, formando os **discos epifisários** (Fig. 2.20). Esses discos mantêm a capacidade de crescimento longitudinal do osso até por volta dos 20 anos de idade. Depois disso, o osso não cresce mais. Portanto, a estatura atingida até essa idade será a definitiva.

Quando um médico quer avaliar se, ou quanto, um jovem tem possibilidade de crescer, solicita radiografia de um osso longo e verifica se há disco epifisário. Se houver, ainda pode ocorrer aumento de estatura.

Jurandir Ribeiro

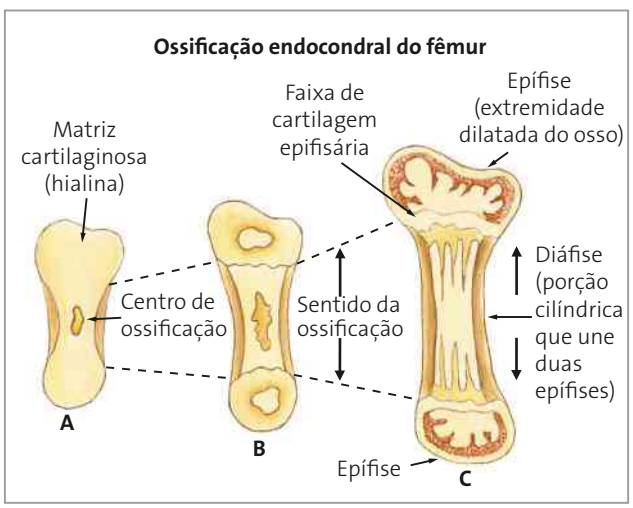


Figura 2.19. Esquema de ossificação endocondral. (Elementos representados fora de escala; cores fantasia.)

science photo library/latinstock



Figura 2.20. Fotografias de raios X das mãos, coloridos artificialmente. Note a redução do disco epifisário com o aumento da idade.

Colocando em foco

O QUE CAUSA O GIGANTISMO E O NANISMO?

Certos hormônios atuam sobre o tecido ósseo. Um exemplo é o hormônio do crescimento produzido pela hipófise, o qual estimula o crescimento do corpo em geral, mas tem efeito acentuado sobre o disco epifisário. Quando um indivíduo está em fase de crescimento e há falta desse hormônio, ocorre o chamado **nanismo hipofisário**. Já quando a produção desse hormônio é excessiva, ocorre gigantismo, em que há crescimento excessivo dos ossos longos. Em adultos, cujos ossos não crescem mais em comprimento, se houver intensa produção de hormônio do crescimento, os ossos crescem em espessura, determinando uma doença chamada acromegalia.

Sobre a cartilagem epifisária agem também os hormônios sexuais (produzidos pelas gônadas), estimulando a formação de tecido ósseo. Quando as gônadas não se desenvolvem adequadamente, esses hormônios são produzidos em pouca quantidade. Com isso, as cartilagens epifisárias permanecem por mais tempo, fazendo com que o indivíduo possa atingir estatura superior à que teria se suas gônadas funcionassem normalmente.

Na infância e na adolescência, quando os ossos estão crescendo juntamente com todo o corpo, além dos hormônios do crescimento e dos sexuais, há outro fator importante para a formação e estruturação dos ossos: a ingestão de alimentos ricos em cálcio, fósforo, vitaminas **D**, **A** e **C** e proteínas.

O cálcio e o fósforo fazem parte da matriz óssea. A vitamina **D** (calciferol) promove principalmente a absorção intestinal do cálcio. Por isso, a falta dessa vitamina e de cálcio na infância pode causar o **raquitismo**, doença em que a matriz óssea não se calcifica normalmente. Em consequência, os ossos crescem pouco e não suportam pressões exercidas sobre eles por ação do peso e da musculatura associada, deformando-se.

A vitamina **D** está presente em maior quantidade em certos alimentos, como o óleo de fígado de bacalhau. A pele humana possui uma substância precursora dessa vitamina, que, sob a ação dos raios UVB, transforma-se em vitamina **D**, propiciando a formação de ossos e evitando a osteoporose (doença em que há enfraquecimento dos ossos, que ficam porosos e mais quebradiços).

A estrutura dos ossos

Os ossos são revestidos externa e internamente por membranas conjuntivas denominadas **periósteo** e **endósteo**, respectivamente. Ambas as membranas são vascularizadas e suas células transformam-se em osteoblastos. Portanto, são importantes na nutrição das células do tecido ósseo e como fonte de osteoblastos para o crescimento dos ossos e a reparação de fraturas.

Quando um osso é serrado para vermos sua estrutura macroscópica interna, percebe-se que ele é formado por duas partes: uma sem cavidades, chamada **osso compacto**, e outra com muitas cavidades que se comunicam, chamada **osso esponjoso**.

Essas regiões apresentam os mesmos tipos de célula e de substância intercelular, diferindo entre si apenas na disposição de seus elementos e na quantidade de espaços que delimitam (Fig. 2.21).

Jurandir Ribeiro

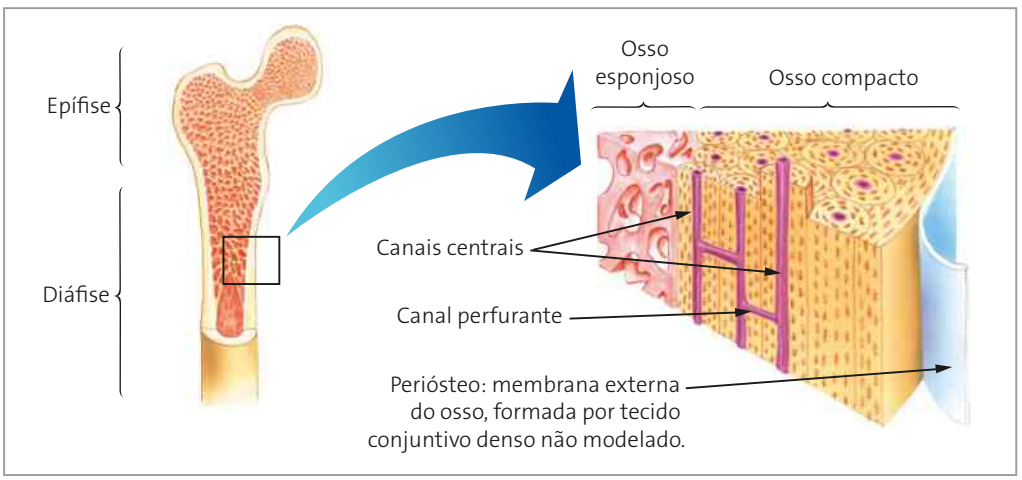


Figura 2.21. Esquema de corte longitudinal de parte do fêmur, osso longo da coxa. (Elementos representados em diferentes escalas; cores fantasia.)

Histologicamente existem duas variedades de tecido ósseo:

- **primário**: as fibras colágenas estão dispostas de forma desorganizada; é pouco frequente no adulto, permanecendo apenas próximo às suturas dos ossos do crânio, nos alvéolos dos dentes e em alguns pontos de inserção dos tendões;
- **secundário**: as fibras colágenas dispõem-se em lamelas paralelas entre si ou em conjuntos de lamelas concêntricas em torno de um **canal central** ou interno (**canal de Havers**); cada conjunto de lamelas ósseas concêntricas ao redor desse canal é chamado **sistema de Havers**. Esse tipo de tecido ósseo é o mais comum nos adultos.

Os canais centrais são revestidos por endósteo e percorrem o osso longitudinalmente. Em cada canal há vasos sanguíneos e nervos. Em cortes transversais de osso compacto, podem-se observar ao redor de cada canal central várias lamelas concêntricas e osteócitos que ficam entre uma lamela e outra.

Os canais centrais comunicam-se entre si, com a cavidade medular e com a superfície externa do osso por meio de canais transversais ou oblíquos, chamados **canais perfurantes** (**canais de Volkmann**). Por esses canais também passam nervos e vasos.

No interior dos ossos está a **medula óssea**, que pode ser:

- **vermelha**: formadora de células do sangue;
- **amarela**: constituída por tecido adiposo e que não produz células do sangue.

No recém-nascido, toda a medula óssea é vermelha. Já no adulto, a medula vermelha fica restrita ao esterno, às vértebras, às costelas, aos ossos do crânio e às epífises do fêmur e do úmero. Com o passar dos anos, a medula óssea vermelha presente no fêmur e no úmero transforma-se em amarela.

Em certos casos, a medula amarela pode se transformar novamente em vermelha.

Colocando em foco

COMO OCORRE A REPARAÇÃO DE FRATURAS?

Os ossos, por serem estruturas inervadas e irrigadas por vasos sanguíneos, apresentam alto metabolismo e capacidade de regeneração.

Quando ocorre uma fratura, sempre há rompimento de vasos sanguíneos do osso, do periósteo e do endósteo. A matriz óssea é destruída e há morte de células no local. Os macrófagos entram em ação e removem os restos celulares e os da matriz danificada. A seguir, ocorre intensa proliferação de células do periósteo e do endósteo, que formam uma espécie de anel conjuntivo ao redor da fratura, preenchendo o espaço entre as extremidades quebradas do osso. Esse quadro evolui para a formação de tecido ósseo primário, tanto pela ossificação de pequenos fragmentos de cartilagem hialina que se formam no local quanto pela ossificação do anel conjuntivo. Inicialmente esse tecido primário é desordenado, formando um calo ósseo que une as extremidades quebradas do osso. Com o retorno às atividades normais, as pressões e trações diárias atuam remodelando o calo ósseo. Assim, reconstitui-se a estrutura que o osso possuía antes da fratura (Fig. 2.22).

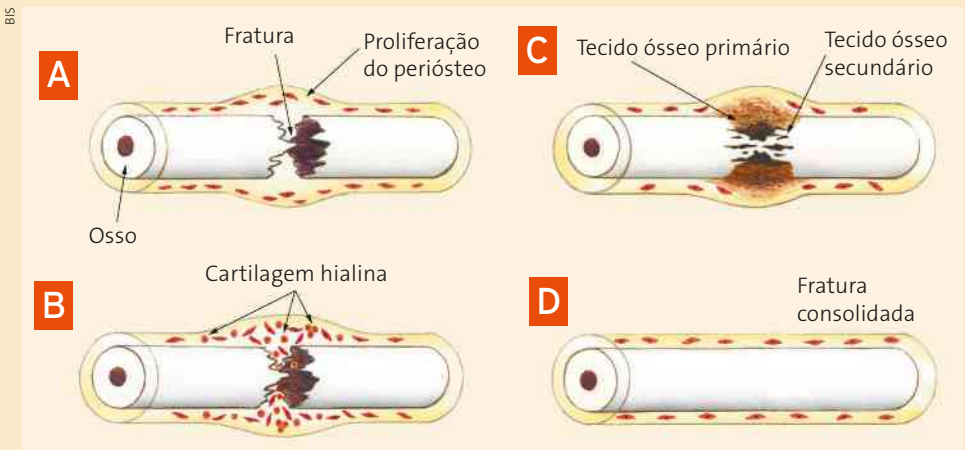


Figura 2.22. Esquema mostrando o processo de reparação de fratura. (Elementos representados em diferentes escalas; cores fantasia.)

3.7. Sangue

Sempre que se estudam os tecidos conjuntivos, dois fluidos corpóreos também são analisados: o sangue e a linfa. As células presentes nesses fluidos são formadas nos tecidos conjuntivos hemocitopoéticos.

O sangue é um fluido transportado pelo sistema vascular sanguíneo, que é formado pelo coração e pelos vasos sanguíneos.

Apesar de ser um fluido de aspecto homogêneo quando analisado macroscopicamente, ao microscópio de luz, o sangue apresenta-se como uma mistura heterogênea, em que se distinguem duas partes: uma líquida, o **plasma**, que contém em suspensão a outra parte, formada pelos **elementos figurados** ou glóbulos sanguíneos.

Plasma

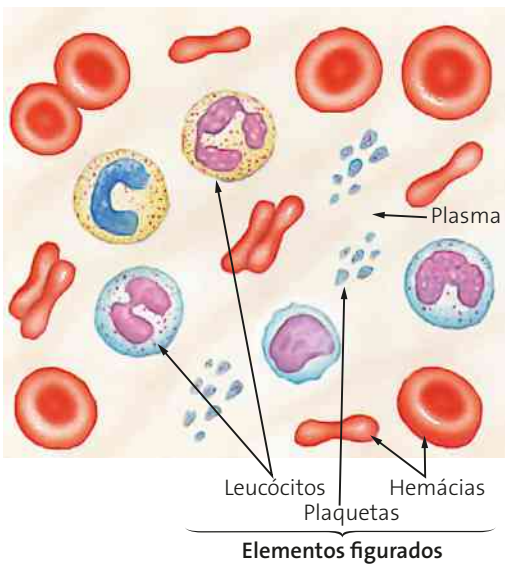
O plasma é uma solução aquosa com cerca de 7% de proteínas, 0,9% de sais inorgânicos e 2,1% de vários outros compostos orgânicos, como aminoácidos, vitaminas, hormônios e lipoproteínas.

As principais proteínas do plasma são:

- **albumina**: a mais abundante, com papel fundamental na manutenção da pressão osmótica do sangue;
- **imunoglobulinas** (cuja abreviação é **Ig**): importantes anticorpos, que fazem parte dos mecanismos de defesa.

Elementos figurados

Os elementos figurados do sangue são células ou partes de células que recebem nomes de acordo com suas características (Fig. 2.23):



Osni de Oliveira

Figura 2.23. Esquema dos elementos figurados do sangue. (Elementos representados em diferentes escalas; cores fantasia.)

- **hemácias** (glóbulos vermelhos ou eritrócitos — do grego: *erythrós* = vermelho; *kútos* = célula): correspondem a cerca de 42 a 47% do volume do sangue; contêm o pigmento vermelho **hemoglobina**, que possui **ferro** em sua molécula. A hemoglobina é responsável pelo transporte do gás oxigênio e de pequena parte do gás carbônico (a maior parte desse gás é transportada no plasma sob a forma de bicarbonato);
- **leucócitos** (ou glóbulos brancos): correspondem a cerca de 1% do volume do sangue; são células cuja principal função é a defesa do organismo;
- **plaquetas**: correspondem a menos de 1% do volume do sangue; são fragmentos anucleados derivados de células gigantes da medula óssea, chamadas **megacariócitos**; participam dos processos de coagulação do sangue.

Na espécie humana, o número considerado normal para cada um dos elementos do sangue varia de acordo com a idade e o sexo do indivíduo (Fig. 2.24).

Quantidade de elementos figurados por mm³ de sangue para adultos*	
Hemácias	4,5 milhões a 5 milhões
Leucócitos	5 mil a 10 mil
Plaquetas	200 mil a 400 mil

* Valores podem variar de acordo com o laboratório de análises clínicas.

Fonte: Fundação Pró-Sangue. Disponível em: <http://www.prosangue.sp.gov.br/artigos/estudantes>. Acesso em: abr. 2016.

Figura 2.24. Tabela do número de elementos figurados do sangue considerado normal para pessoas adultas.

Hemácias

As hemácias, na espécie humana, são células anucleadas. Elas derivam de células nucleadas da medula óssea que perdem o núcleo quando passam para o sangue. Sem núcleo, essas células não se dividem mais e, depois de cerca de 120 dias no sangue, as hemácias começam a perder sua função. Nesse momento, são reconhecidas por macrófagos, principalmente do baço, que as fagocitam e destroem. A hemoglobina é desdobrada, formando um pigmento sem ferro (bilirrubina). Ela passa para o sangue e é eliminada pelo fígado como um dos componentes da bile. O ferro proveniente desse desdobramento é transportado e armazenado na medula óssea vermelha e no fígado, para posterior utilização na síntese de outras moléculas de hemoglobina.

As hemácias são arredondadas e apresentam uma depressão na região central, dando-lhes aspecto bicôncavo quando observadas de perfil. Esse formato propicia maior superfície para as trocas gasosas.

Como vimos, o número de hemácias considerado normal para o ser humano varia com a idade e o sexo do indivíduo, mas esse número depende também da altitude do local em que a pessoa vive.

Em locais onde a altitude é muito elevada, o ar é rarefeito e o teor de oxigênio é reduzido. Nesse caso, o número de hemácias de uma pessoa que vive nessas regiões é maior, o que supre as necessidades de oxigênio do corpo. Se essa mesma pessoa passar a viver em regiões litorâneas, onde o ar apresenta maior teor de oxigênio, depois de algum tempo o número de hemácias diminuirá, ficando dentro de outro intervalo de normalidade.

Colocando em foco

O QUE É ANEMIA?

A anemia é uma doença que pode ter várias causas. Uma delas é a redução do número de hemácias no sangue abaixo do mínimo considerado normal, o que pode ser causado por hemorragias constantes, produção insuficiente de hemácias na medula óssea e destruição acelerada de hemácias.

No entanto, muitas vezes o número de hemácias é normal, mas cada uma delas contém pouca hemoglobina, o que também pode provocar anemia. Assim, nos exames de sangue geralmente são fornecidos dados sobre o número de hemácias e sobre a quantidade de hemoglobina. A redução da quantidade de hemoglobina pode ser decorrente de uma alimentação pobre em ferro, elemento essencial que faz parte dessa molécula.

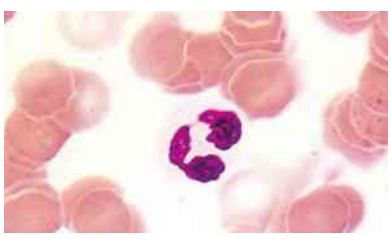
A anemia pode também ter origem hereditária, como acontece na anemia falciforme, em que as hemácias têm aspecto de foice e a função alterada. Essas hemácias têm vida mais curta e não há reposição em número suficiente pela diferenciação de células da medula óssea, causando a anemia.

Leucócitos

Os leucócitos são classificados em dois grupos:

- **granulócitos**: representados por **neutrófilos**, **eosinófilos** e **basófilos**; caracterizam-se por possuírem núcleo de formato irregular e por apresentarem grânulos específicos no citoplasma (Fig. 2.25);

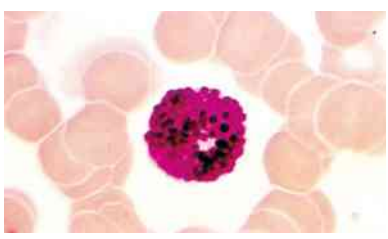
Fotografias: Bárbara Mangiaterra/Marcelo Veiga/João Borges



Neutrófilo. Mede cerca de 12 µm de diâmetro.



Eosinófilo. Mede cerca de 12 µm de diâmetro.



Basófilo. Mede cerca de 10 µm de diâmetro.

Figura 2.25. Fotomicrografias de esfregaço de sangue corado mostrando leucócitos granulócitos e, ao redor deles, muitas hemácias.

- **agranulócitos**: representados por **linfócitos** e **monócitos**; caracterizam-se por apresentarem núcleo mais regular e por não apresentarem granulações específicas no citoplasma (Fig. 2.26).

Fotografias: Bárbara Mangiaterra/Marcelo Veiga/João Borges



Linfócito. Mede de 6 µm a 14 µm de diâmetro.



Monócito. Mede de 12 µm a 20 µm de diâmetro.

Figura 2.26. Fotomicrografias de esfregaço de sangue corado mostrando leucócitos agranulócitos e, ao redor deles, muitas hemácias.

A tabela a seguir (Fig. 2.27) apresenta um resumo desses tipos de leucócito.

	Granulócitos (apresentam grânulos no citoplasma)			**Agranulócitos** (não apresentam grânulos no citoplasma)	
Desenho esquemático (cores fantasia)	**Neutrófilo** 	**Eosinófilo** 	**Basófilo** 	**Linfócito** 	**Monócito** 
Característica geral	Núcleo geralmente trilobulado.	Núcleo bilobulado.	Grânulos citoplasmáticos muito grandes, chegando a mascarar o núcleo.	Núcleo muito condensado, ocupando quase toda a célula.	Núcleo em forma de rim.
Função	Fagocitar elementos estranhos ao organismo.	Fagocitar apenas determinados elementos. Em doenças alérgicas, ou provocadas por parasitas intestinais, há aumento no número dessas células.	Liberar heparina (anticoagulante) e histamina (substância vasodilatadora liberada em processos alérgicos).	• Linfócitos **B**: produzem anticorpos; • Linfócitos **T**: eliminam células infectadas.	Fagocitar bactérias, vírus, fungos e restos de células do corpo. Quando passam para os tecidos conjuntivos, formam os macrófagos que realizam a fagocitose.
Valores de referência para adultos (nº por mm^3 de sangue)*	1 800 a 7 700	50 a 450	10 a 200	1 000 a 4 000	100 a 800

Ilustrações: Osni de Oliveira

* Valores podem variar de acordo com laboratório de análises clínicas.

Fonte: KAUSHANSKY, Kenneth et al. *Williams Hematology*. 8. ed. Nova York: McGraw-Hill, 2010.

Figura 2.27. Tabela dos principais tipos de leucócito. (Elementos representados fora de escala; cores fantasia.)

Plaquetas

As plaquetas são fragmentos anucleados de células. Elas permanecem no sangue por cerca de 9 dias e depois são degradadas, sendo repostas pela fragmentação de megacariócitos da medula óssea. Como as plaquetas participam dos processos de coagulação do sangue, valores abaixo do mínimo no intervalo de referência considerado normal indicam que a pessoa tem maior dificuldade de coagulação do sangue.

A coagulação do sangue

Quando ocorre um ferimento com sangramento, as fibras musculares do vaso sanguíneo danificado contraem-se, diminuindo o diâmetro do vaso e consequentemente o fluxo de sangue.

As plaquetas e as células lesadas dos tecidos liberam uma enzima chamada **tromboplastina**, que, na presença de íons cálcio e de vitamina **K** no sangue, catalisa uma reação química propiciando a transformação de uma proteína plasmática chamada **protrombina** em uma enzima ativa, a **trombina**. Essa enzima catalisa a reação de transformação de outra proteína plasmática, o **fibrinogênio**, em **fibrina**. Esta forma uma rede de fios no ferimento, na qual ficam retidos os glóbulos sanguíneos. Origina-se assim o coágulo, que estanca a hemorragia (Fig. 2.28).

Quando o sangue é retirado da circulação, por exemplo para análise laboratorial, a transformação do fibrinogênio em fibrina também é ativada, o que retém as células sanguíneas formando coágulo. Deste, separa-se um líquido amarelo-claro, que é o **soro sanguíneo** (corresponde ao plasma sem fibrinogênio). Nesses casos, para não ocorrer coagulação do sangue, utilizam-se substâncias anticoagulantes no sangue removido.

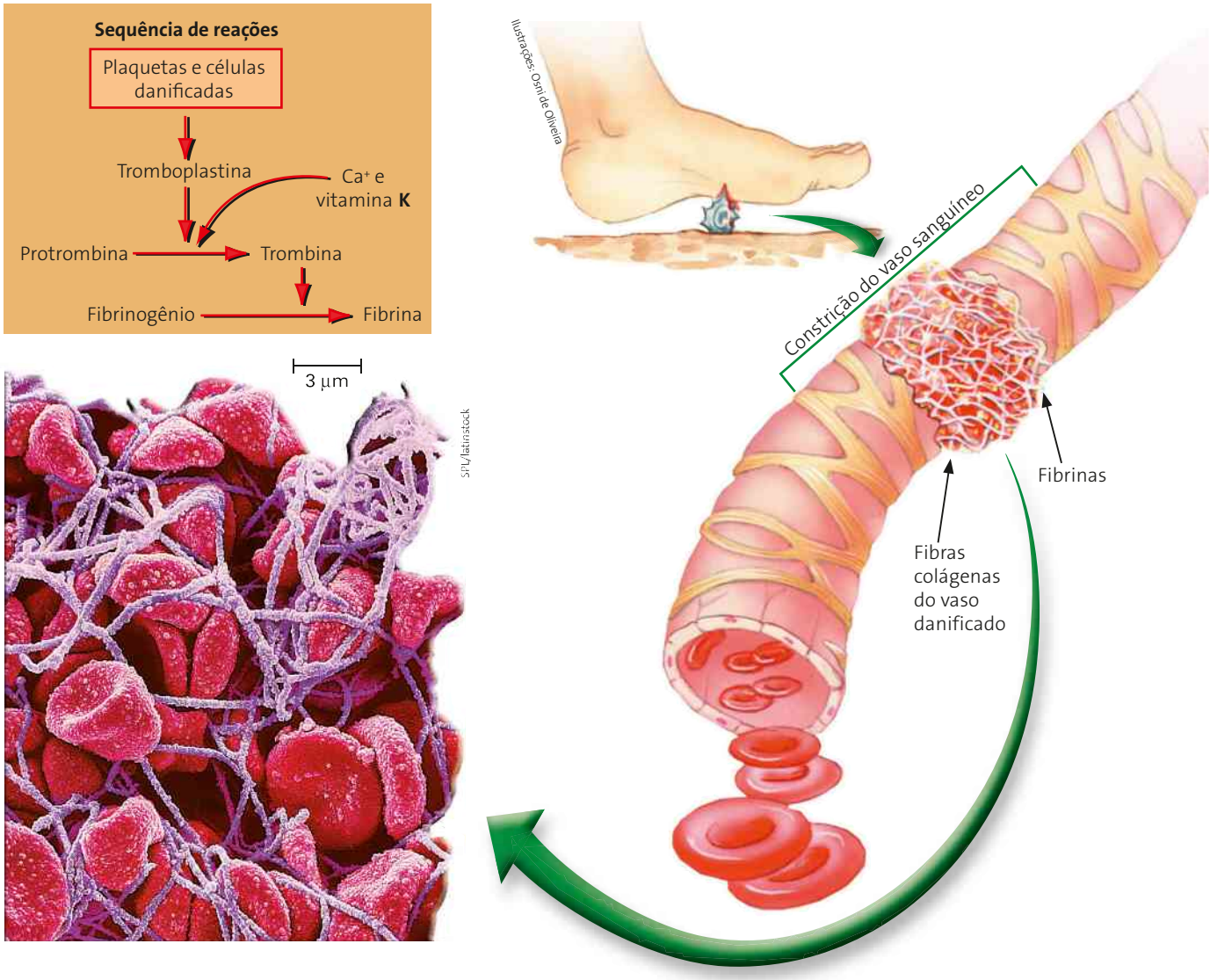


Figura 2.28. Esquema simplificado da coagulação do sangue. (Cores fantasia.) À esquerda, eletromicrografia de varredura, colorida artificialmente, mostrando rede de fibrina e glóbulos vermelhos. (Elementos representados em diferentes escalas.)

3.8. Linfa

As células dos tecidos do corpo humano são banhadas pelo fluido intersticial, formado pela fração do plasma que sai da porção arterial dos capilares sanguíneos. O excesso desse fluido retorna ao sangue, o que acontece em grande parte na porção venosa dos capilares sanguíneos. Entretanto, cerca de 10% do fluido intersticial não retorna diretamente para o sangue, sendo coletado pelo **sistema vascular linfático**, que será analisado no capítulo seguinte. O líquido assim recolhido recebe o nome de **linfa** e é transportado pelos vasos linfáticos de volta para o sangue.

Na linfa há linfócitos e a parte fluida tem composição semelhante à do fluido intersticial dos tecidos onde ela se forma. Por exemplo, a linfa formada no fígado tem maior concentração de proteínas que a formada na região do intestino, onde ela pode ser muito rica em gorduras.

4. Tecidos musculares

Os tecidos musculares são de origem mesodérmica e relacionam-se com a locomoção e outros movimentos do corpo, como a contração dos órgãos do tubo digestório, do coração e das artérias.

As células dos tecidos musculares são alongadas e recebem o nome de **fibras musculares** ou miócitos. São ricas em dois tipos de filamentos proteicos: os de **actina** e os de **miosina**, responsáveis pela grande capacidade de contração e distensão dessas células.

Quando um músculo é estimulado a se contrair, os filamentos de actina deslizam entre os filamentos de miosina. A célula diminui em tamanho, caracterizando a contração.

Há basicamente três tipos de tecido muscular: (Fig. 2.2)

- **estriado esquelético**: é formado por miócitos multinucleados e que apresentam, além das estrias longitudinais, **estrias transversais** devido à disposição dos filamentos proteicos. É a presença das estrias transversais que dá a esse tipo de tecido muscular o nome de estriado. O tecido muscular estriado esquelético ocorre nos músculos esqueléticos, que são os que apresentam contração voluntária (que depende da vontade do indivíduo) (Fig. 2.29);
- **estriado cardíaco**: apresenta miócitos estriados com um ou dois núcleos centrais. Esse tecido ocorre apenas no **coração** e apresenta contração independente da vontade do indivíduo (contração involuntária), mas há regulação que promove mudanças na frequência cardíaca, como acontece quando levamos um susto. No músculo cardíaco essa contração é vigorosa e rítmica;
- **não estriado** ou liso: apresenta miócitos mononucleados e somente com **estrias longitudinais**, motivo pelo qual são chamados miócitos lisos. Nessas células a contração é involuntária e lenta. Ocorre nas artérias, sendo responsável por sua contração; ocorre também no esôfago, estômago e intestinos, sendo responsável pelo **peristaltismo** (ou peristalse). Os movimentos peristálticos são contrações em ondas que deslocam, dentro desses órgãos do sistema digestório, o material alimentar. O controle da contração e do relaxamento dos músculos não estriados é feito pelo sistema nervoso central, através da liberação de neurotransmissores, os quais podem ter grande aplicação médica. Por exemplo, no tratamento da asma, um distúrbio respiratório caracterizado pela contração dos músculos não estriados dos brônquios e que leva à dificuldade de respirar, podem-se administrar aerossóis contendo compostos desses neurotransmissores que são capazes de relaxar a musculatura dos brônquios, melhorando a capacidade respiratória durante a crise asmática.

Professor, peça aos estudantes que consultem a figura 2.2 da página 39 deste livro para que acompanhem as descrições dos tipos de tecidos musculares com suas representações esquemáticas.

Osni de Oliveira

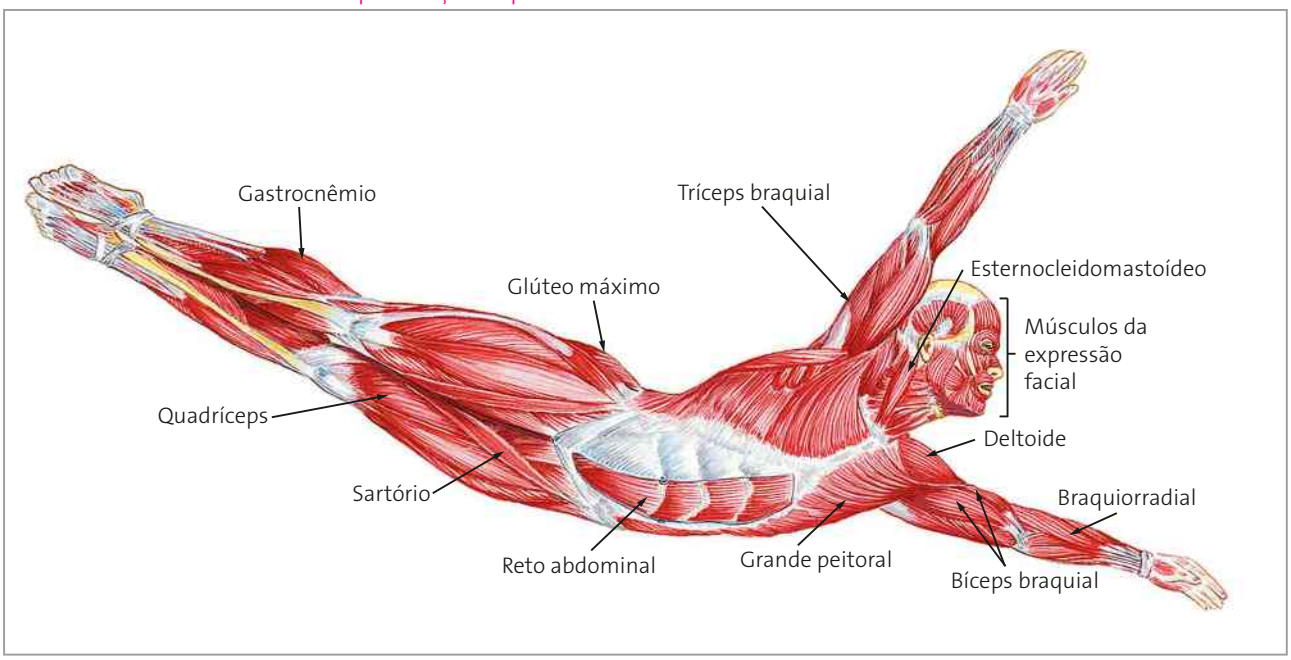
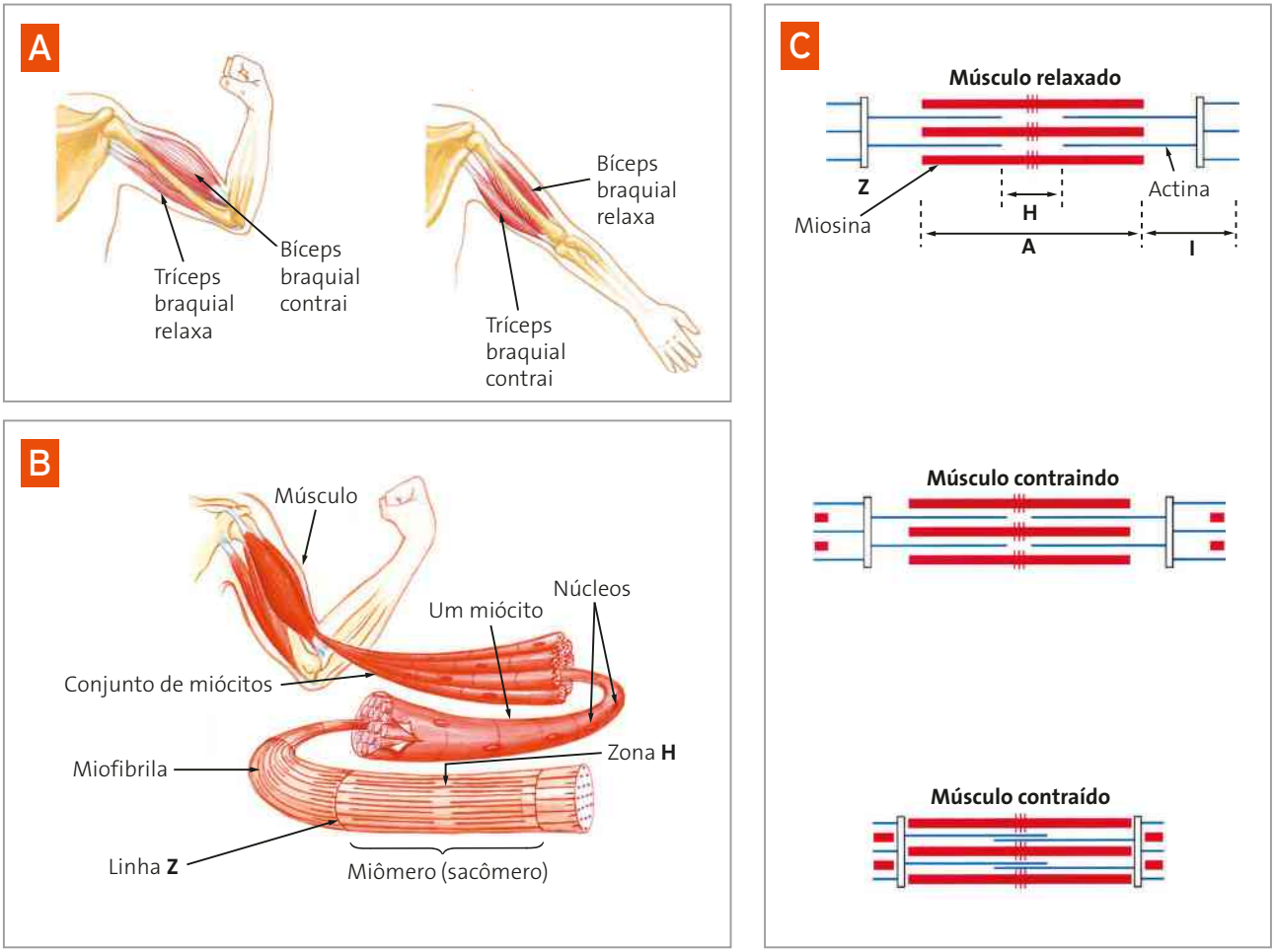


Figura 2.29. Representação de alguns músculos estriados esqueléticos do sistema muscular humano. (Cores fantasia.)

4.1. Estrutura e funcionamento da célula muscular estriada esquelética

A célula muscular estriada apresenta miofibrilas dispostas longitudinalmente no citoplasma. Cada miofibrila corresponde a um conjunto de dois tipos principais de miofilamento: os de **miosina**, espessos, e os de **actina**, finos. O modo como esses miofilamentos estão organizados origina bandas transversais, características das células musculares estriadas (Fig. 2.30).



Ilustrações: BIS

Figura 2.30. Representação esquemática de movimento dos músculos tríceps e bíceps braquiais. Em **A**, note o antagonismo entre eles: quando o bíceps contrai, o tríceps relaxa e o braço sofre flexão; quando o bíceps relaxa e o tríceps contrai, o braço estende. Em **B**, esquema de músculo esquelético. Em **C**, detalhe de um sarcômero representado por esquemas. (Elementos representados em diferentes escalas; cores fantasia.)

Os miofilamentos de miosina formam bandas escuras, chamadas **anisotrópicas** (**banda A**), e os de actina, bandas claras, chamadas **isotrópicas** (**banda I**).

No centro de cada banda **I** aparece uma linha mais escura, chamada **linha Z**. A região entre duas linhas **Z** consecutivas constitui um **miômero** ou sarcômero e corresponde à unidade contrátil da célula muscular.

No centro de cada banda **A** existe uma faixa mais clara, chamada **banda H**, bem visível nas células musculares relaxadas e que vai desaparecendo à medida que a contração muscular ocorre.

Na contração muscular, os miofilamentos não diminuem de tamanho, mas os sarcômeros ficam mais curtos e toda a célula muscular se contrai.

O encurtamento dos sarcômeros ocorre em função do deslizamento dos miofilamentos finos sobre os grossos, havendo maior sobreposição entre eles: a banda **I** diminui de tamanho, pois os filamentos de actina deslizam sobre os de miosina, penetram na banda **A** e reduzem a largura da banda **H**.

O estímulo nervoso chega até as células musculares esqueléticas por meio das fibras nervosas motoras (como as que podem ser vistas na fotomicrografia da abertura deste capítulo). Uma única fibra nervosa pode inervar uma única célula muscular ou pode se ramificar e inervar mais de cem células musculares. A fibra nervosa e as células musculares por ela inervadas formam uma unidade motora. O local onde a fibra nervosa estabelece contato com a fibra muscular esquelética recebe o nome de **placa motora** ou junção mioneural. Esse tipo de junção ocorre apenas na musculatura esquelética.

Na placa motora, o impulso nervoso que chega provoca liberação de acetilcolina, que desencadeia uma série de modificações fisiológicas na célula, resultando na contração muscular, que exige energia.

Os íons cálcio, agora livres no sarcoplasma, promovem a ligação dos miofilamentos de actina com os de miosina. Há quebra do ATP e liberação da energia necessária para a contração muscular.

Cessado o impulso nervoso na placa motora, com a degradação do neurotransmissor acetilcolina, cessa o estímulo que desencadeia a contração e a célula volta ao estado de repouso. A contração muscular cessa.

4.2. A intensidade da contração muscular

O miócito não é capaz de controlar a intensidade de sua contração: ou ele não se contrai ou se contrai com toda a intensidade. Já o músculo como um todo tem a intensidade da contração regulada pelo número das unidades motoras ativadas pelo impulso nervoso.

Em músculos que executam movimentos intensos, como os das pernas, uma única fibra nervosa motora inerva mais de cem fibras musculares ao mesmo tempo, enquanto em músculos que executam movimentos mais delicados, como os músculos oculares, cada fibra muscular é inervada por uma só fibra nervosa.

4.3. Fontes de energia para a contração muscular

Os músculos esqueléticos estão adaptados à realização de movimentos descontínuos, pois não estamos usando sempre os mesmos músculos e nem sempre com a mesma intensidade. Assim, as células musculares esqueléticas são solicitadas a entrar em ação de forma descontínua. Isso se deve a adaptações especiais que lhes possibilitam sair do repouso para o exercício de forma muito rápida. Nenhum outro tecido apresenta variações tão grandes e abruptas no gasto de ATP.

São basicamente quatro as fontes existentes nessas células que fornecem energia para o trabalho muscular: reserva de **ATP**, reserva de **fosfocreatina**, **fermentação láctica** e **respiração aeróbia**. Essas fontes são acionadas nessa sequência e solicitadas na maioria das atividades físicas, de modo que o fornecimento de energia seja contínuo, ou seja, uma fonte é acionada antes que a anterior se esgote. A contribuição efetiva de cada uma delas varia em função da intensidade e da duração do exercício.

As células musculares esqueléticas já possuem uma reserva de ATP, que é a primeira a ser utilizada na contração muscular. Essa reserva, no entanto, só é capaz de fornecer energia para 1 a 2 segundos de atividade muscular intensa. Prosseguindo a atividade física, a reserva de fosfocreatina é acionada.

A fosfocreatina é um composto altamente energético, que cede seu radical fosfato para o ADP, formando ATP. Ela é sintetizada a partir da creatina e de ATP nos momentos de repouso do músculo e sua concentração na célula chega a ser de três a cinco vezes maior que a de ATP.

As reservas de ATP e de fosfocreatina nos músculos esqueléticos constituem um suprimento imediato de energia para a contração muscular, suficiente para esforços máximos de 6 a 8 segundos. Sua utilização não depende da respiração, ou seja, é estritamente anaeróbia, pois essas substâncias já se encontram prontas na célula para serem usadas. Em uma corrida de 100 metros rasos, em uma prova de natação de 25 metros e em um salto em altura, por exemplo, essas são as principais fontes de energia para a atividade muscular.

Se o trabalho muscular continua, outras fontes de energia passam a ser empregadas pelas células. O próximo suprimento a ser utilizado é o glicogênio armazenado no sarcoplasma dessas células.

O glicogênio é convertido em glicose, que inicialmente é degradada de forma anaeróbia, pois a oferta de oxigênio pela circulação não aumenta de forma imediata e proporcional à necessidade da célula. Apesar de as células esqueléticas possuírem **mioglobina**, um tipo especial de pigmento vermelho análogo à hemoglobina e que serve de depósito de oxigênio nos músculos, essa reserva é pequena perto da necessidade imediata.

O glicogênio é rapidamente consumido e a energia é utilizada para exercícios intensos com duração de 1 a 2 minutos. A glicose degradada por fermentação láctica produz lactato, que sai da célula muscular e passa para o sangue, sendo absorvido principalmente pelo fígado, onde é convertido em glicose.

À medida que os sistemas respiratórios e circulatórios são ativados, chega ao músculo maior quantidade de oxigênio. Inicia-se, então, a formação de ATP pela respiração aeróbia, em que a glicose é degradada completamente a CO_2 e água.

Paralelamente, o fornecimento de ácidos graxos para o sistema muscular aumenta. Isso ocorre porque na atividade física há liberação de adrenalina, que age sobre o tecido adiposo estimulando a degradação dos lipídios aí armazenados. Ácidos graxos são liberados e levados pela corrente sanguínea até os músculos. Assim, à medida que a reserva de glicogênio diminui, a degradação aeróbia dos ácidos graxos assume importância crescente. Essa é a situação que se verifica no ciclismo e em corridas de longa distância, como as maratonas.

Quando se realizam exercícios físicos extenuantes, o oxigênio pode se tornar insuficiente para a atividade muscular aeróbia e, nessas condições, a célula passa a realizar fermentação láctica. Grande parte do lactato formado sai da célula para o fluido extracelular.

Quando a pessoa começa a normalizar o teor de oxigênio no sangue depois desse período de metabolismo anaeróbio, o lactato é rapidamente convertido em piruvato. A maior parte do piruvato é oxidada na respiração, e o restante é reconvertido em glicose. O principal local onde ocorre essa reconversão é o fígado, mas uma pequena parcela pode acontecer em células de outros tecidos.

Exercícios feitos sem a devida preparação ou em condições excessivas podem levar a fadiga muscular ou a cãibras. A fadiga corresponde à incapacidade de o músculo se contrair, e as cãibras correspondem à contração dolorosa da musculatura e pode ter outras causas que não a atividade física, como as cãibras que as pessoas podem ter enquanto estão dormindo ou em repouso. Aqui, vamos nos deter na atividade física.

A fadiga está fortemente associada à redução dos níveis de glicogênio armazenado nos músculos. Ela não se deve ao acúmulo de lactato, como geralmente se ouve dizer. O lactato também não é o responsável pelas cãibras, outra crença muito comum. O lactato gerado na fermentação lática durante o exercício intenso passa para a corrente sanguínea e vai para o fígado, onde é degradado antes que ocorra a fadiga ou a cãibra. Embora as causas das cãibras ainda sejam discutíveis, é possível que ocorram em função do aumento de íons H^+ que se formam juntamente com o lactato.

5. Tecido nervoso

O tecido nervoso tem origem ectodérmica e forma os órgãos de um dos sistemas que participam da coordenação das funções dos diferentes órgãos: o **sistema nervoso** ou sistema neural.

O outro sistema que, juntamente com o sistema nervoso, participa da regulação e integração das funções orgânicas é o **sistema endócrino**, do qual fazem parte as glândulas produtoras de hormônios.

O efeito do sistema endócrino é lento, porém duradouro quando comparado com o efeito do sistema nervoso, rápido e de curta duração.

O sistema nervoso é dividido anatomicamente em **sistema nervoso central** (**SNC**), formado pelo encéfalo e pela medula espinal, e **sistema nervoso periférico** (**SNP**), formado pelos nervos cranianos e espinais (raquidianos) e por pequenos agregados de células nervosas denominados gânglios nervosos (Fig. 2.31).

No tecido nervoso praticamente não existe substância intercelular. Os principais componentes celulares são os neurônios e as células da glia.

As **células da glia** ou neuróglia são um conjunto de tipos celulares relacionados com a sustentação e a nutrição dos neurônios, com a produção de mielina e com a fagocitose.

Os **neurônios**, ou células nervosas, têm a propriedade de receber e transmitir estímulos nervosos, permitindo ao organismo responder a alterações do meio. São células formadas por um **corpo celular** ou pericário, de onde partem dois tipos de prolongamento: os **dendritos** e o **axônio** (Fig. 2.31).

Os **dendritos** são prolongamentos ramificados da célula e especializados em receber estímulos, que também podem ser recebidos pelo corpo celular. O impulso nervoso é sempre transmitido no sentido dendrito → corpo celular → axônio.

O **axônio** é uma expansão celular longa e de diâmetro constante, com ramificações em sua porção final. É uma estrutura especializada na transmissão de impulsos nervosos para outros neurônios ou para outros tipos celulares, como as células musculares e glandulares.

Todos os axônios das células nervosas apresentam-se envoltos por dobras únicas ou múltiplas de células especiais da glia denominadas **oligodendrócitos** ou de **células de Schwann**, um tipo especial de oligodendrócito. O conjunto formado pelo axônio e pelo envoltório é denominado **fibra nervosa** ou neurofibra.

Os axônios envoltos por uma única dobra são denominados fibras nervosas amielínicas. Nessas fibras, as células envoltórias unem-se formando uma estrutura contínua, sem interrupções (Fig. 2.32).

Quando a célula envoltória apresenta várias dobras enroladas em espiral ao redor do axônio, fala-se em fibras nervosas mielínicas. A bainha formada pelo conjunto das dobras envoltórias é denominada estrato mielínico (bainha de mielina). O estrato mielínico não é contínuo, sendo interrompido pelos **nós neurofibrosos** ou nódulos de Ranvier (Fig. 2.33).

Os nervos são conjuntos de fibras nervosas organizadas em feixes, unidos por tecido conjuntivo denso.

Jurandir Ribeiro/Osni de Oliveira

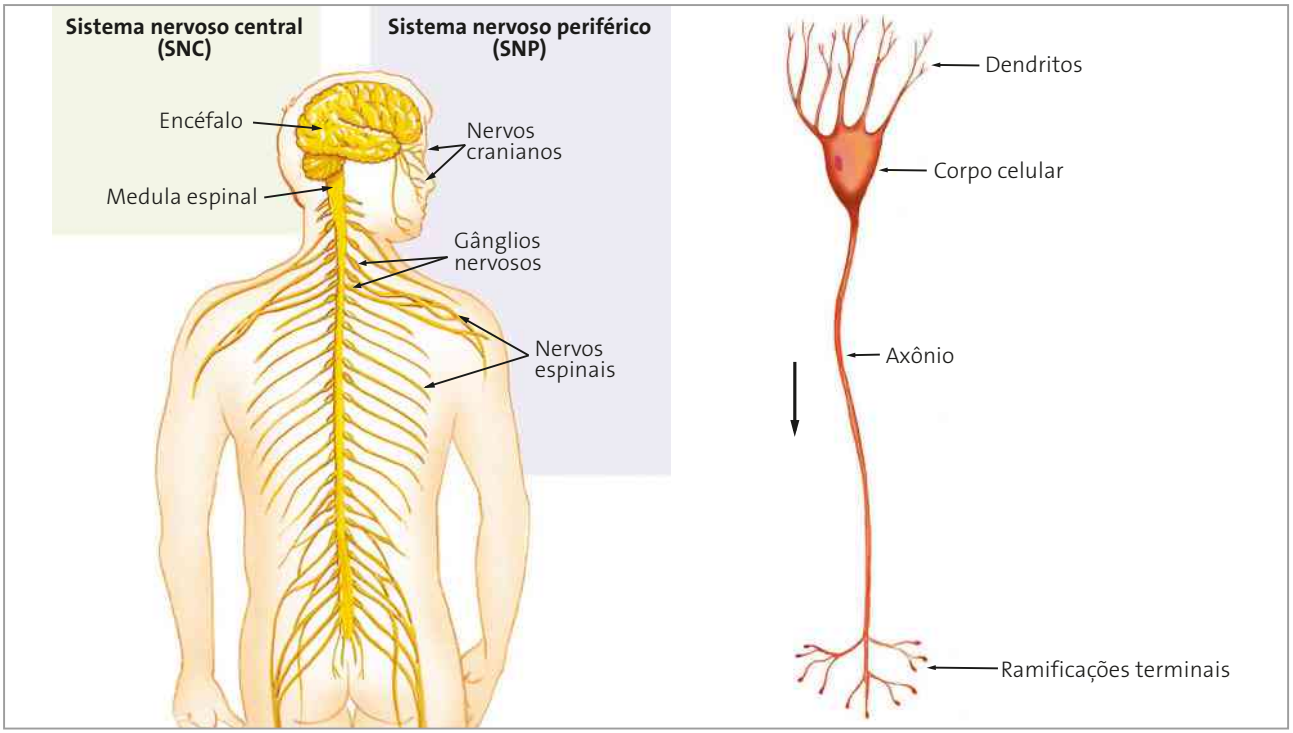


Figura 2.31. À esquerda, esquema simplificado mostrando a organização geral do sistema nervoso: parte central e parte periférica. À direita, esquema simplificado de um dos tipos de neurônio. A seta indica o sentido do impulso nervoso na célula. (Elementos representados em diferentes escalas; cores fantasia.)

Osni de Oliveira

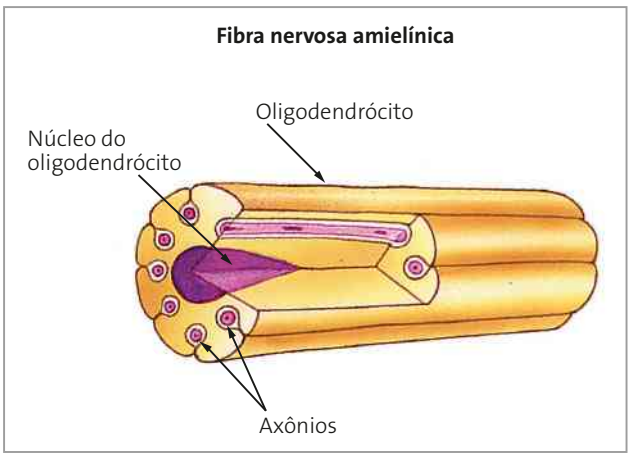


Figura 2.32. Esquema de fibras nervosas amielínicas: um único oligodendrócito envolve vários axônios. (Elementos representados fora de escala; cores fantasia.)

Osni de Oliveira

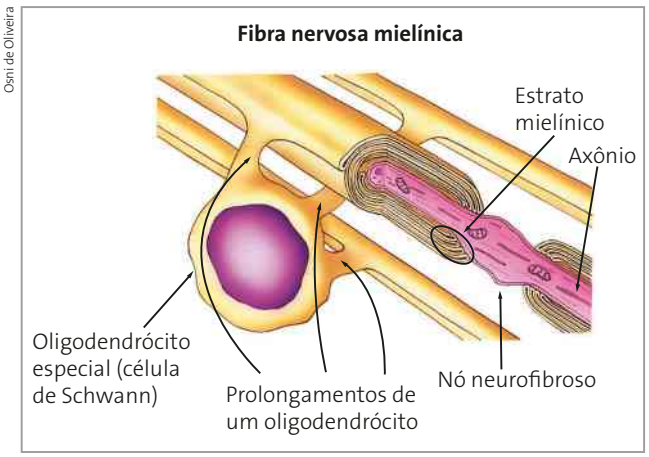


Figura 2.33. Esquema de fibras nervosas mielínicas, com parte do estrato mielínico removida. (Elementos representados fora de escala; cores fantasia.)

5.1. O impulso nervoso

A membrana de um neurônio em repouso apresenta-se com carga elétrica positiva do lado externo (voltado para fora da célula) e negativa do lado interno (em contato com o citoplasma da célula). Nessa situação, diz-se que a membrana está **polarizada**. Essa diferença de cargas elétricas é mantida por um mecanismo de transporte ativo através da membrana plasmática chamado **bomba de sódio** e **potássio**, que faz o transporte de íons sódio e de íons potássio para dentro e para fora da célula contra seus gradientes de concentração.

Quando um estímulo químico, mecânico ou elétrico chega ao neurônio, pode ocorrer alteração da permeabilidade da membrana celular, permitindo uma inversão das cargas ao redor dessa membrana, que fica **despolarizada**. Essa despolarização propaga-se pelo neurônio caracterizando o **impulso nervoso**, que ocorre sempre no sentido dendrito-axônio.

Imediatamente após a passagem do impulso, a membrana sofre **repolarização**, recuperando seu estado de repouso, e a transmissão do impulso cessa.

Colocando em foco

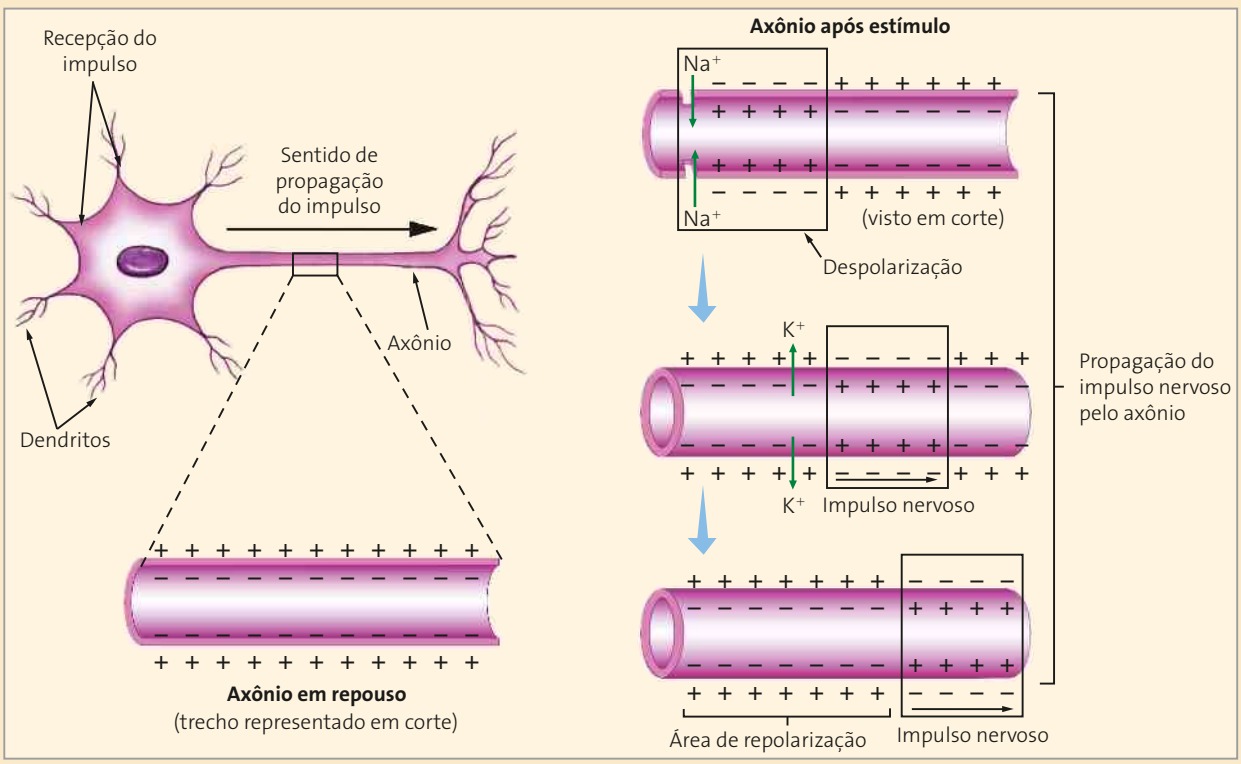
POTENCIAIS DE REPOUSO E DE AÇÃO

Nas células, a distribuição heterogênea de íons sódio (Na^+) e potássio (K^+) entre a porção externa e interna das membranas celulares gera uma diferença de potencial elétrico entre os dois lados da membrana. Esses valores são medidos em milivolts (mV). Quanto maior a voltagem, maior a energia elétrica.

Neurônios e células musculares são especialmente excitáveis, pois suas membranas apresentam especializações que favorecem mudanças rápidas de polarização. Sob estímulo, há modificações na distribuição desses íons dentro e fora das células e, em certas circunstâncias, isso gera os impulsos elétricos que percorrem a membrana dessas células. Essa corrente elétrica corresponde ao impulso nervoso.

A diferença de potencial elétrico na membrana das células em repouso é chamada de **potencial de repouso**. O valor desse potencial varia dependendo do tipo de neurônio. Vamos considerar o valor mais comum, que é da ordem de –70 mV.

Quando um estímulo químico, mecânico ou elétrico chega ao neurônio, pode ocorrer alteração da permeabilidade da membrana, permitindo grande entrada de sódio na célula. Com isso, ocorre uma inversão de cargas nesse local da membrana, que fica despolarizada, gerando um **potencial de ação**. Essa despolarização propaga-se pelo neurônio, caracterizando o **impulso nervoso**. Assim que o impulso passa, ocorre o processo de repolarização da membrana em função da saída de íons K^+ (Fig. 2.34).



Jurandir Ribeiro

Figura 2.34. Esquema de neurônio mostrando a condução do impulso nervoso: propagação de onda elétrica no neurônio no sentido dendrito → axônio. O mecanismo completo de despolarização e repolarização da membrana ocorre em menos de 1 milissegundo. A redistribuição normal dos íons sódio e potássio demora um pouco mais. (Elementos representados em diferentes escalas; cores fantasia.)

O estímulo que inicia o impulso nervoso deve ser forte o suficiente para induzir a despolarização; esse valor crítico, chamado limiar, varia entre os diferentes neurônios. Abaixo desse valor, o estímulo só provoca alterações locais na membrana, que logo cessam e não desencadeiam o impulso nervoso.

Qualquer estímulo acima do limiar gera o mesmo potencial de ação, que é transmitido ao longo do neurônio. Não existe variação de intensidade de um impulso nervoso em função do aumento do estímulo; o neurônio obedece à regra do "**tudo ou nada**". Dessa forma, a intensidade das sensações vai depender do número de neurônios despolarizados e da frequência de impulsos recebidos. Imagine uma queimadura no dedo. Quanto maior a área queimada, maior a dor, pois mais receptores são estimulados e mais neurônios serão despolarizados.

Nas fibras amielínicas, o impulso nervoso é conduzido como uma onda de alterações da polaridade de membrana, mas, nas fibras mielínicas, essas alterações na membrana ocorrem apenas nos nós neurofibrosos, pois o estrato mielínico atua como um isolante que impede a propagação do impulso. Este salta de um nó para outro, falando-se em **condução saltatória**, mais veloz que a condução contínua verificada nas fibras amielínicas. A velocidade do impulso nervoso nas fibras amielínicas é da ordem de 2 m/s, enquanto nas fibras mielínicas é de cerca de 120 m/s (Fig. 2.35).

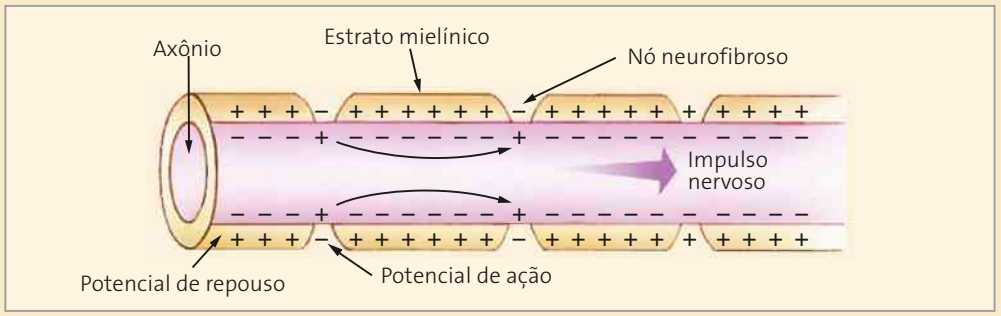


Figura 2.35. Esquema da condução aos saltos do impulso nervoso em fibras mielínicas. (Elementos representados fora de escala; cores fantasia.)

5.2. Sinapse

A transmissão do impulso nervoso de um neurônio a outro ou às células de órgãos efetores é realizada por meio de uma região de ligação especializada denominada **sinapse**.

O tipo mais comum de sinapse é a química, em que as membranas das duas células ficam separadas por um espaço chamado **fenda sináptica**.

Na porção terminal do axônio o impulso nervoso proporciona a liberação de vesículas contendo mediadores químicos, denominados **neurotransmissores**. Os mais comuns são **acetilcolina** e **adrenalina**.

Esses neurotransmissores caem na fenda sináptica e dão origem ao impulso nervoso na célula seguinte. Logo a seguir, os neurotransmissores que estão na fenda sináptica são degradados por enzimas específicas, cessando seus efeitos (Fig. 2.36).

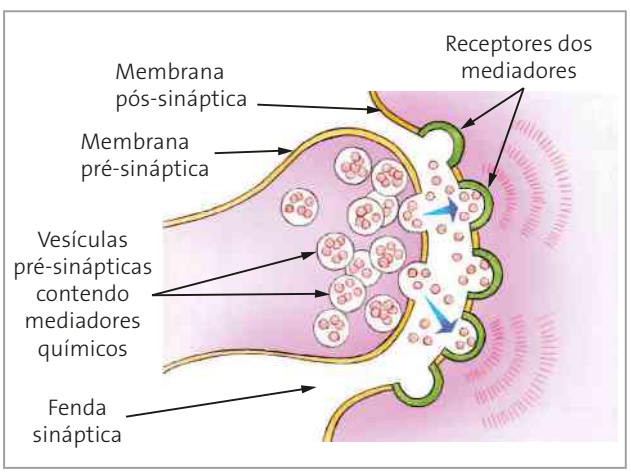


Figura 2.36. Esquema de sinapse. (Elementos representados em diferentes escalas; cores fantasia.)

5.3. Substância branca e cinzenta

No sistema nervoso verifica-se que os neurônios dispõem-se de forma diferenciada de modo a dar origem a duas regiões com coloração distinta entre si e que podem ser notadas macroscopicamente: a **substância cinzenta**, onde estão os corpos celulares, e a **substância branca**, onde estão os axônios (Fig. 2.37). No encéfalo (com exceção do bulbo) a substância cinzenta está localizada externamente em relação à substância branca, e na medula espinal e no bulbo ocorre o inverso.

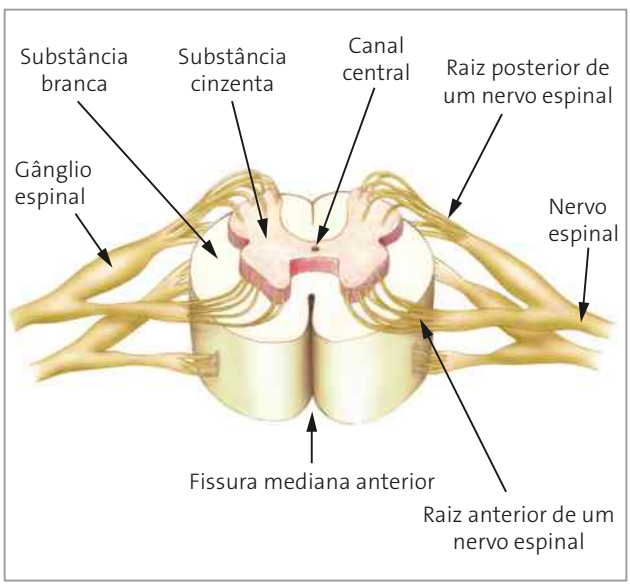


Figura 2.37. Esquema mostrando um segmento da medula espinal e os nervos espinais que partem dela. (Elementos representados fora de escala; cores fantasia.)

Tema para discussão

REGISTRE NO CADERNO

Células-tronco não embrionárias

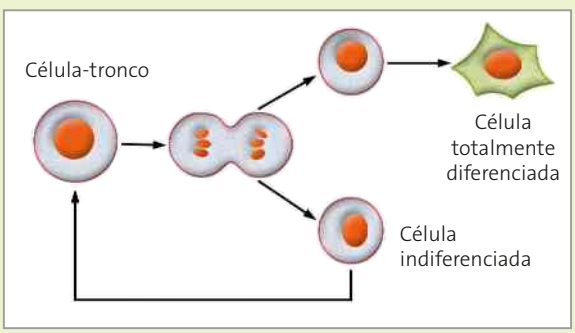
As células-tronco não embrionárias podem ocorrer nos diferentes tecidos do adulto. Essas células não são totipotentes como as células-tronco embrionárias.

Para analisar essas células, vamos considerar três exemplos: o epitélio intestinal, a epiderme e as hemácias.

As células do epitélio intestinal são as que se renovam com maior velocidade: entre 2 e 5 dias. As células da epiderme renovam-se, em média, a cada 30 dias e as hemácias, a cada 120 dias.

Mas, se essas células perderam a capacidade de divisão depois de diferenciadas, como podem ser renovadas?

Essas células são originadas de um estoque de células precursoras indiferenciadas que são mantidas nos tecidos correspondentes. São as chamadas células-tronco do adulto, que podem se dividir quase sem limite. Quando uma célula-tronco se divide em duas por mitose, cada célula-filha pode sofrer diferenciação e não se dividir mais, ou não sofrer diferenciação e permanecer como célula-tronco.



Esquema de uma célula-tronco de adulto e seus produtos: nova célula que permanece indiferenciada e célula que sofre diferenciação. (Elementos representados em diferentes escalas; cores fantasia.)

No epitélio intestinal, células-tronco multiplicam-se ativamente e uma parte das células-filhas vai sofrer diferenciação. A maioria se diferencia em células com microvilosidades e com função de absorção, e as demais, em células caliciformes, com função secretora. Graças a esse processo, as células que morrem são constantemente repostas.

Na epiderme, as células-tronco estão presentes no estrato basal, que é a camada de células em contato com a lâmina basal. A produção de novas células da epiderme propicia a reposição das células das camadas mais superficiais, que morrem e se desprendem.

As hemácias e os leucócitos (ou glóbulos brancos do sangue, que são nucleados e podem se dividir depois de diferenciados) são formados de células-tronco presentes na medula óssea vermelha. Um único tipo de célula-tronco origina tanto hemácias como leucócitos.

Como se pode notar, células-tronco do epitélio intestinal dão origem a células desse epitélio; células-tronco da epiderme dão origem a células da epiderme; células-tronco da medula óssea vermelha dão origem às células do sangue. Assim, as células-tronco do adulto apresentam um padrão de reposição celular relacionado com o tecido onde estão. Em cada tipo de tecido, porém, elas podem dar origem aos vários tipos celulares do tecido em questão, o que possibilita o crescimento, a manutenção e o reparo dos tecidos no adulto.

Além dos exemplos dados, hoje se sabe que há células-tronco específicas em vários outros tecidos.

O conhecimento dessa propriedade das células-tronco do adulto tem possibilitado o tratamento de certas doenças pelo transplante dessas células. É o caso do tratamento da leucemia, um tipo de câncer em que as células-tronco da medula deixam de atuar corretamente. Nesse caso, faz-se um transplante com a medula de uma pessoa sadia, que contém células-tronco normais formadoras de células do sangue, compatíveis com a receptora. Com isso, a pessoa passa a ter a função normal de produção de células sanguíneas restabelecida.

Células-tronco formadoras de células do sangue também foram encontradas no sangue que circula no cordão umbilical e na porção fetal da placenta. Esse sangue é do próprio recém-nascido e nele se verificou que há grande número dessas células indiferenciadas. Quando a criança nasce, esse material pode ser coletado e preservado congelado por muitos anos. Ele pode ser usado não só pela própria pessoa, caso ela venha a desenvolver problemas em relação às suas células-tronco formadoras de sangue, como também ser usado em pessoas que necessitam de transplante de medula e não têm doadores.

Há, no entanto, necessidade de haver compatibilidade entre células de doadores e receptores. Atualmente já existem bancos de células-tronco do cordão umbilical ou da placenta; faz-se uso terapêutico dessas células apenas em transplantes de medula óssea vermelha. Outros usos não são comprovados cientificamente e ainda estão em estudo.

- Procure mais informações a respeito de células-tronco e debata com seus colegas, pais e professores. Depois, pondere qual seria sua posição em relação às células-tronco, se você fosse membro de um comitê que estabelecesse normas para a pesquisa científica ou decidisse sobre a aplicação de verbas para linhas de pesquisa. Que políticas você defenderia?
  Note que, quando você pondera sobre qual seria sua posição em relação ao tema das células-tronco, você está diante de uma questão ética. Como você avalia a ética do uso de células-tronco embrionárias obtidas de blastocistos e de células-tronco não embrionárias?
  Esse questionamento leva você a imaginar-se como detentor do poder de influenciar decisões que são de interesse da coletividade e, por isso, estimula o desenvolvimento de seu sentido de cidadania.

Retomando

Agora que você conhece melhor os tecidos humanos, retome suas respostas às questões da seção **Pense nisso** e reescreva-as. Quais são as principais características dos tecidos epiteliais? E dos conjuntivos? Como esses dois tecidos interagem quando você movimenta, por exemplo, o seu braço? Descreva esse processo.

Ampliando e integrando conhecimentos

REGISTRE NO CADERNO

Professor(a), veja nas Orientações didáticas os comentários e as respostas das questões dissertativas.

Atividade 1 Células adiposas e a massa de uma pessoa

Habilidades do Enem: H15, H17, H28.

Analise os dados (fictícios) da tabela a seguir.

	Adulto A: peso ideal	Adulto B: sobrepeso	Adulto C: obeso
Número de adipócitos	25 a 30 bilhões	25 a 30 bilhões	75 bilhões
Quantidade de gordura armazenada por adipócito	0,6 micrograma	0,9 micrograma	0,9 micrograma

Tabela apresentando a quantidade de adipócitos e de gordura armazenada por adipócito em três pessoas adultas hipotéticas.

O aumento do volume celular pelo acúmulo de gordura é chamado hipertrofia celular; já o aumento do número de células caracteriza a hiperplasia celular.

Considerando essas informações, responda:

a) Qual dos dois processos – hipertrofia ou hiperplasia celular – ocorreu com o adulto **B**, considerando que ele sofreu aumento de massa corpórea? Justifique sua resposta.

b) O adulto **C** sofre com a obesidade desde criança. Relacione esse fato com o seu número de adipócitos.

c) Se o adulto **B** conseguir emagrecer, o que deve acontecer com o seu número de adipócitos? E com a quantidade de gordura armazenada por célula?

Atividade 2 "*Doping* de sangue"

Habilidades do Enem: H11, H14, H28.

Considere as situações abaixo:

a) Um maratonista **A** treinou por dois meses em região montanhosa, a cerca de 2 000 metros de altitude, para uma prova a ser realizada em uma cidade localizada no nível do mar.

b) Para essa mesma prova, um maratonista **B** optou por fazer o "*doping* de sangue". Nessa prática, o atleta recebe, no dia anterior à competição, por transfusão sanguínea, células vermelhas de seu próprio sangue retiradas em períodos anteriores, e mantidas em um banco de sangue. O "*doping* de sangue" é ilegal e o atleta pode ser expulso da competição.

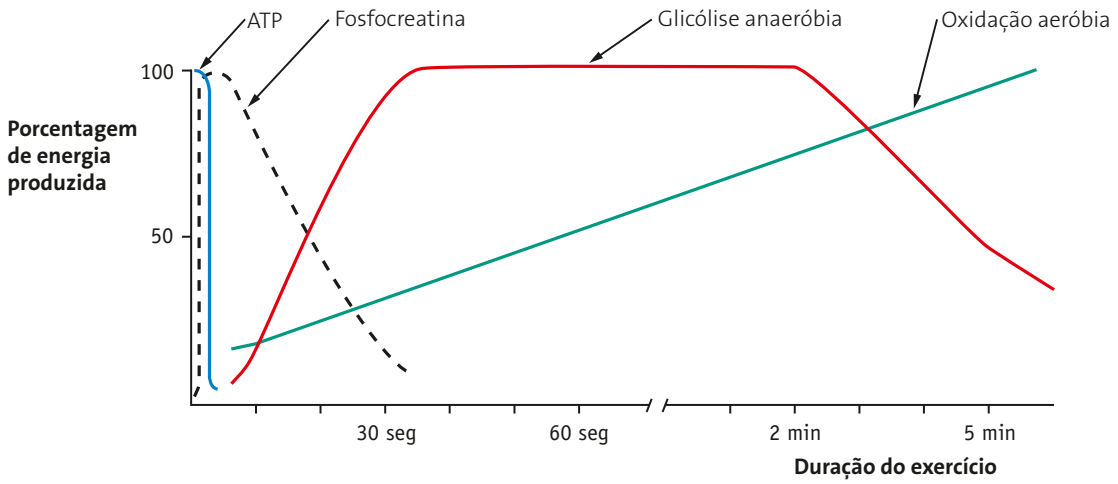
Que vantagens esses dois competidores esperam obter durante a maratona? Justifique sua resposta.

Atividade 3 Interpretando gráfico

Habilidades do Enem: H14, H15, H17.

O gráfico a seguir mostra a relação entre as fontes de energia para o trabalho muscular em relação à duração da atividade física. A curva de glicólise anaeróbia refere-se à fermentação láctica de glicose e a da oxidação aeróbia refere-se à respiração aeróbia com degradação total de glicose e de ácidos graxos a gás carbônico e água. Analisando esse gráfico e o que foi explicado no capítulo a respeito desse assunto, responda:

Fontes de energia para o trabalho muscular ao longo do tempo de duração de atividades físicas



BIS

Fonte: TORRES, B. B.; MARZZOCO, A. *Bioquímica básica*. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2015.

a) Uma atleta de elite, ao correr 100 metros rasos em menos de 20 segundos, recorre a quais fontes de energia?

b) Um atleta de elite que faz uma prova de natação de 400 metros livres (em torno de 3 a 4 minutos) recorre a quais fonte de energia?

c) Uma atleta maratonista usa principalmente qual tipo de fonte de energia?

Testes

REGISTRE NO CADERNO

1. (Enem) Um paciente deu entrada em um pronto-socorro apresentando os seguintes sintomas: cansaço, dificuldade em respirar e sangramento nasal. O médico solicitou um hemograma ao paciente para definir um diagnóstico. Os resultados estão dispostos na tabela:

Constituinte	Número normal	Paciente
Glóbulos vermelhos	4,8 milhões/mm³	4 milhões/mm³
Glóbulos brancos	5 000 – 10 000/mm³	9 000/mm³
Plaquetas	250 000 – 400 000/mm³	200 000/mm³

TORTORA, G. J. *Corpo humano*: fundamentos de anatomia e fisiologia. Porto Alegre: Artmed, 2000 (adaptado).

Relacionando os sintomas apresentados pelo paciente com os resultados de seu hemograma, constata-se que

x a) o sangramento nasal é devido à baixa quantidade de plaquetas, que são responsáveis pela coagulação sanguínea.

b) o cansaço ocorreu em função da quantidade de glóbulos brancos, que são responsáveis pela coagulação sanguínea.

c) a dificuldade respiratória decorreu da baixa quantidade de glóbulos vermelhos, que são responsáveis pela defesa imunológica.

d) o sangramento nasal é decorrente da baixa quantidade de glóbulos brancos, que são responsáveis pelo transporte de gases no sangue.

e) a dificuldade respiratória ocorreu pela quantidade de plaquetas, que são responsáveis pelo transporte de oxigênio no sangue.

2. (UFSC) Os tecidos conjuntivos são responsáveis, basicamente, pelo preenchimento dos espaços entre estruturas do nosso organismo.

Indique a(s) proposição(ões) que é(são) verdadeira(s), em referência a esses tecidos.

(01) A pele e as glândulas são exemplos de estruturas formadas, exclusivamente, por esses tecidos.

X (02) São ricos em substância intersticial.

(04) O tecido adiposo localiza-se abaixo do tecido muscular.

(08) O tecido ósseo apresenta substância intersticial muito fluida.

X (16) O colágeno é uma proteína produzida por células do tecido conjuntivo propriamente dito.

X (32) O tecido cartilaginoso forma o pavilhão da orelha e os anéis da traqueia.

Dê como resposta a soma dos números associados às proposições corretas. Resposta: 50 (02 + 16 + 32)

3. (Unicamp-SP) A osteoporose, principal causa de quedas entre idosos, é resultado da perda gradual da densidade da matriz óssea, que é remodelada por osteoblastos e osteoclastos. Segundo os especialistas, a prevenção contra a osteoporose deve começar na infância, com alimentação rica em cálcio e em vitamina D, exposição diária ao sol e exercícios físicos. Sobre os vários fatores envolvidos na formação do osso, é correto afirmar que:

a) A fixação de cálcio no tecido ósseo depende da presença de vitamina D, cuja síntese é diminuída em indivíduos que têm o hábito de tomar sol.

b) O excesso de vitamina C pode levar à diminuição da densidade óssea, pois essa vitamina causa degradação das moléculas de colágeno.

c) Os osteoblastos e os osteoclastos são células responsáveis, respectivamente, pela captura de cálcio e pela absorção de vitamina D.

X d) Os osteoblastos e os osteoclastos são células responsáveis, respectivamente, pela produção e pela degradação de componentes da matriz óssea.

4. (UFSC) Se um músculo da perna de uma rã for dissecado e mantido em uma solução isotônica em recipiente hermeticamente fechado, o músculo é capaz de se contrair algumas vezes quando estimulado, mas logo deixa de responder aos estímulos. No entanto, se a solução for arejada, o músculo readquire a capacidade de se contrair quando estimulado. A explicação para o fenômeno é que o ar fornece o gás:

a) nitrogênio, necessário à transmissão do impulso nervoso ao músculo.

b) nitrogênio, necessário à síntese dos aminoácidos componentes da miosina.

c) oxigênio, necessário à oxidação da miosina e da actina que se unem na contração.

X d) oxigênio, necessário à respiração celular da qual provém a energia para a contração.

e) carbônico, necessário à oxidação do ácido lático acumulado nas fibras musculares.

5. (Enem) A água é um dos componentes mais importantes das células. A tabela a seguir mostra como a quantidade de água varia em seres humanos, dependendo do tipo de célula. Em média, a água corresponde a 70% da composição química de um indivíduo normal.

Tipo de célula	Quantidade de água
Tecido nervoso – substância cinzenta	85%
Tecido nervoso – substância branca	70%
Medula óssea	75%
Tecido conjuntivo	60%
Tecido adiposo	15%
Hemácias	65%
Ossos (sem medula)	20%

Junqueira L. C.; Carneiro J. *Histologia básica*. 8. ed., Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 1985.

Durante uma biópsia, foi isolada uma amostra de tecido para análise em um laboratório. Enquanto intacta, essa amostra pesava 200 mg. Após secagem em estufa, quando se retirou toda a água do tecido, a amostra passou a pesar 80 mg. Baseado na tabela, pode-se afirmar que essa é uma amostra de

a) tecido nervoso – substância cinzenta.

b) tecido nervoso – substância branca.

c) hemácias.

X d) tecido conjuntivo.

e) tecido adiposo.

CAPÍTULO

3

Sistemas digestório, respiratório, cardiovascular e imunitário

Thinkstock/Getty Images



Figura 3.1. O corpo humano é capaz de realizar diversas atividades: aproveitar os nutrientes dos alimentos, movimentar-se, realizar trocas gasosas com o ar atmosférico, eliminar produtos indesejáveis ou tóxicos etc. Todas essas funções atuam de forma integrada. Manter o corpo saudável é fundamental para que possamos ter boa qualidade de vida. O bom funcionamento de todos os sistemas do corpo depende não só de alimentação equilibrada, como também da prática de atividade física.

Pense nisso

- A nadadora da fotografia acima controla voluntariamente seus movimentos inspiratórios e expiratórios, especialmente porque fica, por um tempo, com o rosto dentro da água. Considere você neste momento. Está controlando sua inspiração e expiração? E quando você dorme? Explique suas respostas.
- Por que podemos engasgar quando falamos e comemos ao mesmo tempo?
- Um paciente recebeu o seguinte diagnóstico médico: pressão alta. De qual pressão o médico está falando? O que causa a pressão alta?
- Você saberia dizer como as substâncias orgânicas digeridas em nosso corpo e o ar atmosférico que inspiramos chegam às nossas células? Se sim, explique e diga quais são os sistemas do corpo envolvidos nesses processos.

1. Introdução

As estruturas dos seres vivos e suas respectivas funções estão intimamente integradas de forma a manter o meio interno estável, dentro de certos limites. Essa tendência ao equilíbrio das condições químicas e físicas do meio interno dos organismos, independentemente das mudanças externas ou internas, é o que se denomina **homeostase** (do grego: *hómoios* = de mesma natureza; *stásis* = estabilidade).

Despertando ideias

REGISTRE NO CADERNO

Regulando a temperatura da água

Objetivo

Você, com seu grupo de estudos, deve desenvolver uma metodologia e aplicá-la com a finalidade de manter a temperatura da água de um recipiente em torno de 37,0 °C, por um intervalo de tempo de 15 minutos, usando apenas os elementos fornecidos por seu(sua) professor(a), ou seja, água e um termômetro. O tempo entre as medidas ao longo dos 15 minutos deverá ser discutido em grupo.

Materiais

- 1 termômetro (vendido em farmácias e drogarias para medir a temperatura do corpo humano);
- 3 recipientes fundos e iguais, de preferência de plástico ou de vidro temperado;
- água de torneira, previamente aquecida pelo(a) professor(a).

Procedimentos

1. Numere os recipientes de 1 a 3.
2. Coloque em cada recipiente uma pequena quantidade de água nas temperaturas descritas a seguir.
3. No recipiente 1, coloque água e mantenha sua temperatura a 35,0 °C ou menos; no recipiente 2, a água deverá ficar a 37,0 °C; e, no recipiente 3, ajuste a temperatura a 42 °C (Fig. 3.2). Utilize o termômetro para regular as temperaturas. O(a) seu(sua) professor(a) deve auxiliá-los nessa tarefa.
4. O experimento se inicia com as temperaturas dos 3 recipientes bem ajustadas. A meta é manter a temperatura da água do recipiente 2 a 37,0 °C por 15 minutos. Para isso, só poderão utilizar água dos recipientes 1 e 3 e o termômetro. No recipiente 2 pode haver, no máximo, uma variação de apenas meio grau para cima ou para baixo.
5. Ao longo do período de 15 minutos de observação, anote a temperatura da água do recipiente 2 em uma tabela construída por seu grupo. No final, faça um gráfico de linhas da temperatura em função do tempo, acrescentando nele uma linha horizontal passando pelos 37,0 °C e duas linhas pontilhadas também horizontais passando pelos 36,5 °C e pelos 37,5 °C.



Conceitograf

Figura 3.2. Esquema de montagem para o experimento de regulação da temperatura.

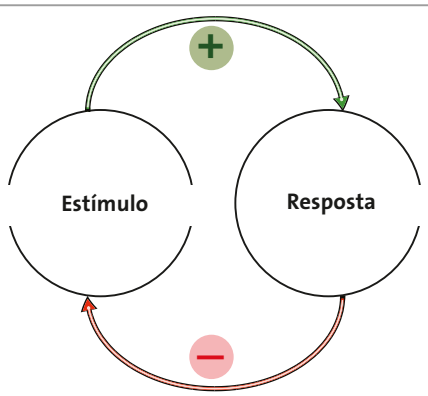
Discussão Professor(a), veja nas Orientações didáticas os comentários e as respostas das questões dissertativas.

1. As temperaturas medidas ao longo dos 15 minutos permaneceram entre os limites assinalados pela linha pontilhada do seu gráfico?
2. Qual foi a metodologia utilizada por seu grupo para manter a temperatura do recipiente 2 mais ou menos constante? Descreva-a com detalhes para que fique mais fácil explicá-la aos outros grupos.
3. Comparando a metodologia adotada por seu grupo com a metodologia usada pelos outros grupos da sala, vocês consideram que fizeram uma boa escolha metodológica? No que poderiam melhorar?
4. Proponha um esquema explicativo do mecanismo de regulação da temperatura usado por vocês.

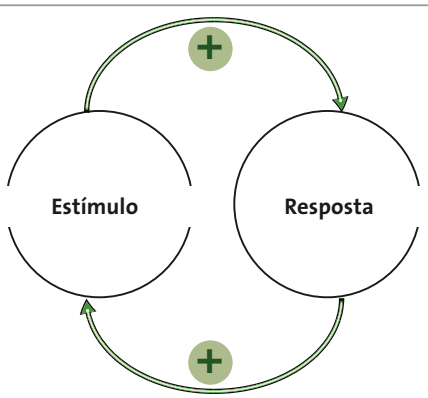
A manutenção das condições corpóreas em níveis relativamente constantes depende da interação entre os diferentes órgãos e sistemas. Uma das maneiras de exercer esse controle é por inibição ou bloqueio de um estímulo, fazendo com que cessem as ações desencadeadas por ele. A isso se chama **retroalimentação negativa** (ou *feedback* negativo). O outro modo é por **retroalimentação positiva** (ou *feedback* positivo), em que um estímulo produz uma resposta que promove aumento do estímulo e não a sua redução. Os mecanismos de retroalimentação negativa são os mais importantes processos homeostáticos do corpo, pois possibilitam o retorno à condição de equilíbrio (Fig. 3.3).

Um exemplo de processo homeostático mantido por retroalimentação negativa é o controle da temperatura do nosso corpo. Os neurônios de uma parte do cérebro humano, chamada **hipotálamo**, monitoram a temperatura na superfície da pele e a temperatura interna do corpo. Se esses neurônios receberem a informação de que a temperatura interna diminuiu para menos de 36,5 °C, que é a considerada normal, o hipotálamo passará a produzir substâncias químicas que fazem com que as células do corpo aumentem sua atividade, gerando mais calor e consequentemente aumentando a temperatura corpórea. Isso explica, por exemplo, por que trememos em dias frios. A contração muscular libera calor, o que ajuda no aumento da temperatura do corpo. Em dias frios é aconselhável o uso de agasalho, pois assim o calor produzido pelo corpo é mantido próximo à pele e o corpo se mantém aquecido. Esse aumento de temperatura é informado para o hipotálamo, que deixa de mandar o estímulo e a produção dessas substâncias químicas cessa. Por outro lado, se a temperatura do corpo subir acima de 37 °C, o hipotálamo comanda decréscimo da atividade celular, o que reduz a liberação de calor e consequentemente há redução da temperatura. O corpo também responde a essa elevação produzindo suor, que, ao evaporar, rouba calor do corpo, causando a diminuição da temperatura.

A retroalimentação positiva ocorre na ação do hormônio **ocitocina** (ou oxitocina) na contração uterina durante o trabalho de parto. Quando a mulher inicia o trabalho de parto, há contração dos músculos não estriados do útero. Esse é o estímulo para o início da produção do hormônio ocitocina, pela glândula hipófise (ou pituitária), localizada na base do cérebro. A ocitocina atua sobre a musculatura uterina aumentando a contração. O aumento da contração é um estímulo para aumentar ainda mais a produção de ocitocina, levando ao aumento das contrações, até o nascimento da criança. Assim que a criança nasce, o estímulo cessa e há redução da produção e da liberação do hormônio.



Retroalimentação negativa: um estímulo provoca uma resposta e essa resposta faz com que o estímulo cesse.



Retroalimentação positiva: o estímulo provoca uma resposta que aumenta a intensidade do estímulo.

SIC

Figura 3.3. Diagramas representando retroalimentação negativa e retroalimentação positiva.

2. Sistema digestório

O sistema digestório humano é formado por um longo tubo com regiões especializadas e por glândulas anexas (salivares, pâncreas e fígado). Ele está esquematizado na figura 3.4, onde se destacam algumas das substâncias produzidas e que estão relacionadas com a digestão.

A função primária do sistema digestório é o fornecimento de água, íons e nutrientes para o corpo. Essas funções relacionam-se com os processos de **ingestão** e **digestão** de substâncias orgânicas, seguidas pela **absorção** dos produtos resultantes da digestão e pela **eliminação** do que não foi aproveitado. Relaciona-se também com a ingestão e absorção de água e nutrientes inorgânicos que não passam pelo processo de digestão. Os restos não aproveitáveis da digestão são eliminados do organismo pela **defecação**.

A digestão é de fundamental importância, pois permite que as grandes moléculas do alimento ingerido sejam separadas em suas unidades estruturais, que podem ser absorvidas pelas células.

Jurandir Ribeiro

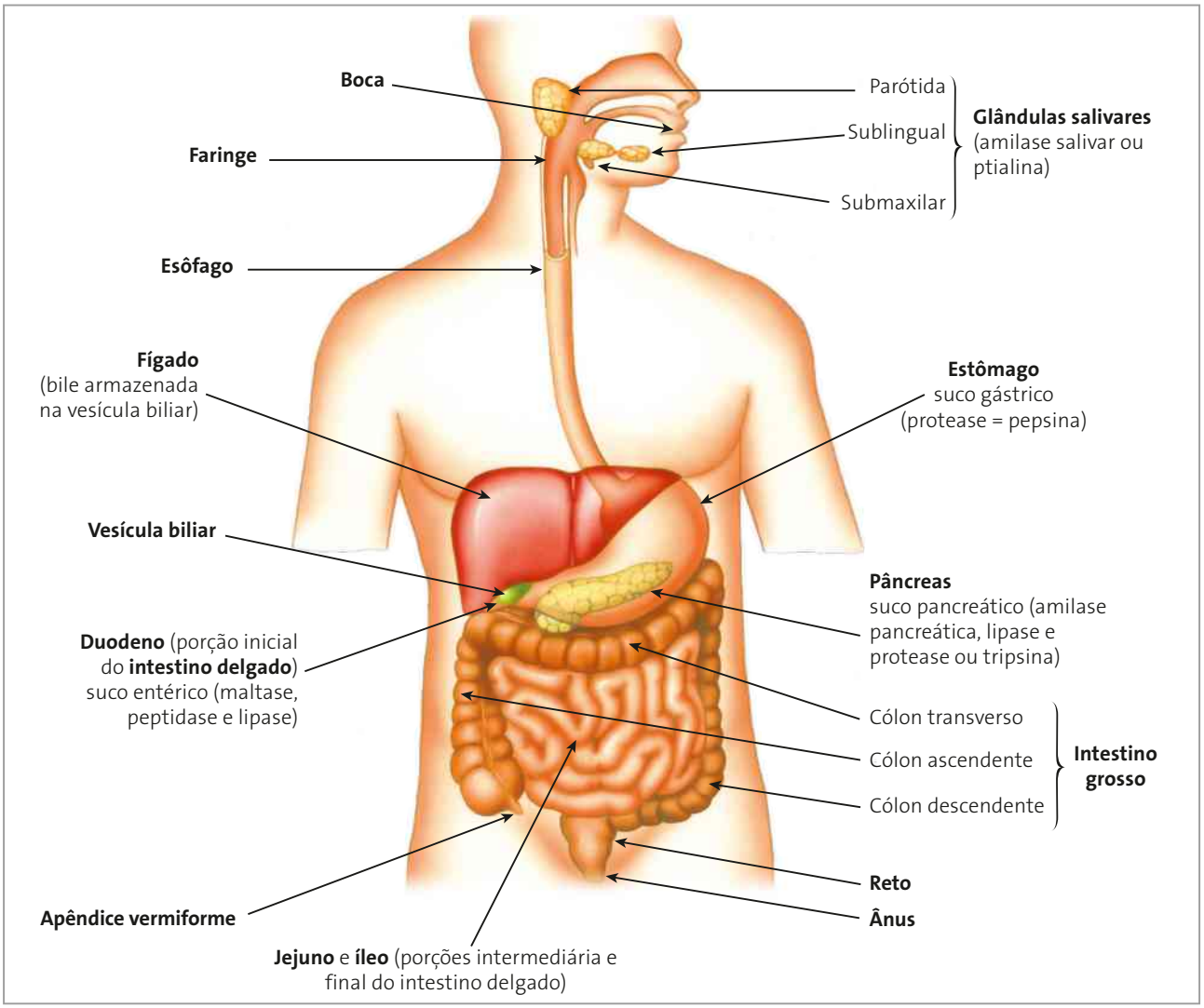


Figura 3.4. Esquema do sistema digestório humano. (Cores fantasia.)

O processo de digestão envolve fenômenos físicos e químicos. Os **fenômenos físicos** compreendem a trituração do alimento em partículas menores e seu transporte ao longo do tubo digestório. Os **fenômenos químicos** permitem a transformação dos alimentos em seus constituintes químicos.

A ação conjunta dos processos físicos e químicos da digestão resulta em uma solução aquosa de moléculas alimentares. A fragmentação mecânica do alimento aumenta sua superfície de contato com os sucos digestivos que participam da digestão química, e os movimentos do tubo digestório facilitam a mistura do alimento com esses sucos.

Os sucos digestivos que participam desse processo contêm enzimas digestivas, produzidas pelas próprias paredes do tubo digestório ou por glândulas especiais associadas ao sistema digestório.

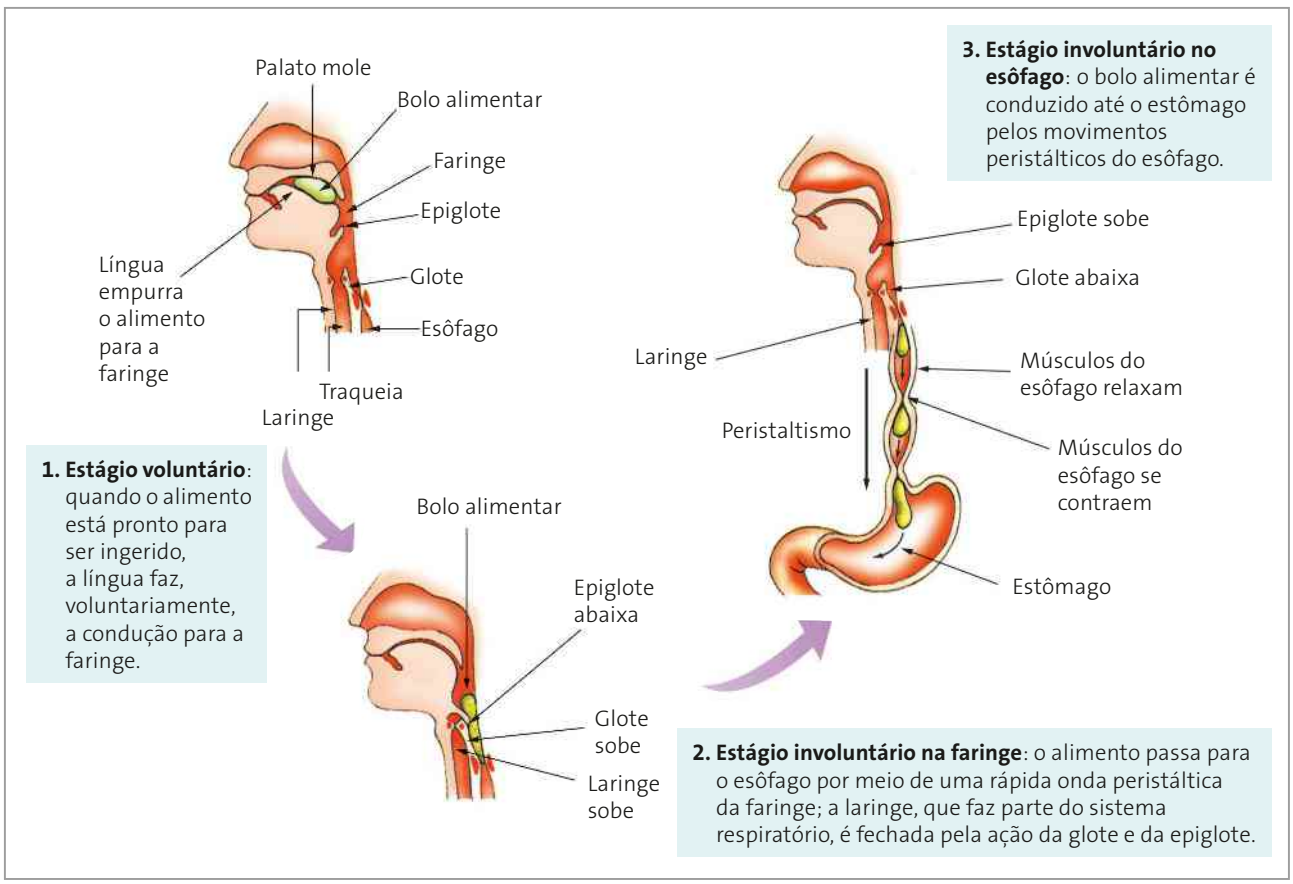
A digestão, no ser humano, inicia-se na boca, com a **mastigação** (processo físico) e a atuação da enzima digestiva contida na saliva (processo químico): a enzima **ptialina** (amilase salivar), que atua sobre o **amido**.

A digestão do amido inicia-se na boca e continua a ocorrer no estômago, até que o pH estomacal diminua e inative a amilase salivar. A parte final da digestão do amido ocorre no intestino delgado, pela ação da amilase pancreática produzida pelo pâncreas e liberada no duodeno, porção inicial do intestino delgado.

As enzimas atuam em determinados intervalos de pH que são considerados ótimos, ou seja, quando a atividade enzimática está otimizada em razão do valor do pH. Em outros valores de pH, sejam eles maiores ou menores que o pH ótimo, a atividade enzimática é reduzida ou até mesmo ausente. A ptialina atua na boca, onde o pH está em torno de 7.

No volume 1 desta coleção foi abordada a influência do pH sobre a atividade enzimática. Se julgar pertinente, retome esse aspecto com os estudantes. Pode ser fortalecida a interação com a disciplina de Química, onde se discute mais profundamente o conceito de pH.

A massa formada pelo alimento mastigado e insalivado é chamada **bolo alimentar**. Por ação da língua, o bolo alimentar é empurrado para a faringe, passando em seguida para o esôfago e deste para o estômago. Esse processo de passagem do bolo alimentar da boca para o estômago denomina-se **deglutição** e depende dos movimentos peristálticos da faringe e do esôfago (Fig. 3.5). Em um adulto a faringe mede cerca de 13 cm de comprimento e o esôfago por volta de 25 cm de comprimento.



Jurandir Ribeiro

Figura 3.5. Esquema dos três estágios da deglutição, em cortes longitudinais medianos ao corpo. (Elementos representados em diferentes escalas; cores fantasia.)

Colocando em foco

ENGASGAR PODE MATAR?

O ato de engolir é extremamente complexo, embora não percebamos isso. Na deglutição, a glote, que é a entrada da laringe, sobe, e a epiglote, que atua como uma válvula entre o esôfago e a laringe, fecha a entrada da laringe, pois é forçada pelo alimento que passa para o esôfago. Quando respiramos, a epiglote e a glote deixam aberta a passagem da laringe, e o ar passa das cavidades nasais para a faringe e laringe, e desta para a traqueia.

Entretanto, ocasionalmente as pessoas podem engasgar, ou seja, o alimento passa para a laringe e bloqueia a entrada de ar. Segue-se a tosse que geralmente resolve o problema. Porém, em algumas situações a pessoa pode ficar sufocada e, se não for socorrida a tempo, pode morrer.

Alguns procedimentos de emergência devem ser tomados ao se verificar que uma pessoa se encontra seriamente engasgada. Veja a seguir.

- Bater nas costas dessa pessoa com as mãos abertas.
- Se não der resultado, aplicar a manobra de Heimlich: ficar por trás da pessoa e passar os braços pela cintura dela, firmando os punhos entre as costelas e o abdômen, como mostra a figura 3.6 a seguir.

Apertar o corpo da pessoa com movimentos rápidos, para fazer com que o ar do pulmão saia com força suficiente e empurre o alimento que está obstruindo a passagem. Caso a pessoa não consiga ficar de pé, a manobra pode ser feita com ela sentada.

- Caso a pessoa não consiga ficar de pé, por estar inconsciente ou esgotada, a manobra poderá ser feita com ela sentada ou deitada (Fig. 3.7).
- Se em 20 segundos a pessoa não reagir, é necessário fazer a ressuscitação cardiovascular por pessoas qualificadas e procurar socorro médico imediatamente.

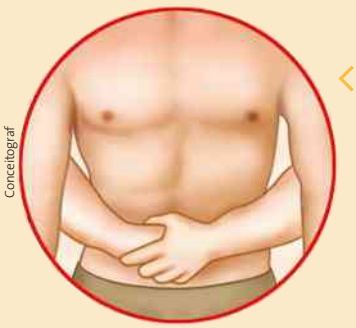

Conceitograf

Figura 3.6. Manobra de Heimlich, o melhor método pré-hospitalar de primeiros socorros ao engasgado. Foi descrita pela primeira vez em 1974, por Henry Heimlich.


Conceitograf

Figura 3.7. Procedimento a ser adotado caso a manobra de Heimlich não dê resultado.

Quando o alimento chega ao estômago, o esfíncter da cárdia, localizado entre o esôfago e o estômago, e o esfíncter pilórico (piloro), localizado entre o estômago e o intestino, se fecham. Com isso o alimento é mantido dentro do estômago, onde sofre a ação da enzima digestiva **pepsina**, produzida pela parede do estômago e que atua sobre as proteínas, transformando-as em moléculas menores, como as **peptonas**. Glândulas da parede do estômago também produzem **ácido clorídrico** ($HC\ell$), responsável por manter o pH ácido (entre 1,5 e 2,0), necessário à atuação da pepsina. Esse ácido também atua de modo a matar microrganismos ingeridos com o alimento. No estômago também há produção de muco, que protege as paredes desse órgão contra a ação do suco gástrico, formado por $HC\ell$, pepsina e outros componentes.

A transformação química que ocorre no estômago denomina-se **quimificação**: o bolo alimentar transforma-se em outra massa, que é denominada **quimo**.

O estômago é um órgão que tem forma e volume variáveis, mas sua capacidade média nos adultos é de cerca de 2 litros.

Colocando em foco

O QUE É GASTRITE? E ÚLCERA PÉPTICA?

A **gastrite** é uma inflamação da mucosa gástrica e uma das doenças mais comuns na população em geral, especialmente em adultos. A inflamação pode ser apenas superficial ou em casos mais graves provocar atrofia da mucosa gástrica. Em poucos casos a gastrite pode ser aguda e severa, provocando feridas (úlceras) na mucosa pela ação do próprio suco gástrico.

Certas substâncias ingeridas podem ser irritantes da mucosa gástrica e provocar estragos na camada de muco que a protege, facilitando a inflamação. Dentre as mais importantes substâncias que têm esse efeito estão as bebidas alcoólicas.

A **úlcera péptica** ocorre em especial na região da cárdia e do piloro e é uma escoriação da mucosa causada pela produção excessiva de sucos gástricos que acaba rompendo a barreira de muco protetor. Essa produção excessiva parece estar ligada a estímulos nervosos. Pesquisadores constataram que 75% dos casos de úlcera péptica ocorrem também em função da infecção crônica pela bactéria *Helicobacter pylori*, que quebra a barreira protetora de muco, propiciando que as enzimas do suco gástrico atuem sobre a parede gástrica. Nesses casos o tratamento médico é feito com antibiótico.

Os movimentos peristálticos do estômago facilitam a atuação do suco gástrico e empurram o quimo para o **intestino delgado**, que no adulto mede cerca de 6 m de comprimento e 4 cm de diâmetro. O intestino delgado é dividido em três regiões: o **duodeno**, região mais anterior e que mede por volta de 25 cm de comprimento; o **jejuno**, região mediana que tem aproximadamente 4,5 m de comprimento; e o **íleo**, região posterior que mede cerca de 1,5 m de comprimento.

No duodeno duas importantes glândulas lançam suas secreções: o **fígado** e o **pâncreas** (Fig. 3.8).

Walter Caldeira

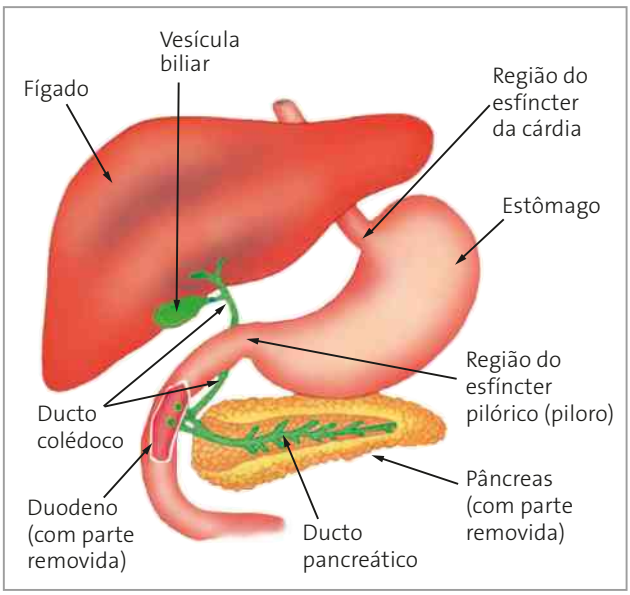


Figura 3.8. Esquema mostrando o fígado e o pâncreas e a comunicação desses órgãos com o duodeno. (Elementos representados em diferentes escalas; cores fantasia.)

O fígado de uma pessoa adulta tem cerca de 1,5 kg de massa, sendo a maior glândula do corpo humano. Ele desempenha várias funções, tais como armazenamento de glicogênio, síntese de ureia a partir de amônia e CO_2, degradação de álcool e de outras substâncias tóxicas, e degradação de hemoglobina. Em relação à digestão, o fígado produz a **bile**, que **não** contém enzimas digestivas, mas substâncias que emulsionam as gorduras, facilitando a ação das enzimas que vão atuar no alimento no interior do duodeno. Além dessas substâncias, a bile contém bicarbonato e resíduos do metabolismo do colesterol e da degradação de hemoglobina. A bile fica armazenada na vesícula biliar, estrutura que em uma pessoa adulta mede cerca de 10 cm de comprimento por 3,5 cm de diâmetro na parte mais larga. A vesícula lança a bile no duodeno por meio do **ducto colédoco**.

O pâncreas de um adulto tem cerca de 15 cm de comprimento, 4 cm de altura e 2 cm de espessura. Além de participar da digestão, o pâncreas é importante em outras funções do organismo. Nele há produção de dois hormônios que participam do controle da quantidade de glicose no sangue: a insulina, cuja ação reduz a quantidade de glicose, e o glucagon, cuja ação leva ao aumento da concentração de glicose no sangue. Em relação ao processo de digestão, essa glândula produz bicarbonato e várias enzimas digestivas, comunicando-se com o duodeno por meio do **ducto pancreático**.

O bicarbonato, liberado no duodeno pelo pâncreas e pela vesícula biliar, promove aumento do pH nessa região do intestino. Isso é importante, pois as enzimas digestivas que aí atuam são funcionais apenas em pH entre 7 e 8.

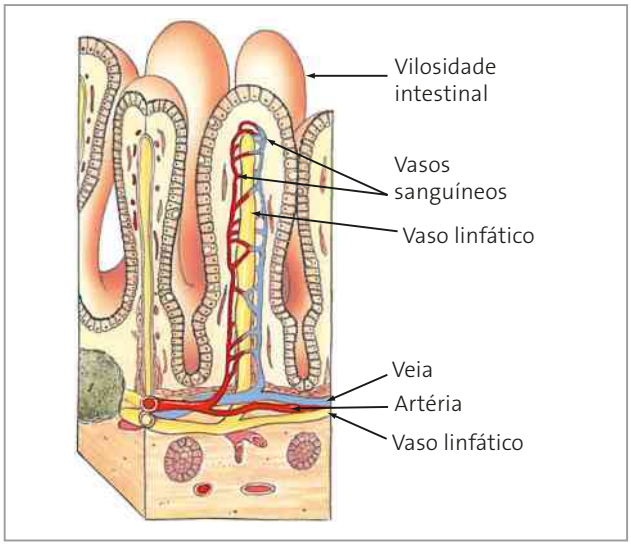
As enzimas que atuam no duodeno são produzidas pelo pâncreas e pelo próprio duodeno e estão exemplificadas no quadro abaixo (Fig. 3.9).

Enzima	Origem	Substrato ⟶ Produto
Amilase pancreática	Pâncreas	Amido ⟶ Maltose
Lipase pancreática	Pâncreas	Gorduras ⟶ Ácidos graxos + glicerol
Tripsina	Pâncreas	Proteínas ⟶ Peptídeos
Quimiotripsina	Pâncreas	Proteínas ⟶ Peptídeos
Nuclease	Pâncreas	Ácidos nucleicos ⟶ Nucleotídeos
Aminopeptidase	Duodeno	Peptídeos ⟶ Aminoácidos
Dipeptidase	Duodeno	Dipeptídeos ⟶ Aminoácidos
Maltase	Duodeno	Maltose ⟶ Glicose
Lactase	Duodeno	Lactose ⟶ Galactose + glicose
Sacarase	Duodeno	Sacarose ⟶ Frutose + glicose
Lipase intestinal	Duodeno	Gorduras ⟶ Ácidos graxos + glicerol

Figura 3.9. Quadro resumo das principais enzimas digestivas que atuam no intestino delgado.

A transformação final do alimento que ocorre no intestino delgado denomina-se **quilificação**; assim o quimo passa a ser denominado **quilo**. Este contém os produtos finais da digestão, além de água e de sais minerais. Ocorre, então, o processo de **absorção**.

No intestino delgado existem inúmeras vilosidades cuja principal função é aumentar a superfície de contato do intestino com o quilo, favorecendo a absorção. Nessas vilosidades existem muitos capilares sanguíneos e linfáticos (Fig. 3.10).



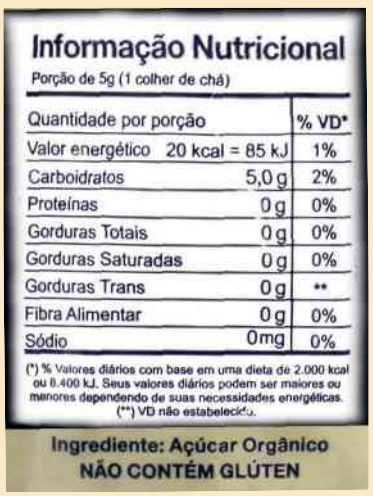
Jurandir Ribeiro

Figura 3.10. Esquema de vilosidades intestinais e de seus vasos sanguíneos e linfáticos. Elementos representados fora de escala; cores fantasia.)

Colocando em foco

CELÍASE

A celíase é uma doença determinada geneticamente, cujo portador apresenta uma intolerância permanente ao glúten, presente em alimentos como o trigo, o centeio, a cevada (malte inclusive) e a aveia (Fig. 3.11). Nessas pessoas, o glúten danifica a camada de revestimento interno do intestino delgado, ou seja, as vilosidades intestinais, que se tornam atrofiadas. Em 90% dos casos a doença surge na infância e raramente se manifesta em adultos. Diagnosticada a moléstia, o paciente deverá evitar o glúten. Caso contrário, ele poderá sofrer graves crises de diarreia, emagrecimento, crescimento deficiente, anemia, atraso na puberdade, alterações na dentição e, na idade adulta, esterilidade e risco de desenvolver câncer no intestino.


Rita Barreto

Informação Nutricional

Porção de 5g (1 colher de chá)

Quantidade por porção		% VD*
Valor energético	20 kcal = 85 kJ	1%
Carboidratos	5,0 g	2%
Proteínas	0 g	0%
Gorduras Totais	0 g	0%
Gorduras Saturadas	0 g	0%
Gorduras Trans	0 g	**
Fibra Alimentar	0 g	0%
Sódio	0mg	0%

(*) % Valores diários com base em uma dieta de 2.000 kcal ou 8.400 kJ. Seus valores diários podem ser maiores ou menores dependendo de suas necessidades energéticas.
(**) VD não estabelecido.

Ingrediente: Açúcar Orgânico
NÃO CONTÉM GLÚTEN

Figura 3.11. A indicação de presença ou ausência de glúten nos alimentos é obrigatória, para evitar que portadores da celíase consumam glúten desavisadamente. Na fotografia, detalhe de embalagem de açúcar.

Os capilares sanguíneos recebem aminoácidos, glicose, água e sais minerais, e os capilares linfáticos recolhem água, ácidos graxos e glicerol. Os capilares sanguíneos reúnem-se e levam o alimento digerido para o fígado, onde é armazenado e/ou distribuído para todo o corpo via circulação sanguínea. Os capilares linfáticos têm fundo cego (uma das extremidades fechada) e são denominados vasos quilíferos. Eles não passam pelo fígado, lançando seus produtos na circulação.

A porção final do íleo comunica-se com a porção inicial do intestino grosso, que é o **ceco** intestinal. Nessa junção existe a **valva ileocecal**, cuja função é impedir o retorno do quilo para o íleo. O ceco mede cerca de 6 cm de comprimento e 7,5 cm de largura em uma pessoa adulta.

Associado ao ceco existe o **apêndice vermiforme**, uma pequena bolsa estreita e alongada que mede cerca de 8 cm de comprimento e 7 mm de diâmetro em uma pessoa adulta.

Tanto o ceco quanto o apêndice vermiforme são bem desenvolvidos em mamíferos herbívoros, como os coelhos.

O intestino grosso não tem vilosidades. Mede cerca de 1,5 m de comprimento e 7 cm de diâmetro, sendo dividido em **cólon ascendente**, **cólon transverso**, **cólon descendente** e **reto**. Há absorção de água, formação das fezes e secreção de muco.

Na porção terminal do intestino grosso há densa população de bactérias que vivem dos resíduos alimentares, produzindo gases e também substâncias úteis ao organismo, como as vitaminas **K** e $\mathbf{B_{12}}$. A ação bacteriana contribui para a formação das fezes. Imediatamente ou logo após a chegada das fezes ao reto, há o estímulo para a defecação. As fezes são eliminadas pelo ânus.

2.1. O controle dos processos digestivos

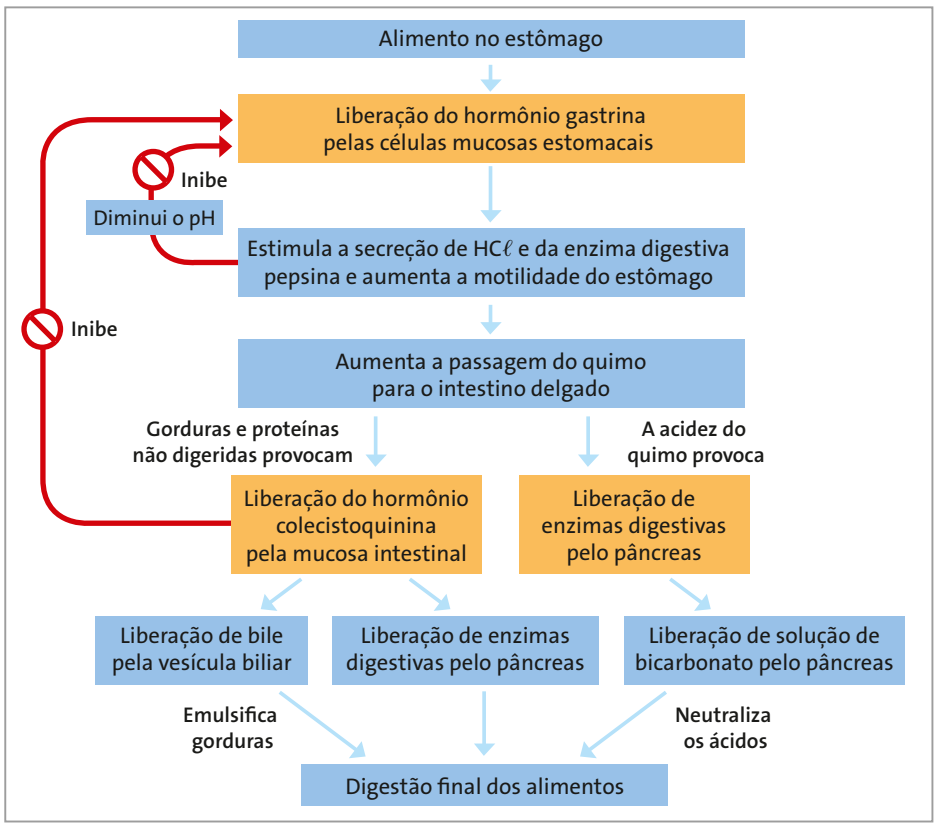
Os processos digestivos são controlados pelo sistema nervoso autônomo e por hormônios. Percebe-se a diminuição da interferência do primeiro e o aumento da importância dos hormônios à medida que os processos se tornam mais internos no organismo.

Assim, a **insalivação** é controlada por impulsos nervosos: quando pensamos em um alimento saboroso ou sentimos cheiro agradável de comida, começamos a ficar com "água na boca", ou seja, há imediato estímulo das glândulas salivares por meio do sistema nervoso autônomo, determinando a produção da saliva.

A digestão no estômago é controlada pelo sistema nervoso e por hormônios. A presença de alimento na boca estimula o peristaltismo do estômago e a produção de suco gástrico.

A digestão no intestino delgado é regulada principalmente por hormônios.

A figura 3.12 resume a ação de alguns dos hormônios gastrointestinais, mostrando os pontos onde ocorre retroalimentação negativa nesses processos.



SIC

Figura 3.12. Esquema com resumo da ação de alguns hormônios gastrointestinais.

Colocando em foco

HORMÔNIOS E APETITE

Já comentamos a respeito do hormônio leptina, produzido pelo tecido adiposo que tem como característica inibir a fome quando em concentrações acima do normal. Entretanto, esse hormônio só é efetivo em pessoas que apresentam receptores específicos para ele nas células do hipotálamo.

Como vimos, há inúmeros fatores que interferem na obesidade. Aqui, vamos falar de mais dois, agora relacionados ao estômago e ao duodeno.

O controle da ingestão de alimento e do peso corporal dependem da interação entre fatores de longo e curto prazo. O hormônio leptina informa a adequação das reservas energéticas ao hipotálamo, o que faz parte do controle do peso de longo prazo. O controle de curto prazo depende de dois outros hormônios, a grelina, produzida predominantemente pelo estômago, e o GLP-1, produzido no duodeno. Esses hormônios, assim como a leptina, também atuam no hipotálamo (Fig. 3.13).

A grelina funciona como um "iniciador de refeição". Seus níveis elevam-se uma a duas horas antes de uma refeição e depois se reduzem. Assim, esse hormônio demonstra estar envolvido no estímulo para iniciar uma refeição. A produção excessiva de grelina pode levar à obesidade.

Com o alimento chegando ao estômago, há redução da produção de grelina e, consequentemente, do apetite. A comida parcialmente digerida, ao chegar ao duodeno, estimula a produção de outro hormônio neste órgão: o GLP-1, que inibe a fome.

Fonte dos dados: <http://revistapesquisa.fapesp.br/2013/07/12/grandes-ganhos-com-pequena-perda-de-peso>. Acesso em: maio 2016.

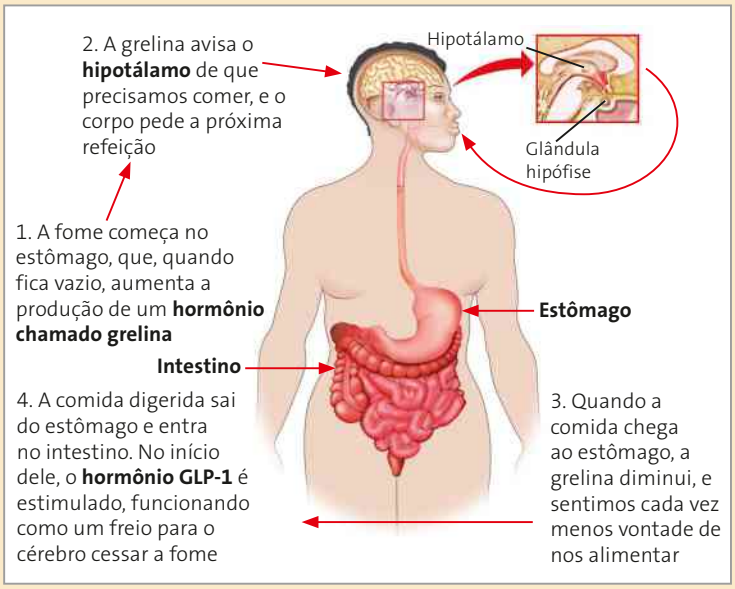


Figura 3.13. Atuação dos hormônios grelina e GLP-1 em processos de fome e saciedade. (Elementos representados em diferentes escalas; cores fantasia.)

3. Sistema respiratório

O termo **respiração** é frequentemente usado em seu sentido mais estrito, referindo-se ao processo bioquímico intracelular durante o qual ocorre liberação da energia contida em substâncias orgânicas. Essa energia será utilizada para diferentes atividades da célula. Nesse caso, a respiração restringe-se a processos intracelulares. Esse termo, entretanto, também pode ser empregado para as trocas gasosas com o meio externo através de superfícies respiratórias. Será nesse sentido que o usaremos neste capítulo.

Os gases importantes para a respiração são o gás carbônico (CO_2) e o oxigênio (O_2) – gases respiratórios.

As trocas gasosas são realizadas por **difusão**: movimento passivo de moléculas da região onde estão mais concentradas para a região onde estão menos concentradas.

Em todos os animais, incluindo os terrestres, há necessidade de um meio aquoso para que a difusão de gases ocorra: nos animais aquáticos, a superfície respiratória está em contato com a água; nos terrestres, ela é mantida úmida pelo próprio corpo do animal. Estando totalmente seca, uma superfície não exerce função de trocas gasosas.

O sistema respiratório humano está representado de forma esquemática na figura 3.14.

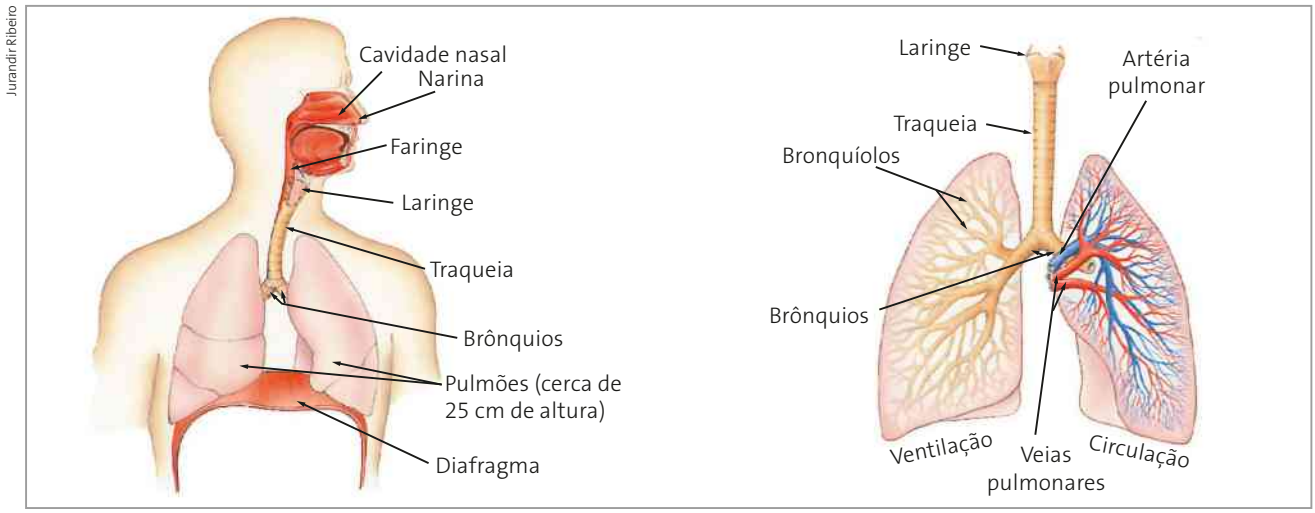
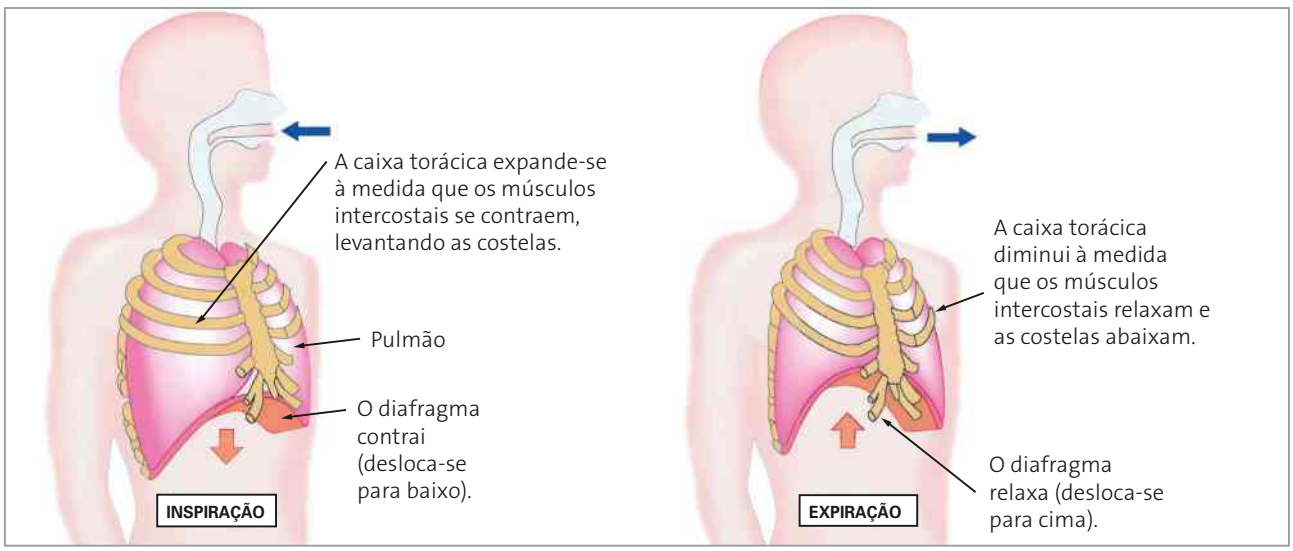


Figura 3.14. Esquema simplificado do sistema respiratório no ser humano; à direita, pulmões representados de modo a evidenciar os vasos sanguíneos e as estruturas relacionadas à ventilação. (Elementos representados em diferentes escalas; cores fantasia.)

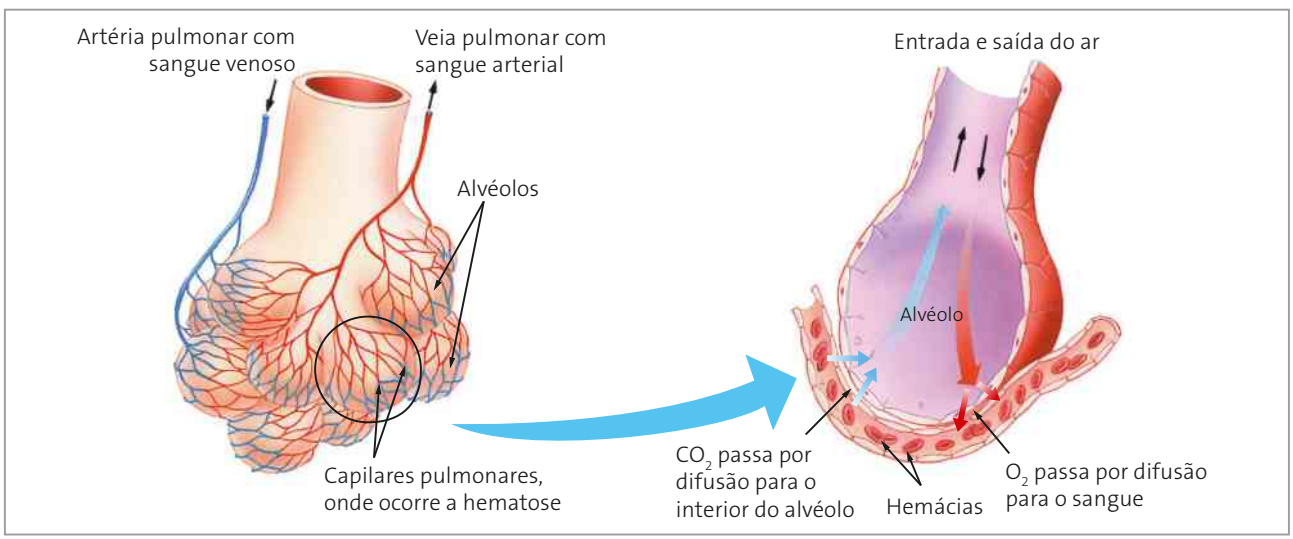
A ventilação pulmonar é determinada pelo **diafragma** e pelos **músculos intercostais** que se ligam às costelas, movimentando-as. A movimentação das costelas promove alterações no volume da caixa torácica. Ao se contraírem, esses músculos expandem a caixa toráxica, e ao relaxarem, diminuem seu volume. Esses movimentos são sincronizados com a ação do diafragma, como explicado na figura 3.15.



Studio Caparroz

Figura 3.15. Esquema de ventilação no ser humano. Dos processos de inspiração e expiração participam músculos intercostais e o diafragma, músculo exclusivo dos mamíferos e que separa o tórax do abdômen. (Elementos representados em diferentes escalas; cores fantasia.)

As trocas gasosas nas superfícies respiratórias ocorrem por difusão. No **sangue venoso**, a concentração de gás carbônico (CO_2) é maior que a do meio externo que fica em contato com as superfícies respiratórias, ocorrendo o inverso com o sangue arterial, rico em oxigênio (O_2). Nas superfícies respiratórias, há difusão de CO_2 para o meio externo e entrada de O_2 para o sangue. O sangue venoso passa, então, a **sangue arterial**. Esse processo denomina-se **hematose**. Analise a figura 3.16.



Walter Caldeira

Figura 3.16. Esquema de hematose nos alvéolos dos pulmões. (Elementos representados em diferentes escalas; cores fantasia.)

As hemácias do sangue contêm hemoglobina, pigmento respiratório de cor vermelha que apresenta grande afinidade com moléculas de O_2. A maior quantidade de O_2 é transportada pelas hemácias, enquanto uma quantidade menor é transportada dissolvida no plasma.

No sangue que passa pelos pulmões, o O_2 combina-se com a hemoglobina (Hb) durante a hematose, formando um composto instável denominado **oxiemoglobina**. Nos tecidos, o O_2 desprende-se da oxiemoglobina, deixando a hemoglobina livre.

O CO_2 difunde-se dos tecidos para o sangue, e parte dele se une à hemoglobina livre, formando um composto também instável denominado **carboemoglobina**.

Enquanto praticamente todo o O_2 é transportado pela hemoglobina, isso não ocorre com o CO_2. Apenas uma pequena quantidade dele é transportada sob a forma de carboemoglobina; a maior parte é transportada pelo plasma, principalmente sob a forma de íons bicarbonato (HCO_3^-).

Nos pulmões, o CO_2 difunde-se para os alvéolos. Quando transportado pela carboemoglobina, deixa a hemoglobina livre.

Colocando em foco

PERIGO NO DIA A DIA

A hemoglobina é um pigmento que tem grande afinidade com certos gases tóxicos, como é o caso do **monóxido de carbono (CO)**, gás inodoro formado, por exemplo, durante combustões incompletas nos motores dos carros. Esse gás expelido pelos escapamentos forma com a hemoglobina a **carboxiemoglobina**, que é um composto estável. Como a afinidade da Hb com esse gás é maior do que com o O_2 ou o CO_2 e o composto formado é estável, a inspiração do monóxido de carbono em recintos fechados pode levar à morte por asfixia. Por isso, recomenda-se não deixar ligado o motor do carro em garagens fechadas, pois em tal situação aumenta muito a concentração de CO no ar.

Em túneis viários com pouca ventilação esse problema também é sério, sendo recomendável a instalação de um sistema de ventilação como os que já existem em muitos túneis nas grandes cidades, bem como desligar o motor do carro em congestionamentos no interior desses túneis.

3.1. O controle da respiração

O controle da respiração pode ser tanto voluntário quanto involuntário.

O controle **voluntário** depende da nossa vontade. É o caso descrito no início deste capítulo: o nadador controla os movimentos de expiração e de inspiração enquanto nada. Esse controle voluntário ocorre também quando falamos ou quando prendemos intencionalmente a respiração.

O controle **involuntário** é realizado na maior parte do tempo, pois respiramos sem tomar consciência disso. Nesse caso, o controle depende de alterações químicas no sangue ligadas principalmente ao teor de gás carbônico e ao pH e, secundariamente, ao teor de oxigênio. Essas alterações químicas são detectadas por quimiorreceptores centrais e periféricos. Os centrais localizam-se no bulbo e detectam o teor de CO_2 e o pH do líquido cefalorraquidiano, o qual banha essa região do sistema nervoso central. Os quimiorreceptores periféricos localizam-se no arco aórtico e na carótida, que são artérias de grande calibre, e detectam alterações dos teores de CO_2, O_2 e pH do sangue arterial.

Os principais estímulos para ativar o processo de inspiração são o aumento do teor de CO_2 e a consequente redução do pH. Essa redução ocorre em função da associação do CO_2 com a água presente no plasma sanguíneo, formando um ácido fraco que se dissocia originando íons H^+.

$$CO_2 + H_2O \rightleftharpoons H_2CO_3 \rightleftharpoons H^+ + HCO_3^-$$

O aumento da concentração de CO_2, portanto, desloca a reação para a direita, reduzindo o pH, enquanto sua redução desloca para a esquerda.

Os estímulos percebidos pelos quimiorreceptores são transmitidos pelo nervo vago para o centro respiratório que fica no bulbo. De lá partem nervos para o diafragma e músculos intercostais, determinando a inspiração. A expiração também está sob o comando dessa região do bulbo.

Quando prendemos a respiração por meio do controle voluntário por tempo demasiadamente longo, as alterações químicas do sangue enviam estímulos que superam os do controle voluntário. Nesse momento, o controle involuntário determina o retorno da ventilação pulmonar.

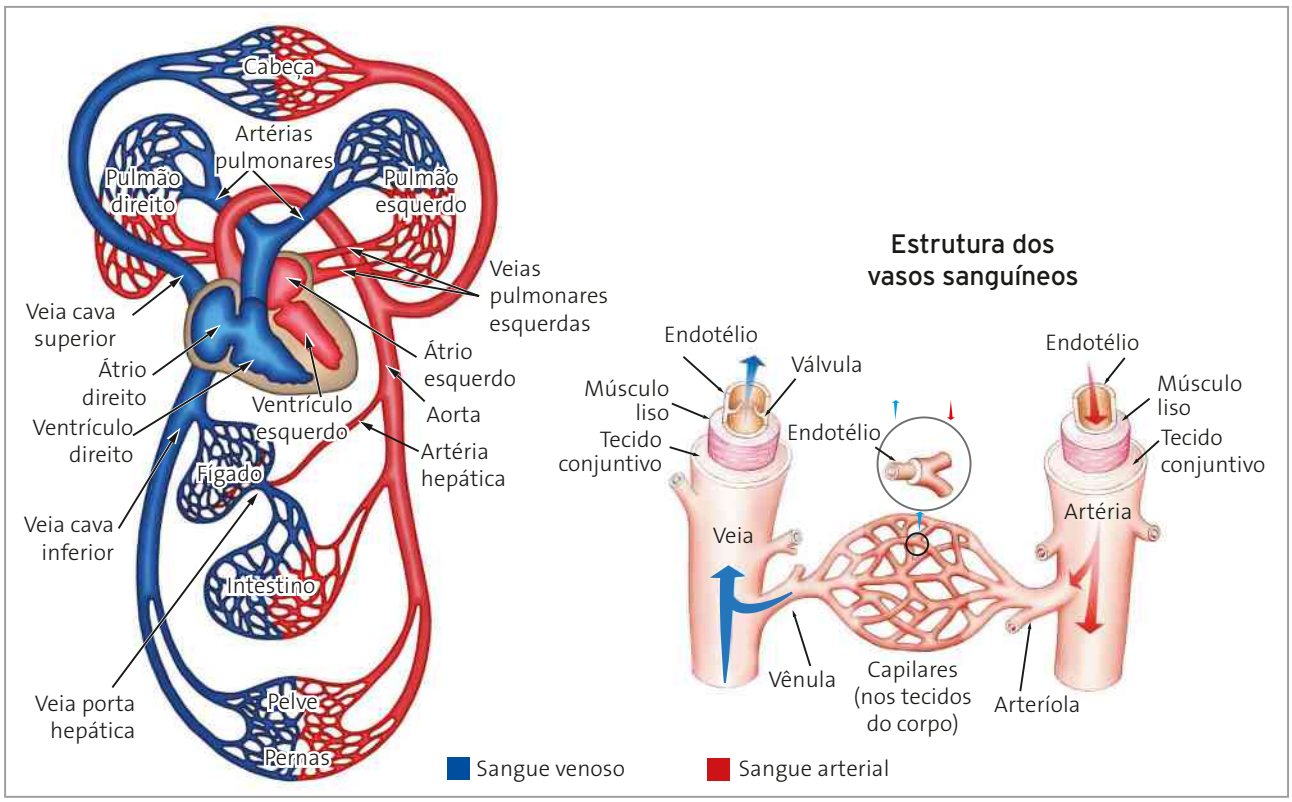
A existência de um controle involuntário da respiração pode garantir a sobrevivência de pessoas desmaiadas. No entanto, caso estejam correndo risco de afogamento, pode fazer com que inspirem água involuntariamente e acabem morrendo devido à entrada de água nos pulmões.

A frequência respiratória é influenciada também por controles nervosos de outros tipos, como os relacionados aos estados emocionais de raiva ou excitação.

4. Sistema cardiovascular

A função de circulação é realizada pelo **sistema cardiovascular**, dividido em dois distritos: o sanguíneo e o linfático.

No **distrito sanguíneo** (ou sistema vascular sanguíneo) encontra-se o **coração**, que é o órgão central da circulação. O coração é um órgão muscular que impulsiona o sangue para vasos denominados **artérias**. Estas se ramificam em vasos cada vez mais finos, as **arteríolas**, e depois em **capilares**, os quais conduzem o sangue entre as células dos tecidos. Os capilares reúnem-se em **vênulas**, que se reúnem em vasos cada vez mais calibrosos, as **veias**, as quais chegam ao coração (Fig. 3.17).

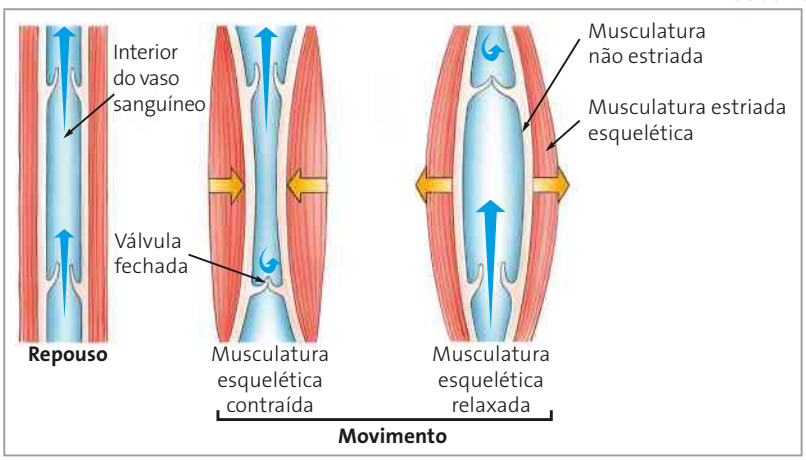


Ilustrações: Walter Caldeira

Figura 3.17. Esquema dos principais constituintes do sistema vascular sanguíneo humano e suas relações com alguns órgãos internos. No detalhe, esquema mostrando a organização dos vasos sanguíneos. (Elementos representados em diferentes escalas; cores fantasia.)

As artérias apresentam musculatura não estriada muito desenvolvida, capaz de suportar a pressão exercida pelo sangue que sai do coração. Já nas veias a musculatura não estriada é menos desenvolvida, sendo fundamental a participação da musculatura esquelética na condução do sangue. Nas veias há válvulas que impedem o refluxo do sangue (Fig. 3.18).

Professor(a), veja nas Orientações didáticas a sugestão de atividade extra "Modelo para circulação".



Studio Caparroz

Figura 3.18. A contração dos músculos esqueléticos contribui para promover a circulação venosa humana. Observe no esquema que, quando os músculos esqueléticos se contraem, comprimem as veias e forçam o sangue em direção ao coração. A válvula inferior se fecha e impede o refluxo do sangue. Quando os músculos esqueléticos relaxam, as veias se expandem e se enchem do sangue que vem da região inferior do corpo. A válvula superior se fecha e impede o refluxo do sangue. (Cores fantasia.)

Colocando em foco

UM MARCO NA MEDICINA: OS EXPERIMENTOS DO MÉDICO INGLÊS WILLIAM HARVEY (1578-1657)

William Harvey foi o primeiro a descrever corretamente e em detalhes o sistema circulatório. Em 1628 publicou seus dados que são considerados, até hoje, importante referência.

O sucesso de seu trabalho se deveu, em grande parte, à experimentação com diferentes espécies animais. Harvey os dissecava quando ainda estavam vivos, processo chamado vivissecção, atualmente restrito a situações muito particulares em pesquisas.

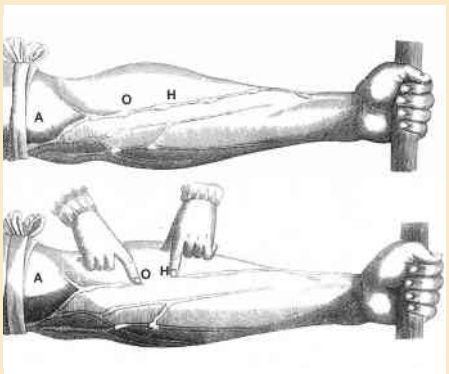
Com isso, comprovou sua hipótese de que o sangue circula no corpo como um circuito e de que o coração é o órgão responsável por bombeá-lo. Ele também notou que as veias levam sangue do corpo para o coração e que as artérias levam o sangue do coração para o corpo. Com seus experimentos, refutou o conhecimento da época, que dizia que o fígado seria o órgão central do sistema circulatório.

Mais tarde, esse mecanismo foi testado em um clássico experimento com humanos, como mostra a figura 3.19.

Veja a seguir uma descrição do experimento realizado por Harvey:

- um torniquete (A) foi aplicado no braço de uma pessoa até que suas veias ficassem evidentes;
- com isso, Harvey notou a presença de nodosidades nas veias inchadas do braço e da mão, atribuindo corretamente essas nodosidades às válvulas das veias, que já haviam sido descritas por outro pesquisador, mas cuja função ainda não se sabia;
- em seguida, Harvey pressionou um ponto (H) de uma das veias e, mantendo esse ponto pressionado, com outro dedo deslocou o conteúdo de sangue em direção ao cotovelo, até outro ponto (O) – ao fazer isso, percebeu que o trecho H-O do vaso sanguíneo permanecia vazio após o processo;
- ao remover o dedo do ponto H, verificou que o sangue voltava a preencher rapidamente o trecho colapsado.

Esse experimento levou Harvey a comprovar que as veias levam o sangue das extremidades do corpo em direção ao coração e que as válvulas presentes nas veias fazem com que esse fluxo seja feito somente nesse sentido.



Thinkstock/Getty Images

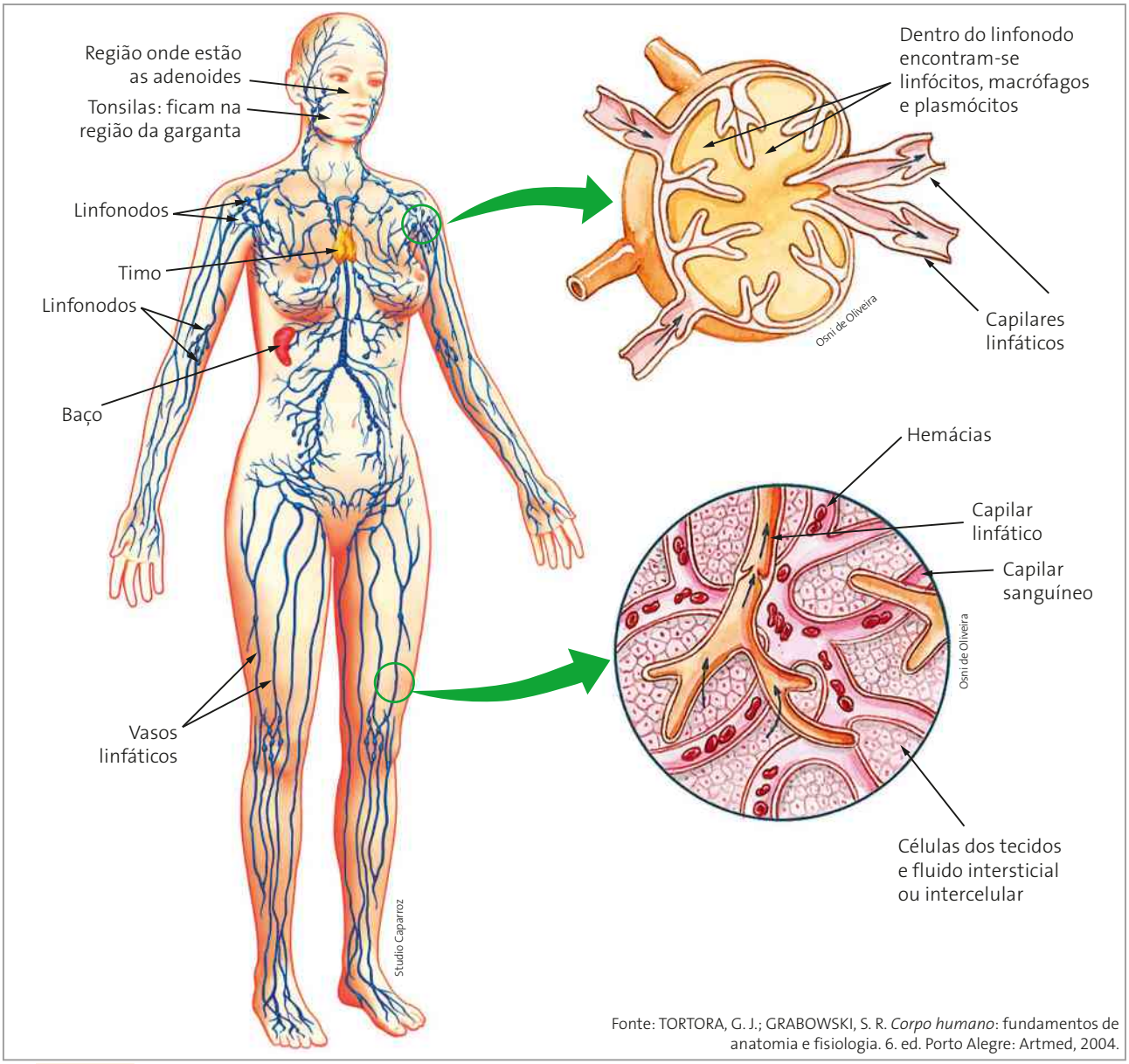
Figura 3.19. Gravura do experimento realizado por William Harvey em 1628.

O **distrito linfático** (ou sistema vascular linfático) é formado por vasos inicialmente muito finos, os capilares linfáticos, que têm fundo cego e se localizam entre as células dos tecidos. Eles drenam o fluido intercelular, que passa a ser denominado linfa ao entrar nos capilares linfáticos.

Os **capilares linfáticos** reúnem-se progressivamente em vasos de calibre cada vez maior, que desembocam nos **ductos linfáticos**. Estes levam a linfa para veias de grande calibre do distrito sanguíneo. Os vasos linfáticos apresentam válvulas que impedem o refluxo da linfa.

No trajeto dos ductos linfáticos há **linfonodos** (gânglios linfáticos), cuja função é filtrar a linfa, retirando bactérias e outros agentes que possam ser nocivos ao organismo. Quando a linfa passa pelo linfonodo, os macrófagos fagocitam microrganismos patogênicos (que podem causar doenças), como as bactérias, que tenham conseguido penetrar no corpo e que estejam sendo transportados pela linfa. Isso provoca uma resposta de defesa: os linfócitos do linfonodo proliferam, muitos deles diferenciando-se em plasmócitos, que sintetizam anticorpos. Os linfonodos assim estimulados aumentam de tamanho, sendo muitas vezes palpáveis na pele, principalmente na região do pescoço. Esses nódulos são popularmente chamados ínguas.

Além de vasos e linfonodos, participam desse sistema vários órgãos linfoides, como **baço**, **timo**, **tonsilas** (amígdalas), **adenoides** e **medula óssea vermelha** (Fig. 3.20). Linfonodos e órgãos linfoides participam dos mecanismos de defesa do corpo, que também serão analisados neste capítulo.



Fonte: TORTORA, G. J.; GRABOWSKI, S. R. *Corpo humano*: fundamentos de anatomia e fisiologia. 6. ed. Porto Alegre: Artmed, 2004.

Figura 3.20. Esquema dos principais constituintes do sistema vascular linfático humano. (Elementos representados em diferentes escalas; cores fantasia.)

As **tonsilas** (antigamente denominadas amígdalas) e as **adenoides** são órgãos que produzem linfócitos **T**.

O **timo** é um órgão muito desenvolvido nos recém-nascidos e que sofre uma involução após a puberdade. Em pessoas acima de 60 anos é bem reduzido, mas não chega a desaparecer. Suas principais células são os linfócitos **T** e os macrófagos. O timo também produz hormônios que estimulam outros órgãos linfáticos.

O **baço** é um órgão rico em macrófagos, que fagocitam microrganismos que penetram no sangue; rico em linfócitos **T** e **B**, é um órgão importante nos mecanismos de defesa. Do mesmo modo que os linfonodos "filtram" a linfa, o baço "filtra" o sangue. Atua também na degradação das hemácias.

A **medula óssea vermelha** é responsável pela produção de linfócitos **B**.

4.1. O coração

Assim como nos demais mamíferos, o coração humano tem quatro câmaras distintas, **dois átrios** e **dois ventrículos** (Fig. 3.21), e nele não há mistura de sangue arterial com o venoso.

Entre o átrio direito e o ventrículo direito encontra-se a **valva atrioventricular direita** (ou válvula tricúspide), e entre o átrio esquerdo e o ventrículo esquerdo há a **valva atrioventricular esquerda** (ou válvula mitral). Essas valvas impedem que o sangue impulsionado com força e pressão pelos ventrículos para as artérias retorne para os átrios. Na abertura da artéria pulmonar no ventrículo direito há a **valva pulmonar**, e na abertura da aorta no ventrículo esquerdo encontra-se a **valva aórtica**. Elas impedem o retorno do sangue aos ventrículos.

O sangue chega **venoso** ao átrio direito do coração pelas veias cavas, passa para o ventrículo direito e é conduzido para a artéria pulmonar. Esta conduz o sangue venoso para os pulmões, onde será oxigenado. O sangue, agora **arterial**, retorna para o átrio esquerdo pelas veias pulmonares. Do átrio esquerdo passa para o ventrículo esquerdo e deste para a artéria aorta, que leva sangue arterial para ser distribuído por todo o corpo.

O coração de uma pessoa adulta tem 300 g em média, e o volume aproximado da mão fechada do indivíduo. Esse órgão é capaz de impulsionar para o corpo cerca de 70 mL de sangue a cada contração. Os movimentos de contração do músculo do coração são denominados **sístoles** e os movimentos de relaxamento, **diástoles**.

Ilustrações: Osni de Oliveira

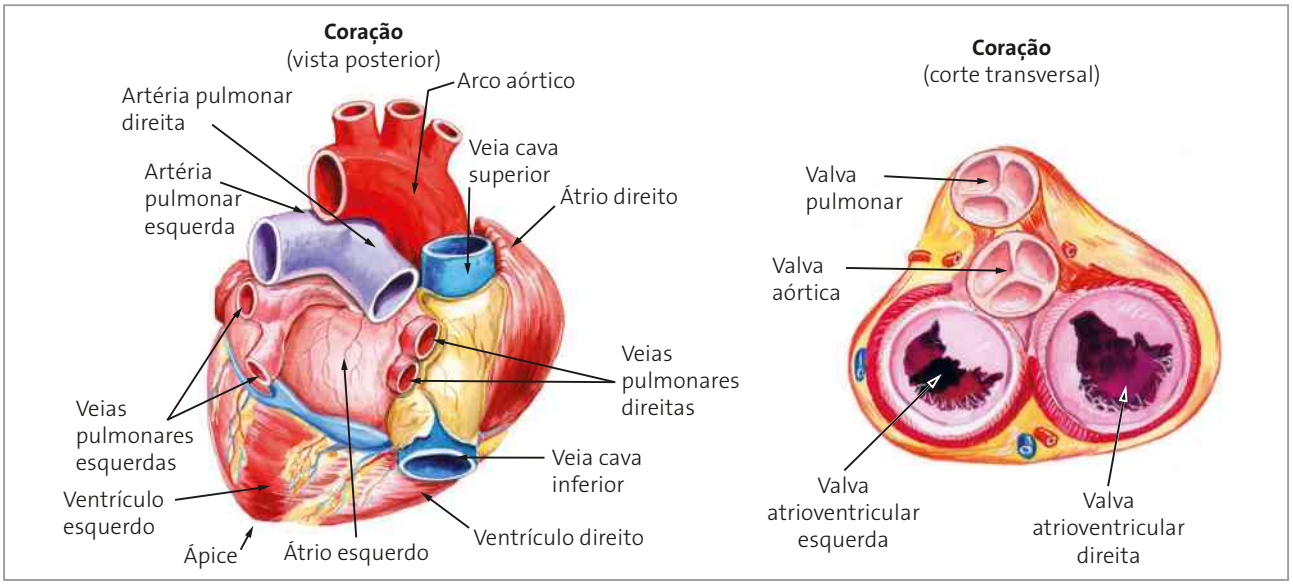


Figura 3.21. Esquema do coração humano em vista posterior e em corte transversal. (Elementos representados em diferentes escalas; cores fantasia.)

Quando os **átrios** estão em sístole, bombeiam sangue para os **ventrículos**, que estão em diástole. Quando os **ventrículos** entram em sístole, os **átrios** entram em diástole, recebendo sangue venoso proveniente do corpo (átrio direito) e sangue arterial proveniente dos pulmões (átrio esquerdo).

Os batimentos cardíacos na espécie humana são originados por fenômenos **miogênicos**, que são provenientes do próprio músculo cardíaco. Neste, há dois nós especiais: o sinoatrial e o atrioventricular. Inicialmente o **nó sinoatrial** atua como **marca-passo** e determina a contração dos átrios. Desse nó partem impulsos em direção ao **nó atrioventricular**, que transmite esses impulsos a fibras condutoras especiais que determinam a sístole do ventrículo (Fig. 3.22).

O coração continua batendo por algum tempo mesmo quando suas inervações são cortadas, provando que o estímulo da contração é de origem miogênica.

Apesar desse automatismo da contração, os batimentos cardíacos têm mecanismos reguladores relacionados com o sistema nervoso autônomo. Os nervos que atuam sobre o coração permitem ajustes nas frequências cardíacas de acordo com as necessidades do organismo. Existem os que provocam aumento da frequência cardíaca e os que provocam diminuição dessa frequência.

Osni de Oliveira

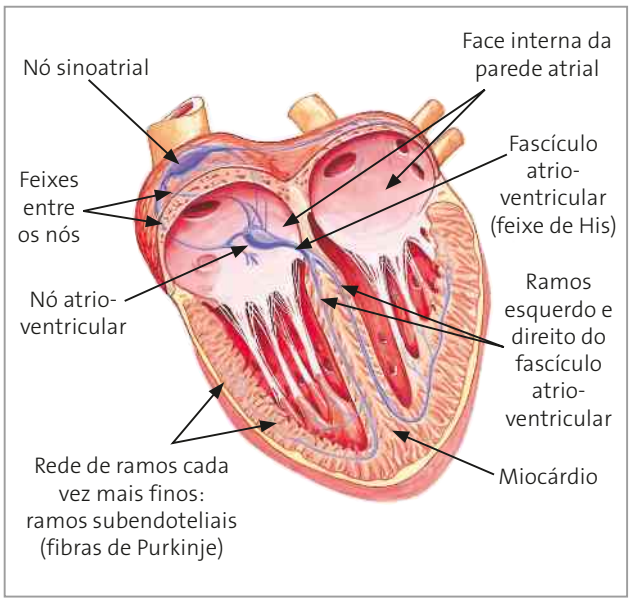
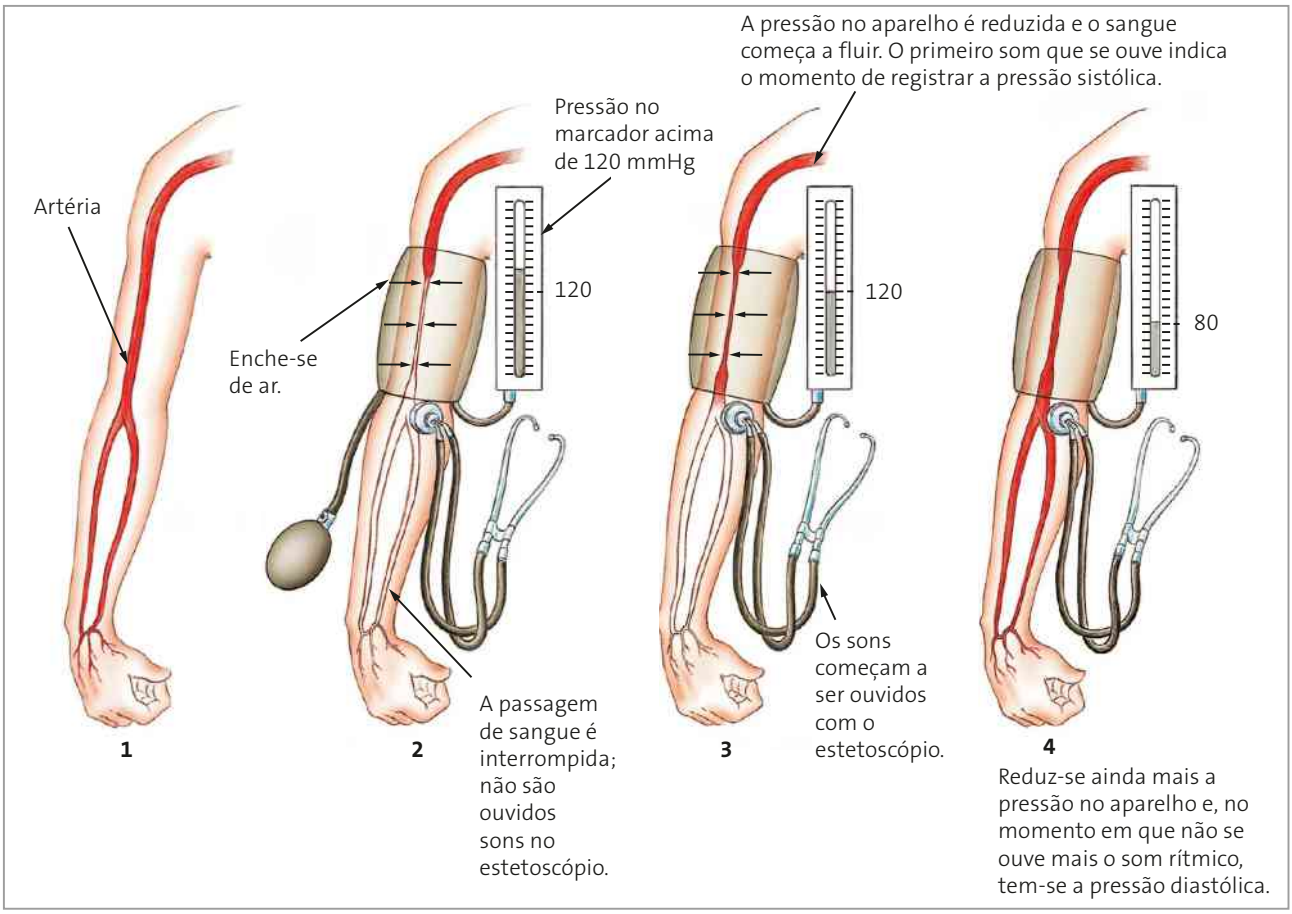


Figura 3.22. Esquema do coração humano, em vista anterior, corte longitudinal. (Cores fantasia.)

No momento em que a musculatura do ventrículo se contrai (sístole ventricular), a pressão exercida no sistema de vasos arteriais é chamada **pressão sistólica arterial**. Em uma pessoa saudável e jovem, ela é da ordem de 120 mmHg (milímetros de mercúrio), aproximadamente.

Quando a musculatura do ventrículo sofre relaxamento, a pressão diminui, falando-se em **pressão diastólica arterial**. Em uma pessoa saudável e jovem, ela é da ordem de 80 mmHg, aproximadamente. Esses valores podem sofrer variações, ainda dentro de padrões considerados normais, em função de fatores como idade e sexo. Na figura 3.23 está esquematizado o método usado para se medir a pressão arterial. Popularmente essas pressões são representadas pelos valores 12 e 8, respectivamente.



Walter Caldeira

Figura 3.23. Método para se medir a pressão sanguínea arterial. Em um homem sadio e jovem o valor para a pressão sistólica é da ordem de 120 mmHg e para a diastólica, de 80 mmHg. Esses valores podem sofrer variações ainda dentro de padrões considerados normais. (Elementos representados em diferentes escalas; cores fantasia.)

Indivíduos com pressão arterial constantemente **alta** são considerados **hipertensos**; os que a possuem constantemente **baixa** são **hipotensos**. Alguns fatores podem aumentar a pressão arterial, como a obstrução das artérias pelo colesterol.

O número de contrações realizadas pelo coração por minuto corresponde à **frequência cardíaca**, que em uma pessoa normal, em repouso, é da ordem de setenta contrações por minuto, aproximadamente. Essa frequência oscila, dentro de valores considerados normais, em função de variáveis como o sexo e a idade.

5. Sistema imunitário

O sistema imunitário é responsável pelos mecanismos de **defesa** do corpo contra agentes infecciosos.

Ele é funcionalmente dividido em dois sistemas que se interconectam, de modo que um influencia a ação do outro:

- sistema inato ou não específico;
- sistema adaptativo ou específico.

O **sistema inato** é o primeiro a agir contra organismos invasores de nosso corpo. Ele atua rapidamente e não distingue um agente infeccioso de outro. Nesse sistema há duas linhas de defesa que os invasores encontram ao tentarem penetrar no corpo. A **primeira linha** é formada pela pele e pelas membranas mucosas dos sistemas respiratório, digestório e urogenital.

Se um microrganismo conseguir vencer essas barreiras, enfrentará a **segunda linha** de defesa inespecífica: substâncias químicas e células que matam indiscriminadamente qualquer agente infeccioso que penetre no organismo, seja vírus, bactéria, fungo ou protozoário. Elas agem imediatamente após a infecção;

As principais células de defesa que participam desse sistema imunitário não específico são:

- **neutrófilos**: tipo de glóbulo branco do sangue que migra dos capilares sanguíneos para o local da infecção e fagocita e digere organismos invasores;
- **eosinófilos**: tipo de glóbulo branco do sangue que contém grânulos com secreções eficientes na destruição de certos agentes patogênicos;
- **macrófagos**: células ameboides presentes nos tecidos conjuntivos que fagocitam e digerem agentes patogênicos.

O **sistema imunitário adaptativo**, ou específico, constitui a **terceira** e **última linha** de defesa do corpo. Nele as respostas diferem das encontradas no sistema inato por serem mais lentas ao primeiro contato com o agente invasor, e por terem especificidade e memória. As células que atuam nesse sistema são os **linfócitos B** e **T** e os **plasmócitos**, que são células derivadas dos linfócitos **B**.

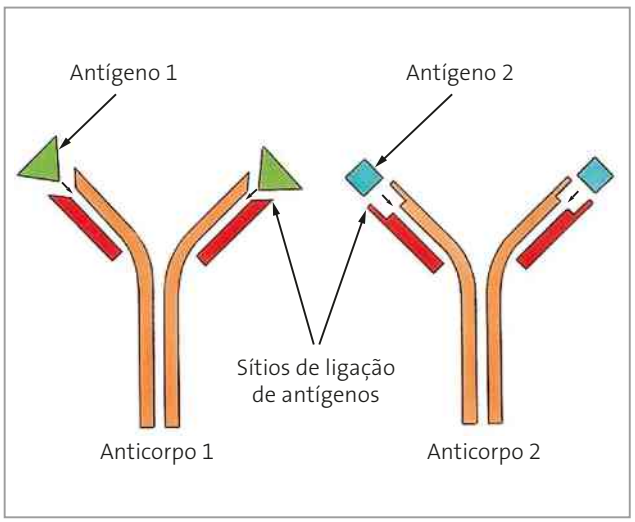
A **especificidade** refere-se à capacidade do sistema imunitário de reconhecer e eliminar certos microrganismos ou substâncias estranhas ao corpo. O elemento estranho capaz de estimular uma resposta imune é denominado **antígeno**. O sistema específico responde ao antígeno produzindo uma proteína chamada **anticorpo**, que é específica para aquele antígeno.

Antígenos estão presentes nos envoltórios de vírus, bactérias, fungos, protistas e vermes parasitas, e também na superfície de materiais estranhos ao corpo humano, como pólen e tecidos transplantados.

Os anticorpos são denominados genericamente **imunoglobulinas** (Ig), e cada anticorpo reconhece apenas o antígeno que induziu sua formação, sendo portanto altamente específico.

Anticorpos são moléculas proteicas esquematicamente representadas em forma de **Y**.

Os sítios de reconhecimento e de ligação dos antígenos estão localizados nas extremidades de cada braço do **Y** (Fig. 3.24).



Osni de Oliveira

Figura 3.24. Esquema simplificado de dois anticorpos mostrando que cada anticorpo reage somente com um tipo de antígeno. (Cores fantasia.)

O corpo humano é capaz de produzir grande número de anticorpos diferentes em resposta à grande quantidade de antígenos com os quais entra em contato. Os anticorpos são produzidos pelos linfócitos B e pelos plasmócitos, e podem ser agrupados em classes, como resumido na tabela a seguir (Fig. 3.25).

IMUNOGLOBULINAS	
Classe	**Principais funções**
IgA — imunoglobulinas **A**	Atuam sobre antígenos presentes na superfície de mucosas do corpo. Estão presentes também no colostro (o primeiro leite formado no início da amamentação), sendo fundamentais para evitar infecções gastrointestinais no bebê.
IgD — imunoglobulinas **D**	Participam da estimulação do sistema imunitário específico relacionado aos linfócitos **B**.
IgE — imunoglobulinas **E**	Importantes nos processos alérgicos e contra parasitas como os pertencentes aos grupos dos protistas e vermes.
IgG — imunoglobulinas **G**	Única classe de anticorpos que atravessa a placenta e passa para o feto, protegendo-o. Quando a criança nasce, ela já tem parte dos anticorpos **G** produzidos pela mãe. Esses anticorpos facilitam a fagocitose.
IgM — imunoglobulinas **M**	Uma das primeiras a serem produzidas na resposta imunitária específica.

Figura 3.25. Tabela das principais classes de imunoglobulinas e suas funções.

Ao nascer, uma criança já recebeu **anticorpos prontos** de sua mãe pela placenta e, além disso, recebe outros durante a amamentação.

Ao longo da vida, o corpo humano é capaz de produzir anticorpos diferentes em resposta aos antígenos com os quais entra em contato.

A **memória** refere-se à capacidade que o sistema imunitário tem de reconhecer um mesmo antígeno, caso entre novamente em contato com ele. Nesse caso, a reação e a produção de anticorpos específicos serão muito mais rápidas. Desse mecanismo participam tanto os linfócitos **B** como os **T**.

Existem vários tipos de linfócitos **T**. Dois deles são:

- **linfócitos T citotóxicos** (ou células CD8) – unem-se a células infectadas e as destroem. Por sua ação, eles também são chamados "linfócitos assassinos ou matadores". Eles não têm atividade fagocitária, não destruindo diretamente o micróbio invasor; eles destroem as células do corpo que estão sendo atacadas por um agente infeccioso. Os linfócitos **T** citotóxicos são capazes de reconhecer células cancerígenas e destruí-las antes que formem um tumor maligno. São as principais células responsáveis pela rejeição de órgãos transplantados;
- **linfócitos T auxiliares** (ou células CD4) – participam de mecanismos que ativam os linfócitos **T** e estimulam os linfócitos **B** em sua função de produzir anticorpos.

5.1. Imunização ativa e passiva

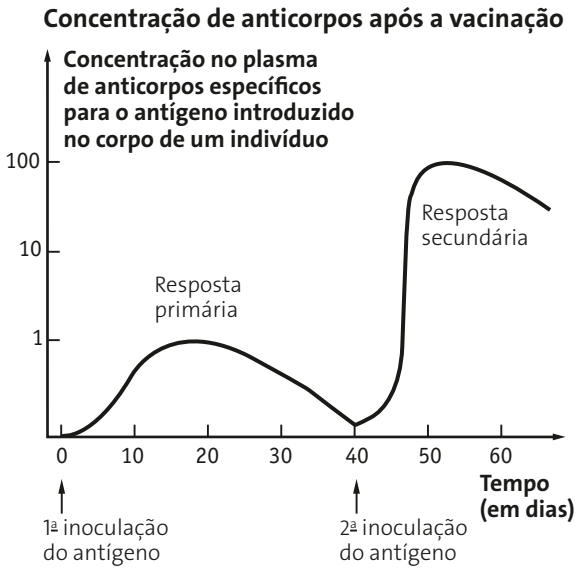
O princípio da **imunização ativa** é o seguinte:

- inocula-se pela primeira vez um indivíduo sadio com uma pequena quantidade de antígeno;
- o indivíduo passa a produzir anticorpos, que após alguns dias estarão disponíveis no sangue para atuar contra os antígenos. É o que se chama **resposta primária**;
- se esse indivíduo receber uma segunda inoculação do mesmo antígeno, a resposta imunológica será muito mais rápida, e a produção de anticorpos, muito maior. É a chamada **resposta secundária**, relacionada ao mecanismo de memória, que é prontamente ativada quando o organismo volta a entrar em contato com o antígeno.

É nesse mecanismo que se baseiam as **vacinações**. Os antígenos empregados na produção das vacinas correspondem a formas atenuadas de toxinas ou aos próprios microrganismos causadores das doenças, mas enfraquecidos ou mortos.

Os anticorpos são produzidos como se a toxina ou os microrganismos estivessem na forma ativa. Assim, por meio das vacinações, adquirimos imunidade contra doenças sem que as tenhamos contraído.

As vacinas atuam, portanto, como uma primeira inoculação de antígeno, "programando" o organismo para produzir rapidamente mais anticorpos, caso o indivíduo entre em contato com as formas ativas dos antígenos causadores de doenças (Fig. 3.26).



Studio Caparroz

Resposta imunitária primária – quando o indivíduo recebe o antígeno pela primeira vez, o tempo para a produção de anticorpos é maior e a quantidade de anticorpos produzidos é menor, comparando-se com o que ocorre na resposta secundária.

Resposta imunitária secundária – quando o indivíduo recebe o mesmo antígeno pela segunda vez, o tempo para a produção de anticorpos é menor e a quantidade de anticorpos produzidos é maior do que na resposta primária.

Fonte: adaptado de PURVES, W. K. et al. *Life*: the science of Biology. Nova York: W. H. Freeman, 2003.

Figura 3.26. Gráfico da concentração de anticorpos específicos no corpo de uma pessoa após a vacinação.

Na **imunização passiva** são introduzidos no organismo os anticorpos já prontos para o combate a um antígeno específico. É um tipo de imunização que se destina a desencadear uma resposta rápida do organismo, como quando se utilizam **soros**.

Em caso de mordida de serpente peçonhenta, por exemplo, não é possível esperar que o próprio organismo reaja produzindo anticorpos suficientes, pois esse processo é lento. Então, injeta-se no paciente um soro antiofídico, o qual já contém os anticorpos prontos para atuar contra o veneno do animal.

A imunização passiva é passageira, ao contrário da imunização ativa, que é relativamente duradoura. Isso ocorre porque, na imunização passiva, a pessoa recebe os anticorpos prontos para combater os antígenos antes mesmo de eles ativarem o sistema imunitário. Nesse caso, a informação não fica registrada na "memória" do organismo.

Tema para discussão

REGISTRE NO CADERNO

Por que controlar o tabagismo?

Está científica e amplamente comprovado que o tabagismo em suas mais variadas formas (cigarro, charuto, cachimbo, rapé, fumo de rolo entre outras formas) causa enorme prejuízo à saúde.

O consumo de tabaco é atualmente a principal causa isolada e evitável de doença e morte no mundo.

A epidemia tabágica é uma das mais graves da era moderna, existindo no mundo cerca de 1 bilhão e 300 milhões de fumantes, consumindo cerca de 7 trilhões de cigarros por ano, levando consequentemente a diversos prejuízos, entre eles a morte de cerca de 6 milhões de pessoas ano no mundo e 200 mil no Brasil.

De 1950 até o final do século, morreram no mundo 60 milhões de pessoas por doenças tabaco relacionadas, sendo que, se os padrões atuais de consumo de tabaco não se reverterem, na década dos anos 2020, morrerão 10 milhões anualmente, sendo 3 milhões nos países desenvolvidos e 7 milhões nos países em desenvolvimento.

O tabagismo configura uma epidemia que aparece como um dos principais fatores determinantes das duas maiores causas de doença e morte no Mundo, no Brasil e no Estado de São Paulo, que são as doenças cardiovasculares e as neoplasias.

A Organização Mundial da Saúde (OMS) registra mais de 70 mil pesquisas publicadas e reproduzidas em diversos lugares do mundo por entidades da maior credibilidade junto à comunidade científica, com diversos grupos populacionais (inclusive de diferentes raças, sexo e idade), comprovando a relação causal entre o uso do cigarro e doenças graves como câncer de pulmão (90%), enfisema pulmonar e bronquite crônica (80%), derrame cerebral (40%) e infarto do miocárdio (25%).

Durante o consumo do cigarro, o indivíduo introduz no organismo mais de 4700 substâncias tóxicas, incluindo nicotina, monóxido de carbono, alcatrão, agrotóxicos e substâncias radioativas, que causam câncer. A nicotina causa dependência da mesma forma que a cocaína, a heroína e o álcool, sendo considerada uma droga.

Pesquisas demonstram que os fumantes adoecem com uma frequência duas vezes maior que os não fumantes. Eles têm, em média, menor resistência física, menos fôlego e pior desempenho nos esportes e na vida sexual do que os não fumantes. Além disso, [...] ficam com os dentes amarelados, pele enrugada e impregnada pelo odor do fumo.



Ministério da Saúde/2014

Cartaz da Campanha Nacional sobre a Lei Antifumo: Ambientes Livres de Tabaco – 2014, do Ministério da Saúde.

A mulher grávida que fuma, além de correr o risco de abortar, tem uma maior chance de ter filho de baixo peso, menor tamanho e com defeitos congênitos. Os filhos de fumantes adoecem duas vezes mais que filhos de não fumantes.

Os danos causados pelo cigarro também atingem os não fumantes (fumantes passivos). Basta manter um cigarro acesso para poluir um ambiente com as substâncias tóxicas da fumaça do cigarro. As pessoas passam 80% do seu tempo em ambientes fechados e ao fim de um dia em ambiente poluído, os não fumantes podem ter respirado o equivalente a até 10 cigarros. Isso vai depender diretamente da dimensão do ambiente, do número de fumantes e do número de cigarro fumados durante a jornada de trabalho.

Por estas razões a prevenção e o controle do tabagismo deve se constituir em uma das prioridades dos órgãos governamentais e não governamentais das áreas da saúde, educação, meio ambiente entre outras, tendo em vista, ser um problema multifacetado que envolve e prejudica vários setores da sociedade de uma maneira geral.

[...]

Veja o que acontece quando você para de fumar...

Ao parar de fumar seu corpo vai recebendo benefícios constantes:

- Após 20 minutos: a pressão sanguínea e a pulsação voltam ao normal
- Após 2 horas: não há mais nicotina circulando no seu sangue
- Após 8 horas: o nível de oxigênio no sangue se normaliza
- Após 12 a 24 horas: seus pulmões já funcionam melhor
- Após 2 dias: seu olfato já percebe melhor os cheiros e seu paladar já degusta melhor a comida
- Após 3 semanas: você vai notar que sua respiração se tornará mais fácil e a circulação sanguínea também irá melhorar
- Após 1 ano: o risco de morte por infarto do miocárdio já foi reduzido à metade
- Após 5 a 10 anos: o risco de sofrer infarto será igual ao das pessoas que nunca fumaram

MORAES, M. A. Por que controlar o tabagismo? Disponível em: <http://www.saude.sp.gov.br/coordenadoria-de-recursos-humanos/conteudos-banners/banner-lateral/qualidade-de-vida/por-que-controlar-o-tabagismo>. Acesso em: mar. 2016.

Professor(a), veja nas Orientações didáticas os comentários e as respostas das questões dissertativas.

1. Se você não fuma, parabéns! Procure estimular as pessoas ao seu redor a seguir seu bom exemplo. Se você fuma, este é um bom momento para questionar seus hábitos. Pense e reflita sobre as consequências do ato de fumar, considerando não só você, mas também as pessoas com as quais convive. Discuta o assunto com o(a) professor(a), com sua família e, se possível, com algum profissional da saúde.
2. Discuta com seus colegas de classe, com a mediação do(a) professor(a), por que os jovens buscam o cigarro: que tipo de satisfação é realmente procurada? Há relação entre iniciar-se no hábito de fumar e o anseio que todos nós temos de nos sentir integrados ao grupo em que estamos?
3. Como o fumo é um problema de saúde pública, sua atuação como cidadão, após conscientizar-se dos males envolvidos, tem um importante papel e pode fazer grande diferença na vida daqueles com os quais você convive. Divulgue o que aprendeu em sua comunidade escolar ou utilize fóruns de discussão, *blog* ou redes sociais, levando essa discussão para além da sala de aula. Imagens disponíveis na internet podem gerar mais impacto na divulgação.
   Considere mais esta informação: segundo a Organização Mundial da Saúde, o tabagismo é o segundo principal fator de risco de morte evitável no mundo. Estudos recentes indicam como fundamentais as campanhas públicas com diferentes tipos de mensagens, que motivem fumantes a mudar de comportamento em relação ao fumo. Um desses estudos, realizado no Rio de Janeiro por André Salem Szklo, revelou que mensagens de conteúdo positivo levaram a resultados melhores que as de conteúdo negativo. O artigo pode ser consultado para auxiliar no projeto de combate ao tabagismo. (*Link* para o artigo: <http://cienciahoje.uol.com.br/revista-ch/2012/298/2018parar-de-fumar-e-ganhar-folego2019>. Acesso em: abr. 2016.)

Retomando

Você aprendeu neste capítulo sobre algumas das principais funções executadas pelo nosso organismo: digestão, circulação, respiração e defesa. De posse desse novo conhecimento, avalie as respostas que deu às questões da seção **Pense nisso** e reescreva-as. Descreva brevemente como essas funções interagem entre si.

Ampliando e integrando conhecimentos

REGISTRE NO CADERNO

Professor(a), veja nas Orientações didáticas os comentários e as respostas das questões dissertativas.

Atividade 1 Construindo modelo e fazendo demonstração

Habilidades do Enem: H15, H29.

Para compreender melhor a organização do sistema digestório e do processo de digestão, propomos que você trabalhe em grupo no desenvolvimento de um modelo do sistema digestório. Os órgãos deverão ser construídos em tamanho natural, tomando por base as informações das dimensões citadas no texto, as quais são aproximadas, pois existem variações individuais. Use a criatividade para a escolha dos materiais e a montagem desse modelo.

Faça uma simulação, usando o modelo que o seu grupo construiu, e mostre em quais órgãos ocorre a digestão de proteínas, carboidratos como o amido, e lipídios. Represente esses nutrientes usando peças que se encaixam e que podem ser facilmente separadas.

Descreva passo a passo o que vai acontecer com cada um desses tipos de nutriente ao longo dos órgãos do sistema digestório, com o objetivo de compreender o processo de digestão.

Quando o seu projeto estiver bem amadurecido, use recursos como a câmera de um celular, uma câmera de vídeo ou a câmera de um computador e faça um pequeno vídeo, com cerca de 5 minutos, explicando a anatomia do sistema digestivo e o processo de digestão. Divulgue-o no *blog* de sua turma em data a ser estabelecida pelo(a) professor(a). Seja criativo na apresentação. Assista aos vídeos de seus colegas e, em classe, discutam os trabalhos apresentados.

Atividade 2 Lendo rótulos de alimentos

Habilidades do Enem: H17 e H18.

Nesta atividade chamamos a atenção para a nutrição adequada, considerando a qualidade dos alimentos e a quantidade consumida. Pretendemos despertar ou desenvolver o hábito de tomar consciência do que há nos alimentos e da importância desse hábito para a saúde. É essa consciência que traz possibilidade de tomar decisões mais acertadas em termos da alimentação.

Ler rótulos dos alimentos é uma prática que pode nos ajudar a ter uma alimentação saudável, uma vez que estamos considerando as informações contidas neles, como valor calórico, composição e valor nutricional.

A energia armazenada nos alimentos pode ser medida em laboratório. O alimento é queimado e a maior parte da energia armazenada nas ligações químicas é convertida em energia calorífica, que pode ser medida. Uma caloria é a quantidade de calor necessária para elevar a temperatura de 1 grama de água em 1 °C.

Quando se fala em calorias na alimentação, usa-se como unidade de medida a quilocaloria (kcal) ou o quilojoule (kJ) (por exemplo, 2 000 000 cal correspondem a 2 000 kcal). No entanto, é frequente o uso da unidade calorias em rótulos e publicações, o que pode gerar confusão. No caso do rótulo fictício desta atividade e da maioria dos alimentos, todas as informações nutricionais são dadas em porcentagens dos valores diários (%VD), tendo por base uma dieta de 2 000 kcal. Devemos considerar, no entanto, que a quantidade de calorias necessárias para cada pessoa difere de acordo com a idade, o sexo e o grau de atividade física. Fique atento para suas necessidades calóricas e de nutrientes.

Vamos fazer um exercício de reconhecimento de informações e leitura do rótulo de um alimento.

a) Imagine que você pretenda comer oito pedaços desse alimento. Responda:
   - quantos gramas de gorduras totais você estará ingerindo?
   - quantas quilocalorias você estará ingerindo?
   - qual é a quantidade de sódio que estará ingerindo?
   - forneça a %VD em relação a uma dieta de 2 000 kcal para cada caso.

b) Quais problemas de saúde podem surgir com uma dieta rica em alimentos com altos teores de sódio e de gordura?

c) Qual é a importância do alerta "Não contém glúten" no rótulo desse alimento?

INFORMAÇÕES NUTRICIONAIS
Porção de 100 g (em média 5 pedaços)

Quantidade por porção		%VD(*)
Valor Energético	92 kcal = 386 kJ	5%
Carboidratos	10,4 g	3%
Proteínas	1,3 g	2%
Gorduras Totais	5,0 g	9%
Gorduras Saturadas	0,87 g	4%
Gorduras *Trans*	0,13 g	–
Fibra Alimentar	2,46 g	10%
Sódio	446 mg	19%

(*) Valores diários com base numa dieta de 2.000 kcal ou 8.400 kJ. Seus valores diários podem ser maiores ou menores dependendo de suas necessidades energéticas.
(**) Valores diários de referência não estabelecida.

Não contém glúten.

Conceitograf

Informações nutricionais de um rótulo fictício.

d) Um grama de gordura contém 9 kcal; um grama de carboidrato contém 4 kcal; e um grama de proteína, 4 kcal. Com essas informações, calcule a quantidade em kcal de uma porção de alimento que contenha 22 g de carboidratos, 2 g de proteínas e 10 g de gordura. Calcule também quanto essa porção de alimento representa em %VD para a necessidade diária em kcal considerando o valor padrão de 2 000 kcal. Exercite suas habilidades matemáticas nessa atividade.

Atividade 3 Suprimento de oxigênio para os tecidos

Habilidades do Enem: H14, H18.

Em altitudes elevadas, a pressão atmosférica é menor do que ao nível do mar e, consequentemente, a pressão parcial do gás oxigênio no ar atmosférico também é menor (o ar é mais rarefeito). Seres humanos que vivem em grandes altitudes apresentam adaptações que são vantajosas nessas condições.

Pessoas que vivem em baixas altitudes, por outro lado, podem sentir tonturas, náuseas e queda do desempenho físico quando viajam para lugares cuja altitude é superior a 3 000 m, aproximadamente. Esses indivíduos passam por um período de aclimatação e, após certo tempo, tais sintomas desaparecem ou são atenuados.

Como vimos neste capítulo, o suprimento de oxigênio para os tecidos depende de diversos fatores, resumidos na lista a seguir:

- ventilação dos pulmões;
- trocas gasosas entre o ar que entra nos pulmões e o sangue;
- transporte de oxigênio no sangue;
- trocas gasosas entre o sangue rico em oxigênio e os tecidos;
- utilização do oxigênio pelas células.

Quando uma pessoa que vive próxima ao nível do mar vai para um lugar de elevada altitude, todas essas etapas são afetadas. Considerando essa situação, resolva as atividades a seguir.

a) Uma das respostas imediatas a essa situação é a aceleração da ventilação pulmonar, ou seja, a respiração pode se tornar ofegante. Esse comportamento faz com que o pH do sangue se torne mais alcalino. Baseando-se no que aprendeu sobre controle da respiração, explique como ocorre essa resposta.

b) A exposição à altitude provoca uma ligeira redução da afinidade da hemoglobina pelo oxigênio. Por quê? Nessa situação, o que deve acontecer com a difusão de oxigênio nos pulmões? E nos tecidos? Justifique sua resposta.

c) Após o período de aclimatação, aumenta a concentração de hemácias no sangue. Qual é a relação entre esse fato e a situação descrita no item b?

Testes

REGISTRE NO CADERNO

1. (Enem) A vacina, o soro e os antibióticos submetem os organismos a processos biológicos diferentes. Pessoas que viajam para regiões em que ocorrem altas incidências de febre amarela, de picadas de cobras peçonhentas e de leptospirose e querem evitar ou tratar problemas de saúde relacionados a essas ocorrências devem seguir determinadas orientações.

Ao procurar um posto de saúde, um viajante deveria ser orientado por um médico a tomar preventivamente ou como medida de tratamento:

a) antibiótico contra o vírus da febre amarela, soro antiofídico caso seja picado por uma cobra e vacina contra a leptospirose.

X b) vacina contra o vírus da febre amarela, soro antiofídico caso seja picado por uma cobra e antibiótico caso entre em contato com a *Leptospira* sp.

c) soro contra o vírus da febre amarela, antibiótico caso seja picado por uma cobra e soro contra toxinas bacterianas.

d) antibiótico ou soro, tanto contra o vírus da febre amarela como para veneno de cobras, e vacina contra a leptospirose.

e) soro antiofídico e antibiótico contra a *Leptospira* sp. e vacina contra a febre amarela caso entre em contato com o vírus causador da doença.

2. (Enem)



Garfield, Jim Davis © 1994 Paws, Inc. All Rights Reserved / Dist. Universal Uclick



A condição física apresentada pelo personagem da tirinha é um fator de risco que pode desencadear doenças como:

a) anemia.
b) beribéri.
x c) diabetes.
d) escorbuto.
e) fenilcetonúria.

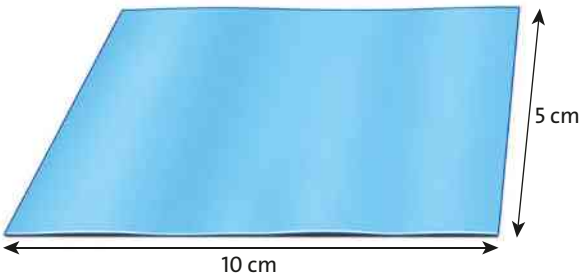
3. (Enem) Para explicar a absorção de nutrientes, bem como a função das microvilosidades das membranas das células que revestem as paredes internas do intestino delgado, um estudante realizou o seguinte experimento:

Colocou 200 mL de água em dois recipientes. No primeiro recipiente, mergulhou, por 5 segundos, um pedaço de papel liso, como na FIGURA 1; no segundo recipiente, fez o mesmo com um pedaço de papel com dobras simulando as microvilosidades, conforme FIGURA 2. Os dados obtidos foram: a quantidade de água absorvida pelo papel liso foi de 8 mL, quando pelo papel dobrado foi de 12 mL.

Com base nos dados obtidos, infere-se que a função das microvilosidades intestinais com relação à absorção de nutrientes pelas células das paredes internas do intestino é a de

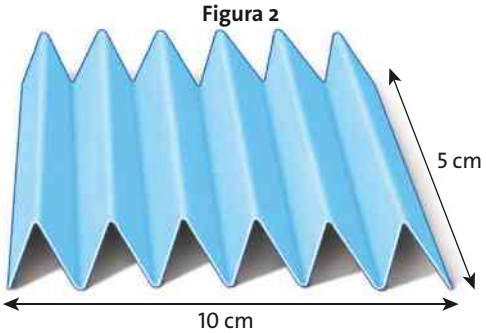
a) manter o volume de absorção.
x b) aumentar a superfície de absorção.
c) diminuir a velocidade de absorção.
d) aumentar o tempo de absorção.
e) manter a seletividade na absorção.

Figura 1

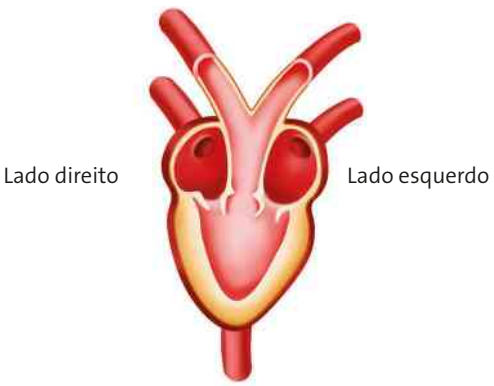


BIS

Figura 2



4. (Fuvest-SP) A figura abaixo representa, em corte longitudinal, o coração de um sapo.



Luis Moura

Comparando o coração de um sapo com o coração humano, pode-se afirmar que:

a) não há diferenças significativas entre os dois quanto à estrutura das câmaras.
b) enquanto no sapo o sangue chega pelos átrios cardíacos, no coração humano o sangue chega pelos ventrículos.
c) ao contrário do que ocorre no sapo, no coração humano o sangue chega sempre pelo átrio direito.
x d) ao contrário do que ocorre no sapo, nas câmaras do coração humano por onde passa sangue arterial não passa sangue venoso.
e) nos dois casos, o sangue venoso chega ao coração por dois vasos, um que se abre no átrio direito e o outro, no átrio esquerdo.

CAPÍTULO

4

Sistemas urinário, nervoso e endócrino



Rodolfo Buhrer/La Imagem/Fotoarena

Figura 4.1. Os movimentos do corpo humano, embora limitados pela morfologia que apresenta, são finamente coordenados pelo sistema nervoso. Um corpo bem treinado, como o dos atletas, é capaz de realizar movimentos fantásticos, como esse mostrado na fotografia da ginasta brasileira Lorrane Oliveira, durante os Jogos Pan-Americanos de Toronto, em 2015.

Pense nisso

- No momento em que a fotografia da ginasta, acima, foi feita, o sistema nervoso coordenava seus movimentos. Pode-se supor que outros sistemas de seu corpo estivessem em ação no mesmo momento? Explique sua resposta.
- Uma pessoa consegue sobreviver muito mais tempo sem alimento do que sem água. Essa substância inorgânica pode ser ingerida tanto diretamente quanto por meio dos alimentos, sendo parte dela devolvida para o meio externo na forma de urina e nas fezes. Quais sistemas estão envolvidos em todo esse processo, desde a ingestão da água até a eliminação de parte dela pela urina?
- Ao tocarmos a mão acidentalmente em um objeto pontiagudo, nossa reação é retirar a mão imediatamente sem que tomemos consciência desse ato. Explique por que isso acontece e quais sistemas estão envolvidos nessa reação.
- Vários hormônios atuam em nosso corpo e alguns deles já foram comentados neste livro. Você conhece outros hormônios e sabe qual a função deles em nosso corpo? Se sim, dê exemplos.

1. Sistema urinário

O sistema urinário participa do principal mecanismo homeostático dos animais: a excreção. Graças à excreção, o organismo mantém-se em condições de normalidade, especialmente em relação ao equilíbrio de sais e de água e à remoção de excretas nitrogenadas.

As excretas nitrogenadas são resultantes do metabolismo de proteínas e de ácidos nucleicos, sendo que o tipo de excreta que o animal predominantemente produz e elimina está relacionado com o ambiente onde ele vive. As principais excretas são ácido úrico, ureia e amônia. Elas apresentam toxicidade e solubilidade em água distintas:

- a **amônia** é altamente tóxica e muito solúvel em água. Há necessidade de um volume considerável de água para sua eliminação. É a principal excreta dos animais aquáticos;
- a **ureia** é menos tóxica e menos solúvel em água que a amônia, havendo necessidade de um volume menor de água para sua eliminação. É a principal excreta de alguns animais aquáticos e de muitos animais terrestres;
- o **ácido úrico** é atóxico e insolúvel em água, sendo produzido por animais que precisam economizar água ou que não dispõem desse recurso em grande quantidade. O ácido úrico também é produzido por embriões que se desenvolvem no interior de ovos revestidos por cascas. Por suas características, esse tipo de excreta pode ser armazenado no interior do ovo sem causar prejuízo ao embrião, o que não ocorreria com os outros produtos de excreção nitrogenada.

Na espécie humana, a principal excreta nitrogenada é a ureia.

No processo de excreção, o sangue é filtrado nos rins, que fazem parte do sistema urinário, como representado na figura 4.2 a seguir.

A unidade morfofuncional dos rins é o **nefro** (ou néfron ou, ainda, nefrônio). Cada nefro é formado pelo **corpúsculo renal** (cápsula e glomérulo) e pelo **túbulo néfrico**. Este pode ser dividido em três regiões distintas: o túbulo contorcido proximal, a alça néfrica (alça de Henle) e o túbulo contorcido distal.

Osni de Oliveira

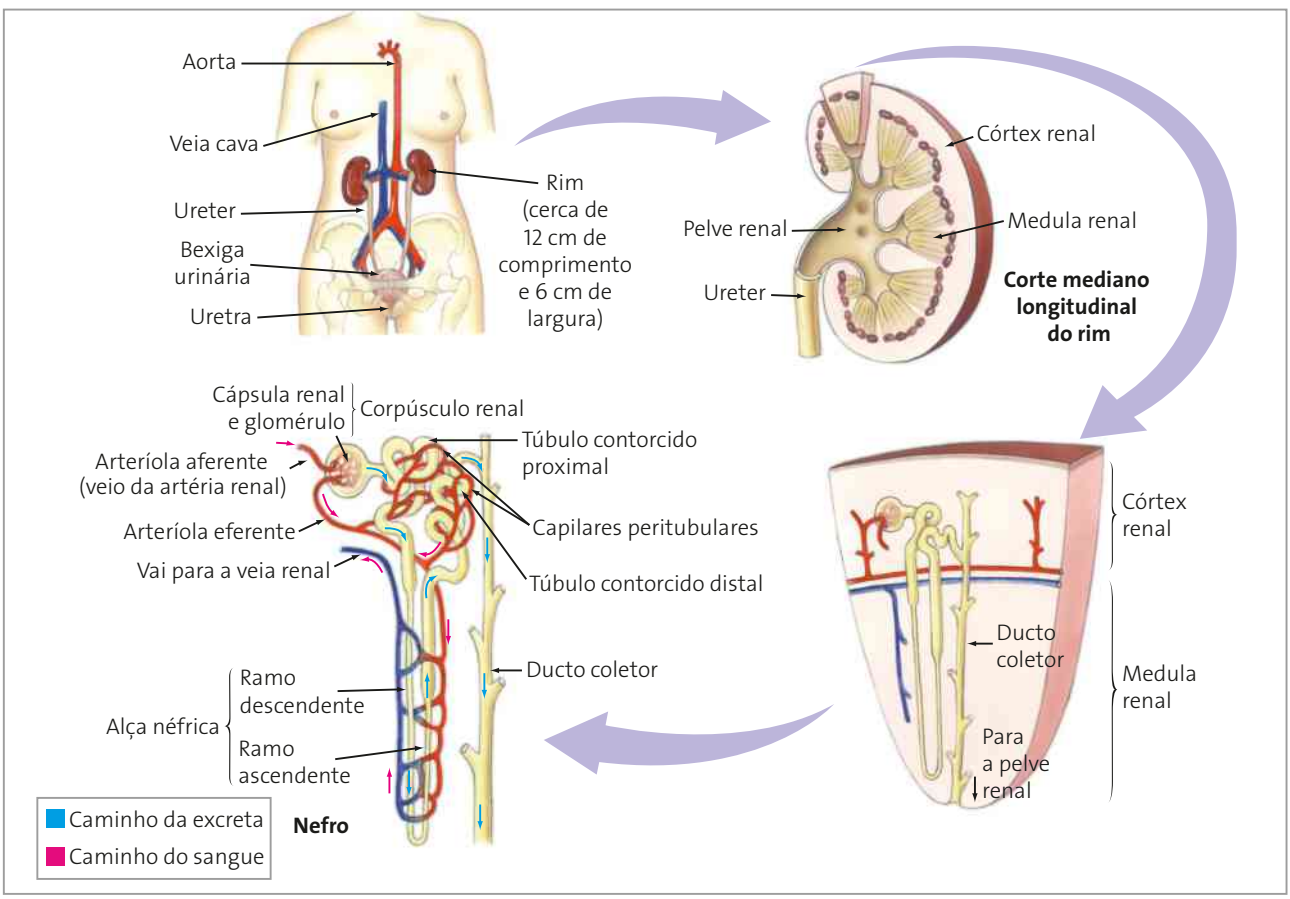


Figura 4.2. Esquema do sistema urinário humano mostrando sua posição relativa no corpo e os vasos sanguíneos que chegam aos rins e saem deles. No destaque, esquema da estrutura interna do rim e a disposição dos nefros e do ducto coletor. (Elementos representados em diferentes escalas; cores fantasia.)

Despertando ideias

Professor (a), veja nas Orientações didáticas os comentários e as respostas das questões dissertativas

REGISTRE NO CADERNO

Os rins atuam como filtros seletivos

À medida que o sangue passa pelos rins, são removidas várias substâncias, sendo que algumas retornam para o sangue e outras vão compor a urina.

Analise a seguinte tabela (Fig. 4.3) e, depois, resolva as atividades.

Substância	Concentração média no sangue (g/mL)	Concentração média na urina (g/mL)
Cálcio	0,01	0,02
Glicose	0,10	0,00
Potássio	0,02	0,20
Sódio	0,32	0,60
Ureia	0,03	2,00

Fonte: GUYTON, A. C.; HALL, J. E. *Tratado de fisiologia médica*. 12. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2011.

Figura 4.3. Tabela com as concentrações de algumas substâncias no sangue e na urina.

Discussão

1. Qual das substâncias listadas tem a maior concentração no sangue? Qual tem a maior concentração na urina?
2. Qual das substâncias listadas tem a menor concentração no sangue? Qual tem a menor concentração na urina?
3. Calcule quantas vezes aproximadamente a ureia está mais concentrada na urina em relação ao sangue.
4. O que os dados dessa tabela nos indicam sobre a função dos rins? Explique sua resposta.

O sangue a ser filtrado pelos rins é arterial, trazido pelas artérias renais (direita e esquerda), ramos da artéria aorta. As artérias renais apresentam múltiplas ramificações no interior do rim. Acompanhando o percurso de uma dessas ramificações, verifica-se que ela sofre redução de diâmetro até formar um capilar muito delgado, que se enovela dando origem ao glomérulo renal (glomérulo de Malpighi). Este fica abrigado pela cápsula renal (cápsula de Bowman) e juntos compõem o corpúsculo renal.

O sangue, ainda arterial, sai do glomérulo por um vaso que o conduz a uma trama de capilares ao redor dos túbulos néfricos. O sangue, agora venoso, é recolhido por um ramo da veia renal e levado até a veia cava.

O sangue chega ao glomérulo sob alta pressão, o que propicia a passagem de elementos do plasma para a cápsula renal. Esse processo denomina-se **filtração** e forma o filtrado glomerular, que contém principalmente água, ureia, sais (de sódio e de potássio, por exemplo), aminoácidos, glicose e outras substâncias.

O filtrado glomerular tem praticamente a mesma composição do plasma sanguíneo, sem contar, no entanto, com as proteínas demasiado volumosas para passar através das paredes dos capilares e da cápsula. Células sanguíneas e plaquetas também não são normalmente encontradas no filtrado glomerular.

Estima-se que em 24 horas sejam filtrados cerca de 180 litros de sangue. Isso indica que o volume total do sangue é filtrado cerca de sessenta vezes por dia. Apesar dessa grande filtração ocorrida nos glomérulos e na cápsula, formam-se apenas cerca de 1 a 2 litros de urina por dia, o que significa que aproximadamente 90% a 95% do filtrado glomerular é reabsorvido.

Nos túbulos néfricos ocorre a **reabsorção** de algumas substâncias, como glicose, aminoácidos e sais, além de grande parte da água. Assim, inicia-se a formação da urina, que vai se modificando ao longo dos túbulos néfricos, ficando mais concentrada.

No ducto coletor (ou túbulo coletor reto) ocorrerá mais reabsorção de água, finalizando a produção da urina. Cada ducto coletor recebe a urina de vários nefros, e numerosos ductos coletores levam-na para a pelve renal, que a conduz através do ureter à bexiga urinária, onde fica armazenada até ser eliminada para o meio externo pela uretra.

O ureter de uma pessoa adulta mede aproximadamente 25 cm de comprimento e a bexiga urinária pode armazenar, quando cheia, até mais de meio litro de urina. A partir de 350 mL a pessoa já começa a sentir necessidade de eliminar a urina.

A uretra de um indivíduo do sexo masculino adulto mede cerca de 20 cm de comprimento e é um órgão comum aos sistemas urinário e genital. A uretra feminina é exclusiva do sistema urinário e mede cerca de 4 cm de comprimento.

1.1. Regulação da função renal

A regulação da função renal está ligada à regulação da quantidade de líquidos do corpo. Havendo necessidade de reter água no corpo, a urina fica mais concentrada em função da maior reabsorção de água; havendo excesso de água no corpo, a urina fica menos concentrada em função da menor reabsorção de água.

O principal agente fisiológico regulador do equilíbrio hídrico no corpo humano é o **hormônio ADH** (antidiurético), produzido no hipotálamo (estrutura integrante do encéfalo) e armazenado na hipófise.

A concentração do plasma sanguíneo é percebida por receptores osmóticos localizados no hipotálamo. Havendo aumento na concentração do plasma (pouca água), esses osmorreguladores estimulam a produção de ADH. Esse hormônio passa para o sangue, indo atuar sobre os ductos coletores, tornando as células desses túbulos mais permeáveis à água. Consequentemente, maior quantidade de água retorna para o sangue.

Quando, ao contrário, a concentração do plasma é baixa (muita água), a produção do ADH é inibida e, consequentemente, ocorre menor reabsorção de água nos ductos coletores, possibilitando a eliminação do excesso de água. Assim, a urina fica mais diluída.

Certas substâncias, como o álcool, inibem a secreção de ADH, aumentando a produção de urina. Por isso, quando se ingerem bebidas alcoólicas, a produção de urina é mais abundante.

A **aldosterona** é outro hormônio que participa do equilíbrio de água e sais do corpo humano. Ele é produzido pelas glândulas adrenais ou suprarrenais e atua na porção inicial do túbulo contorcido distal. Quando o teor de Na^+ no sangue reduz, a aldosterona promove o aumento da reabsorção ativa de sódio, corrigindo o baixo nível desse íon no sangue. A saída de sódio para o sangue promove também a saída de água por osmose, regulando a quantidade de água no sangue. Assim, normalizam-se os teores de Na^+ e de água no sangue.

Quando a concentração de potássio no sangue aumenta, a aldosterona estimula a saída de potássio do sangue, passando para a urina.

Além desses hormônios, existe outro que é produzido no coração: o **peptídeo natriurético atrial**. Ele age de modo antagônico à aldosterona em relação aos ions Na^+ e à água. Ele aumenta a excreção de sódio e a eliminação de água e diminui a pressão arterial. Esse hormônio é liberado do coração como resposta à expansão do átrio decorrente do aumento do volume de sangue.

Colocando em foco

ALGUMAS DOENÇAS RENAIS

Acidose e uremia

Uma redução na taxa de filtração causa perda da homeostase com desequilíbrio no teor de água, sais e excretas nitrogenadas no corpo. A retenção de água provoca edema e, à medida que a concentração de íons hidrogênio aumenta, os fluidos corpóreos tornam-se mais ácidos, falando-se em **acidose**. Excretas nitrogenadas acumulam-se no sangue e nos tecidos, causando uma condição denominada **uremia**. Se a acidose e a uremia não forem tratadas, podem levar a pessoa à morte.

Quando os rins deixam de funcionar, é necessário realizar **diálise**. Uma das formas de diálise é a **hemodiálise**, em que o sangue do paciente circula em uma máquina que remove as impurezas nele presentes. A hemodiálise dura entre 4 e 6 horas e em geral é feita a cada 3 ou 4 dias. Em alguns casos, o transplante de rim é necessário.

Cálculo renal

O cálculo renal ou pedra no rim é uma doença renal causada por uma estrutura cristalina que se forma nas várias partes do trato urinário. Alguns cálculos podem permanecer assintomáticos. Entretanto, podem também obstruir e ferir partes do trato urinário ao tentarem passar junto com o fluxo normal da urina, causando dor intensa.

Quando um cálculo é muito grande para passar pelo trato urinário, ele pode ser quebrado em partes menores, por exemplo, com ultrassom.

2. Coordenação e regulação – noções gerais

Os sistemas nervoso (ou neural) e endócrino (ou hormonal) estão envolvidos na coordenação e na regulação das funções dos animais.

No sistema nervoso, a unidade morfológica e funcional é o neurônio ou célula nervosa, que recebe e transmite com rapidez e eficiência o **impulso nervoso**, que determina resposta imediata do órgão que a recebe.

Associado ao sistema nervoso está o **sistema sensorial**, formado por um conjunto de estruturas que permitem a percepção de estímulos provenientes do exterior ou do interior do corpo.

As unidades morfológicas do sistema endócrino são as **glândulas endócrinas**, estruturas uni ou pluricelulares que lançam seus produtos (secreções) diretamente na corrente sanguínea. Quando pluricelulares, podem formar estruturas individualizadas, como a **glândula tireóidea**, ou constituir grupos de células que participam da formação de outros órgãos, como as **ilhas pancreáticas** (ilhotas de Langerhans), que fazem parte do pâncreas.

As secreções produzidas pelas glândulas endócrinas são chamadas **hormônios**, que podem ser considerados os componentes atuantes do sistema endócrino.

Os hormônios são mensageiros químicos transportados pela corrente sanguínea e atuam inibindo ou estimulando órgãos específicos, denominados **órgãos-alvo**. A atuação dos hormônios é específica em células-alvo. Essas células apresentam receptores hormonais, que são **proteínas** localizadas no citoplasma ou na membrana plasmática. Eles se combinam especificamente com as moléculas do hormônio, e a resposta ao hormônio se dá quando ocorre essa combinação.

Uma das diferenças entre o sistema nervoso e o endócrino é o tempo necessário para que o estímulo atinja o órgão-alvo e ocorra a resposta: enquanto um impulso nervoso pode percorrer o corpo em milésimos de segundo, o hormônio pode levar segundos ou até minutos para realizar essa função.

3. Sistema nervoso

O sistema nervoso ou sistema neural dos vertebrados é formado por duas partes também denominadas sistema nervoso central (**SNC**) e sistema nervoso periférico (**SNP**).

O SNC compreende o **encéfalo** e a **medula espinal**, enquanto o SNP compreende os **nervos cranianos** e os **espinais** (ou raquidianos).

3.1. Sistema nervoso central (SNC)

Estruturas protetoras

Os órgãos do SNC estão protegidos por **estruturas esqueléticas** (**crânio**, protegendo o encéfalo, e **coluna vertebral** ou raque, protegendo a medula espinal) e por membranas denominadas **meninges**.

As meninges localizam-se entre as estruturas esqueléticas e os órgãos do SNC. Os mamíferos têm três meninges: a **dura-máter**, mais resistente e em contato com os ossos; a **aracnoide**, delicada e fibrosa; e a **pia-máter**, delgada e vascularizada, em contato com o SNC. Entre a aracnoide e a pia-máter há um espaço preenchido por líquido denominado **cefalorraquidiano** (cérebro-espinal) ou líquor.

O encéfalo

O **encéfalo** é formado pelo telencéfalo, diencéfalo, mesencéfalo, metencéfalo e mielencéfalo.

O **telencéfalo** ou **cérebro** humano está relacionado principalmente com a memória, inteligência e com processamento da visão, da audição, do olfato, do paladar e da fonação.

O córtex cerebral (camada mais superficial) revela grande aumento de superfície, formando os sulcos e giros cerebrais (**circunvoluções cerebrais**). O hemisfério cerebral direito está associado à criatividade, e o esquerdo, às habilidades analíticas.

O **diencéfalo** possui três centros nervosos principais:

- **tálamo**: relaciona-se com emoções inatas e é uma área de retransmissão de informações vindas do corpo para serem processadas no cérebro e vice-versa;
- **epitálamo**: evaginação dorsal do tálamo que forma o **órgão pineal**, glândula endócrina que nos vertebrados primitivos era um fotorreceptor;
- **hipotálamo**: região ventral do tálamo que controla a temperatura corporal, o balanço hídrico, o apetite e interfere nas atividades dos órgãos viscerais. O hipotálamo forma o lobo posterior da **hipófise** (ou glândula pituitária).

Ao contrário das outras glândulas, a hipófise tem origem dupla: o lobo posterior deriva do hipotálamo e o anterior do teto da cavidade bucal; além disso, só a parte anterior produz hormônios e está sujeita ao controle do hipotálamo; o lobo posterior não produz

hormônios, mas armazena e libera hormônios produzidos no hipotálamo.

No hipotálamo os nervos ópticos procedentes dos olhos se cruzam e depois se dirigem para o cérebro. Esse cruzamento denomina-se **quiasma óptico**.

O **mesencéfalo** controla os movimentos dos olhos, constituindo um centro de reflexos visuais e auditivos, mas não é o centro da visão.

O **metencéfalo** ou **cerebelo** é encarregado de coordenar funções motoras como a locomoção, o equilíbrio corporal, o tônus e o vigor muscular. Nos vertebrados que voam ou nadam, o cerebelo é bem desenvolvido.

Na base do cerebelo dos mamíferos existe uma estrutura denominada **ponte** (ponte de Varolio) onde ocorre o cruzamento das vias motoras, que passam a ocupar, na medula espinal, o lado contrário ao que ocupavam no cérebro. Desse modo, o lado esquerdo do cérebro controla o lado direito do corpo, e o lado direito do cérebro controla o lado esquerdo do corpo.

O **mielencéfalo** ou **bulbo** é considerado um centro vital, pois controla a respiração e funções relacionadas ao sistema digestório, além de determinar alterações nos batimentos cardíacos. Também exerce influência em certos atos reflexos, como a deglutição, o vômito, a sucção e a tosse.

A medula

A medula espinal tem duas funções básicas:

- transportar informações do corpo para o encéfalo e do encéfalo para o corpo;
- integrar respostas simples a certos tipos de estímulo, sem que o cérebro tome parte.

3.2. Sistema nervoso periférico (SNP)

Esse sistema é formado por doze pares de nervos cranianos e 31 pares de nervos espinais. Os nervos cranianos partem do encéfalo e os nervos espinais partem da medula espinal.

Os nervos cranianos podem ser:

- **sensitivos**: apresentam apenas fibras nervosas transmissoras de mensagens dos órgãos para os centros nervosos (fibras sensitivas ou aferentes);
- **motores**: apresentam apenas fibras nervosas que transmitem mensagens dos centros nervosos para os órgãos (fibras motoras ou eferentes);
- **mistos**: possuem tanto fibras sensitivas como motoras.

Os nervos espinais são todos **mistos**, cada um formado por uma **raiz sensitiva** e uma **raiz motora**, que saem lateralmente da medula e logo se unem. A raiz posterior, ou dorsal, é sensitiva; a raiz anterior, ou ventral, é motora.

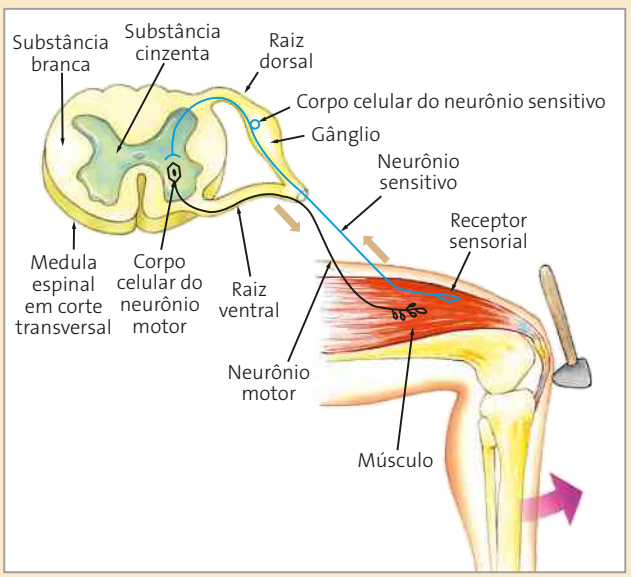
Colocando em foco

ATOS VOLUNTÁRIOS E ATOS REFLEXOS

Existem **atos voluntários**, isto é, que dependem de nossa vontade, e **atos reflexos**, que não dependem de nossa vontade. Os atos voluntários são comandados pela substância cinzenta do cérebro, de onde a ordem motora passa para a substância branca da medula, em seguida para os nervos espinais, e chega a um órgão-alvo determinando sua reação.

Os atos reflexos ou involuntários são comandados pela substância cinzenta da medula espinal ou do bulbo. São realizados antes que o cérebro tome conhecimento deles.

Um ato reflexo bem conhecido é o reflexo patelar (Fig. 4.4).



Osni de Oliveira

Figura 4.4. Esquema representando o mecanismo do **reflexo patelar** – um leve toque no joelho faz a perna levantar involuntariamente, sem que determinemos o movimento. O toque estimula fibras sensitivas de um nervo espinal, que transmite o estímulo até a substância cinzenta da medula. Nessa região, o estímulo é transformado em ordem motora, transmitida aos músculos pela fibra motora do mesmo nervo. Esse trajeto percorrido pelo impulso nervoso forma um arco, denominado **arco reflexo**. (Elementos representados em diferentes escalas; cores fantasia.)

Em termos funcionais, o sistema nervoso periférico (SNP) pode ser considerado sensorial e motor.

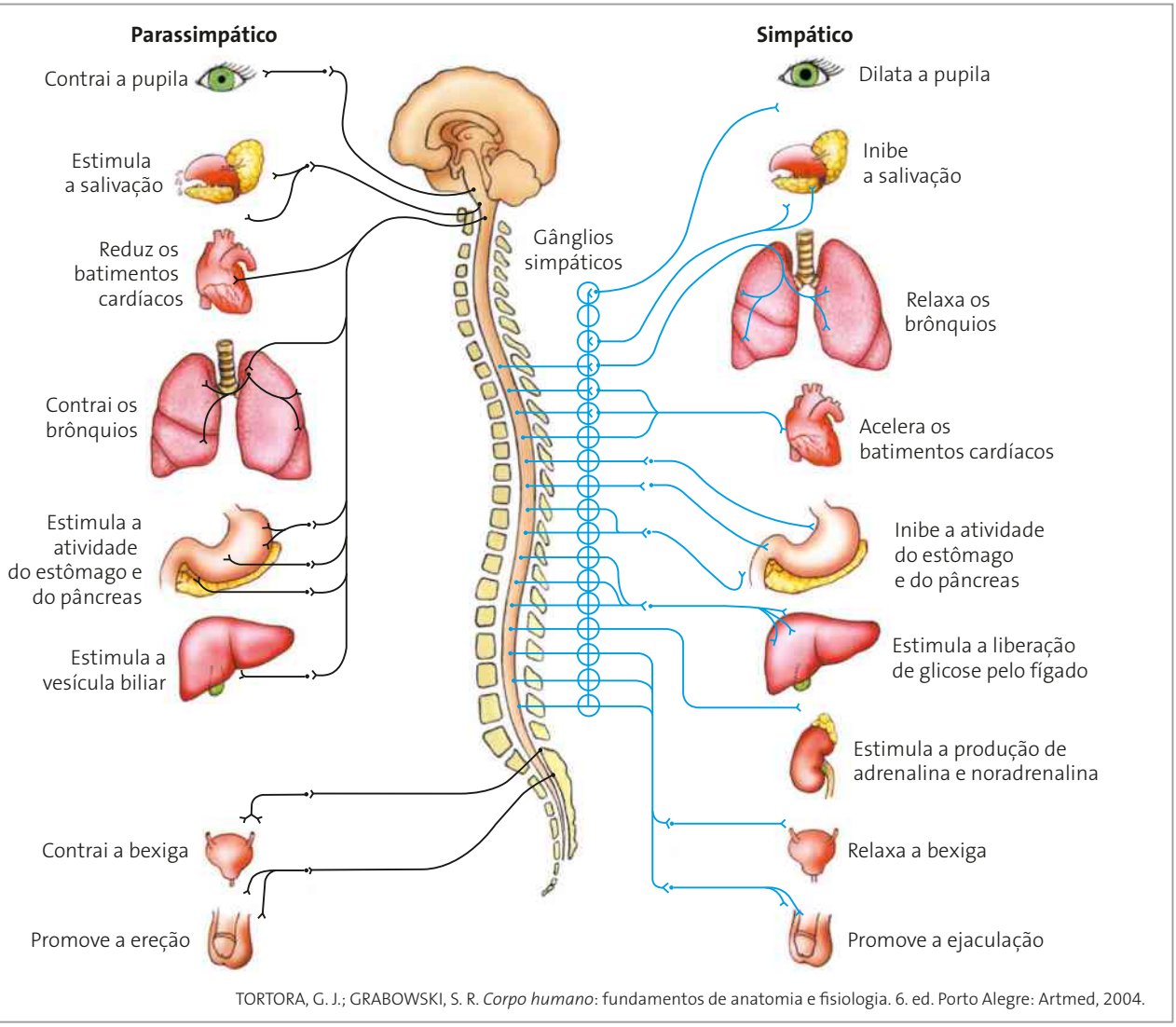
A **divisão sensorial** compreende os neurônios sensoriais que levam ao SNC informações sobre os estímulos ambientais e internos do corpo percebidos pelos receptores sensoriais.

A **divisão motora** apresenta:

- neurônios motores que formam o **sistema nervoso periférico somático**: encaminham mensagens do SNC aos músculos esqueléticos, principalmente em resposta a estímulos do ambiente. Nesse caso a resposta é voluntária, ou seja, **depende da vontade**, embora em alguns casos os músculos esqueléticos possam apresentar movimentos involuntários, determinados por reflexos mediados pela medula espinal. Nesse caso, cada neurônio motor tem o corpo celular dentro do SNC, e o axônio vai diretamente ao músculo;
- neurônios motores que formam o **sistema nervoso periférico autônomo** ou visceral: encaminham mensagens do SNC aos músculos não estriados (lisos) e estriado cardíaco e ao sistema endócrino; a resposta é involuntária, ou seja, **independe da vontade**. Vamos falar um pouco mais sobre o sistema autônomo.

O sistema autônomo é dividido em duas partes, a **simpática** e a **parassimpática**, que agem de forma antagônica, de modo a manter a homeostase do organismo. Esse efeito antagônico é conseguido graças, principalmente, aos mediadores químicos de efeitos opostos liberados pelas fibras (Fig. 4.5):

- simpáticas, que liberam **noradrenalina** (adrenérgicas);
- e parassimpáticas, que liberam **acetilcolina** (colinérgicas).



Jurandir Ribeiro

TORTORA, G. J.; GRABOWSKI, S. R. *Corpo humano*: fundamentos de anatomia e fisiologia. 6. ed. Porto Alegre: Artmed, 2004.

Figura 4.5. Esquema das principais vias simpáticas, em azul, e parassimpáticas, em preto, na espécie humana. (Elementos representados em diferentes escalas; cores fantasia.)

A atividade simpática prepara o corpo para a ação, seja ela de defesa ou de ataque. É possível perceber essa atividade em situações emocionais ou de emergência: as pupilas dilatam-se, a boca fica seca, há aumento da pressão sanguínea e dos batimentos cardíacos, a respiração fica mais profunda, ocorre vasoconstrição na pele e dilatação dos vasos que conduzem sangue para o trato gastrintestinal, coração, encéfalo, pulmões e músculos esqueléticos.

A atividade parassimpática está primariamente relacionada à recuperação, à conservação e ao repouso dos órgãos vitais. Por exemplo: ela ativa o sistema digestório, contrai a pupila, protegendo a retina da luz, e reduz os batimentos cardíacos, contribuindo para o repouso do coração.

4. Sistema sensorial

O sistema sensorial recebe estímulos que são transmitidos ao encéfalo, onde eles são interpretados e transformados em sensações.

De acordo com os estímulos aos quais respondem, os receptores sensoriais podem ser classificados em:

- **mecanorreceptores**: respondem a estímulos mecânicos, especialmente à pressão;
- **termorreceptores**: respondem à variação de temperatura;
- **quimiorreceptores**: transmitem informações relacionadas às substâncias químicas dissolvidas no meio;
- **fotorreceptores**: detectam luz;
- **receptores de dor**.

Na pele humana, por exemplo, existem mecanorreceptores, termorreceptores e receptores de dor. Em conjunto, eles recebem todos os estímulos que proporcionam a sensação conhecida por **tato**.

Os quimiorreceptores estão relacionados principalmente com a **gustação** e com o **olfato**.

Os quimiorreceptores relacionados com a gustação situam-se na língua. Eles são conhecidos por **papilas gustativas** e nos permitem distinguir cinco gostos: salgado, doce, amargo, azedo e umami. Para que sejam percebidas pelas papilas gustativas, as substâncias químicas precisam ser solúveis nos líquidos da boca.

Os quimiorreceptores relacionados com o olfato situam-se no teto das cavidades nasais e constituem o **epitélio olfatório**. As substâncias químicas precisam estar dispersas no ar que entra pelas cavidades nasais para que possam impressionar os quimiorreceptores do olfato (Fig. 4.6).

Walter Caldeira

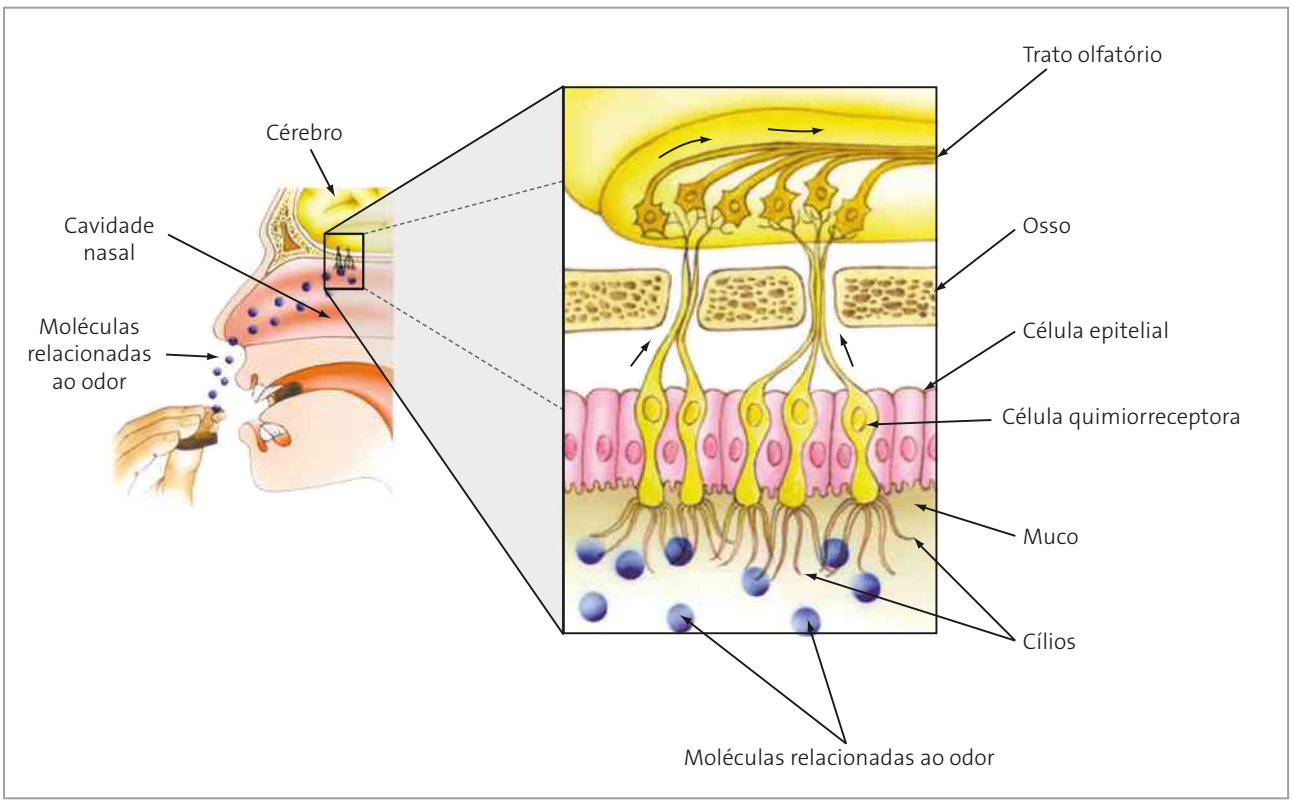


Figura 4.6. Esquema mostrando as estruturas envolvidas no sentido do olfato. (Elementos representados em diferentes escalas; cores fantasia.)

Os fotorreceptores localizam-se nos olhos.

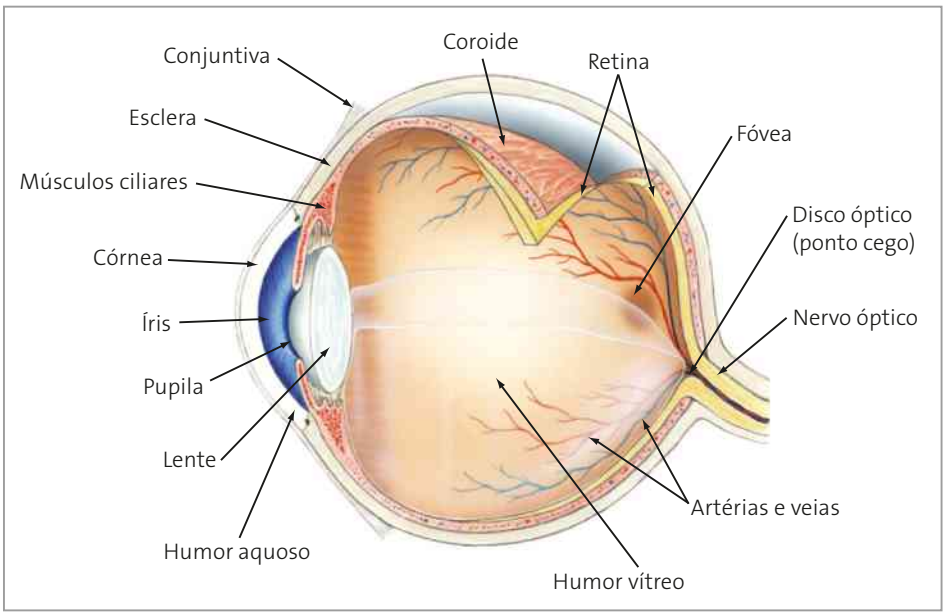
O olho apresenta uma membrana externa denominada **conjuntiva**. Sob ela há uma camada esbranquiçada chamada **esclera** ou esclerótica (o branco dos olhos) cuja porção anterior é transparente, formando a **córnea**, que atua como uma lente fixa. Sob a esclera há a **coroide**, camada fina, vascularizada e pigmentada que na região da córnea forma a **íris**, um disco pigmentado que dá a cor aos olhos e que delimita uma abertura central denominada **pupila**. A cor escura da coroide exclui toda a entrada de luz, exceto a que penetra pela pupila, à semelhança de uma máquina fotográfica. A contração e o relaxamento da íris regulam a quantidade de luz que penetra no olho pela pupila: a íris aumenta e diminui a pupila respectivamente quando a luz diminui e aumenta de intensidade.

Ao atravessar a pupila, a luz entra em contato com a **lente** ou cristalino, uma lente transparente formada por proteína. Entre a córnea e a lente existe um líquido chamado **humor aquoso**. A falta ou a deficiência na produção desse líquido causa o **glaucoma**, doença que pode levar à cegueira.

Atrás da lente encontra-se o **humor vítreo**, que ocupa grande parte do volume do bulbo do olho (globo ocular). O humor aquoso e o humor vítreo atuam como lentes líquidas e mantêm a forma do bulbo do olho.

O olho todo pode ser movimentado por seis músculos ciliares que se fixam na sua superfície externa.

Na retina localizam-se as **células fotorreceptoras**, que recebem os estímulos luminosos e os encaminham a uma região não sensível à luz, denominada **disco óptico**. Dessa região parte o **nervo óptico**, que leva os estímulos ao cérebro, onde são decodificados e transformados em sensações (Fig. 4.7).



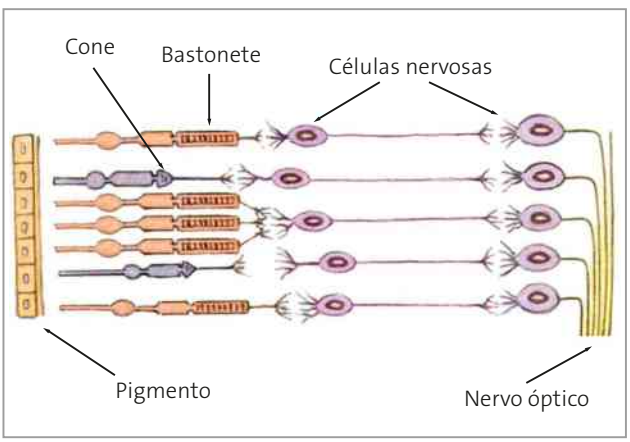
Rodval Matias

Figura 4.7. Esquema do olho humano em corte longitudinal. O humor vítreo está representado preenchendo apenas parte do bulbo do olho. (Elementos representados fora de escala; cores fantasia.)

As células fotorreceptoras são (Fig. 4.8):

- **cones**: proporcionam a percepção de cores, mas essa função é prejudicada à noite ou em baixa luminosidade;
- **bastonetes**: muito sensíveis à luz, permitem a visão mesmo com baixa luminosidade.

Os nervos ópticos, provenientes um de cada olho, cruzam-se no quiasma óptico. Nesse ponto, cada nervo envia parte de suas fibras para o hemisfério cerebral direito e parte para o hemisfério cerebral esquerdo. Dessa forma, os dois hemisférios recebem estímulos luminosos captados por ambos os olhos, de modo que ocorre sobreposição de imagens vistas em ângulos diferentes, proporcionando a **visão tridimensional** ou estereoscópica.



Rodval Matias

Figura 4.8. Representação de trecho da retina destacando alguns bastonetes e cones. (Elementos representados em diferentes escalas; cores fantasia.)

A focalização de objetos se faz pela alteração da forma da lente por ação de músculos ciliares: quando um objeto está longe, a lente torna-se mais achatada; quando o objeto está perto, a lente fica mais arredondada. Esses processos envolvidos na focalização levam à **acomodação visual**. A imagem que se forma na retina é reduzida e invertida; no cérebro a imagem deixa de ser invertida.

Colocando em foco

ALGUNS PROBLEMAS DE VISÃO

Segundo dados do IBGE de 2010, há no Brasil mais de 6,5 milhões de pessoas com alguma deficiência visual. Desse total:

- 528 624 pessoas são incapazes de enxergar (cegos);
- 6 056 654 pessoas possuem grande dificuldade permanente de enxergar (baixa visão ou visão subnormal);
- outras 29 milhões de pessoas declararam possuir alguma dificuldade permanente de enxergar, ainda que usando óculos ou lentes.

Os problemas mais comuns de visão são miopia, hipermetropia e astigmatismo.

Na **miopia**, as pessoas não conseguem focalizar objetos distantes, pois a imagem se forma à frente da retina. Para correção desse problema podem-se usar lentes divergentes que afastam o plano de foco, levando a formação da imagem até a retina (Fig. 4.9). A miopia pode também ser corrigida por cirurgia a *laser*.

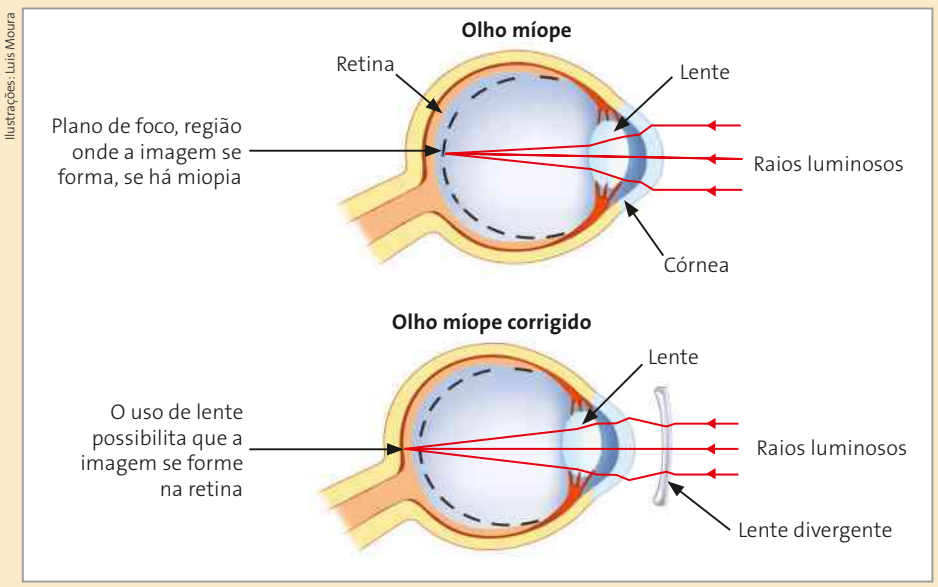
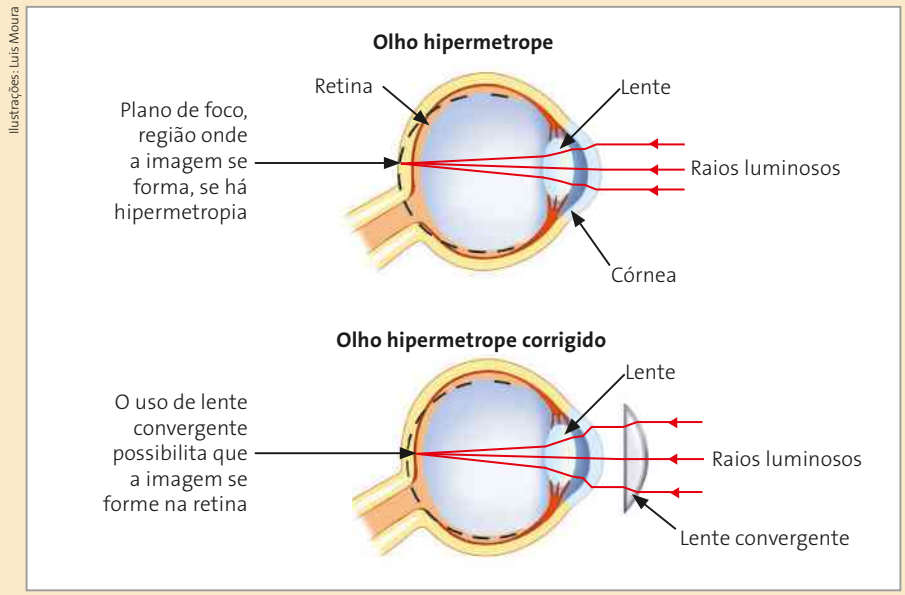


Figura 4.9. Esquema simplificado mostrando a formação da imagem na miopia, sem e com o uso de lente corretiva. Pessoas com miopia apresentam os bulbos dos olhos mais alongados em relação aos das pessoas com visão normal. (Elementos representados em diferentes escalas; cores fantasia.)

Ao ler, por exemplo, pessoas com miopia costumam aproximar muito o texto dos olhos, pois enxergam melhor os objetos quando eles ficam mais próximos. Há referências científicas informando que a leitura por períodos prolongados e com falta de luz, na infância, pode estar relacionada com a intensificação da miopia, que é determinada geneticamente.

As lentes divergentes usadas na compensação da miopia, mais espessas nas bordas que no centro, têm o efeito de reduzir o tamanho aparente dos olhos quando visto por outra pessoa. Dependendo do grau de miopia, é possível reconhecer o portador desse problema de visão apenas observando o tipo de lente que usa.

Na **hipermetropia**, as pessoas não conseguem focalizar objetos próximos, pois a imagem se forma atrás da retina. A solução para esse problema costuma ser o uso de lentes convergentes, que fazem o plano de foco se aproximar de modo que a imagem se forme na retina (Fig. 4.10).



Ilustrações: Luis Moura

Figura 4.10. Esquema simplificado mostrando a formação da imagem na hipermetropia, sem e com o uso de lente corretiva. Pessoas com hipermetropia apresentam os bulbos dos olhos levemente achatados no sentido anterior-posterior em relação aos das pessoas com visão normal. (Elementos representados em diferentes escalas; cores fantasia.)

As lentes convergentes usadas na compensação da hipermetropia têm as bordas mais finas que o centro e ampliam as imagens. Dependendo do grau de hipermetropia, é possível perceber que, por detrás das lentes, os olhos da pessoa parecem maiores do que realmente são.

No **astigmatismo**, as pessoas não conseguem focalizar objetos em qualquer distância e os enxergam embaçados ou tremidos. Esse problema de visão pode vir associado tanto à miopia quanto à hipermetropia e pode ser corrigido com o uso de lentes especiais.

O tipo de deformação que o astigmatismo produz é do tipo cilíndrico. Nessa alteração da visão, as imagens aparecem mais altas e estreitas ou mais baixas e largas do que na realidade. Dependendo do caso, um quadrado perfeito pode ser visto como um retângulo com maior lado na vertical ou na horizontal; há casos – quando o eixo da deformação é oblíquo – em que um quadrado parecerá um paralelogramo não retângulo.

A recepção dos estímulos sonoros é feita pelas orelhas, consideradas em três regiões: orelha externa, orelha média e orelha interna.

A **orelha externa** e a **média** são importantes para a captação e a condução do som, que deve chegar até a orelha **interna**, onde estão as células sensoriais receptoras do estímulo sonoro. Essas células formam uma estrutura conhecida por **órgão espiral** (órgão de Corti), situado em um órgão complexo chamado **cóclea**. Esta é composta de um longo tubo enrolado e preenchido por líquido, lembrando a forma de um caracol.

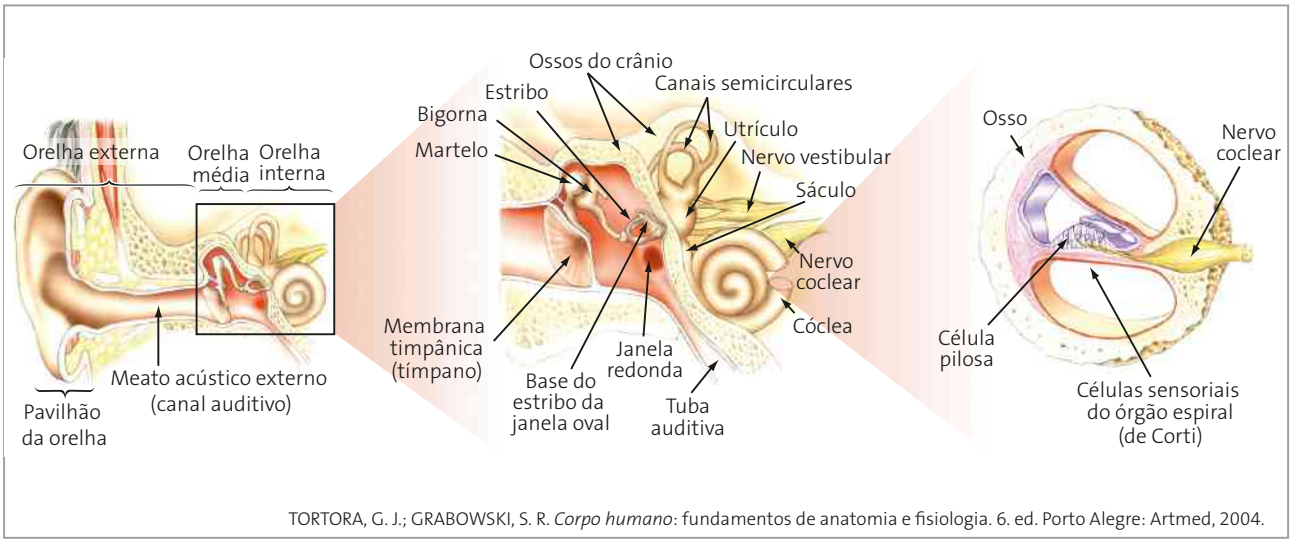
Do órgão espiral parte o **nervo vestibular** (**auditivo**), que leva os estímulos sonoros ao cérebro, que os decodifica e os transforma em sensação sonora, caracterizando a audição.

Na orelha interna existem também o **utrículo**, o **sáculo** e os três **canais semicirculares**, distribuídos nas três dimensões do espaço. Essas estruturas apresentam líquido em seu interior e células sensoriais ciliadas (Fig. 4.11).

Os movimentos da cabeça provocam deslocamento do líquido existente nessas estruturas, estimulando as células sensoriais. Esse estímulo é enviado ao cérebro pelo nervo vestibular e, lá, é decodificado com informações importantes a respeito da posição do corpo.

Quando giramos o corpo e paramos bruscamente, temos a sensação de que continuamos a girar. Isso ocorre graças ao princípio da inércia, pois o líquido que preenche estruturas da orelha interna continua se movimentando por algum tempo, mesmo depois de termos cessado o movimento do corpo. Assim, o cérebro continua recebendo da orelha a informação de que ainda estamos girando. Com isso, cria-se um conflito entre o que é visto e o que é sentido. Somente quando a movimentação do líquido se regulariza é que retomamos o equilíbrio.

Walter Caldeira



TORTORA, G. J.; GRABOWSKI, S. R. *Corpo humano*: fundamentos de anatomia e fisiologia. 6. ed. Porto Alegre: Artmed, 2004.

Figura 4.11. Esquema da orelha humana. (Elementos representados em diferentes escalas; cores fantasia.)

5. Sistema endócrino

O sistema endócrino é complexo, com grande número de glândulas endócrinas (Fig. 4.12). Os hormônios produzidos por essas glândulas influenciam praticamente todas as funções do organismo, interagindo com o sistema nervoso.

O sistema nervoso pode fornecer ao endócrino informações sobre o meio externo, e o sistema endócrino pode regular a resposta do organismo a essas informações.

Além de atuarem sobre órgãos não endócrinos, alguns hormônios atuam sobre outras glândulas endócrinas, comandando a secreção de outros hormônios.

Os hormônios que estimulam a secreção de outras glândulas endócrinas são denominados **hormônios trópicos**. Eles são produzidos pela **adenoipófise**.

Os hormônios trópicos são:

- **tireoideotrópico**: atua sobre a glândula tireóidea;
- **adrenocorticotrópico**: atua sobre o córtex das glândulas suprarrenais (adrenais);
- **gonadotrópico**: atua sobre as gônadas masculinas (testículos) e femininas (ovários).

Jurandir Ribeiro

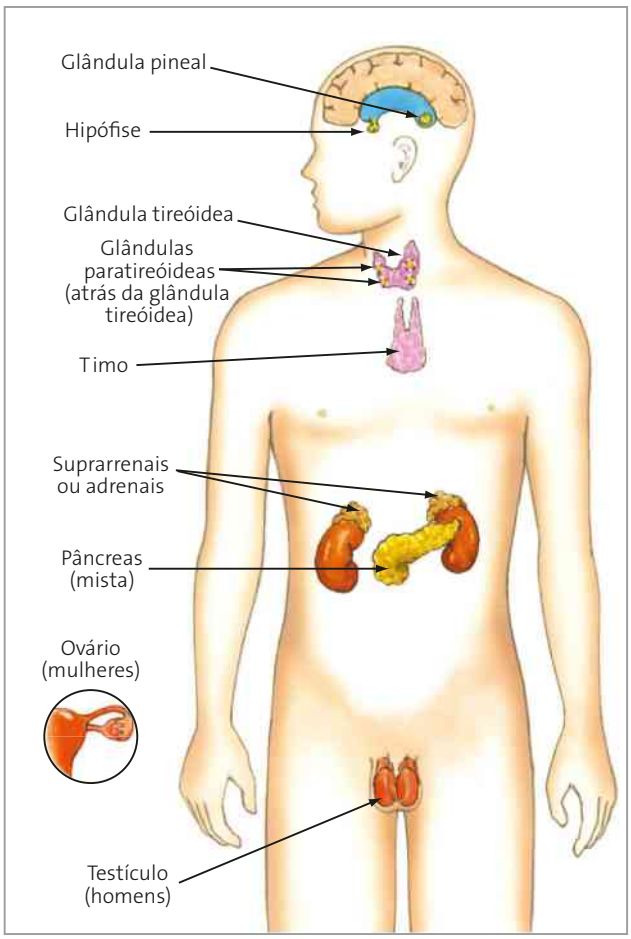
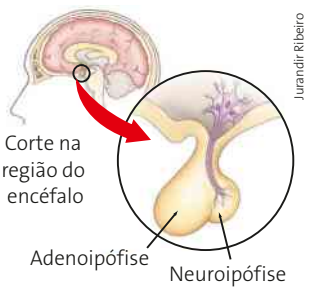


Figura 4.12. Esquema mostrando a localização das glândulas humanas produtoras de hormônios, tomando como exemplo um homem. Em destaque, foram representadas estruturas genitais femininas para mostrar um dos ovários, glândulas presentes nas mulheres e ausentes nos homens, que possuem testículos. As demais glândulas endócrinas ocorrem tanto em homens como em mulheres. (Cores fantasia.)

Existem órgãos que sintetizam hormônios, atuando secundariamente como órgãos endócrinos. É o caso do coração, estômago, intestino delgado e rins, que não discutiremos aqui. O hipotálamo, região do encéfalo, também produz hormônios.

O quadro a seguir (Fig. 4.13) apresenta um resumo das principais estruturas produtoras de hormônios, onde e como esses hormônios atuam.

Estruturas endócrinas	Hormônios produzidos	Funções
Hipófise (glândula pituitária) Localizada na base do crânio. Tem o tamanho aproximado de uma ervilha e liga-se ao hipotálamo por um pedúnculo. Apresenta dois lobos bem desenvolvidos: o anterior, **adenoipófise**, e o posterior, **neuroipófise**. Somente a adenoipófise produz hormônios.  Jurandir Ribeiro	**Adrenocorticotrópico (ACTH)**	Age sobre as suprarrenais no controle do **balanço hídrico** do corpo.
	Tireoideotrópico (TSH)	Age sobre a glândula tireóidea, aumentando a taxa do **metabolismo**.
	Folículo estimulante (FSH)	No homem, contribui para a **espermatogênese** em presença de testosterona. Na mulher, estimula os **folículos ovarianos**.
	Luteinizante (LH)	Age sobre as gônadas, estimulando seu desenvolvimento. Estimula a produção de andrógenos (hormônios sexuais masculinos), principalmente a **testosterona**.
	Hormônio do crescimento (GSH) ou somatotropina	Estimula o crescimento. Seu excesso durante a puberdade determina o **gigantismo**, e sua falta provoca o **nanismo**. Nos adultos, o excesso desse hormônio pode causar crescimento anormal em algumas regiões do corpo, como a mandíbula, as mãos e os pés, anomalia denominada **acromegalia**.
	Prolactina	Estimula a secreção de **leite** nos mamíferos.
Hipotálamo Região do encéfalo onde há produção de hormônios que ficam armazenados na neuroipófise ou atuam sobre a adenoipófise, estimulando ou inibindo suas secreções. Estes são chamados, genericamente, de hormônios de liberação.	**Ocitocina**	Armazenado na neuroipófise, estimula as **contrações uterinas**.
	Hormônio antidiurético (ADH) ou vasopressina	Armazenado na neuroipófise, estimula a reabsorção de água pelos dutos coletores dos rins, deixando a urina mais concentrada. A carência desse hormônio causa a doença **diabetes insípido**, na qual a pessoa apresenta grande aumento do fluxo urinário, provocando muita sede, geralmente acompanhada de grande apetite e perda de força muscular.
Glândula tireóidea Localizada na porção anterior do pescoço, tem seu funcionamento estimulado pelo hormônio tireoideotrópico produzido pela hipófise.	**Tiroxina (T4)** e **triiodotironina (T3)** (Para que ocorra a produção desses hormônios no corpo, é necessária a ingestão de iodo, cuja carência pode provocar aumento da glândula tireóidea.)	Atuam sobre o metabolismo. Quando em excesso, causam **hipertireoidismo** (nervosismo excessivo, aumento do ritmo cardíaco e perda de peso). Quando insuficientes, causam o **hipotireoidismo** (pele seca, cansaço excessivo e intolerância ao frio) e **bócio**, que vem sendo evitado com a adição de iodo ao sal de cozinha. Na infância, pode causar o **cretinismo**, caracterizado por deficiência mental e nanismo.
	Calcitonina	Diminui o teor de **cálcio** no sangue quando esse íon está em **excesso**.

Estruturas endócrinas	Hormônios produzidos		Funções
Glândulas paratireóideas Dois pares de pequenas estruturas localizadas na face posterior da glândula tireóidea.	**Paratormônio (hormônio paratireoideano)**		Aumenta o teor de **cálcio** no sangue, quando esse íon está em **baixa concentração**. Seu mecanismo de ação é antagônico ao da calcitonina.
Suprarrenais (adrenais) Duas, uma sobre cada um dos rins. Formadas por duas regiões distintas: a **cortical** (periférica) e a **medular** (central).	No córtex	**Glicocorticoides**	Relacionados com o metabolismo de glicose; atuam também como **anti-inflamatórios**.
		Mineralocorticoides (o principal é a **aldosterona**)	Atuam no controle dos níveis dos íons **sódio** e **potássio** no sangue, interferindo na retenção ou na perda de água pelo organismo.
	Na medula	**Hormônios sexuais masculinos (andrógenos)**	Atuam sobre os **caracteres sexuais secundários masculinos**. O excesso desses hormônios em mulheres pode provocar o aparecimento de barba e de outras características masculinas secundárias.
		Adrenalina (epinefrina)	Determina vasoconstrição periférica, **taquicardia**, rápido aumento da taxa metabólica, aumento do estado de **alerta** e diminuição das atividades digestivas e renais.
Pâncreas Glândula mista. A **região endócrina** compreende as **ilhas pancreáticas** (ilhotas de Langerhans).	**Insulina**	**Reduz** a concentração de **glicose** no sangue. Sua carência provoca aumento na taxa de açúcar no sangue, o que é característico da **diabetes melito tipo I**. Na **diabetes melito tipo II** ou do adulto não há falta de insulina, mas seu aproveitamento é comprometido.	
	Glucagon	**Aumenta** o nível de **glicose** no sangue.	
Glândula pineal (epífise) Pequena glândula situada na base do cérebro.	**Melatonina**	Interfere nos sistemas imunitário, hormonal e nervoso e na regulação do **sono**.	
Timo Órgão linfoide particularmente importante para a defesa imunitária da criança. No adulto, é vestigial.	**Timosina** e **timopoietina**	Atuam na maturação dos **linfócitos T**.	
Testículos Gônadas masculinas.	**Testosterona** (hormônio sexual masculino)	Na puberdade, regula o aparecimento dos **caracteres sexuais secundários** e estimula a **espermatogênese**. Mantém o metabolismo promovendo a síntese de proteínas no sistema muscular, aumentando a musculatura.	

Estruturas endócrinas	Hormônios produzidos	Funções
Ovários Gônadas femininas. A interação dos hormônios gonadotrópicos com os produzidos pelo ovário determina uma série de alterações no sistema genital feminino, dando origem ao ciclo menstrual.	**Estrógeno** (hormônio sexual feminino)	Na puberdade, é responsável pelo aparecimento dos caracteres sexuais secundários. No ciclo menstrual, estimula o crescimento da parede do útero (**endométrio**), que se prepara para o eventual recebimento do embrião.
	Progesterona (hormônio sexual feminino)	Mantém o endométrio desenvolvido. O baixo nível de progesterona elimina o estímulo que mantinha o endométrio desenvolvido, o qual fica na iminência de uma descamação (**menstruação**).
Placenta	**Gonadotropina coriônica (HCG)**	Estimula a produção de **progesterona**, que mantém a gravidez. O HCG começa a ser formado logo no início da formação da placenta.

Figura 4.13. Quadro das principais estruturas endócrinas, os hormônios produzidos e suas funções.

5.1. O controle hormonal do ciclo menstrual

As gônadas (**ovários** nas fêmeas e **testículos** nos machos) são também chamadas glândulas sexuais e produzem, além de hormônios sexuais, os gametas.

A adenoipófise produz dois hormônios gonadotrópicos: o **hormônio luteinizante** (LH) e o **folículo estimulante** (FSH).

No homem, o LH atua sobre células intersticiais dos testículos (localizadas entre os túbulos seminais), estimulando a produção de **andrógenos** (hormônios sexuais masculinos). Dentre os andrógenos, o mais importante é a **testosterona**. Os andrógenos regulam o aparecimento de caracteres sexuais secundários. O FSH contribui para a espermatogênese na presença de testosterona (Fig. 4.14).

Na mulher, o FSH estimula os folículos ovarianos a produzir ovócitos, e esses folículos em desenvolvimento secretam o **estrógeno**, hormônio sexual feminino, responsável pelo aparecimento dos caracteres sexuais secundários típicos das mulheres (Fig. 4.15).

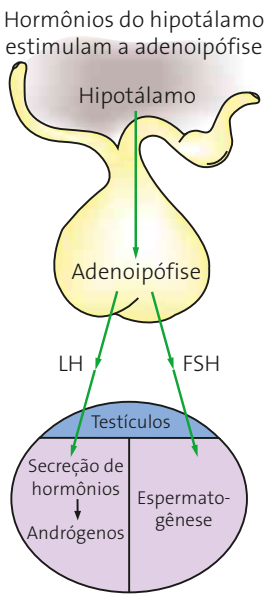


Figura 4.14. Esquema mostrando a ação de hormônios no sexo masculino. (Cores fantasia.)

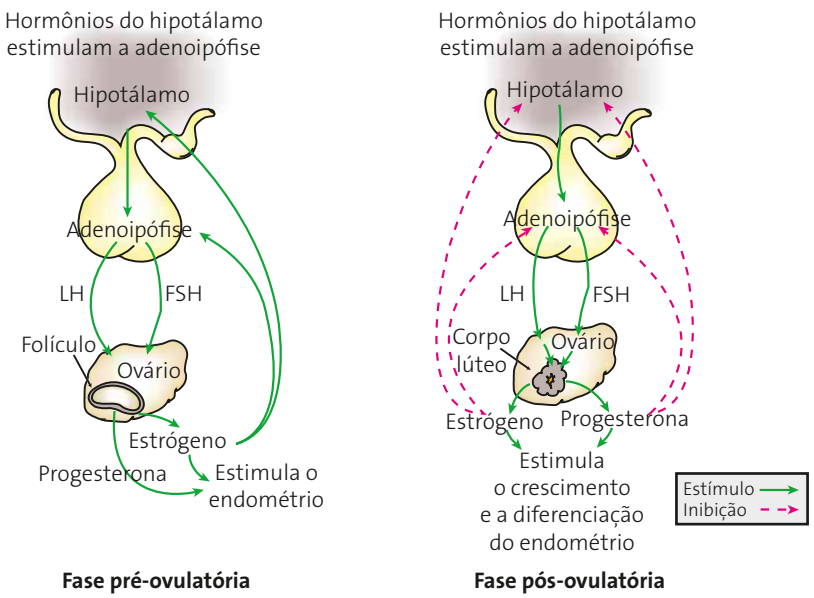


Figura 4.15. Esquema de regulação hormonal no ciclo reprodutivo feminino. A explicação mais completa desta figura está no texto da página seguinte. (Elementos representados em diferentes escalas; cores fantasia.)

Ilustrações: Studio Caparroz

Os hormônios gonadotrópicos na mulher interagem com os produzidos pelos ovários, de modo que uns controlam a produção dos outros. A interação desses hormônios determina uma série de alterações no sistema reprodutor feminino, dando origem ao **ciclo menstrual**.

Tomando como base um ciclo padrão de 28 dias, as modificações que ocorrem no corpo da mulher ao longo desse período podem ser analisadas sob os pontos de vista **ovariano**, **hormonal** e **uterino** (Fig. 4.16).

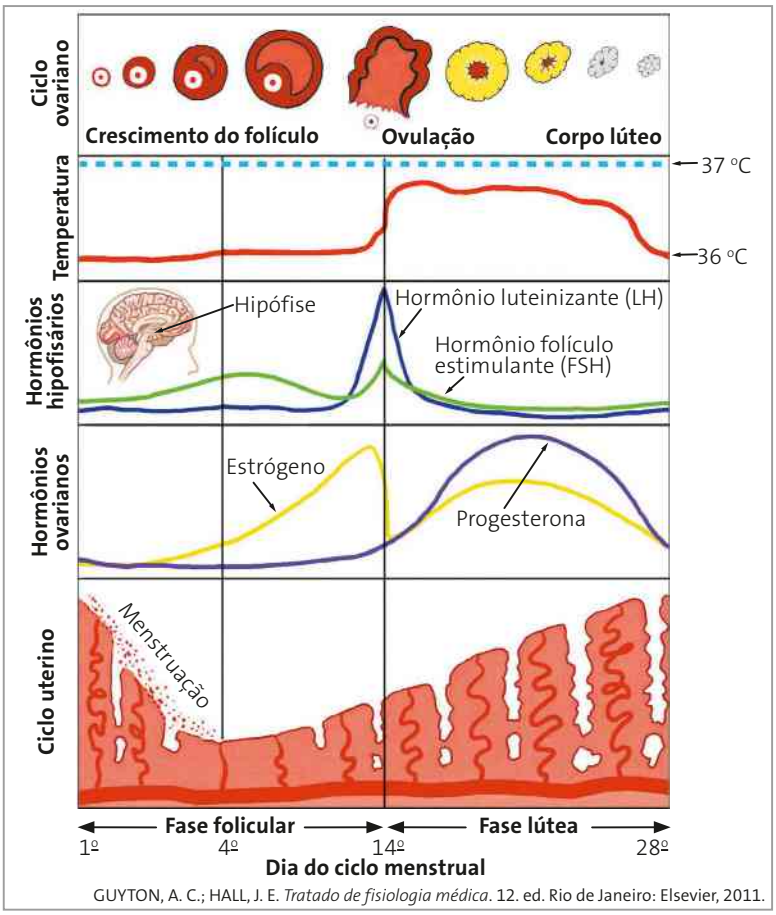
No 1º dia do ciclo uterino a parede do útero, denominada **endométrio**, que está espessa e muito vascularizada, começa a descamar, dando origem à menstruação, que dura em geral de 3 a 5 dias. Depois, essa parede se recupera pela ação de hormônios, ocorrendo uma fase proliferativa e uma fase secretora.

A hipófise aumenta a produção de FSH, que induz os folículos ovarianos a amadurecer os ovócitos. Em geral, apenas um dos folículos atinge desenvolvimento maior que os outros. Nesses casos, a mulher amadurece apenas um folículo por mês. O folículo em desenvolvimento inicia a secreção do estrógeno, que passa a ter alta concentração no sangue. Essa concentração de estrógeno começa a inibir a produção de FSH pela hipófise, ao mesmo tempo que a estimula a secretar LH. A concentração de LH aumenta rapidamente, tornando-se o estímulo hormonal para a **ovulação**, que costuma ocorrer no 14º dia do ciclo. Os altos níveis de estrógenrto do 6º ao 14º dia do ciclo estimulam o crescimento do endométrio (fase proliferativa). O FSH tem um pico de produção e volta a cair até o início de um novo ciclo menstrual.

Após a ovulação, a alta concentração de LH estimula a formação do **corpo lúteo** ou corpo amarelo no folículo que eliminou o ovócito. Sob a influência do LH, o corpo lúteo inicia a produção de outro hormônio: a **progesterona**. Este estimula as glândulas do endométrio a secretar seus produtos (fase secretora) e é importante também para manter o endométrio desenvolvido dentro do útero.

O aumento da concentração de progesterona inibe a produção de LH pela hipófise (*feedback* negativo) e, assim, a concentração de LH decresce.

Por volta do 22º dia do ciclo o corpo amarelo começa a regredir e, com isso, os níveis de progesterona e de estrógeno sofrem redução. No 28º dia os níveis de progesterona, estrógeno, LH e FSH estão baixos, sendo que o baixo nível de progesterona representa a eliminação do estímulo que mantém o endométrio desenvolvido. Nessas condições, o endométrio fica na iminência de uma nova descamação (**menstruação**), reiniciando o ciclo.



Rodval Matias

GUYTON, A. C.; HALL, J. E. *Tratado de fisiologia médica*. 12. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2011.

Figura 4.16. Esquema do ciclo menstrual. (Elementos representados em diferentes escalas; cores fantasia.)

Tema para discussão

REGISTRE NO CADERNO

Drogas: você sabe como entra, nunca como sai

As pessoas costumam trilhar o perigoso caminho das drogas sem conhecimento algum dos graves problemas que estão por trás de poucos momentos de aparente bem-estar e euforia. É fundamental discutir as consequências do uso das drogas em sala de aula, buscando esclarecer as pessoas de maneira que elas possam dizer **NÃO ÀS DROGAS** de modo consciente e definitivo:

— "DROGAS: TÔ FORA, GOSTO MAIS DE MIM!"

- ***Ecstasy***: conhecido como "pílula do amor", o *ecstasy* (ou simplesmente E) é uma das drogas ilegais que têm sido muito utilizadas atualmente. Os riscos para a saúde de quem utiliza o *ecstasy* são muito graves. O *ecstasy* é composto pela substância MDMA, sigla de metilenodioximetanfetamina. Com esse nome, a droga é confundida com as anfetaminas ou metanfetaminas, outros estimulantes sintéticos ilegais que provocam o efeito de deixar as pessoas "ligadas". Apesar de ser derivado da anfetamina, parte da molécula de MDMA é semelhante à de um alucinógeno. Essa substância atua sobre três neurotransmissores: a serotonina, a dopamina e a noradrenalina. A serotonina, mais atingida pela droga, controla as emoções e também regula o domínio sensorial, o domínio motor e a capacidade associativa do cérebro. O MDMA provoca uma descarga de serotonina nas células nervosas do cérebro, produzindo uma falsa sensação de leveza e bem-estar. As mortes associadas a essa droga são decorrentes quase sempre da elevação da temperatura do corpo acima dos 41 °C, pois a serotonina também é reguladora da temperatura do corpo. Dessa forma, os usuários de *ecstasy* correm alto risco de hipertermia, o superaquecimento do organismo. A partir de 41 °C, o sangue pode coagular, produzindo convulsões e parada cardíaca.
- **Nicotina**: essa substância presente no cigarro encaixa-se nos receptores destinados à acetilcolina, atenuando a fome e o cansaço e gerando uma leve sensação de euforia. Ela desempenha também o papel da dopamina, neurotransmissor associado à satisfação e inibição do apetite. Os riscos do fumo são enormes: o cigarro aumenta a chance de desenvolvimento de câncer de boca, de faringe, de pulmão, além de muitos outros problemas de saúde, como infarto do miocárdio e enfisema pulmonar.
- **Maconha**: é uma droga ilegal cuja substância ativa (o tetra-hidrocanabinol ou THC) encaixa-se nos receptores destinados à anandamida, um neurotransmissor que provoca euforia, alteração da memória e hipersensibilidade. A maconha pode causar impotência sexual e dependência, além de outros danos à saúde.
- **Cocaína**: essa droga ilegal provoca o aumento da produção de dopamina e de noradrenalina, estimulantes cerebrais. A dopamina cria uma sensação de satisfação e, em doses mais altas, de euforia. Os efeitos da cocaína são muito rápidos e intensos. A droga causa rápida dependência. Os riscos à saúde são graves e podem levar à morte.

O quadro abaixo resume alguns dos efeitos e perigos de outras drogas, as duas primeiras **ilegais** e as demais de uso controlado, usadas como medicamento.

Droga	Efeitos	Perigos
LSD	Superexcitação, distorções sensoriais, alucinações, dilatação das pupilas, aumento da pressão arterial e dos batimentos cardíacos.	Tolerância (a pessoa precisa de doses cada vez maiores para obter o mesmo efeito), dependência física, comportamento irracional, morte por *overdose*.
Crack (uma forma de cocaína de cinco a dez vezes mais forte que as demais)	Aumento da autoconfiança, sensação de poder e euforia seguida de depressão profunda.	Provoca depressão, fadiga, perda de memória, insônia, paranoia, perda do apetite sexual, comportamento violento, tendência ao suicídio, morte por *overdose*.
Barbitúricos	Sedativos, reduzem a ansiedade e induzem ao sono, reduzem a pressão sanguínea e diminuem o ritmo respiratório.	Tolerância, dependência física, morte por *overdose*, especialmente se combinados com álcool.
Analgésicos narcóticos (por exemplo, morfina)	Euforia, redução da dor, redução de reflexos, contração das pupilas, perda de coordenação.	Tolerância, dependência física, convulsão, morte por *overdose*.
Anfetaminas	Euforia, excitação, hiperatividade, aumento do ritmo respiratório e da pressão sanguínea, dilatação das pupilas.	Tolerância, dependência física, alucinações, morte por *overdose*.

Tabela apresentando os efeitos e perigos de algumas drogas.

Vamos falar, agora, sobre outra droga que é legalizada e traz sérios prejuízos à saúde física e psíquica da pessoa, além de causar problemas para a sociedade em geral: o **álcool**, presente nas bebidas alcoólicas.

O álcool age de modo destrutivo, atacando diretamente o glutamato, um neurotransmissor envolvido em diversas funções, como o raciocínio e o movimento. Quando não destrói as moléculas de glutamato, o álcool provoca danos que dificultam o seu encaixe nos receptores das sinapses.

O álcool pode causar diversas doenças, como é o caso da cirrose hepática, em que o fígado fica seriamente prejudicado. O álcool se acumula no sangue, pois sua absorção é mais rápida que sua degradação, processo que ocorre no fígado com uma taxa fixa. Assim, só o tempo reduz os efeitos do álcool. O primeiro drinque pode provocar a sensação de "estímulo", mas o aumento na concentração de álcool no sangue faz com que a pessoa perca a capacidade de julgamento, a memória, a percepção sensorial e a coordenação motora. Depressão e enjoo também são comuns. Ao contrário do que muitos pensam, o álcool reduz o desempenho sexual especialmente nos homens. Além disso, alguns indivíduos tornam-se violentos. Como o álcool inibe a reabsorção de água nos rins, a urina torna-se mais abundante e há risco de desidratação. A redução dos níveis de açúcar no sangue, que ocorre nesses momentos, junto com a redução de água no corpo, causam o estupor nas pessoas que beberam muito.

O álcool provoca vasodilatação periférica, dando a falsa impressão de que aquece o corpo. Inicialmente a sensação de calor ocorre justamente em consequência do aumento da circulação periférica. Entretanto, esse aumento faz com que o corpo perca calor para o meio, o que causa o resfriamento.

O consumo de álcool está ligado também aos seguintes problemas:

- mais de 50% dos acidentes fatais de trânsito;
- mais de 50% dos crimes violentos;
- mais de 50% dos suicídios;
- nascimento de bebês com sérios defeitos em função do consumo de álcool pelas gestantes;
- aumento em 50% do risco de câncer de mama em mulheres que consomem três ou mais drinques por semana.

Pessoas que costumam beber com frequência passam a apresentar tolerância ao álcool, pois as células do SNC se adaptam à sua presença. Com isso, torna-se necessário ingerir cada vez mais álcool para conseguir o mesmo efeito, e os prejuízos ao organismo vão se acumulando. Além da tolerância, passa a haver dependência física, sendo necessário acompanhamento médico para tratar o alcoólatra. Pessoas que apresentam esse problema podem procurar apoio junto a grupos como o Alcoólicos Anônimos (AA), presente em quase todas as cidades, pois infelizmente o alcoolismo é um problema comum em todo o mundo.

Professor(a), veja nas Orientações didáticas os comentários e as respostas das questões dissertativas.

1. Analise a seguinte situação, muito comum hoje em dia envolvendo jovens de sua idade:

Um jovem é abordado por uma pessoa que, depois de um pouco de conversa, diz que ele tem a "cabeça feita" e é independente. Como tal, deveria experimentar sensações novas. Então, lhe oferece um pó branco para cheirar ou um cigarro para fumar. Se isso ocorresse com você, estando informado de que esse pó branco é cocaína e de que o cigarro é de maconha, que tipo de reação você teria? E se o cigarro não fosse de maconha, mas um cigarro comum, como você reagiria?

2. Discuta com seus colegas que motivos podem levar o jovem a iniciar-se no hábito de beber álcool. Além das sensações produzidas pela droga, há algum componente de inserção social ou promoção junto aos colegas?

3. Certas condutas que os jovens adotam estão, muitas vezes, ligadas à aceitação em grupos que valorizam comportamentos caracterizados como provas de autoconfiança. Buscando essa aceitação, os jovens veem-se, muitas vezes, estimulados a adotar condutas que normalmente não adotariam se não houvesse esse tipo de cobrança.

Com seu grupo de estudos, faça uma pesquisa sobre o *bullying*. A pesquisa pode ser apresentada para a classe e, em seguida, é possível fazer uma discussão geral com os pontos levantados por todos os grupos. Essa apresentação pode ser na forma de teatro, apresentação de *slides*, um jogral ou qualquer outra estratégia de comunicação oral.

4. Você já deve ter percebido que o mais importante para tomar uma decisão madura é ter informações que permitam antever suas consequências para o futuro, sem se deixar iludir só por pontos positivos de curto prazo. Baseando-se no que aprendeu aqui, discuta com seus colegas mais próximos, seus professores e seus pais sobre os problemas decorrentes do uso da cocaína, e então elabore um texto com os argumentos apresentados.

Com esse texto em mãos, produza um panfleto que possa ser reproduzido e distribuído em seu bairro ou uma peça de teatro, alertando para os perigos do uso da cocaína e do *crack*.

Retomando

Neste capítulo, você conheceu mais duas funções do nosso corpo: a regulação e a excreção. Agora, retome suas respostas às questões da seção **Pense nisso** e avalie o que você mudaria nelas. O que acontece no nosso corpo quando a função de excreção é prejudicada? Qual a importância da regulação para todas as outras funções do organismo?

Professor(a), veja nas Orientações didáticas os comentários e as respostas das questões dissertativas.

Ampliando e integrando conhecimentos

REGISTRE NO CADERNO

Atividade 1 *Feedback* hormonal e regulação do ciclo menstrual

Habilidades do Enem: H2, H14, H30.

Nas mulheres, a fertilidade varia muito em função da idade. No entanto, outros fatores exercem influência sobre a função ovariana. Atualmente, o diagnóstico do potencial ovulatório é realizado pela dosagem dos hormônios folículo estimulante (FSH) e luteinizante (LH), coletados no 3º dia do ciclo menstrual, que corresponde geralmente ao final da menstruação.

Retome o que foi apresentado sobre o ciclo menstrual neste capítulo e responda ao que se pede.

a) O que se espera que aconteça com o ciclo menstrual caso a mulher receba, por indicação médica, doses diárias relativamente altas de estrógeno e progesterona?

b) O item anterior descreve um procedimento que, sob prescrição médica, é relativamente comum. Qual é a sua finalidade? Justifique.

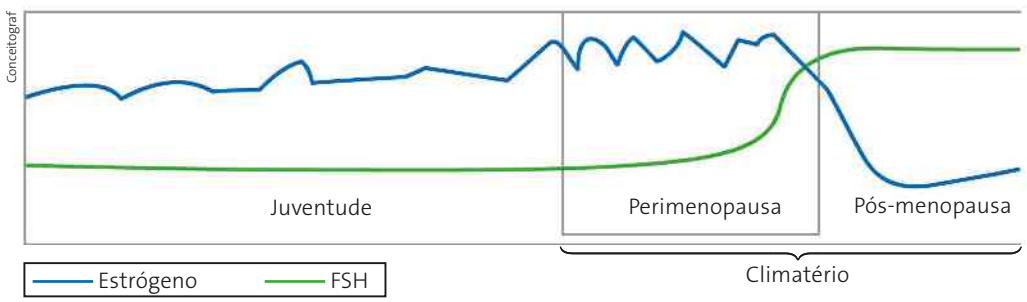
c) Se, por algum motivo, os ovários não amadurecerem mais folículos ovarianos, o que se espera que aconteça com o nível de FSH? Nesse caso, qual a consequência para o ciclo menstrual?

Atividade 2 Variação hormonal e climatério

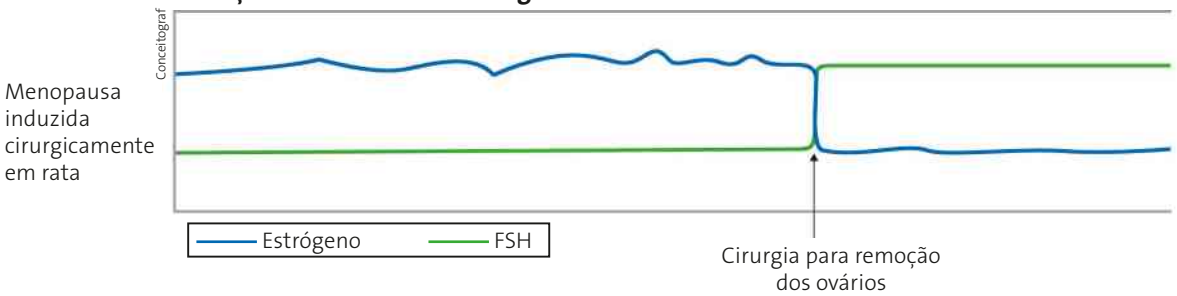
Habilidades do Enem: H7, H14, H15, H17, H29.

Analise os gráficos a seguir, que mostram as concentrações basais, ao longo da vida, de estrógeno e FSH medidas no 3º dia dos ciclos menstruais de uma mulher e de uma rata que em certo momento da vida foi submetida à extração cirúrgica dos ovários.

Variação de hormônios ao longo da vida de uma mulher



Variação de hormônios ao longo da vida de uma rata



Fonte dos gráficos: <https://www.jax.org/news-and-insights/2005/january/a-hormonally-relevant-model-for-human-menopause>. Acesso em: maio 2016.

a) O que causa a entrada da mulher na pós-menopausa? Por que a remoção dos ovários da rata produziu efeito semelhante?
b) O que provoca a elevação da dosagem basal de FSH na mulher e na rata?
c) Em que se baseia o princípio de que, medindo-se a concentração basal de FSH no 3º dia do ciclo, pode-se ter uma ideia da normalidade ou não do funcionamento ovariano?

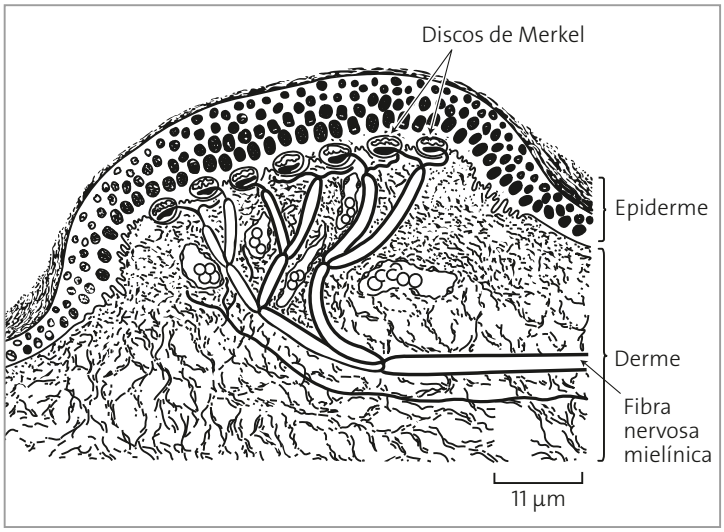
Atividade 3 Percepção do toque e arco reflexo

Habilidades do Enem: H14, H15.

Na derme, existem receptores do tato, terminações nervosas que muitas vezes aparecem organizadas em corpúsculos. É o caso dos corpúsculos táteis ou discos de Merkel, abundantes na pele dos dedos e outras regiões. O disco de Merkel é um tipo de mecanorreceptor que percebe toques, contatos com superfícies e atritos.

Pelo esquema, você pode perceber que diversos discos de Merkel são inervados por uma única fibra mielinizada. Responda:

a) O que é uma fibra mielinizada? Descreva sua estrutura.
b) Suponha que uma pessoa encoste acidentalmente a ponta de um dedo em um alfinete. Os receptores da pele são ativados e, antes que a pessoa perceba, já retirou o dedo do contato com a ponta do alfinete. Descreva o mecanismo que explica esse reflexo.



Esquema de corte da derme com discos de Merkel.

Testes

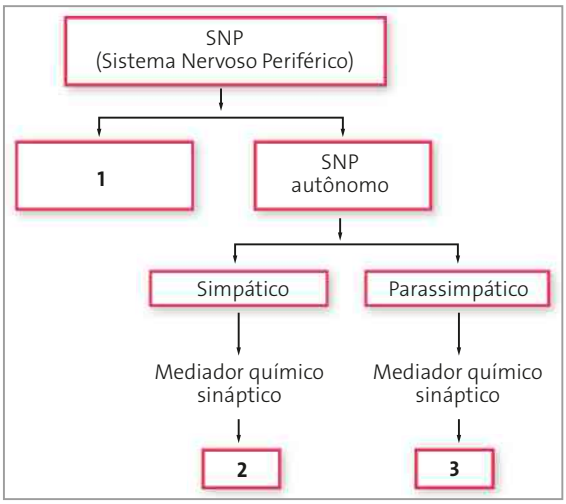
REGISTRE NO CADERNO

1. (Enem) Para que todos os órgãos do corpo humano funcionem em boas condições, é necessário que a temperatura do corpo fique sempre entre 36 °C e 37 °C. Para manter-se dentro dessa faixa, em dias de muito calor ou durante intensos exercícios físicos, uma série de mecanismos fisiológicos é acionada. Pode-se citar como o principal responsável pela manutenção da temperatura corporal humana o sistema:

a) digestório, pois produz enzimas que atuam na quebra de alimentos calóricos.
b) imunológico, pois suas células agem no sangue, diminuindo a condução do calor.
x c) nervoso, pois promove a sudorese, que permite perda de calor por meio da evaporação da água.
d) reprodutor, pois secreta hormônios que alteram a temperatura, principalmente durante a menopausa.
e) endócrino, pois fabrica anticorpos que, por sua vez, atuam na variação do diâmetro dos vasos periféricos.

2. (UFPE) Diversas atividades humanas estão sob o controle de nossa vontade, enquanto outras ocorrem de forma autônoma. Analise a representação abaixo, considere o neurotransmissor geralmente liberado em cada caso e indique a alternativa que completa as lacunas 1, 2 e 3, nesta ordem.

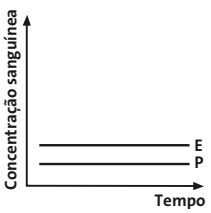
BIS

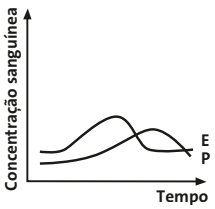


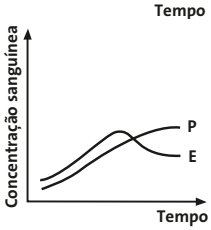
X a) (1) SNP somático; (2) noradrenalina; (3) acetilcolina.
b) (1) SNP voluntário; (2) tiroxina; (3) adrenalina.
c) (1) SNP visceral; (2) adrenalina; (3) tiroxina.
d) (1) SNP somático; (2) somatotrofina; (3) noradrenalina.
e) (1) SNP visceral; (2) acetilcolina; (3) somatotrofina.

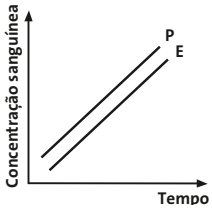
3. (Enem) A pílula anticoncepcional é um dos métodos contraceptivos de maior segurança, sendo constituída basicamente de dois hormônios sintéticos semelhantes aos hormônios produzidos pelo organismo feminino, o estrogênio (E) e a progesterona (P). Em um experimento médico, foi analisado o sangue de uma mulher que ingeriu ininterruptamente um comprimido desse medicamento por dia durante seis meses.
Qual gráfico representa a concentração sanguínea desses hormônios durante o período do experimento?

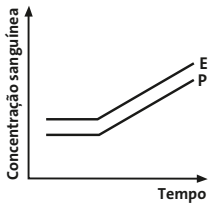
BIS

X a)


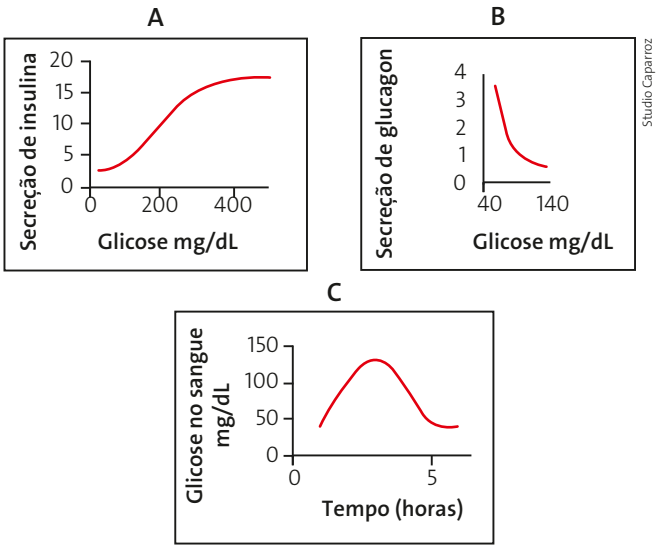
c)


b)


d)


e)


4. (Unicamp-SP) Os gráficos A, B e C mostram as variações da secreção de insulina e glucagon em função da concentração de glicose, e as variações da concentração de glicose no sangue, após uma refeição rica em carboidratos.



Studio Caparroz

Com base nos gráficos, pode-se afirmar que

X a) se os níveis de glicose no sangue estão altos, a secreção de insulina aumenta para permitir que as moléculas de glicose sejam absorvidas pelas células, e os níveis de glucagon permanecem baixos, pois não há necessidade de o glicogênio ser transformado em glicose.
b) o aumento dos níveis de glicose no sangue causa um aumento da secreção de insulina e de glucagon por células do pâncreas, pois ambos os hormônios contribuem para que as moléculas de açúcar atravessem a membrana plasmática das células.
c) a secreção de glucagon é alta em indivíduos que tenham se alimentado de carboidrato duas horas antes, pois muitos desses carboidratos acabam se transformando em glicose; já com relação à insulina, ocorre um aumento porque os níveis de glicose estão elevados.
d) as células secretoras do pâncreas estão sempre produzindo grandes quantidades de insulina e de glucagon, pois esses dois hormônios são responsáveis pela captura de glicose do sangue para as células.

UNIDADE 2

Genética

"O DNA, como Crick e eu estávamos cientes, contém a chave da natureza das coisas vivas, armazenando as informações hereditárias que são passadas de uma geração a outra e orquestrando o mundo inacreditavelmente complexo da célula. Se decifrássemos sua estrutura tridimensional, a arquitetura da molécula, teríamos o vislumbre do que Crick – entre sério e brincalhão – chamava de *O segredo da vida*".

Frase de James Watson, que, juntamente com Francis Crick, descreveu a estrutura da molécula de DNA.



Science Faction/Glow Images

O DNA é como um livro de receitas escrito em código. Nessas receitas está o segredo da vida.

CAPÍTULO

5

A Genética e os genes

JGI/Jamie Grill/Grupo Keystone



Figura 5.1. Nos dias de hoje, são bem conhecidos os chamados testes de paternidade (e também de maternidade), com base em técnicas de laboratório que resultam nas chamadas "impressões digitais genéticas". Para se chegar a esse e a outros estágios mais avançados da manipulação do DNA, um longo caminho foi percorrido, e ainda há muito a ser descoberto. Esta fotografia nos faz pensar no quanto ainda somos crianças diante de um novo mundo de conhecimento a ser desvendado.

Pense nisso

- A planta de milho selvagem, da qual se originou a planta atual, tinha espigas tão pequenas que não serviam como alimento aos seres humanos. Hoje temos plantas que fornecem espigas com grãos grandes e suculentos, tanto que o milho se tornou um dos principais alimentos de muitos povos. Você acha que esse acontecimento tem alguma relação com a genética? Por quê?
- Suponha que uma pessoa tenha desenvolvido uma doença de pele em decorrência de mutações causadas pela exposição à radiação. Essa pessoa poderá transmitir essas mutações aos seus descendentes? Justifique sua resposta.

1. Introdução

Nesta unidade abordaremos a **Genética**, área da Biologia que estuda a transmissão do material genético ao longo das gerações, a natureza química desse material e seu modo de ação. Você vai perceber a grande importância da Matemática nessa área da Biologia em vários momentos, quando trabalharmos com conceitos como porcentagem, probabilidade, interpretação de gráficos e tabelas. Ao estudarmos a composição das moléculas envolvidas na hereditariedade, você verá também a contribuição que a Química traz para a Genética.

Atualmente, a Genética é uma das áreas da Biologia que mais têm se desenvolvido, trazendo muitas informações novas a respeito dos genes e dos mecanismos de herança.

Os estudos na área da Genética têm sido a base para o incremento de outra antiga área da Biologia: a **Biotecnologia**, que corresponde à utilização de seres vivos para obtenção de produtos de interesse para o ser humano.

Há séculos a humanidade pratica a Biotecnologia. O uso de fermento para fazer crescer o pão é um exemplo. Entretanto, são os recentes avanços na **Biologia Molecular** e as técnicas de manipulação dos genes que têm trazido novidades para essa área.

Hoje, a Biotecnologia engloba uma área conhecida como **Engenharia Genética**, que emprega técnicas de manipulação genética das células.

A Engenharia Genética não deve ser confundida com técnicas de reprodução seletiva, que há muitos anos vêm sendo utilizadas pelo ser humano. Na reprodução seletiva, por exemplo, pode-se obter as diferentes raças de cães e gatos, milho de melhor qualidade e vacas que produzem mais leite. Nestes dois últimos exemplos, essas técnicas promovem o melhoramento genético de espécies comercialmente importantes para a humanidade. Esse melhoramento é um processo lento, que em geral envolve várias gerações e favorece o progresso de apenas um caráter ou de poucos caracteres por vez.

Um exemplo de reprodução seletiva no Brasil vem sendo feito pela Embrapa (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária), na região de Campina Grande, na Paraíba: o cultivo de algodão colorido (Fig. 5.2), que foi selecionado de variedades selvagens e hoje já pode ser beneficiado para a confecção de roupas, redes, bolsas e outros materiais. A vantagem de se obter algodão naturalmente colorido é que não há necessidade do processo de tintura do algodão branco, que é prejudicial para o meio ambiente.

A Engenharia Genética permite alterar a composição genética dos indivíduos em um espaço de tempo menor, além de possibilitar que vários genes sejam manipulados ao mesmo tempo. Pelas técnicas da Engenharia Genética também é possível introduzir genes de uma espécie em outra espécie, originando indivíduos geneticamente modificados, conhecidos por **transgênicos**.

A genética atual também abrange temas como **Projeto Genoma Humano**, **terapia gênica**, **clonagem**, **aconselhamento genético** e **diagnóstico pré-natal**. Esses assuntos têm causado grande polêmica em diversas áreas da sociedade, envolvendo questões religiosas, políticas, legais e éticas. Neste livro, esses temas serão abordados levantando algumas das questões mais polêmicas, que discutem o uso das informações genéticas, principalmente as relacionadas à espécie humana.

Essas discussões, sempre saudáveis, podem esclarecer e trazer à tona problemas importantes da atualidade que ultrapassam em muito os limites da sala de aula.

A variabilidade biológica e os mecanismos pelos quais os descendentes herdam de seus genitores as características que possuem intrigam a humanidade há muito tempo. Várias propostas já foram feitas para tentar explicar essas questões. Vamos conhecer algumas delas.



José Pereira Marques Filho/Folhapress

Figura 5.2. Fotografia de chumaços de algodão naturalmente coloridos, resultado da seleção de variedades selvagens.

2. A descoberta dos gametas

Na Antiguidade, antes de serem reconhecidos os gametas masculinos e femininos, considerava-se que a formação de novos indivíduos era feita a partir do sêmen masculino, cabendo à fêmea atuar apenas como "incubadeira" do ser em formação. Vários filósofos gregos da época de Aristóteles acreditavam que o sexo era determinado pela origem do líquido seminal do pai: se esse fosse produzido no testículo direito, o descendente seria um macho; se fosse produzido no testículo esquerdo, seria uma fêmea.

Aristóteles (384 a.C.-322 a.C.), ao estudar o desenvolvimento inicial de galinhas, propôs que o animal se formava a partir da matéria-prima que existe no ovo e que os órgãos iam se desenvolvendo aos poucos.

Os gametas, no entanto, só começaram a ser conhecidos em meados do século XVII, com os estudos de Regnier **de Graaf** (1641-1673) e Anton **van Leeuwenhoek** (1632-1723).

Na década de 1660, o médico holandês Regnier de Graaf analisou ovários de fêmeas de diferentes espécies de mamíferos, verificando que na época da reprodução a superfície desses órgãos apresentava inchaços, substituídos por manchas amarelas durante a gravidez. Ele notou que havia correspondência entre o número de manchas e o número de embriões em desenvolvimento no útero. Fundamentado por essas observações, Graaf afirmou que as fêmeas de mamíferos produziam partículas geradoras que migravam do ovário até o útero, atraídas pelo sêmen masculino. No útero, essas partículas desenvolviam-se, dando origem ao novo indivíduo. Segundo Graaf, o sêmen atuaria apenas no sentido de atrair as partículas geradoras femininas.

Atualmente, os inchaços descritos para o ovário são denominados folículos ovarianos (ou folículos de Graaf), as manchas amarelas, corpos amarelos e as partículas geradoras femininas, **óvulos**.

Graaf não chegou a observar as tais partículas geradoras. Somente em 1827, Karl Ernst von Baer (1792-1876) descreveu os óvulos humanos.

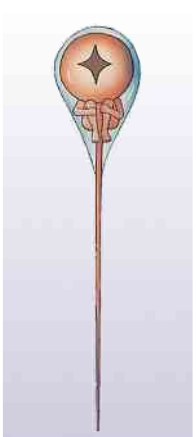
A descoberta do gameta masculino foi feita em 1675, pelo holandês van Leeuwenhoek. Pela análise microscópica do sêmen, esse pesquisador descreveu grande número de pequenos "seres" que apresentavam movimento e possuíam cabeça e cauda. Esses seres foram por ele denominados animálculos, pois considerava que fossem verdadeiros "animais" do sêmen. Hoje sabe-se que essas estruturas são os gametas masculinos, células haploides denominadas **espermatozoides.**

3. A teoria da pré-formação

Até meados do século XVIII, aceitava-se que os organismos já se encontravam completamente formados no interior do ovo.

Posteriormente, com a descoberta dos gametas e dos microscópios, passou-se a se investigar se o indivíduo estaria pré-formado no óvulo ou no espermatozoide. Nessas investigações, alguns cientistas acreditavam ver, no interior dessas células, cópias do indivíduo adulto em miniatura.

Essa interpretação errônea de que os indivíduos já se encontravam completamente pré-formados no interior dos gametas gerou ideias curiosas, como a representada na figura 5.3.



Jurandir Ribeiro

Figura 5.3. Ilustração feita com base em uma antiga gravura que retratava um indivíduo pré-formado no interior de um espermatozoide. (Cores fantasia.)

4. A teoria da epigênese

A teoria da epigênese (do grego: *epi* = depois; *génesis* = origem, fonte de vida), também chamada teoria da pós-formação, foi formulada em 1759 em oposição à teoria da pré-formação. Segundo a teoria da epigênese, os seres surgem pelo desenvolvimento da célula-ovo ou zigoto, portanto, após a fecundação. Embora essa ideia já tivesse sido apresentada por Aristóteles, quando de seus estudos sobre o desenvolvimento de galinhas, a teoria da epigênese só ganhou força na década de 1820, com Karl Ernst **von Baer** (1792-1876).

Com base em estudos detalhados do desenvolvimento embrionário de coelhos e de cães, von Baer conseguiu descrever não só os óvulos, como também as fases do desenvolvimento do embrião (**ontogenia**). Esse cientista dedicou-se ao estudo da embriologia animal comparada. Propôs que o desenvolvimento dos embriões ocorre da

forma mais geral para a mais específica e que, nas fases iniciais do desenvolvimento embrionário de organismos relacionados, os embriões são mais parecidos. Porém, à medida que o desenvolvimento prossegue, essas semelhanças diminuem e os embriões passam a ter suas características próprias. Quanto mais proximamente aparentados são os animais, maior a semelhança entre os estágios iniciais do desenvolvimento embrionário.

A interpretação de von Baer é mais próxima do que se aceita hoje. No entanto, mais tarde, ela foi resgatada com outro viés a partir dos estudos de embriologia e anatomia comparada do médico alemão Ernst **Haeckel** (1834-1919). Esse cientista propôs em 1899 a **Teoria da Recapitulação** ou **Lei Biogenética**, expressa por uma famosa frase: **A ontogenia recapitula a filogenia**.

O termo ontogenia refere-se ao desenvolvimento embrionário, e filogenia, à história evolutiva das espécies. Essa lei foi proposta sob influência da teoria evolutiva de Charles Darwin. Segundo essa lei, embriões humanos, por exemplo, passariam por uma fase em que se parecem com peixes, pois esses animais fazem parte da história evolutiva dos mamíferos, e, à medida que o desenvolvimento embrionário prossegue, ficariam mais parecidos com mamíferos e, por fim, tomariam a forma da espécie humana. Essa interpretação não é aceita atualmente. Embora se aceite que exista grande relação entre ontogenia e filogenia, sendo essa uma área em expansão na Biologia (chamada EVO-DEVO, ou evolução e desenvolvimento embrionário), o enfoque atual é mais próximo ao da interpretação dada por von Baer. Há semelhanças nos padrões de desenvolvimento embrionário de espécies filogeneticamente próximas, mas não com os adultos já diferenciados. As semelhanças referem-se às etapas do desenvolvimento do embrião.

5. As teorias da pangênese e da herança ancestral

Charles Darwin propôs em 1868 uma explicação para a transmissão das características hereditárias: a teoria da **pangênese** (do grego: *pan* = todo; *genos* = origem).

Segundo essa teoria, todos os órgãos e os componentes do corpo produzem suas próprias cópias em miniaturas infinitamente pequenas, denominadas **gêmulas** ou **pangenes**. Estas são carregadas pela corrente sanguínea até as gônadas, reunindo-se, então, nos gametas. Na fecundação, o gameta masculino, portador das gêmulas do pai, une-se ao feminino, portador das gêmulas da mãe, dando origem ao embrião. Neste, as gêmulas desenvolvem-se e dão origem às diversas partes do corpo do indivíduo.

Embora suas noções sobre hereditariedade estivessem incorretas, como se sabe hoje, Darwin publicou o livro que revolucionou a história da Biologia: *A origem das espécies*, lançado em 1859. Entretanto, ele não conseguiu explicar satisfatoriamente o mecanismo da transmissão hereditária dos caracteres.

Francis **Galton** (1822-1911), matemático e médico inglês e primo de Darwin, elaborou vários experimentos sobre mecanismos de herança. Em 1897 enunciou a **lei da herança ancestral**, segundo a qual a herança ocorre pelo sangue e um descendente recebe 50% das características do pai e 50% da mãe, 25% de cada um dos avós, 12,5% de cada um dos bisavós, e assim por diante.

Ao enunciar essa lei, no entanto, Galton não estava se referindo a genes, conceito que só surgiu muito mais tarde.

6. Os fatores mendelianos e a teoria cromossômica da herança

Os experimentos do monge Gregor Mendel (1822-1884) com ervilhas (Fig. 5.4) cultivadas no jardim do mosteiro de Brno, na República Tcheca, destacam-se como importantes nos avanços para a compreensão dos mecanismos de herança de modo mais próximo ao que se entende hoje.



Irina Bg/Shutterstock

Figura 5.4. Fotografia de detalhe de uma planta de ervilha (*Pisum sativum*), mostrando folhas, frutos (vagens; até 10 cm de comprimento) e, dentro de um dos frutos abertos, sementes.

Mendel cultivou cerca de 28 mil pés de ervilha entre 1856 e 1863. Ele apresentou os resultados e as conclusões desse trabalho, intitulado *Experimentos com hibridação em plantas*, em dois encontros científicos em 1865. A publicação foi feita em 1866, mas passou despercebida pela comunidade científica da época. Somente quase meio século depois, no ano de 1900, é que dois pesquisadores, de modo independente, redescobriram esse trabalho e confirmaram as ideias de Mendel. Esses pesquisadores foram o holandês Hugo **de Vries** (1848-1935) e o alemão Carl **Correns** (1864-1933).

Entre a publicação do trabalho de Mendel em 1865 e seu redescobrimento em 1900, muitos avanços aconteceram no campo da citologia. Os cromossomos e outras estruturas celulares foram observados ao microscópio, e os processos de divisão celular, por mitose e por meiose, foram descritos. Com base nesses novos conhecimentos que emergiram, de Vries e Correns reinterpretaram os resultados e as conclusões do trabalho de Mendel, evidenciando que Mendel, a seu modo, conclui corretamente, mesmo antes desses avanços da ciência, que a transmissão dos caracteres hereditários era feita por meio de fatores que se encontravam nos gametas. Atualmente, os fatores mendelianos são denominados genes. Nos próximos capítulos estudaremos as leis de Mendel mais detalhadamente.

Em 1902, o cientista alemão Theodor **Boveri** (1862-1915) e o estadunidense Walter **Sutton** (1877-1916), trabalhando de modo independente, propuseram que o comportamento dos cromossomos na meiose era comparável ao dos fatores mendelianos. Essa correlação levou esses pesquisadores a proporem a **teoria cromossômica da herança**, segundo a qual os genes (fatores mendelianos) estão localizados nos cromossomos. Essa teoria foi muito debatida no início do século XX, com forte rejeição de alguns cientistas e aceitação por outros. Somente em 1915, com os experimentos realizados pelo cientista estadunidense Thomas Hunt **Morgan** (1866-1945) e sua equipe, com a mosca da fruta *Drosophila melanogaster*, é que essa teoria foi corroborada e passou a ser bem-aceita. Por esses estudos, Morgan recebeu em 1933 o Prêmio Nobel de Fisiologia e Medicina. Estudaremos com mais detalhes o trabalho de Morgan e sua equipe em outro capítulo.

7. A natureza química do material genético

A natureza química do material genético começou a ser conhecida a partir de 1869, quando o jovem cientista Friedrich **Miescher** (1844-1895) isolou, do núcleo celular, moléculas grandes que denominou **nucleínas**. Desde então, outros cientistas demonstraram que as nucleínas tinham natureza ácida e passaram a chamá-las **ácidos nucleicos**.

No início do século XX foram identificados dois tipos de ácido nucleico: o **ácido desoxirribonucleico** (**DNA**) e o **ácido ribonucleico** (**RNA**). Em 1944, o DNA foi reconhecido por Oswald **Avery** (1877-1955), Colin Munro **MacLeod** (1909-1972) e Maclyn **McCarty** (1911-2005) como sendo o material genético.

Sabia-se que a molécula de DNA era uma longa cadeia de unidades menores chamadas **nucleotídeos**. Cada nucleotídeo do DNA corresponde a uma molécula do açúcar **desoxirribose**, uma molécula de **fosfato** e uma **base nitrogenada**. Esta pode ser uma **purina**, ou base púrica – **adenina** (**A**) e **guanina** (**G**) – ou uma **pirimidina**, ou base pirimídica – **timina** (**T**) e **citosina** (**C**).

A desoxirribose é uma pentose, isto é, um carboidrato formado por cinco carbonos, que são numerados 1', 2', 3', 4', 5'. Ao carbono 1' liga-se a base nitrogenada e ao carbono 5', o grupo fosfato (Fig. 5.5).

Em função das bases nitrogenadas, os nucleotídeos podem ser de quatro tipos (Fig. 5.6).

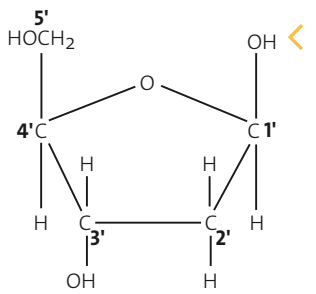


Figura 5.5. Fórmula estrutural do açúcar desoxirribose, mostrando os átomos de carbono numerados em suas posições.

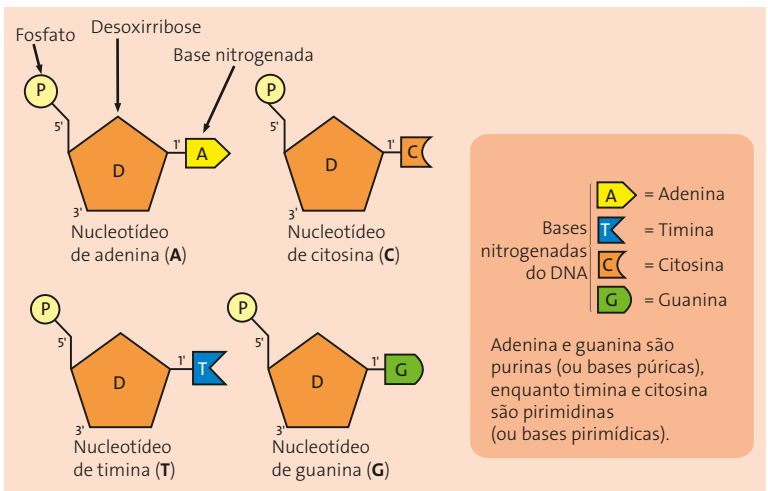


Figura 5.6. Representação dos quatro tipos de nucleotídeos do DNA. Nas moléculas de desoxirribose estão indicados os locais onde ocorre a ligação do fosfato (carbono 5'), da base nitrogenada (carbono 1') e de outro nucleotídeo na molécula (carbono 3'). (Elementos representados em diferentes escalas; cores fantasia.)

Ilustrações: BIS

Um desafio na época era entender como esses nucleotídeos se dispunham formando o DNA. Em 1949, Erwin **Chargaff** (1905-2002), um bioquímico austríaco que vivia nos Estados Unidos da América, verificou que a porcentagem dos nucleotídeos de adenina era semelhante à dos nucleotídeos de timina e que a porcentagem de nucleotídeos de citosina era semelhante à daqueles de guanina, podendo-se dizer que [A] = [T] e [C] = [G]. Essa relação ficou conhecida como **regra de Chargaff**, que se mostrou válida para todos os seres vivos estudados. Chargaff e os demais pesquisadores, no entanto, não conseguiram explicar o motivo dessa relação.

Um acontecimento foi crucial na interpretação da estrutura do DNA e para a resposta de muitas das dúvidas sobre essa molécula. No início da década de 1950, a químico-física britânica Rosalind **Franklin** (1920-1958) (Fig. 5.7) começou a estudar o DNA usando uma técnica chamada difração de raios X. Depois de um trabalho intenso, obteve, em maio de 1952, a imagem mostrada na figura 5.8, que ficou conhecida como "fotografia 51".

Heritage Images/Diomedia



Figura 5.7. Fotografia da químico-física britânica Rosalind Franklin.

Photo Researchers/Science Source/Diomedia

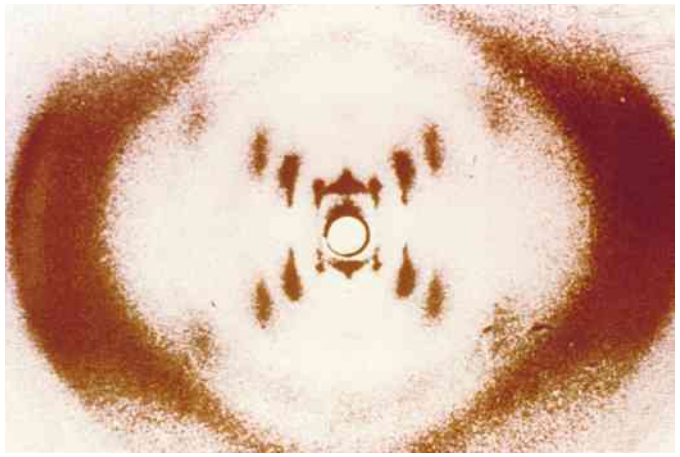


Figura 5.8. Fotografia tirada por Rosalind Franklin. Essa imagem, conhecida como "fotografia 51", mostra o padrão de difração de raios X da molécula de DNA e traz evidências sobre a estrutura da molécula. Ela permite inferir que a molécula de DNA é formada por duas fitas que se enrolam em espiral.

Paralelamente ao trabalho de Franklin, outros pesquisadores estavam tentando entender a estrutura da molécula de DNA, entre eles o biólogo estadunidense James **Watson** (1928-) e o físico britânico Francis **Crick** (1916-2004) (Fig. 5.9). Eles construíram vários modelos tridimensionais da molécula de DNA usando arames e cartões, mas nenhum desses modelos conseguia explicar a estrutura da molécula de DNA. Foi quando, no início do ano de 1953, o biólogo Maurice **Wilkins** (1916-2004), chefe do laboratório onde Franklin trabalhava, mostrou a Watson uma cópia da fotografia 51, sem o consentimento de Franklin. Os três, então, conseguiram propor um modelo de estrutura do DNA, publicando em abril do mesmo ano um trabalho que revolucionou a Biologia.

A molécula de DNA foi descrita como formada por duas fitas de nucleotídeos, sendo cada fita uma sequência linear de nucleotídeos. A ordem em que os nucleotídeos aparecem pode variar: uma molécula de DNA difere de outra pelo número e pela ordem em que os nucleotídeos se dispõem.

Uma fita se enrola em espiral sobre a outra, formando uma dupla hélice, semelhante a uma escada em espiral. Essa estrutura tridimensional é um modelo construído usando como referência a fotografia 51.

Por esse feito, Watson, Crick e Wilkins receberam, em 1962, o prêmio Nobel de Medicina e Fisiologia.

Franklin publicou a fotografia 51 em 1953, na mesma revista científica em que foi publicado o modelo do DNA, mas a contribuição de seu trabalho para a descoberta da estrutura do DNA só começou a ser reconhecida no final da década de 1960, após a sua morte.

SPL/Latinstock

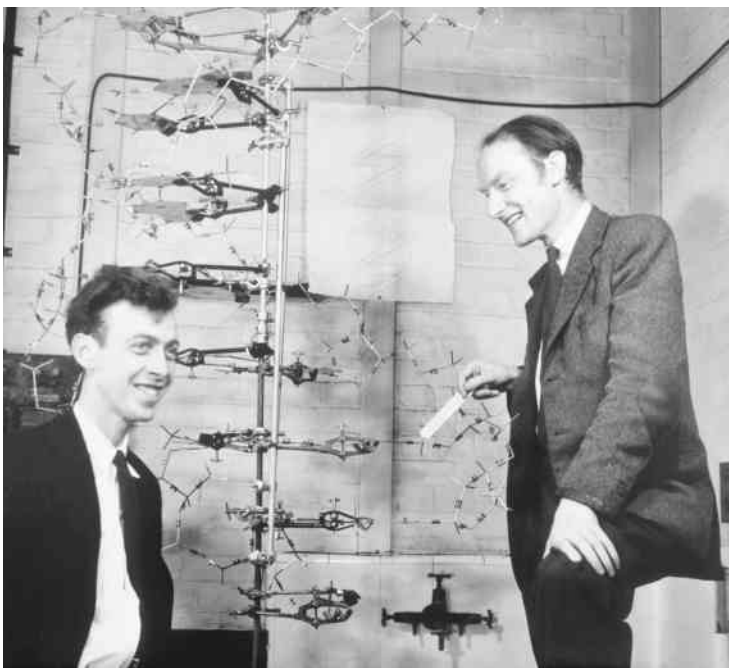


Figura 5.9. Fotografia de James Watson (à esquerda) e Francis Crick com o modelo de parte da molécula de DNA, em 1953.

Despertando ideias

Professor(a), veja nas Orientações didáticas os comentários e as respostas das questões dissertativas.

REGISTRE NO CADERNO

Decorrências do emparelhamento

Este exercício vai ajudar você a compreender uma série de conceitos e processos fundamentais no estudo de genética, envolvendo moléculas de ácidos nucleicos e emparelhamento de unidades. Para isso, vamos usar quatro símbolos diferentes:



Usando somente esses símbolos, produza no caderno uma sequência de 25 unidades, determinada por você mesmo(a). Veja um exemplo a seguir. Essa sequência deve ocupar apenas uma linha do caderno e será chamada de sequência original; a linha de baixo deve permanecer em branco, por enquanto.



Exemplo da porção inicial de uma sequência de símbolos.

Agora, vamos estabelecer duas regras:

I. Símbolo cheio (pintado) só emparelha com símbolo vazio.
II. Quadrado só emparelha com quadrado; círculo, só com círculo.

Seguindo essas regras, componha uma sequência que fique emparelhada com a sequência original. Veja o exemplo a seguir.

Sequência original →



Sequência complementar →



Em seguida, conte o número de símbolos de cada tipo na sequência original e calcule sua porcentagem em relação ao total. Anote os resultados na primeira linha da tabela apresentada a seguir.

								
	Número	**%**	**Número**	**%**	**Número**	**%**	**Número**	**%**
Sequência original								
Sequência complementar obtida								

Agora vem o momento mais importante deste exercício: você vai fazer uma abstração. Considerando as regras impostas, mas sem contar os símbolos diretamente, faça uma predição sobre a quantidade de cada tipo de símbolo na sequência complementar e calcule as respectivas porcentagens. Registre suas predições na segunda linha da tabela.

Questões

1. Considerando as duas regras apresentadas, é possível haver duas ou mais sequências complementares diferentes para a sua sequência original? Justifique.

2. Conhecendo apenas a porcentagem de quadrados cheios em uma sequência original hipotética, é possível prever a porcentagem de que tipos de símbolos na sequência complementar? Justifique sua resposta.

Watson e Crick também propuseram que a estrutura em espiral decorre do emparelhamento dos nucleotídeos. Os nucleotídeos de adenina em uma das fitas se uniam aos de timina na outra fita, e os de citosina se uniam aos de guanina. Por isso, a concentração de adenina é igual à de timina, e a de citosina, igual à de guanina em todas as moléculas de DNA. Assim, esse modelo explica também a regra de Chargaff.

A sequência linear de nucleotídeos em cada fita do DNA corresponde à estrutura primária dessa molécula. Em função do modo como os nucleotídeos se unem ao longo da fita, estabelece-se uma polaridade, em que uma extremidade é chamada 5' e a outra 3'.

Na estrutura secundária, forma-se a configuração tridimensional em dupla hélice. As duas fitas complementares de polinucleotídeos são unidas por ligações de hidrogênio que se formam entre as bases nitrogenadas e essas fitas apresentam-se invertidas entre si. Isso significa que, se uma fita tem extremidade livre 3', a outra fita nesse local tem extremidade 5', como esquematizado nas figuras 5.10, 5.11 e 5.12.

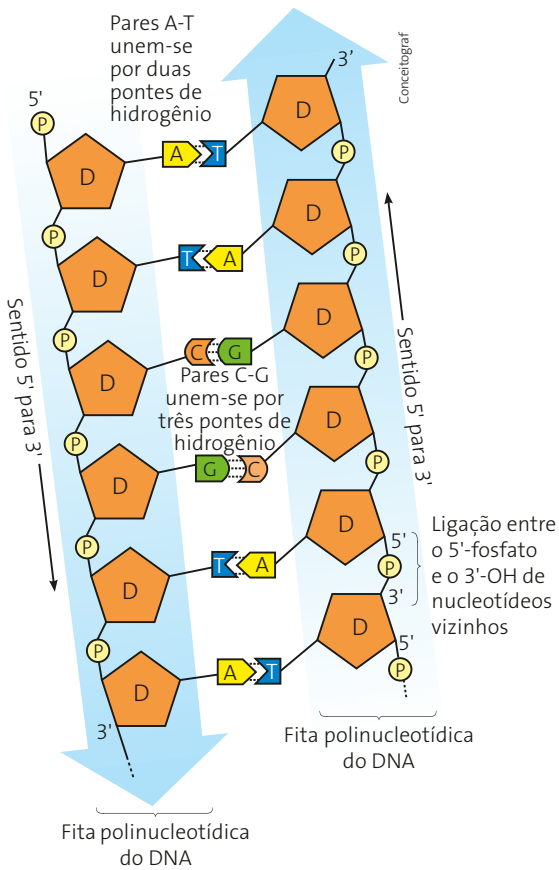


Figura 5.10. Modelo das duas fitas polinucleotídicas de um trecho de uma molécula de DNA planificada para fins didáticos. (Elementos representados em diferentes escalas; cores fantasia.)

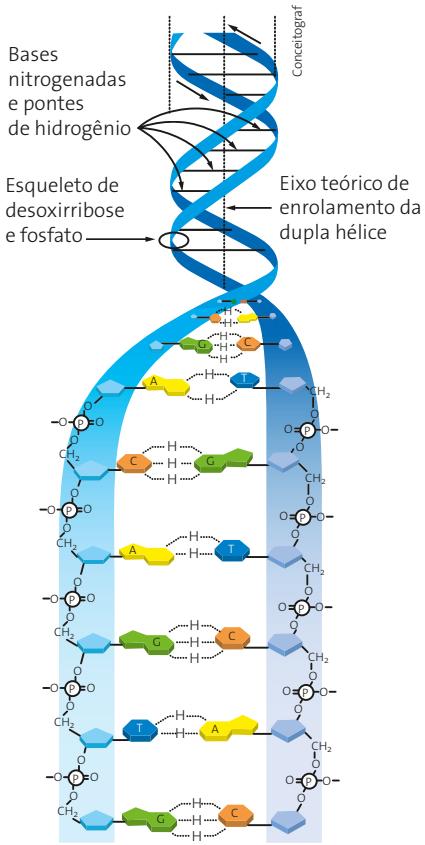


Figura 5.11. Modelo da molécula de DNA e detalhe planificado mostrando a união entre as bases nitrogenadas. (Elementos representados em diferentes escalas; cores fantasia.)



Figura 5.12. Modelo da dupla hélice do DNA: duas fitas polinucleotídicas complementares e com polaridade inversa. (Elementos representados em diferentes escalas; cores fantasia.)

Watson e Crick propuseram também uma explicação para o mecanismo de replicação do DNA, segundo a qual, antes da replicação, as duas fitas se desembaraçam, e cada uma delas serve de molde para a formação, sobre si mesma, de uma fita complementar. Ao final da replicação, têm-se duas moléculas de DNA. Cada uma delas possui uma fita pertencente à molécula-mãe e outra, recém-formada. Fala-se, portanto, em replicação **semiconservativa** (Fig. 5.13). Desse modo, são produzidas réplicas exatas da molécula-mãe de DNA.

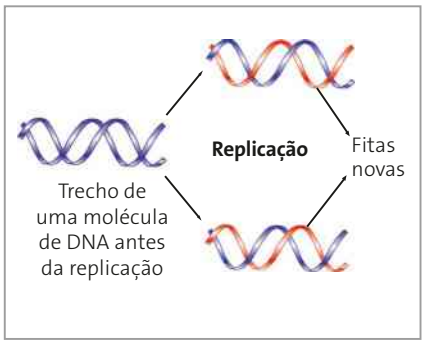


Figura 5.13. Modelo da replicação semiconservativa do DNA, como proposto por Watson e Crick. (Cores fantasia.)

8. O que são genes?

Para iniciar este tema, assim como os próximos deste capítulo, sugerimos nas Orientações didáticas uma abordagem a partir de situações de aprendizagem. Se julgar oportuno, aplique-as com os estudantes.

O conceito de **gene** e como ele atua está em plena construção na ciência atual, com muitos estudos mais recentes trazendo novas informações a esse respeito. Vamos aqui sintetizar alguns dos conceitos de genes que surgiram ao longo do tempo em pesquisas na área sem, no entanto, descrever essas pesquisas.

Na década de 1940, verificou-se que havia relação entre genes e a síntese de enzimas, tendo sido proposta a hipótese um gene → uma enzima. Posteriormente, outros estudos ampliaram essa relação, pois não apenas as enzimas seriam codificadas pelos genes, mas todas as proteínas também. Foi proposta então a hipótese um gene → uma proteína.

Porém, apesar de haver proteínas formadas por apenas uma cadeia polipeptídica, muitas são formadas por cadeias polipeptídicas distintas, como acontece com a proteína hemoglobina. Ela é formada por quatro cadeias polipeptídicas unidas, sendo duas chamadas beta e duas chamadas alfa. Na espécie humana, a cadeia beta é codificada por um gene localizado no par de cromossomos número 11, e a cadeia alfa, no par de cromossomos número 16 (Fig. 5.14).

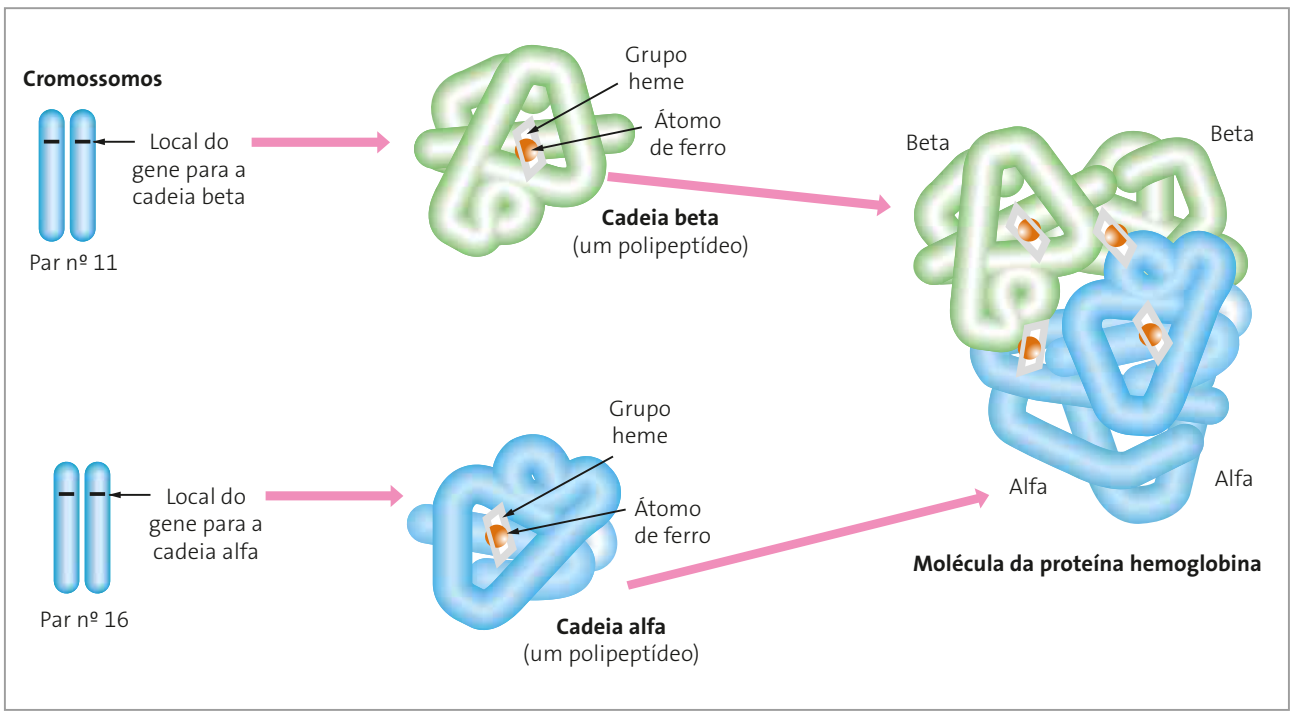


Figura 5.14. Esquema mostrando que uma proteína (hemoglobina) pode ser formada por duas cadeias polipeptídicas e, portanto, codificada por dois genes. (Elementos representados em diferentes escalas; cores fantasia.)

Com isso, a hipótese foi modificada para um gene → → um polipeptídeo.

Em um dado momento histórico, chegou-se a pensar que o gene comandaria diretamente a síntese de polipeptídeos na célula. Depois de um longo caminho, pode-se entender que o gene não comanda diretamente a síntese de polipeptídeo, mas é transcrito em moléculas de outro tipo de ácido nucleico, o RNAm (ácido ribonucleico mensageiro). O RNAm é a molécula que será usada como molde para a síntese de polipeptídeo, processo denominado tradução.

Hoje se sabe que nem todo trecho do DNA é transcrito apenas em RNAm. Outros tipos de RNA são também transcritos, caso do RNA ribossômico (RNAr) e do RNA transportador (RNAt), e ambos também fazem parte do processo de síntese proteica.

Mais recentemente ainda, têm sido descobertos vários outros tipos de RNA que são transcritos a partir da molécula de DNA e que não se relacionam com a síntese de proteína, tendo funções diversificadas na célula.

Com isso, tem sido proposto um outro conceito de gene:

Gene: região do DNA que pode ser transcrita em moléculas de RNA.

ou

Gene: menor porção do DNA relacionada a um efeito que pode ser detectado no organismo.

Mesmo esses conceitos mais gerais têm sido contestados atualmente, como analisaremos a seguir ao discutirmos os processos de transcrição e de tradução. Vamos entender que um mesmo gene pode dar origem a vários tipos de RNAm, que conterão mensagens para proteínas distintas, e que essas proteínas, após terem sido formadas, podem sofrer modificações, dando origem a proteínas diferentes.

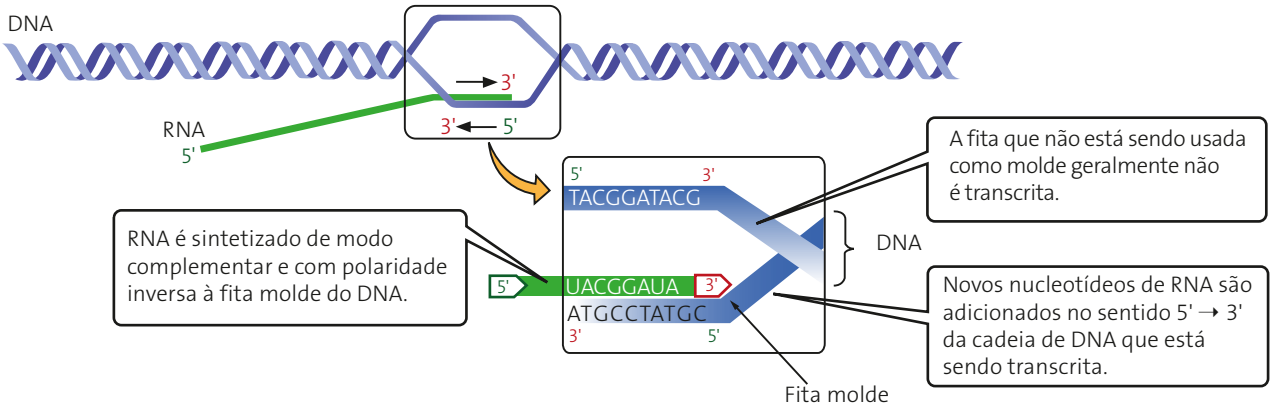
9. Do DNA para o RNA: transcrição

As moléculas de RNA são formadas por nucleotídeos que apresentam os mesmos constituintes básicos do DNA, diferindo apenas quanto ao açúcar, que no caso do RNA é a **ribose**, e quanto a uma das bases nitrogenadas: ao invés de timina (**T**), ocorre a **uracila** (**U**).

Na formação do RNA, o emparelhamento de nucleotídeos acontece de forma definida, pois as bases nitrogenadas são complementares às bases do DNA. Assim, se um trecho do DNA tiver a sequência ATCG, o RNA que se formará terá a sequência UAGC. A transcrição do RNA ocorre sempre no sentido 5' → 3' e tem polaridade inversa à da cadeia de DNA que está sendo usada como molde (Fig. 5.15).

Ao contrário do DNA, que é uma dupla hélice, as moléculas de RNA são formadas por apenas uma fita. Em certos casos, porém, essa fita pode se dobrar, formando regiões da molécula em que uma parte se emparelha com a outra.

SIC



Fonte: PIERCE, B. A. *Genética*: um enfoque conceitual. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2004.

Figura 5.15. Esquema do início da síntese de RNA no processo de transcrição, sendo realizado no sentido 5' → 3'. (Elementos representados em diferentes escalas; cores fantasia.)

A sequência que marca o início da transcrição recebe o nome de **região promotora**, e a que marca o final é chamada **sequência de término da transcrição**. Desse processo de transcrição participa a enzima polimerase do RNA (ou RNA polimerase), que se une ao DNA na região promotora do gene. Essa enzima abre a molécula de DNA e desloca-se sobre ela catalisando o emparelhamento dos nucleotídeos do RNA de forma complementar aos nucleotídeos do DNA. Quando a polimerase do RNA chega até a sequência de término da transcrição, ela se solta do DNA, finalizando a transcrição e liberando o RNA.

Nos eucariontes, cada gene é formado por regiões codificantes chamadas **éxons** (expressão derivada do inglês ***ex**pressed regi**ons***) e regiões que não são codificantes, chamadas **íntrons** (expressão derivada do inglês ***intr**agenic regi**ons***). Após a transcrição do gene em moléculas de RNA, ocorre a maturação do RNA com a remoção dos íntrons, ficando o RNA formado apenas por éxons. Todas as classes de genes, inclusive os que codificam RNAm, RNAt, RNAr e outros tipos de RNA, podem conter íntrons.

Veja no esquema representado na figura 5.16 esse processo descrito para um RNAm. Depois de maduro, ele vai para o citoplasma e participa da síntese de proteínas.

Os íntrons são comuns nos genes dos eucariontes. Até pouco tempo atrás, achava-se que eles não ocorriam nos procariontes, mas hoje se sabe que eles existem, embora sejam raros.

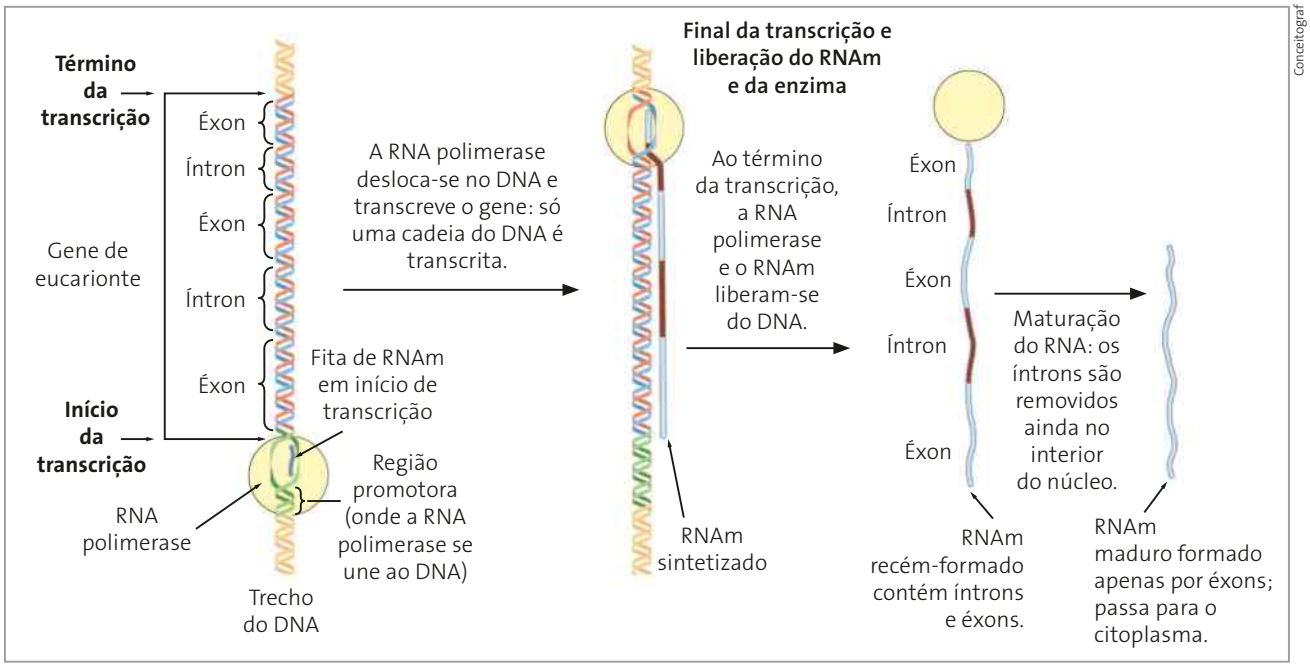


Figura 5.16. Esquema da transcrição de um gene, formando o RNAm. (Elementos representados em diferentes escalas; cores fantasia.)

A área da Biologia Molecular está crescendo a cada dia, trazendo novas informações a respeito da atuação e dos produtos dos genes. Hoje se sabe que, no processo de maturação do RNA, alguns éxons podem ser removidos em alguns tipos celulares e não em outros. Com isso, formam-se moléculas maduras de RNA que são diferentes, apesar de serem produto de um só gene. Assim, um mesmo gene pode estar relacionado à produção de RNAs maduros diferentes (Fig. 5.17). Esse mecanismo é chamado de processamento alternativo do RNAm ou *splicing* (significa união, junção) alternativo.

Com os avanços da Biologia Molecular, sabe-se também que, na molécula de DNA que forma cada um dos cromossomos, um gene é separado do outro por extensas regiões do DNA que não são transcritas em moléculas de RNA. Essas sequências espaçadoras do DNA não ocorrem ou são raras nos procariontes. Já nos eucariontes, chegam a corresponder a cerca de 97% de todo o DNA. Assim, apenas uma pequena parte do DNA dos cromossomos dos eucariontes é formada por genes (Fig. 5.18).

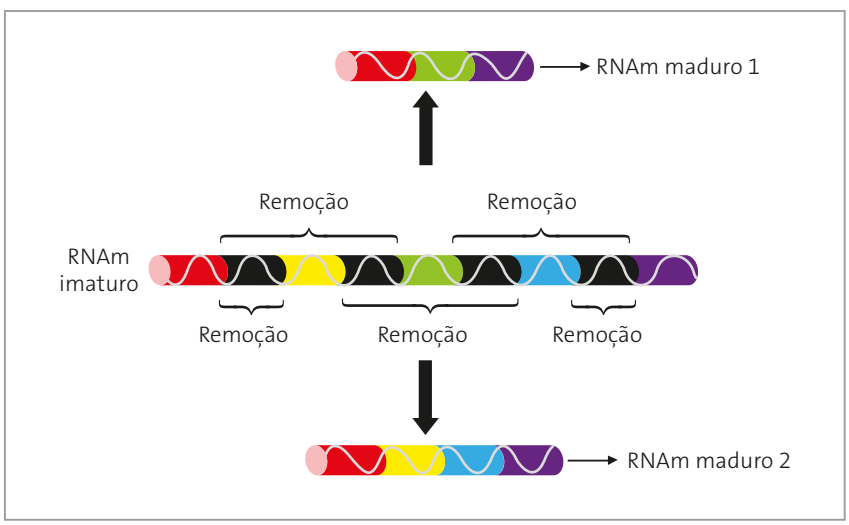


Figura 5.17. No processamento do RNAm nuclear resultante da transcrição de um gene, há remoção não só de íntrons como também de alguns éxons. Da transcrição de um gene, forma-se um tipo de RNAm imaturo, que pode dar origem a moléculas de RNAm maduro distintas, como os exemplos 1 e 2. No citoplasma, cada RNA maduro comandará a síntese de um tipo de polipeptídeo. (Íntrons representados em preto; éxons em cores; cores fantasia.)

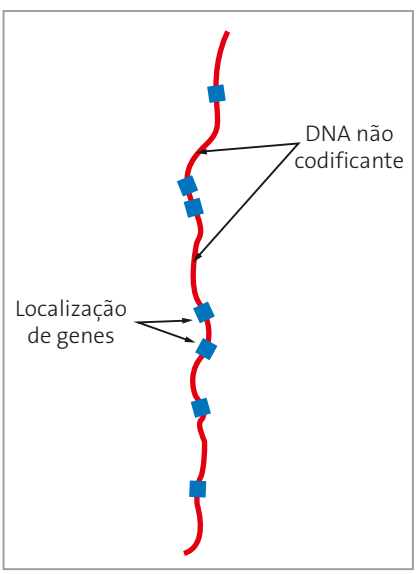


Figura 5.18. Esquema de uma molécula de DNA. (Elementos representados em diferentes escalas; cores fantasia.)

O DNA não codificante era chamado **DNA-lixo**, pois aparentemente não tinha função. Ainda não se sabe exatamente a função de todos os trechos desse DNA, mas estudos verificaram que certos trechos do DNA não codificante:

- formam o centrômero, estrutura fundamental na correta distribuição dos cromossomos na divisão celular;
- participam da regulação da expressão dos genes, em um processo bastante complexo. Isso explica, por exemplo, por que cada uma das nossas células tem só uma fração desses genes ativa, apesar de o repertório de genes ser idêntico em todas elas.

10. O código genético

Cada polipeptídeo é formado por uma sequência específica de aminoácidos determinada pelo RNAm maduro. Sabe-se que existem vinte diferentes aminoácidos (Fig. 5.19) e que cada RNAm maduro é formado por uma sequência de bases nitrogenadas. Como será que as quatro bases nitrogenadas conseguem codificar vinte aminoácidos?

Se considerássemos que cada base codifica um aminoácido, então só poderiam existir quatro aminoácidos, mas existem vinte. Propôs-se, então, que as bases nitrogenadas formariam uma linguagem em código e que cada código corresponderia a um aminoácido. Surgiu, assim, a expressão **código genético**.

Aminoácidos e suas abreviações							
Alanina	**Ala**	Fenilalanina	**Phe**	Isoleucina	**Ile**	Serina	**Ser**
Arginina	**Arg**	Glicina	**Gly**	Leucina	**Leu**	Tirosina	**Tyr**
Asparagina	**Asn**	Glutamato	**Glu**	Lisina	**Lys**	Treonina	**Thr**
Aspartato	**Asp**	Glutamina	**Gln**	Metionina	**Met**	Triptofano	**Trp**
Cisteína	**Cys**	Histidina	**His**	Prolina	**Pro**	Valina	**Val**

Figura 5.19. Quadro dos vinte aminoácidos e suas abreviações.

Inicialmente supôs-se que cada código seria formado pela combinação de duas bases nitrogenadas. Entretanto, quando se faz o cálculo do número de combinações possíveis entre as quatro bases nitrogenadas em grupos de dois, verifica-se que esse número é 16, menor do que o número total de aminoácidos. Desse modo, o código genético não poderia ser formado por pares de bases nitrogenadas.

Após várias experimentações, chegou-se à conclusão de que os aminoácidos são codificados por trincas de bases nitrogenadas: é o **código de trincas** ou **de tríades**. Cada trinca forma um **códon** (Fig. 5.20).

A combinação das quatro bases nitrogenadas em grupos de três dá um total de 64 códons. Esse número é muito maior do que o número total de aminoácidos. Entretanto, mostrou-se por meio de experimentos que um mesmo aminoácido pode ser codificado por mais de uma trinca, havendo, assim, trincas sinônimas. Pelo fato de um aminoácido poder ser codificado por mais de uma trinca, o código genético é dito **degenerado**.

Além disso, existem três trincas que não codificam aminoácidos, mas determinam o fim do polipeptídeo.

Figura 5.20. O código genético consiste em 64 códons. Cada códon é escrito no sentido 5' → 3', à medida que aparecem no RNAm. AUG codifica o aminoácido metionina e é um códon iniciador; UAA, UAG e UGA não codificam aminoácidos e são códons finalizadores. Os códigos dos aminoácidos estão em negrito.

Primeira base	Segunda base: U	Segunda base: C	Segunda base: A	Segunda base: G	Terceira base
U	UUU **Phe**	UCU **Ser**	UAU **Tir**	UGU **Cys**	U
	UUC **Phe**	UCC **Ser**	UAC **Tir**	UGC **Cys**	C
	UUA **Leu**	UCA **Ser**	UAA **Fim**	UGA **Fim**	A
	UUG **Leu**	UCG **Ser**	UAG **Fim**	UGG **Trp**	G
C	CUU **Leu**	CCU **Pro**	CAU **His**	CGU **Arg**	U
	CUC **Leu**	CCC **Pro**	CAC **His**	CGC **Arg**	C
	CUA **Leu**	CCA **Pro**	CAA **Gln**	CGA **Arg**	A
	CUG **Leu**	CCG **Pro**	CAG **Gln**	CGG **Arg**	G
A	AUU **Ile**	ACU **Thr**	AAU **Asn**	AGU **Ser**	U
	AUC **Ile**	ACC **Thr**	AAC **Asn**	AGC **Ser**	C
	AUA **Ile**	ACA **Thr**	AAA **Lis**	AGA **Arg**	A
	AUG **Met**	ACG **Thr**	AAG **Lis**	AGG **Arg**	G
G	GUU **Val**	GCU **Ala**	GAU **Asp**	GGU **Gly**	U
	GUC **Val**	GCC **Ala**	GAC **Asp**	GGC **Gly**	C
	GUA **Val**	GCA **Ala**	GAA **Glu**	GGA **Gly**	A
	GUG **Val**	GCG **Ala**	GAG **Glu**	GGG **Gly**	G

11. Síntese de proteínas: tradução

Professor(a), veja nas Orientações didáticas as sugestões de atividades extras sobre síntese de proteínas e ácidos nucleicos e sobre síntese de RNA e código genético.

O processo de síntese de proteínas denomina-se tradução e dele participam o RNAm (Fig. 5.21), o RNAt (Fig. 5.22) e o RNAr, os dois primeiros esquematicamente representados a seguir:

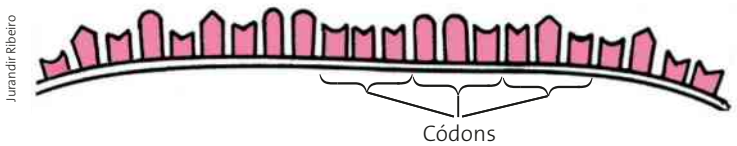


Figura 5.21. Representação esquemática de trecho do RNAm. (Cores fantasia.)

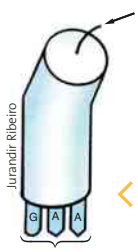


Figura 5.22. Representação esquemática adotada neste livro para RNAt. (Cores fantasia.)

Toda molécula de RNAm dos eucariontes apresenta:

- um **códon de iniciação**, que é sempre o mesmo (**AUG**), correspondente ao aminoácido **metionina**;
- **vários códons** que determinam a sequência dos aminoácidos no polipeptídeo;
- um **códon de terminação**, que marca o final daquela cadeia polipeptídica, podendo ser **UAG**, **UAA** ou **UGA**; só há um deles em cada molécula de RNAm.

A tradução ocorre em três etapas sucessivas: iniciação, alongamento e terminação.

Na etapa de **iniciação** a subunidade menor do ribossomo associa-se ao RNAt da metionina e juntos passam a percorrer a molécula de RNAm até encontrarem o códon de iniciação AUG. Quando o encontram, a subunidade maior do ribossomo une-se à subunidade menor (Fig. 5.23).

No ribossomo existem dois sítios (ou regiões) principais:

- **sítio A**, onde ocorre a entrada do aminoácido;
- **sítio P**, onde fica o polipeptídeo em formação.

Cada RNAt contém um **anticódon** específico que corresponde ao aminoácido a ser incorporado à cadeia em formação. Suas bases nitrogenadas são complementares às dos códons do RNAm.

O RNAt da metionina fica associado ao sítio **P** do ribossomo, e o sítio **A** nesse momento permanece vazio. Portanto, a **metionina** é o primeiro aminoácido da cadeia polipeptídica.

Tem início, então, a etapa de **alongamento**. Um RNAt do aminoácido que corresponde ao códon seguinte do RNAm encaixa-se no sítio **A**. Uma ligação peptídica é estabelecida entre os dois aminoácidos, e o RNAt da metionina é liberado. O ribossomo desloca-se no RNAm, e os dois aminoácidos unidos passam a ocupar o sítio **P**, deixando o sítio **A** vazio.

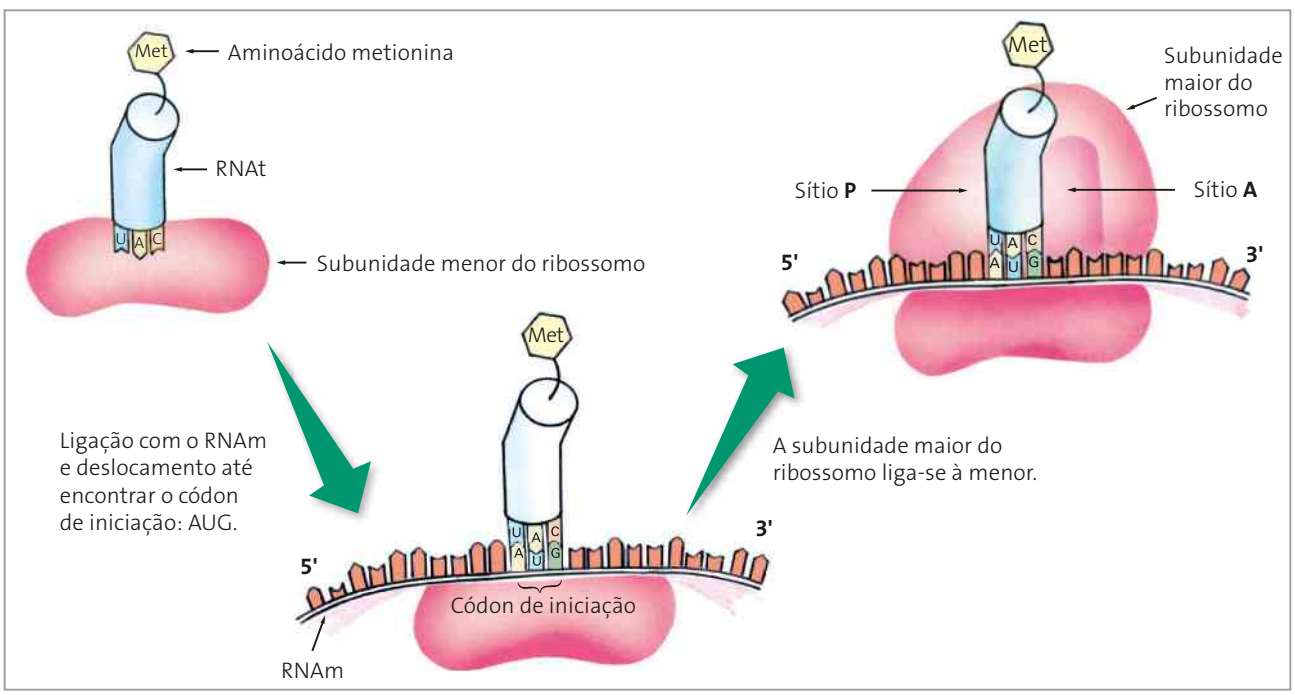


Figura 5.23. Esquema da fase de iniciação da tradução. (Elementos representados em diferentes escalas; cores fantasia.)

A seguir, outro RNAt, com um terceiro aminoácido que seja reconhecido pelo terceiro códon do RNAm, entra no sítio **A** e ocorre a formação de outra ligação peptídica entre o segundo e o terceiro aminoácidos. O RNAt do segundo aminoácido é liberado e o ribossomo se desloca até o próximo códon. A cadeia formada por três aminoácidos passa a ocupar o sítio **P**, deixando novamente o sítio **A** vazio.

Essa sequência de eventos se repete, e o polipeptídeo vai sendo formado (Fig. 5.24).

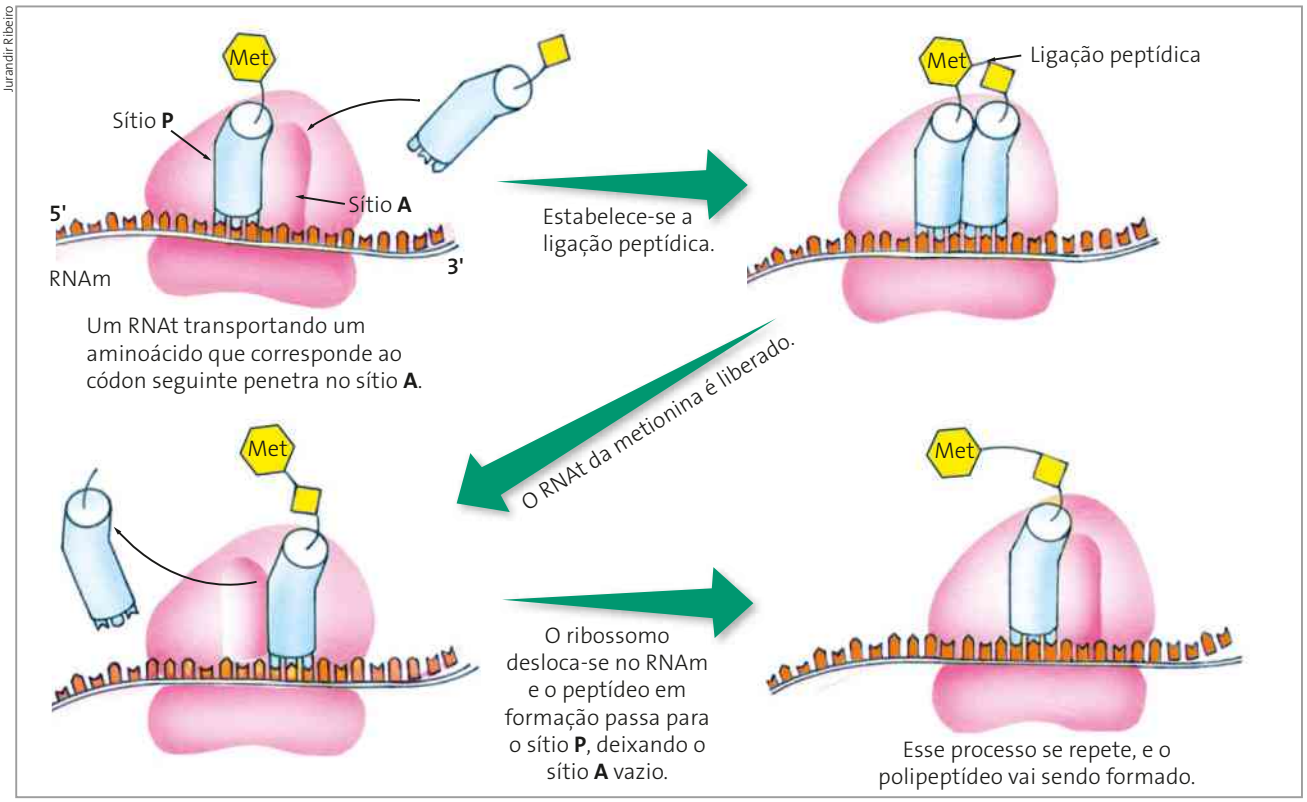


Figura 5.24. Esquema da fase de alongamento do polipeptídeo. (Elementos representados em diferentes escalas; cores fantasia.)

Na fase de **terminação**, o sítio **A** é ocupado por proteínas citoplasmáticas que se ligam diretamente ao códon de terminação do RNAm, cessando a síntese daquela molécula de polipeptídeo. Ela é liberada do ribossomo, as subunidades maior e menor do ribossomo dissociam-se e o RNAm fica livre no citoplasma, podendo ser degradado (Fig. 5.25).

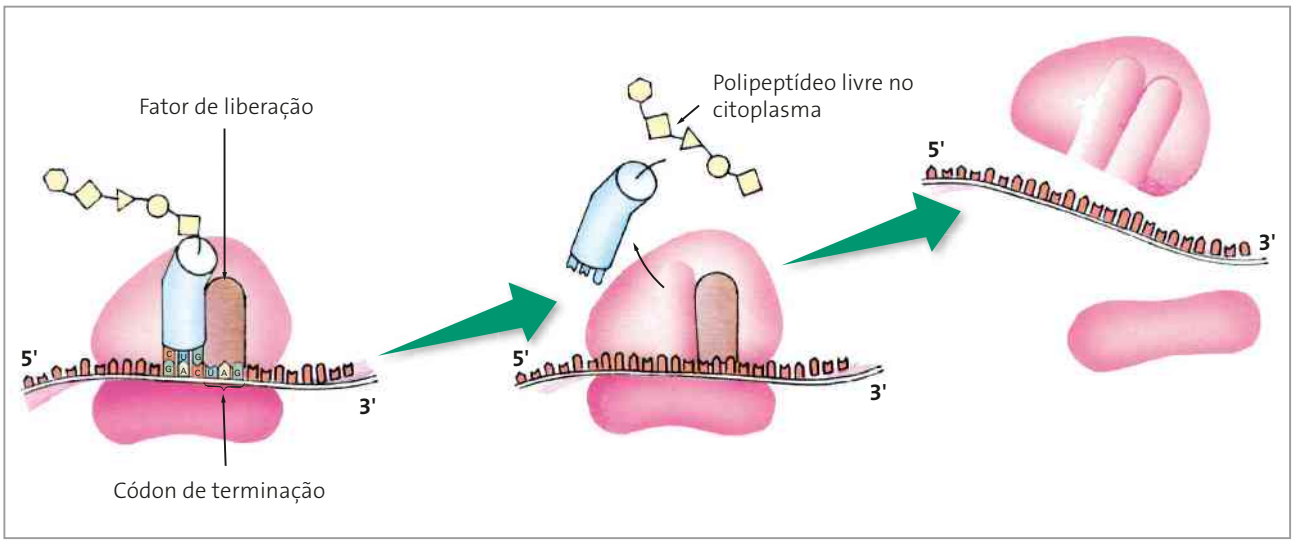


Figura 5.25. Esquema da fase de terminação da tradução. (Elementos representados em diferentes escalas; cores fantasia.)

A metionina do início da cadeia pode ser removida ou fazer parte do polipeptídeo.

A síntese completa de uma proteína leva de 20 a 60 segundos, e o mesmo RNAm pode ser traduzido simultaneamente por vários ribossomos, que mantêm uma distância entre si de aproximadamente 80 nucleotídeos. Vários ribossomos unidos ao RNAm são chamados **polissomos**.

A síntese de proteínas pode ocorrer no retículo endoplasmático granuloso. Nesse caso, ela se inicia no citosol, mas logo se forma uma sequência-sinal que faz com que o ribossomo associado ao polipeptídeo em formação e ao RNAm se ligue a proteínas específicas da membrana do retículo endoplasmático granuloso. A síntese prossegue com o ribossomo associado à membrana do retículo endoplasmático granuloso e, ao término, a proteína é liberada no interior do retículo, e não no citosol.

Os ribossomos livres no citosol são responsáveis pela síntese de proteínas que vão atuar no citosol, no núcleo, nas mitocôndrias ou nos cloroplastos. Os ribossomos ligados ao retículo granuloso vão produzir proteínas que irão para o complexo golgiense, as vesículas secretoras, os lisossomos e os vacúolos.

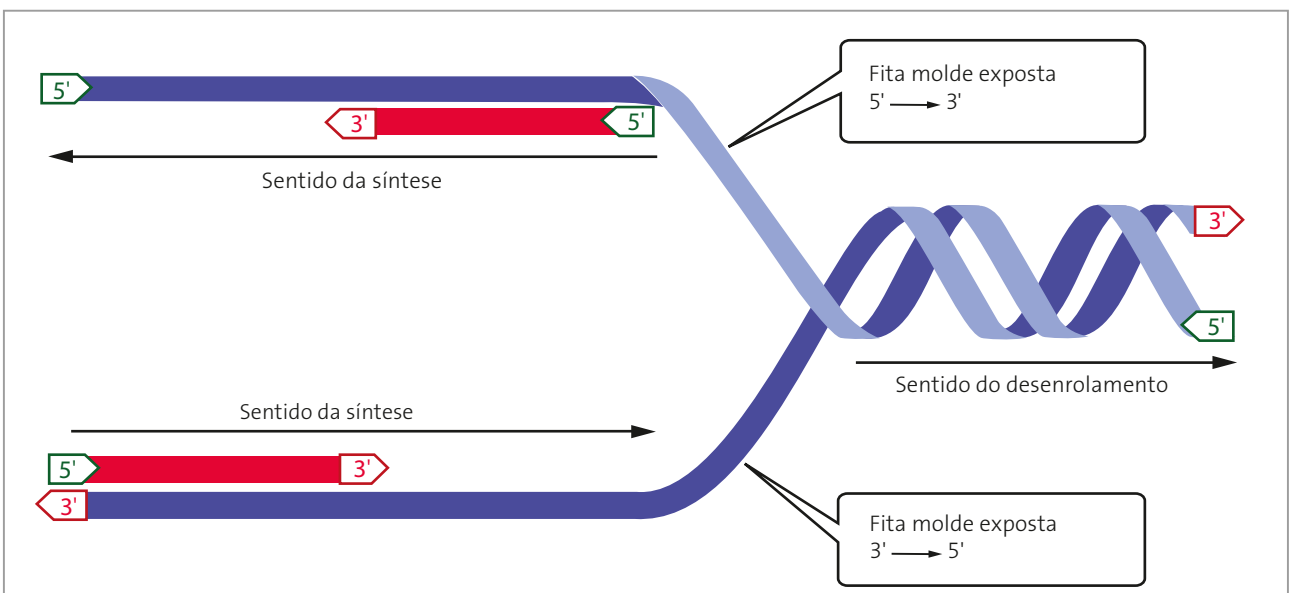
Após a tradução, as proteínas podem sofrer vários tipos de modificações, que são chamadas **modificações pós-traducionais**. Há casos em que alguns aminoácidos são removidos ou modificados; ou os polipeptídeos associam-se a carboidratos; pode haver ainda dobramentos espontâneos da proteína, originando a estrutura secundária ou a terciária. Entre as proteínas que fazem dobramentos, existem as que só o fazem sob a ação de certas moléculas auxiliares chamadas **chaperonas**.

Como se pode notar, as possibilidades de produtos de um gene são muitas: o RNA que é transcrito pode ser maturado de forma distinta e, com isso, um gene pode dar origem a RNAm diferentes, e, após a tradução, o polipeptídeo formado pode sofrer modificações. Todos esses processos explicam por que na espécie humana há tão poucos genes para tantas características. Pensava-se que o número de genes era muito maior que o verificado: temos apenas cerca de 25 mil genes relacionados a todas as nossas características.

12. Replicação do DNA

Antes do início da divisão celular, cada molécula do DNA do núcleo sofre replicação semiconservativa, resultando em duas novas moléculas idênticas à que lhes deu origem.

Para que ocorra a replicação semiconservativa do DNA, as cadeias se desenrolam e a dupla hélice se abre pela ação de enzimas chamadas **helicases**. À medida que o DNA sofre desespiralização, enzimas chamadas **DNA-polimerases** catalisam a síntese da fita nova tomando a fita-mãe como molde. Essas enzimas adicionam nucleotídeos complementares somente no sentido 5' → 3'. Como as fitas do DNA são invertidas, a síntese de uma acontece no sentido oposto ao da síntese da outra (Fig. 5.26).



Fonte: PIERCE, B. A. *Genética*: um enfoque conceitual. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2004. p. 347.

Figura 5.26. Esquema da replicação do DNA. (Cores fantasia.)

Os três mecanismos – **duplicação** do DNA, **transcrição** do DNA em RNA e **tradução** do RNAm em proteínas – ocorrem nas células de todos os seres vivos (Fig. 5.27).

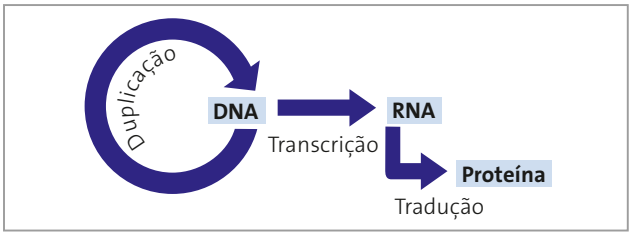


Figura 5.27. Esquema dos três mecanismos básicos presentes nas células de todos os seres vivos.

13. Quem veio primeiro: o RNA, o DNA ou a proteína?

O DNA contém a informação genética para a síntese de proteínas, mas tanto sua duplicação quanto a transcrição dependem das enzimas, proteínas catalisadoras que participam do processo. Sem a ação dessas proteínas catalisadoras, a formação de novas cadeias de DNA ou de RNA seria lenta e sujeita a erros. Assim, surge uma dúvida: na evolução das moléculas orgânicas, logo no início da vida, qual dessas moléculas teria surgido primeiro?

Uma hipótese formulada no fim da década de 1960 tentou responder a essa questão e ficou conhecida como hipótese do **Mundo de RNA**. De acordo com ela, o RNA, por ser o ácido nucleico mais simples, teria surgido antes do DNA. Esse RNA, no entanto, teria de ser diferente, acumulando as funções de conter a informação genética na sua sequência de nucleotídeos e também de atuar como enzima.

A hipótese ganhou força em meados da década de 1980, com a descoberta das ribozimas, moléculas de RNA que atuam como enzimas, catalisando diversas reações químicas na célula. Antes dessa descoberta, todas as enzimas conhecidas eram proteínas.

Uma outra evidência que suporta a hipótese do Mundo de RNA é o funcionamento dos ribossomos, formados essencialmente por RNAr e proteínas. O RNAr é uma ribozima, catalisando ligações químicas que levam à síntese de polipeptídeos.

Outra forte evidência foi o resultado de pesquisas mais recentes, que conseguiram obter moléculas de RNA capazes de catalisar, em laboratório, reações de duplicação das moléculas de RNA. Isso corrobora a hipótese do Mundo de RNA (Fig. 5.28).

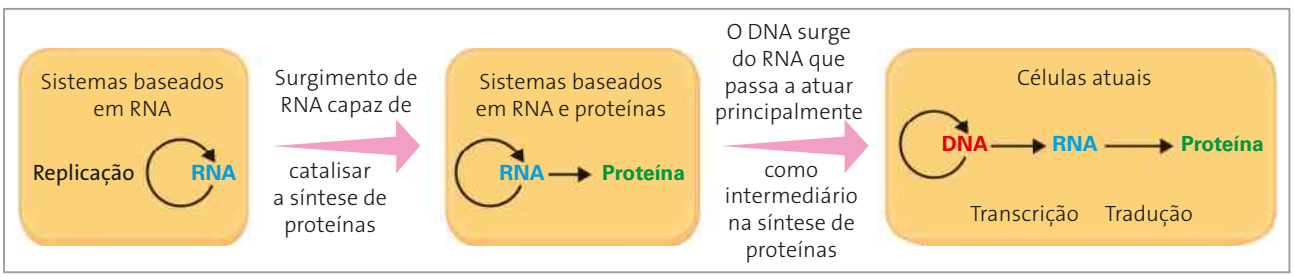


Figura 5.28. Esquema simplificado representando a hipótese do Mundo de RNA: na evolução dos sistemas químicos que deram origem às primeiras células, o RNA teria precedido o DNA e as proteínas. Esse RNA teria capacidade de replicação e propriedades catalíticas, semelhantes às das ribozimas.

14. Mutações

Modificações no material genético da célula são chamadas mutações. Elas podem ocorrer em células somáticas ou em células germinativas; neste último caso, podem ser transmitidas ao longo das gerações, de pais para filhos. As mutações somáticas ficam restritas ao indivíduo em que ocorrem e não são transmitidas aos descendentes.

As mutações podem ser **pontuais**, afetando apenas um nucleotídeo e levando a pequenas alterações na sequência ou no número de nucleotídeos. Isso pode acontecer no momento da duplicação do DNA. Há nas células, no entanto, todo um sistema de reparo dessas alterações, o que reduz drasticamente a quantidade de mutações pontuais que persistem.

As mutações pontuais podem afetar uma ou mais sequências de bases nitrogenadas, tanto nas regiões não codificantes do DNA, tendo efeitos, em geral, não perceptíveis, como nas regiões codificantes (**mutações gênicas**), que podem levar a modificação do produto do gene.

Embora na maior parte dos casos as mutações gênicas sejam deletérias, isto é, causam prejuízo ao organismo, elas são muito importantes em termos evolutivos, e são a fonte primária da variabilidade genética em uma população. Quanto maior a variabilidade genética em uma população, maior a chance de sobrevivência dessa população a alterações nas condições ambientais. Esse tema será retomado com mais detalhes na próxima unidade deste volume, quando trataremos de Evolução.

Alterações de maior porte, que afetam o número ou a forma dos cromossomos, são chamadas **alterações cromossômicas** e, assim como as mutações gênicas, são em geral deletérias.

14.1. Mutações gênicas

As mutações gênicas podem ocorrer por **substituição**, **perda** ou **adição** de nucleotídeos na molécula de DNA durante sua duplicação. Quando essas modificações ocorrem nos íntrons, geralmente os efeitos não são perceptíveis, pois, após o processo de transcrição em moléculas de RNA, os íntrons são removidos durante a maturação do RNA. Já quando ocorrem nos éxons, os efeitos diferem dependendo do caso.

Vamos analisar, apenas como exemplo, o que ocorre quando há substituição de um nucleotídeo por outro.

Há mutações que não alteram o aminoácido da cadeia polipeptídica. Isso acontece quando a substituição de uma base nitrogenada não resulta em um códon para outro aminoácido. Por exemplo: vamos supor que uma das trincas de um éxon seja AAA e que tenha mudado para AAG. A trinca AAA, ao ser transcrita em RNAm, corresponderá ao códon UUU, e a trinca AAG, ao códon UUC. Consultando o quadro do código genético, podemos notar que ambas codificam o mesmo aminoácido: a fenilalanina. Portanto, a mutação não levou à alteração no polipeptídeo.

Mutações desse tipo são chamadas "silenciosas" e são responsáveis por uma variabilidade genética que é sempre maior do que a diversidade de características.

Existem, no entanto, mutações que alteram a proteína, pois causam a substituição de um aminoácido. As consequências disso variam muito. Essa nova proteína pode trazer vantagens adaptativas, ser neutra, ou trazer prejuízos, inclusive provocando doenças.

Vamos analisar um caso em que a mutação leva à alteração na forma espacial e na função da proteína, provocando doença.

A **anemia falciforme** é uma doença em que as hemácias apresentam aspecto de foice, daí o nome falciforme. Isso se deve à presença de moléculas defeituosas de hemoglobina. Com isso, as hemácias não transportam com eficiência o oxigênio. Essas hemácias são mais frágeis e podem se romper, causando problemas para a pessoa, como fortes dores. Em certos casos, o rompimento é tão intenso e rápido que pode levar a pessoa à morte.

A molécula defeituosa de hemoglobina decorre de uma mudança do gene na trinca CTT para CAT. Com isso, o códon do RNAm muda de GAA, que corresponde ao aminoácido glutamina, para GUA, que se refere ao aminoácido valina, com a consequente produção da hemoglobina defeituosa, que causa a doença (Fig. 5.29).

A substituição de um ou mais aminoácidos, no entanto, nem sempre resulta na perda ou na alteração da função da proteína. Certas regiões de uma molécula podem não ser essenciais ao seu funcionamento. A insulina, por exemplo, é um hormônio presente em todos os vertebrados, mas a molécula não é idêntica em todas as espécies. Quando comparamos a sequência de aminoácidos da insulina de duas ou mais espécies diferentes, observamos alterações na sequência que, no entanto, não prejudicam a forma e a função dessa proteína. Dizemos então que ocorreram **mutações funcionalmente neutras**, conservadas no DNA dos indivíduos ao longo das gerações. Por outro lado, existem regiões responsáveis pela forma tridimensional da proteína, garantindo assim a sua função – se essas regiões essenciais apresentarem substituições de aminoácidos, a molécula poderá deixar de ser funcional.

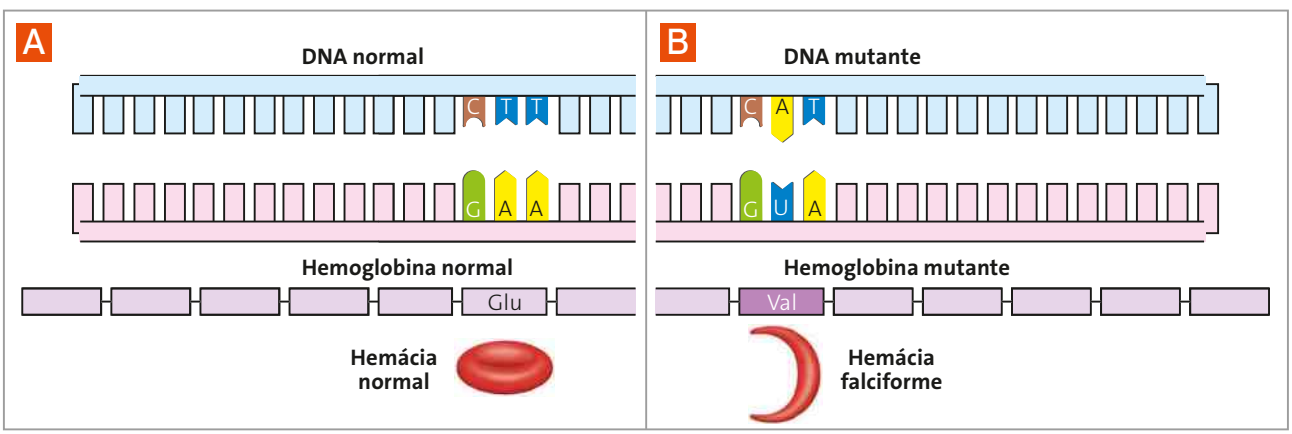


Figura 5.29. Esquema comparando trechos de DNA, RNAm e hemoglobina normal (**A**) com trechos alterados das mesmas moléculas, que resultam em hemácias falciformes (**B**). (Elementos representados em diferentes escalas; cores fantasia.)

Colocando em foco

ALGUNS EXEMPLOS DE MUTAÇÃO GÊNICA

A **progeria** é uma doença letal que se manifesta em crianças com idade entre 5 e 6 anos, fazendo com que aos 8 ou 9 anos elas já tenham a aparência de uma pessoa idosa. As causas exatas da progeria não são bem conhecidas, mas envolvem mutações gênicas.

A **doença de Alzheimer** parece ter várias causas. Uma delas está relacionada à mutação em certo gene do cromossomo 21, o que leva à degeneração do sistema nervoso central. Inicialmente há perda progressiva de memória. Termina com uma profunda devastação do cérebro, levando o indivíduo à morte. A manifestação da doença de Alzheimer ocorre em adultos e pode provocar senilidade precoce, isto é, antes dos 60 anos de idade, ou então tardia, após os 60 anos.

A **adrenoleucodistrofia** é uma doença causada por uma mutação em um gene do cromossomo **X**. Essa mutação incapacita o organismo de metabolizar certos tipos de lipídios (óleos), determinando uma doença neurológica degenerativa que pode levar o indivíduo à morte. As características dessa doença e a história da descoberta de seu tratamento são contadas no filme ***O óleo de Lorenzo*** (1992), que merece ser assistido e discutido em classe com colegas e professores.

14.2. Alterações cromossômicas

Alterações cromossômicas podem ser classificadas em numéricas ou estruturais.

Alterações cromossômicas numéricas

Nesses tipos de alterações há modificações no número de cromossomos; elas podem ser classificadas em:

- **euploidias**: perda ou acréscimo de um conjunto, ou mais, de **n** cromossomos. O acréscimo produz indivíduos **poliploides**, que podem ser **triploides**, **tetraploides** e assim por diante. Em indivíduos diploides (**2n**), a perda origina indivíduos **haploides** (**n**). Esse tipo de alteração pode ser deletéria, mas em certos casos tem sido importante no processo evolutivo pelo qual novas espécies se formam, em alguns grupos de seres vivos;
- **aneuploidias**: perda ou acréscimo de um ou mais cromossomos da célula. São geralmente deletérias, como acontece, por exemplo, na síndrome de Down.

Alterações cromossômicas estruturais

Essas alterações são decorrentes de modificações na forma e na estrutura dos cromossomos. São vários os tipos de alterações estruturais: deficiência, duplicação, inversão e translocação.

A **deficiência** ou **deleção** ocorre quando um cromossomo perde um segmento em função de quebras. Deficiências muito acentuadas podem ser letais, uma vez que a perda de muitos genes altera profundamente o organismo. Um exemplo de deleção na espécie humana é a síndrome do "miado de gato", uma deficiência do braço curto do cromossomo 5. O choro das crianças com essa síndrome assemelha-se ao miado de um gato, em consequência de alterações na laringe. Há deficiência intelectual e neuromotora, orelhas malformadas e microcefalia.

A **duplicação** ocorre quando um ou mais segmentos do cromossomo se repetem. Isso nem sempre reduz a viabilidade de um organismo. Naqueles que toleram duplicações, um dos trechos em duplicata pode sofrer mutação sem que isso interfira na adaptabilidade do organismo, pois o outro trecho não alterado pode continuar a atuar normalmente. É possível que alguns casos de deficiências cromossômicas viáveis estejam relacionados à existência de segmentos cromossômicos em dose dupla em que a mutação tenha ocorrido justamente em um dos trechos duplicados.

A **inversão** ocorre quando um cromossomo sofre quebra em dois pontos e o segmento entre as quebras apresenta um giro de 180°, soldando-se invertido no cromossomo. A sequência de genes apresenta-se, assim, invertida em relação à anterior.

A **translocação** ocorre quando dois cromossomos não homólogos se quebram simultaneamente e trocam seus segmentos, geralmente causando anomalias. Um exemplo é a síndrome de Down. Embora a causa mais comum dessa síndrome seja decorrente de alteração numérica, na qual o indivíduo apresenta um cromossomo a mais do par 21 (fala-se em trissomia do 21), há duas outras possibilidades de essa síndrome ocorrer: translocação entre os pares 15 e 21 ou entre os pares 21 e 22.

A síndrome de Down já foi tratada no volume 1 desta coleção. Se julgar pertinente, retome com os estudantes.

Tema para discussão

REGISTRE NO CADERNO

Genoma: o que é e o que tem sido feito

O termo **genoma** refere-se ao conjunto de todo o DNA que determinado organismo tem em cada uma de suas células.

Há vários projetos em andamento ou já concluídos que visam desvendar o genoma de diferentes espécies de seres vivos. Como exemplo podemos citar: o projeto genoma da bactéria *Haemophilus influenzae*, concluído em 1995; o do bacilo da tuberculose, *Mycobacterium tuberculosis*, concluído em 1998; e o da mosca *Drosophila melanogaster*, concluído em 2000.

Destaque especial deve ser dado ao grupo de pesquisadores brasileiros que em 2000 completaram o sequenciamento do genoma da bactéria *Xylella fastidiosa*, causadora da clorose variegada dos citros (CVC), o popular amarelinho, que afeta principalmente laranjeiras.

Dentre os projetos que visam conhecer o genoma dos seres vivos, o mais polêmico é, sem dúvida, o **Projeto Genoma Humano**, iniciado em 1990, quando apenas 4 550 genes humanos haviam sido identificados. Desses, cerca de 1 500 já tinham sido associados a localizações específicas nos 46 cromossomos.

Os resultados desse projeto foram publicados em 2001. Atualmente, sabe-se que os seres humanos têm aproximadamente 25 mil genes, número muito inferior ao estimado inicialmente, que era de cerca de 100 mil genes.

Esse número, embora reduzido, é capaz de gerar um número muito maior de proteínas. A existência de mais proteínas que genes pode ser explicada pelo processo de *splicing* alternativo e pelas modificações das proteínas após a formação do RNAm (modificações pós-traducionais), como discutido no capítulo.

Embora muito já se saiba sobre o genoma humano, o trabalho ainda não terminou. Falta identificar a maioria dos genes que fazem parte desse material sequenciado e conhecer as funções de cada gene e a estrutura de cada polipeptídeo ou RNA que codificam.

Paralelamente ao conhecimento dos genes da espécie humana, o Projeto Genoma Humano abre a discussão sobre incertezas éticas, legais e sociais relacionadas ao conhecimento dos genes de cada indivíduo. Três itens se destacam:

- privacidade da informação genética;
- segurança e eficácia da medicina genética;
- justiça no uso da informação genética.

Subjacentes a esses itens há cinco princípios básicos: autonomia, privacidade, justiça, igualdade e qualidade. O **princípio da autonomia** estabelece que os testes deverão ser estritamente voluntários, após aconselhamento apropriado.

O **princípio da privacidade** determina que os resultados dos testes genéticos de um indivíduo não poderão ser comunicados a ninguém sem seu consentimento expresso, exceto a familiares com elevado risco genético e, mesmo assim, após falharem todos os esforços para obter permissão da pessoa.

O **princípio da justiça** garante proteção aos direitos de populações vulneráveis, como crianças, pessoas com deficiência intelectual ou problemas psiquiátricos e culturais especiais.

O **princípio da igualdade** garante a todas as pessoas o acesso aos testes, independentemente de origem geográfica, raça, etnia e classe socioeconômica.

Finalmente, o **princípio da qualidade** assegura que todos os testes oferecidos terão especificidade e sensibilidade adequadas e serão realizados em laboratórios capacitados, com adequada monitoração profissional e ética.

Uma questão importante é que não há maneiras legais de implementar esses princípios éticos e garantir que sejam cumpridos, e provavelmente haverá pressões enormes, principalmente de interesses econômicos, para a implementação de testes genéticos sem adesão aos princípios.

Em última análise, toda essa problemática relacionada aos princípios básicos vai convergir na interação social de três elementos: a comunidade científica do Projeto Genoma Humano, geradora do novo conhecimento; a comunidade empresarial, que vai transformar esse conhecimento em produtos e oferecê-los à população; e a sociedade como um todo, que vai absorver e incorporar o novo conhecimento em sua visão de mundo e suas práticas sociais, além de consumir os novos produtos. Os avanços da biotecnologia estão possibilitando ao ser humano controlar ou alterar processos naturais como nunca ocorreu antes. Será que estamos preparados para isso? Temos os conhecimentos necessários para aplicar a biotecnologia com responsabilidade?

Fontes das informações: Universidade Federal do Rio Grande do Sul <http://www.ufrgs.br> (acesso em: mar. 2016) e artigo "Conflitos paradigmáticos e a ética do Projeto Genoma", de Sérgio D. J. Pena, publicado na *Revista USP*, n. 24, 1995.

1. Faça uma pesquisa sobre o legado do Projeto Genoma Humano e sobre as discussões éticas envolvidas com o conhecimento dos genes humanos. Pondere sobre prós e contras do que pode acontecer em um futuro próximo, considerando o conhecimento cada vez maior que o ser humano vem adquirindo. Em grupo, promova uma atividade de divulgação científica sobre o tema "A ética do Projeto Genoma Humano", usando diferentes mídias, como cartaz, vídeo, *blog*, entre outras.
2. Caso seja possível, leia o livro *Admirável mundo novo*, de Aldous Huxley, publicado em 1932, ou assista ao filme baseado nesse livro. Huxley descreve o que imaginava ser a sociedade em que viveria no futuro. É importante pensar nesse livro em termos históricos, sabendo que ele foi escrito em uma época em que pouco se sabia sobre genética, clonagem e outros conhecimentos que só foram adquiridos posteriormente.
3. Ainda se possível, assista ao filme *GATTACA*, dirigido por Andrew Niccol e lançado em 1997. O nome do filme vem das iniciais das bases nitrogenadas do DNA. Esse filme relata o drama de uma sociedade do século XXI dominada pela Engenharia Genética que tornou possível a criação de seres humanos "superiores", que atingiam posições de poder e prestígio. Essas pessoas contrastam com os humanos "inferiores", nascidos sem a interferência da Engenharia Genética.
4. Discuta essas duas obras com os colegas de classe. Quais mensagens vocês consideraram mais impactantes, pensando na sociedade como um todo?

Professor(a), veja nas Orientações didáticas os comentários e as respostas das questões dissertativas.

Retomando

Este capítulo apresentou uma pequena introdução à Genética, importante área da Biologia. Considere o que aprendeu aqui e retome as respostas que deu às questões da seção **Pense nisso**, reescrevendo-as. O que é um gene? Onde se localiza? Que informação ele pode carregar?

Ampliando e integrando conhecimentos

REGISTRE NO CADERNO

Atividade 1 O código genético

Habilidades do Enem: H11, H13, H15, H19, H29.

A partir de 1960, foi possível isolar em laboratório a maquinaria celular responsável pela síntese de proteínas obtidas de bactérias. A adição de um RNAm humano a essa maquinaria resultava na síntese de uma proteína muito parecida com a que é normalmente produzida em células humanas. Atualmente, com as modernas técnicas de Engenharia Genética, é possível inserir um gene de praticamente qualquer espécie na célula da bactéria, que passa a produzir a proteína codificada por aquele gene. Como podemos interpretar esses resultados, com relação à natureza do código genético? Na sua resposta, não deixe de apresentar também questões éticas ligadas ao tema.

Atividade 2 Do códon ao aminoácido

Habilidades do Enem: H13, H14, H15.

Escolha alguns códons do quadro de código genético que sejam suficientes para você explicar o processo de síntese de um peptídeo hipotético formado por quatro aminoácidos (nenhuma proteína é assim tão pequena; este é apenas um exercício para entender o processo). Usando sua seleção como base, explique esse processo, considerando as três fases da síntese proteica: iniciação, alongamento e terminação. Para a explicação, construa modelos de ribossomo, de RNAm, de RNAt e de aminoácidos. Para construir esses modelos você pode usar massa de modelar, cartolina, contas de colar, peças de encaixe ou outro material disponível. Você também pode fazer animações, infográficos ou vídeos, por exemplo, e divulgar esse material em *blogs* ou redes sociais.

Atividade 3 Mutações Habilidades do Enem: H13, H14, H15, H17.

Vimos neste capítulo que o código genético é degenerado. Vamos usar uma analogia para entender como atuam as mutações pontuais. Não se esqueça de que, como toda analogia, esta também tem suas limitações. A sentença a seguir corresponde a um RNAm e cada palavra formada por três letras corresponde a uma tríade do código genético.

ELE NEM VIU QUE ELA FOI ALI

Copie a sentença no caderno e faça o que se pede:

a) Uma mutação substituiu a terceira letra por **A**. Como fica a sentença? Ela tem o seu sentido alterado?

b) Na sentença original ocorreu a perda da 5ª letra. Se cada palavra deve ser formada por três letras, como ficou a frase?

c) Na sentença modificada acima, ocorreu em seguida a inserção de **P** após a oitava letra. Qual a consequência?

d) Baseando-se nas analogias, explique alguns efeitos que uma mutação gênica pode gerar na síntese proteica.

Atividade 4 Hereditariedade Habilidades do Enem: H13, H15, H19, H29.

Em 1791, um fazendeiro estadunidense notou em seu rebanho de carneiros um macho de pernas muito curtas. Ele decidiu que essa característica seria vantajosa para sua criação, pois os carneiros de pernas curtas seriam incapazes de pular as cercas que delimitavam sua fazenda, reduzindo os prejuízos.

A característica "pernas curtas" surgiu por mutação na população que apresentava apenas carneiros com pernas de comprimento normal. Responda:

a) A mutação que levou ao aparecimento de pernas muito curtas poderia ter acontecido em células somáticas ou germinativas. Qual dos dois tipos de mutação beneficiaria o fazendeiro? Justifique sua resposta.

b) Como o fazendeiro poderia verificar se a mutação havia ocorrido em células somáticas ou germinativas?

Testes

REGISTRE NO CADERNO

1. (Enem) Define-se genoma como o conjunto de todo o material genético de uma espécie, que, na maioria dos casos, são as moléculas de DNA. Durante muito tempo, especulou-se sobre a possível relação entre o tamanho do genoma — medido pelo número de pares de bases (pb) —, o número de proteínas produzidas e a complexidade do organismo. As primeiras respostas começam a aparecer e já deixam claro que essa relação não existe, como mostra a tabela abaixo.

Espécie	Nome comum	Tamanho estimado do genoma (pb)	Nº de proteínas descritas
Oryza sativa	Arroz	5 000 000 000	224 181
Mus musculus	Camundongo	3 454 200 000	249 081
Homo sapiens	Homem	3 400 000 000	459 114
Rattus norvegicus	Rato	2 900 000 000	109 077
Drosophila melanogaster	Mosca-da-fruta	180 000 000	86 255

Internet: <www.cbs.dtu.dk> e <www.ncbi.nlm.nih.gov>.

De acordo com as informações anteriores,

a) o conjunto de genes de um organismo define o seu DNA.

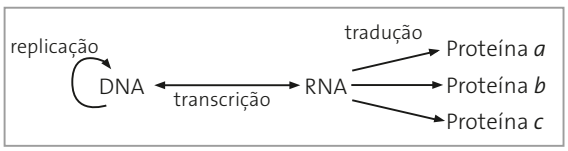
b) a produção de proteínas não está vinculada à molécula de DNA.

x c) o tamanho do genoma não é diretamente proporcional ao número de proteínas produzidas pelo organismo.

d) quanto mais complexo o organismo, maior o tamanho de seu genoma.

e) genomas com mais de um bilhão de pares de bases são encontrados apenas nos seres vertebrados.

2. (Enem) A figura seguinte representa um modelo de transmissão da informação genética nos sistemas biológicos. No fim do processo, que inclui a replicação, a transcrição e a tradução, há três formas proteicas diferentes denominadas *a*, *b* e *c*.



Depreende-se do modelo que

a) a única molécula que participa da produção de proteínas é o DNA.

b) o fluxo de informação genética, nos sistemas biológicos, é unidirecional.

c) as fontes de informação ativas durante o processo de transcrição são as proteínas.

x d) é possível obter diferentes variantes proteicas a partir de um mesmo produto de transcrição.

e) a molécula de DNA possui forma circular e as demais moléculas possuem forma de fitas simples linearizadas.

3. (Enem) Durante muito tempo, os cientistas acreditaram que variações anatômicas entre os animais fossem consequência de diferenças significativas entre seus genomas. Porém, os projetos de sequenciamento de genoma revelaram o contrário. Hoje, sabe-se que 99% do genoma de um camundongo é igual ao do homem, apesar das notáveis diferenças entre eles. Sabe-se também que os genes ocupam apenas cerca de 1,5% do DNA e que menos de 10% dos genes codificam proteínas que atuam na construção e na definição das formas do corpo. O restante, possivelmente, constitui DNA não codificante. Como explicar, então, as diferenças fenotípicas entre as diversas espécies animais? A resposta pode estar na região não codificante do DNA.

Carroll, S. B. et al. O jogo da evolução. In: *Scientific American Brasil*, jun. 2008.

A região não codificante do DNA pode ser responsável pelas diferenças marcantes no fenótipo porque contém

a) as sequências de DNA que codificam proteínas responsáveis pela definição das formas do corpo.

b) uma enzima que sintetiza proteínas a partir da sequência de aminoácidos que formam o gene.

c) centenas de aminoácidos que compõem a maioria de nossas proteínas.

x d) informações que, apesar de não serem traduzidas em sequências de proteínas, interferem no fenótipo.

e) os genes associados à formação de estruturas similares às de outras espécies.

4. (Enem) Nos dias de hoje, podemos dizer que praticamente todos os seres humanos já ouviram em algum momento falar sobre o DNA e seu papel na hereditariedade da maioria dos organismos. Porém, foi apenas em 1952, um ano antes da descrição do modelo do DNA em dupla hélice por Watson e Crick, que foi confirmado sem sombra de dúvidas que o DNA é material genético. No artigo em que Watson e Crick descreveram a molécula de DNA, eles sugeriram um modelo de como essa molécula deveria se replicar. Em 1958, Meselson e Stahl realizaram experimentos utilizando isótopos pesados de nitrogênio que foram incorporados às bases nitrogenadas para avaliar como se daria a replicação da molécula. A partir dos resultados, confirmaram o modelo sugerido por Watson e Crick, que tinha como premissa básica o rompimento das pontes de hidrogênio entre as bases nitrogenadas.

GRIFFITHS, A. J. F. et al. *Introdução à Genética*. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2002.

Considerando a estrutura da molécula de DNA e a posição das pontes de hidrogênio na mesma, os experimentos realizados por Meselson e Stahl a respeito da replicação dessa molécula levaram à conclusão de que

a) a replicação do DNA é conservativa, isto é, a fita dupla filha é recém-sintetizada e o filamento parental é conservado.

b) a replicação de DNA é dispersiva, isto é, as fitas filhas contêm DNA recém-sintetizado e parentais em cada uma das fitas.

x c) a replicação é semiconservativa, isto é, as fitas filhas consistem de uma fita parental e uma recém-sintetizada.

d) a replicação do DNA é conservativa, isto é, as fitas filhas consistem de moléculas de DNA parental.

e) a replicação é semiconservativa, isto é, as fitas filhas consistem de uma fita molde e uma fita codificadora.

5. (Fuvest-SP) Uma mutação, responsável por uma doença sanguínea, foi identificada numa família. A seguir estão representadas sequências de bases nitrogenadas, normal e mutante; nelas estão destacados o sítio de início da tradução e a base alterada.

Sequência normal

... **AUG**ACGGGCGACACACAGAGCGACUGG**G**ACUGC...

Sítio de início da tradução

Sequência mutante

...**AUG**ACGGGCGACACACAGAGCGACUGG**A**ACUGC...

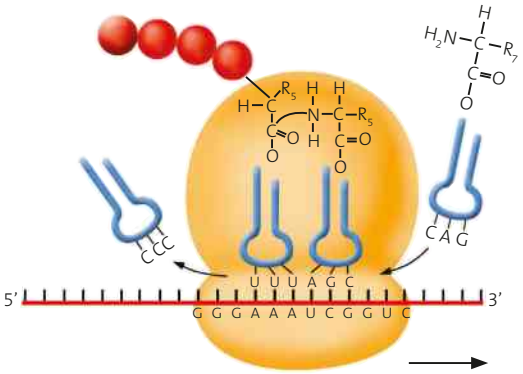
O ácido nucleico representado e o número de aminoácidos codificados pela sequência de bases, entre o sítio de início da tradução e a mutação, estão corretamente indicados em:

a) DNA; 8.
b) DNA; 24.
c) DNA; 12.
x d) RNA; 8.
e) RNA; 24.

6. (Unicamp-SP) Em um experimento, um segmento de DNA que contém a região codificadora de uma proteína humana foi introduzido em um plasmídeo e passou a ser expresso em uma bactéria. Considere que o 50º códon do RNA mensageiro produzido na bactéria a partir desse segmento seja um códon de parada da tradução. Nesse caso, é correto afirmar que:

a) a proteína resultante da tradução desse RNA mensageiro possui 50 aminoácidos.
x b) a proteína resultante da tradução desse RNA mensageiro possui 49 aminoácidos.
c) a proteína resultante da tradução desse RNA mensageiro possui 150 aminoácidos.
d) nenhuma proteína é formada, pois esse RNA mensageiro apresenta um códon de parada.

7. (UFPI) No desenho a seguir aparece o aparato principal do processo de tradução. Analise as informações e marque a alternativa correta.



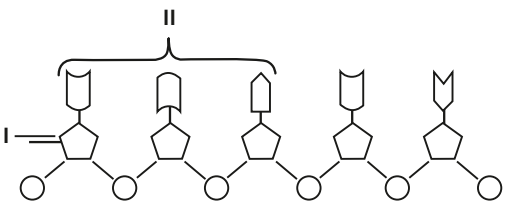
Luis Moura

a) O código genético consiste de trincas de nucleotídeos chamadas de anticódons.
b) O códon AUG do tRNA indica o início da tradução.
c) Os aminoácidos são transportados pelo mRNA e ligados em uma ordem específica no tRNA.
d) O tRNA possui um códon complementar ao códon do mRNA.
x e) Os aminoácidos são ligados quimicamente pela ligação peptídica que acontece nos ribossomos.

8. (UPE) Nos ácidos nucleicos, encontram-se bases nitrogenadas formando pares de relativas especificidades. Ao se analisar o DNA de uma determinada bactéria, encontram-se 38% de bases Citosina (C). Que percentuais de bases Adenina (A), Guanina (G) e Timina (T) são esperados respectivamente?

a) 62%, 38%, 62%.
b) 24%, 38%, 24%.
c) 38%, 12%, 12%.
d) 62%, 12%, 12%.
x e) 12%, 38%, 12%.

9. (Mack-SP)



BIS

Considerando o esquema, que representa um fragmento de ácido nucleico, cuja função é transportar aminoácidos, assinale a alternativa **incorreta**.

a) A substância representada em **I** é obrigatoriamente ribose.
b) Cada trinca de bases, representada em **II**, é denominada anticódon.
c) Esse ácido nucleico é produzido no núcleo e se dirige ao citoplasma, unindo-se aos aminoácidos.
d) **II** pode apresentar moléculas de adenina.
x e) Se a ação desse ácido for bloqueada, o processo de transcrição não ocorrerá.

CAPÍTULO

6

A herança de uma característica

SPL/Latinstock



Figura 6.1. Mendel estudou a herança de sete características da planta de ervilha; entre elas, a forma da semente. Vamos analisar a primeira etapa do seu trabalho, em que ele considerou um caráter por vez, como o aspecto rugoso da semente mostrado na fotografia. As conclusões a que Mendel chegou são hoje conhecidas como a primeira lei de Mendel. Atualmente, muito mais se sabe sobre a herança de um caráter, ampliando os conceitos estabelecidos por esse monge cientista.

Pense nisso

- Cite algumas características humanas que você acha que são hereditárias, mencionando, para cada uma delas, quais são as possíveis variedades que podemos encontrar nas pessoas.
- Uma pessoa portadora de uma mutação gênica herdada de sua mãe poderá transmitir aos seus descendentes essa mutação? Justifique sua resposta.
- Para o estudo da Genética, é fundamental a aplicação de noções de probabilidade. Como você define a probabilidade de um determinado evento ocorrer? Quais fatores devem ser considerados?

1. Introdução

No capítulo anterior comentamos a respeito da importância para a genética dos trabalhos desenvolvidos pelo monge Gregor Mendel (1822-1884) com plantas de ervilhas (Fig. 6.2). Esses trabalhos resultaram posteriormente em leis fundamentais para a genética, conhecidas atualmente como **leis de Mendel**.

O sucesso do trabalho de Mendel foi o método empregado na organização dos experimentos, associado à aplicação da estatística no tratamento dos dados.

Vamos então conhecer um pouco do trabalho desse importante monge cientista.



Chris Howes/Wild Places Photography/Alamy/Fotoarena

Figura 6.2. Fotografia do mosteiro onde Mendel realizou seus experimentos com ervilhas, em Brno (República Tcheca). Atualmente, é um museu dedicado à vida e ao trabalho de Mendel.

2. O material biológico

O material biológico escolhido por Mendel, a planta de ervilha da espécie *Pisum sativum,* apresenta características vantajosas para experimentos em genética (Fig. 6.3). É uma planta de fácil cultivo, permitindo manipulação controlada, apresenta gerações curtas, propiciando análise de várias gerações em um intervalo de tempo relativamente pequeno, e produz em cada geração grande número de descendentes, facilitando a análise estatística dos dados.

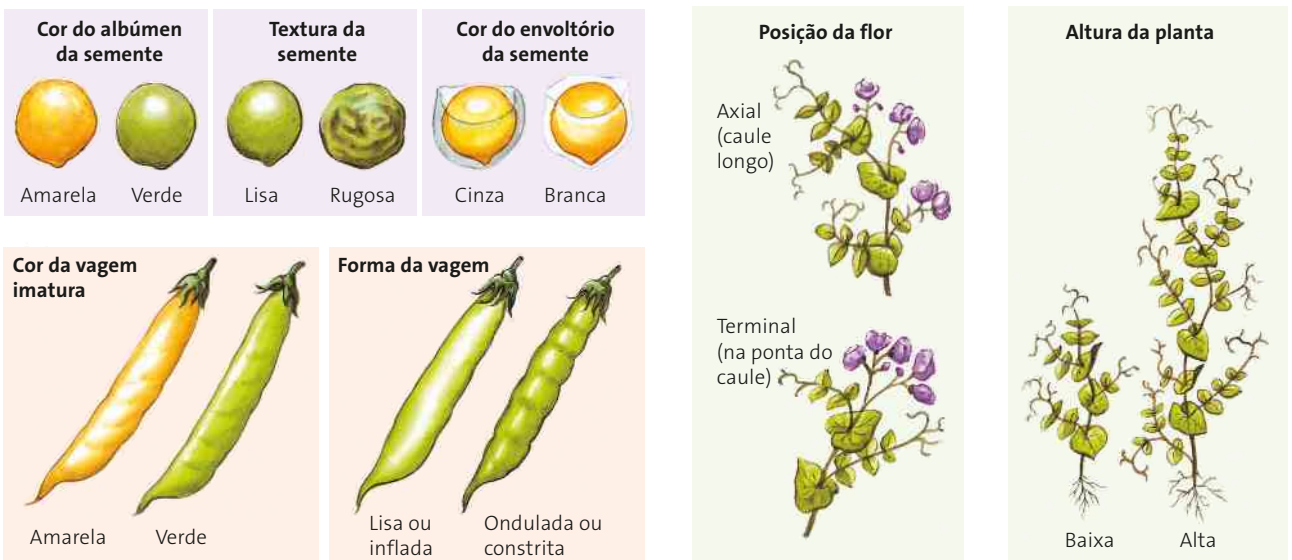
Outra condição que facilitou o trabalho de Mendel foi o tipo de flor dessa planta. Ela possui mecanismo natural de autofecundação, de modo que Mendel conseguia controlar suas linhagens e obter linhagens puras, ou seja, cujas características não variavam de uma geração para outra.

Ao analisar essas plantas, Mendel percebeu a existência de caracteres com variedades bem definidas, sem formas intermediárias, e considerou apenas esses em suas análises. Isso facilitou a interpretação de seus dados. Ele considerou sete desses caracteres, que estão apresentados na figura 6.4.



Thinet Claudius/Biosphoto/Other Images

Figura 6.3. Fotografia de planta de ervilha mostrando flores e frutos (vagens). A vagem pode ter até 10 cm de comprimento.



Ilustrações: Jurandir Ribeiro

Figura 6.4. Caracteres de plantas de ervilha *Pisum sativum* que Mendel analisou em suas experimentações. (Elementos representados em diferentes escalas; cores fantasia.)

3. O método de Mendel

Professor(a), veja nas Orientações didáticas sugestões de atividades extras sobre vários dos temas tratados neste capítulo.

O procedimento experimental de Mendel consistia em cruzar duas **linhagens puras** de plantas para um mesmo caracter. Como na ervilha a autofecundação é o processo normal de reprodução, para realizar a fecundação cruzada entre duas variedades puras, Mendel precisava evitar artificialmente a autofecundação. Para isso, cortava os estames de algumas flores pertencentes às variedades que desejava cruzar antes que esses estames amadurecessem. Depois, polinizava essas flores sem estames com o pólen produzido pelas anteras de outra flor conservada intacta (Fig. 6.5). Com isso, conseguia manter controle absoluto sobre a **geração parental**, ou seja, sobre os indivíduos que participavam do cruzamento, podendo analisar com maior precisão os caracteres nos descendentes.

Os descendentes desse primeiro cruzamento foram denominados **geração F_1**, ou seja, primeira geração de filhos. Esses indivíduos eram deixados para se autofecundar, produzindo a segunda geração ou **geração F_2**.

Pelo estudo estatístico de seus dados, Mendel verificou um padrão constante de comportamento na herança dos sete caracteres analisados, o que o levou a conclusões hoje conhecidas como primeira lei de Mendel.

Osni de Oliveira

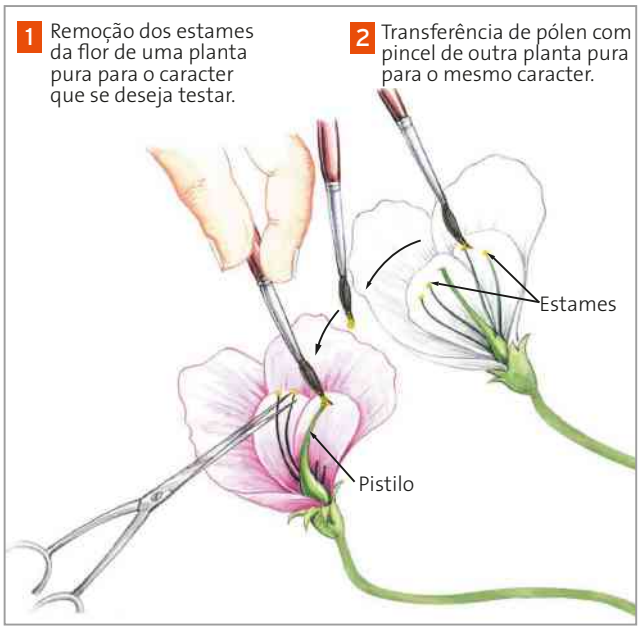


Figura 6.5. Esquema do procedimento experimental de Mendel. Fazendo manualmente a polinização entre as flores de ervilhas com os caracteres selecionados, Mendel conseguia manter controle sobre a reprodução dos indivíduos da geração parental. (Cores fantasia.)

4. A herança de um caracter

Analisaremos como exemplo dos experimentos de Mendel a herança da textura de sementes de ervilhas. Para esse caracter há duas variedades: a lisa e a rugosa.

Mendel selecionou plantas de ervilhas que, se sofressem autofecundação, formariam apenas sementes lisas, ou seja, eram plantas consideradas **puras** para esse caracter. Com base nesse critério, selecionou também plantas puras da variedade com sementes rugosas.

Ele cruzou essas plantas e verificou que todas as sementes que surgiram eram lisas; a variedade rugosa não aparecia. Essas sementes representam nesse experimento a geração F_1 de Mendel.

Em seguida, plantou essas sementes da geração F_1. Delas nasceram plantas em que Mendel deixou que a autofecundação ocorresse naturalmente.

As sementes formadas dessa autofecundação representavam a geração F_2. Mendel constatou que, nessa geração, 75% das sementes eram lisas e 25%, rugosas, o que dá uma proporção de 3 sementes lisas para 1 rugosa (3 : 1) (Fig. 6.6).

Studio Caparroz

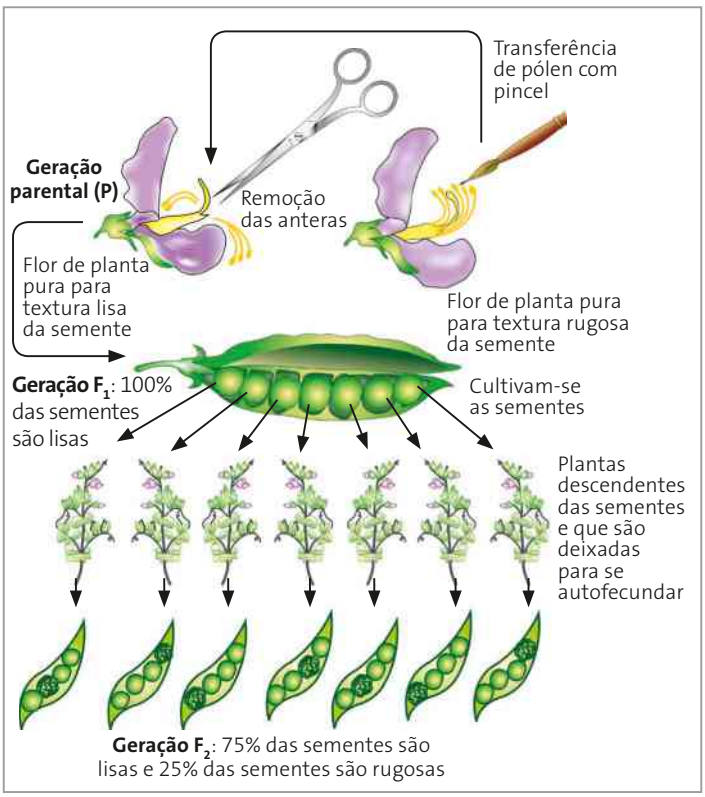


Figura 6.6. Esquema simplificado de um dos experimentos de Mendel. (Elementos representados em diferentes escalas; cores fantasia.)

Essa proporção repetiu-se para os outros seis caracteres analisados (Fig. 6.7), com pequenas variações.

Em todos os casos, as proporções obtidas em F_2 não diferiram significativamente da proporção 3 : 1. Mendel concluiu, então, que seus resultados não eram casuais, pois havia um padrão evidente.

Mendel observou também que, na geração F_1, apenas uma das variedades da geração parental se manifestava. Já na geração F_2, as duas variedades da geração parental se manifestavam, mas a variedade que não ocorria em F_1 reaparecia em apenas 25% de F_2.

Mendel denominou **variedade dominante** aquela que se manifestava na geração F_1 e **variedade recessiva** aquela que se mantinha "escondida" em F_1, só reaparecendo na geração F_2. Entre os sete caracteres analisados por Mendel, as variedades dominantes e recessivas estão resumidas na figura 6.7.

Resultados originais dos experimentos de Mendel

Caracter	Geração P (cruzamento entre duas plantas puras)	Geração F_1	Números obtidos na geração F_2 (originada da autofecundação de F_1)	Proporções reais obtidas em F_2
Textura da semente	lisa × rugosa	todas lisas	5 474 lisas 1 850 rugosas	2,96 lisas : 1 rugosa
Cor do albúmen da semente	amarela × verde	todas amarelas	6 022 amarelas 2 001 verdes	3,01 amarelas : 1 verde
Cor do envoltório da semente	cinza × branca	todas cinza	705 cinza 224 brancas	3,15 cinza : 1 branca
Forma das vagens	lisa × ondulada	todas lisas	882 lisas 299 onduladas	2,95 lisas : 1 ondulada
Cor das vagens imaturas	verde × amarela	todas verdes	428 verdes 152 amarelas	2,82 verdes : 1 amarela
Posição das flores	axilar × terminal	todas axilares	651 axilares 207 terminais	3,14 axilares : 1 terminal
Altura da planta	alta × baixa	todas altas	787 altas 277 baixas	2,84 altas : 1 baixa

Fonte: GRIFFITHS, A. J. F. *et al. Introdução à Genética*. 10. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2013.

Figura 6.7. Tabela dos resultados obtidos por Mendel para sete caracteres analisados.

Para explicar esses resultados, Mendel propôs que cada caracter é determinado por um par de fatores e que em cada variedade pura da geração parental esses fatores são iguais.

Associando letras para representar os fatores, podemos utilizar **RR** para os fatores da variedade lisa (dominante) e **rr** para a variedade rugosa (recessiva).

Na formação dos gametas, esses fatores se separam e apenas um fator de cada par vai para cada gameta:

- a variedade **RR** produz gametas que contêm apenas um fator **R**;
- a variedade **rr** produz gametas com apenas um fator **r**.

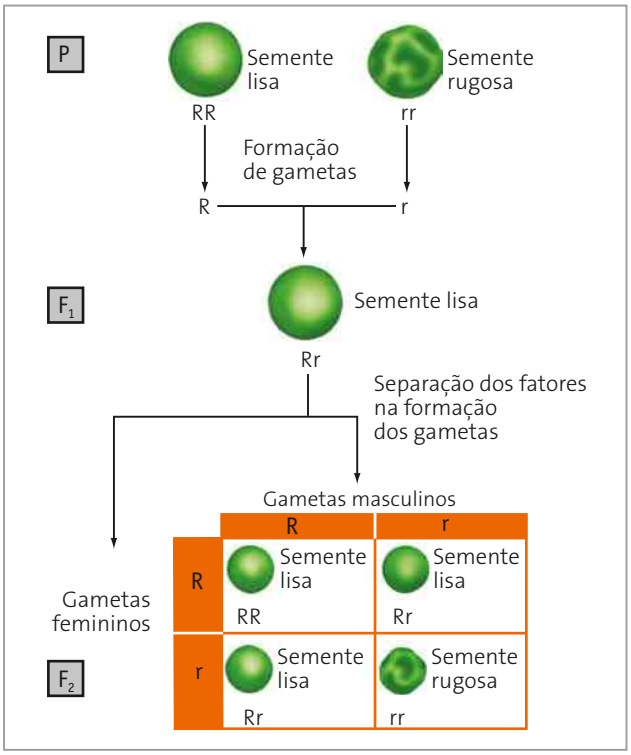
A união entre esses gametas dá origem à geração F_1 (**Rr**), que portanto será **híbrida**, ou seja, misturada por cruzamento.

Apesar de os dois fatores estarem presentes na geração F_1, só um deles se manifesta: é o fator considerado dominante. Assim, na herança da textura da semente, o fator **R** é dominante em relação ao fator **r**.

As plantas **Rr** produzem dois tipos de gameta, já que no processo de formação dessas células os pares de fatores se separam, indo um fator para cada gameta. Assim, formam-se gametas **R** e gametas **r** em proporções iguais. Na autofecundação de F_1, esses gametas unem-se ao acaso, podendo formar quatro combinações diferentes como esquematizado na figura 6.8 para a geração F_2 usando o **quadro de Punnet**.

Com base nesse raciocínio teórico, Mendel esperava obter, em F_2, $\frac{3}{4}$ dos descendentes com sementes lisas e $\frac{1}{4}$ com sementes rugosas. Essas foram as proporções obtidas na prática.

Studio Caparroz



Esse raciocínio teórico também explica os resultados dos demais experimentos com os outros seis caracteres, confirmando as explicações teóricas.

As explicações de Mendel para a herança dos sete caracteres de ervilha deram origem à **primeira lei de Mendel**, também conhecida como princípio da segregação dos fatores, princípio da pureza dos gametas, mono-hibridismo (porque considera a herança de apenas um caracter), lei da disjunção (separação) ou lei fundamental da Genética.

O enunciado da primeira lei de Mendel pode ser apresentado assim:

Primeira lei de Mendel

Cada caracter é determinado por um par de fatores que se separam na formação dos gametas, indo apenas um dos fatores do par para cada gameta, que é, portanto, puro.

Figura 6.8. Esquema de um dos experimentos de Mendel, com o quadro de Punnet para representar a geração F_2. (Cores fantasia.)

5. A relação entre a meiose e a primeira lei de Mendel

Mendel divulgou essas conclusões em 1865, antes que a meiose tivesse sido descrita. Hoje, sabemos com muitos detalhes o que são genes, cromossomos e os processos de divisão celular por meiose e mitose.

Os cromossomos existem aos pares nas células somáticas diploides do corpo dos indivíduos, e cada par é formado por **cromossomos homólogos**. Na meiose os cromossomos homólogos se separam, indo um cromossomo de cada par para uma célula-filha, que é, portanto, **haploide**.

Cada par de homólogos contém genes para os mesmos caracteres e na mesma sequência. O lugar que cada gene ocupa no cromossomo é denominado **loco** (pronuncia-se "lóco"; do latim: *locus* = lugar) **gênico**.

Cada gene pode apresentar diferentes formas ou variantes que se manifestam no organismo. Cada variante de um gene recebe o nome de **alelo**. Os alelos ocorrem aos pares nas células diploides, um em cada cromossomo homólogo.

Os alelos surgem devido a pequenas alterações na sequência de nucleotídeos de um gene. Essas alterações são as mutações gênicas já comentadas no capítulo anterior. Assim, se o alelo **A** tem a informação para determinar a síntese de um polipeptídeo **A**, o alelo **a** não tem a mesma informação; ele determina a síntese do polipeptídeo **a** (Fig. 6.9).

BIS

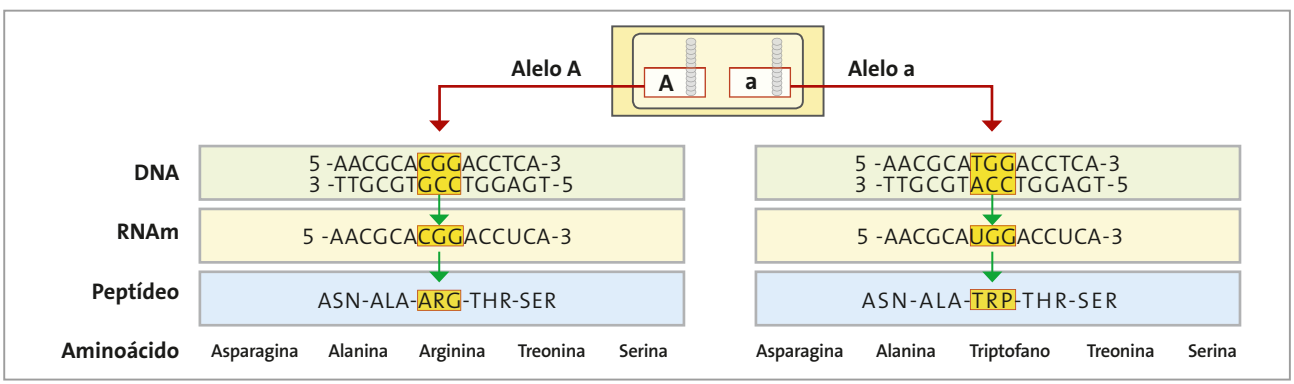


Figura 6.9. Esquema mostrando diferenças na sequência de nucleotídeos em dois alelos (**A** e **a**) de um mesmo gene e a alteração correspondente na sequência de aminoácidos no polipeptídeo.

Quando os alelos de um par são iguais, fala-se em condição **homozigótica** (para a qual Mendel usava o termo "puro") e, quando os alelos são diferentes, fala-se em condição **heterozigótica** (para a qual Mendel usava o termo "híbrido").

Assim, supondo uma célula diploide como a ilustrada na figura 6.10, nota-se que:

- **A** e **a** estão em **heterozigose**;
- **B** e **B**, e **c** e **c** estão em **homozigose**.

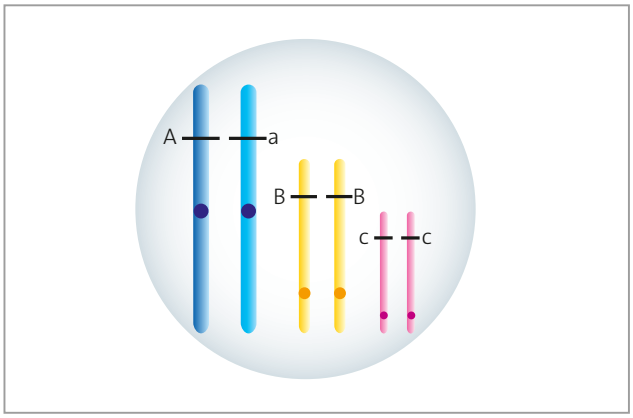
Para analisar a relação meiose-primeira lei, vamos considerar por simplificação uma célula hipotética com apenas um par de cromossomos homólogos, em que se destaca um par de alelos.

A meiose é um tipo de divisão celular em que podem ser definidas duas fases: a meiose I e a meiose II.

Na **meiose I** (Fig. 6.11) os cromossomos homólogos, duplicados na interfase, emparelham-se; em seguida a célula divide-se em duas, e os cromossomos homólogos duplicados se separam. Por haver separação dos homólogos nessa fase da meiose, ela é também chamada **fase reducional**, pois há redução do número de cromossomos.

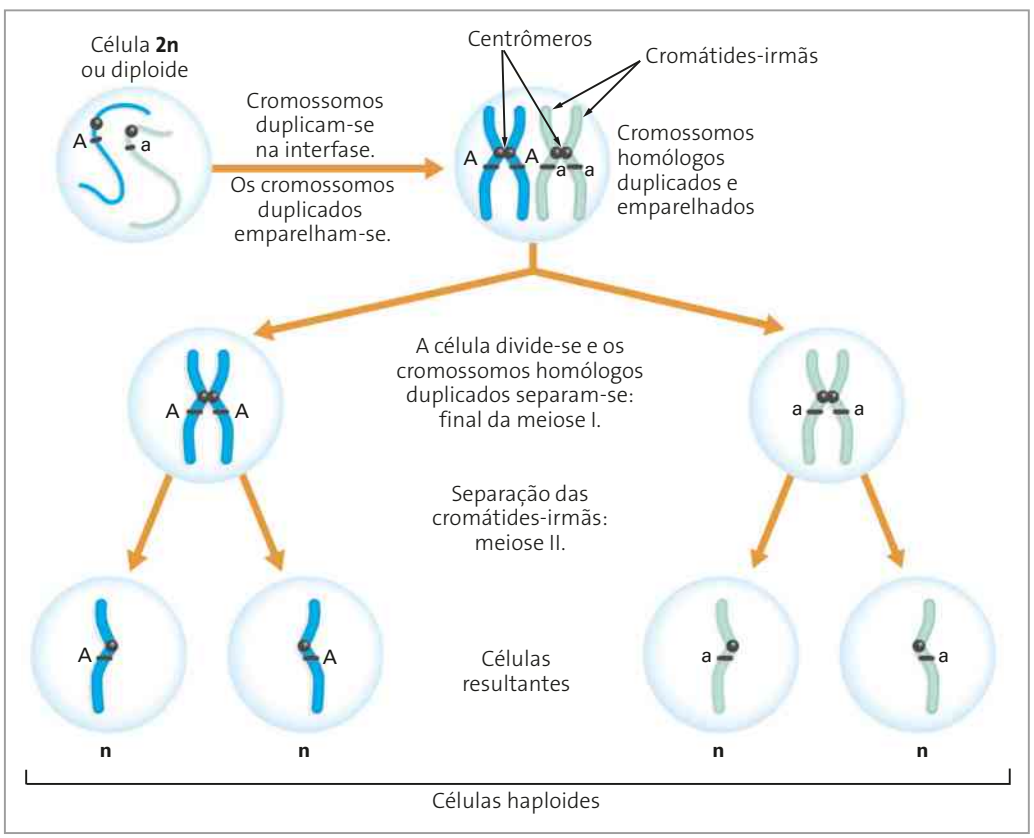
Terminada a meiose I, inicia-se a **meiose II** (também na figura 6.11, na qual ocorre a separação das **cromátides-irmãs**, acompanhada de divisão celular: cada célula proveniente da meiose I dá origem a duas outras células. Essa fase da meiose é também chamada **fase equacional**, pois, de uma célula com **n** cromossomos duplicados, formam-se duas células com **n** cromossomos não duplicados.

Ao final da meiose de uma célula diploide formam-se, portanto, quatro células haploides. No exemplo dado destacamos os alelos **A** e **a**, podendo-se observar que eles se separam na meiose por causa da separação dos cromossomos homólogos: 50% das células resultantes carregam o alelo **A** e 50%, o alelo **a**.



Studio Caparroz

Figura 6.10. Esquema de célula diploide (2n) com 6 cromossomos ou 3 pares de cromossomos homólogos e a indicação dos locos de três genes. Apenas os cromossomos foram destacados, sem a preocupação de representar o núcleo e outras estruturas celulares. Essa simbologia será a que adotaremos nos demais capítulos deste livro. (Cores fantasia.)



Studio Caparroz

Visando melhor entendimento da separação dos alelos na meiose, não foram representadas ocorrências de permutação.

Figura 6.11. Esquema simplificado de meiose, usando como exemplo uma célula imaginária com apenas um par de cromossomos homólogos, em que se destaca um par de alelos. (Elementos representados em diferentes escalas; cores fantasia.)

6. Alguns termos importantes em Genética

Vamos introduzir, agora, termos utilizados em Genética que devem ser bem assimilados.

6.1. Fenótipo e genótipo

Os termos **caracter** ou **característica** são usados em Genética para designar qualquer particularidade de um indivíduo. A cor de uma flor é um caracter de uma planta; o tipo de cabelo, a cor dos olhos e o grupo sanguíneo são caracteres de uma pessoa.

Um mesmo caracter pode apresentar duas ou mais variedades, ou **fenótipos**. Assim, para o caracter grupo sanguíneo do sistema **ABO** pode haver quatro fenótipos: **grupo A**, **grupo B**, **grupo AB** e **grupo O**.

O termo fenótipo pode ser aplicado tanto ao conjunto das variedades e dos caracteres manifestados em um organismo como à variedade de cada caracter em particular. Os caracteres nem sempre são visíveis. Para determinar o grupo sanguíneo a que um indivíduo pertence, por exemplo, é necessário realizar testes específicos.

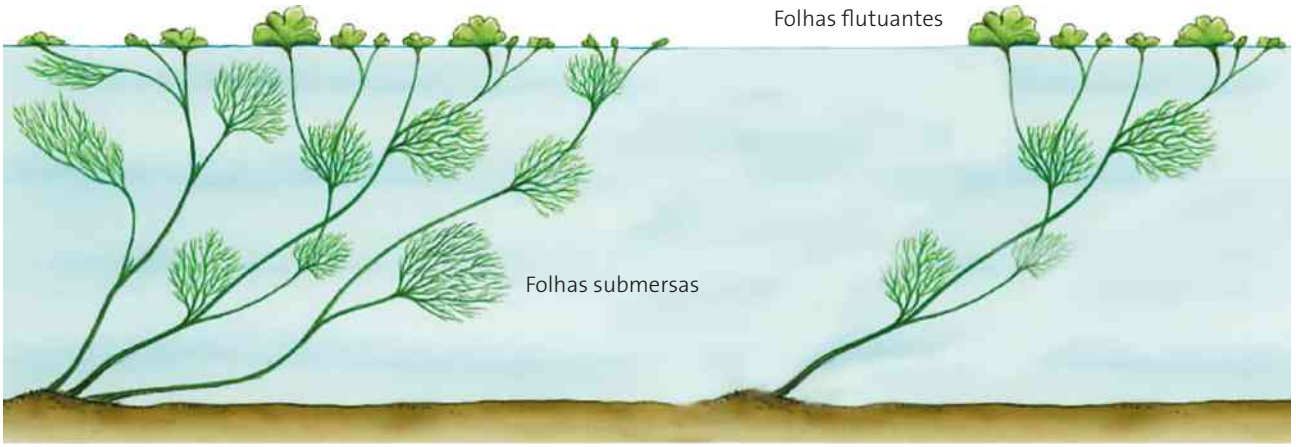
O termo **genótipo** pode ser aplicado tanto ao conjunto total de genes de um indivíduo como a cada par de alelos em particular.

Os filhos herdam dos pais determinado genótipo, que tem a potencialidade de expressar um fenótipo. Um mesmo genótipo pode expressar diferentes fenótipos, dependendo de sua interação com o meio. Portanto, o genótipo determina uma escala de variedades fenotípicas para o indivíduo, e o meio ambiente determina o ponto dessa escala em que o indivíduo está. Esse mecanismo corresponde ao que se chama de **norma de reação**.

O meio não é somente o ambiente externo ao corpo do indivíduo. É também tudo o que cerca os cromossomos: o nucleoplasma, o citoplasma, o corpo do organismo.

Fenótipo = Genótipo + Meio

Um exemplo que mostra a ação do ambiente modificando o fenótipo do indivíduo pode ser observado na figura 6.12. Na planta aquática representada, as folhas flutuantes são inteiriças, enquanto as folhas submersas são filamentosas. O genótipo é o mesmo, mas o fenótipo é diferente pela atuação do meio.



Jurandir Ribeiro

Figura 6.12. Esquema da planta aquática da espécie *Ranunculus aquatilis*. (Cores fantasia.)

Os gatos siameses fornecem outro exemplo da atuação do meio ambiente no genótipo. Esses animais possuem as extremidades do corpo (focinho, orelhas, patas e cauda) com pelos pretos e o resto do corpo com pelos mais claros. A cor do pelo deve-se à presença de pigmento, cuja síntese está associada à ação de um gene que só se manifesta nas áreas do corpo com temperatura mais baixa. Nas demais regiões do corpo o gene não atua. Nesse exemplo, o meio ambiente determina quando, como e se o gene vai se manifestar (Fig. 6.13).



Thinkstock/Getty Images

Figura 6.13. Fotografia de gato siamês, raça originada no antigo Sião, na região onde hoje é a Tailândia.

Colocando em foco

GENES E AMBIENTE

O fenótipo de um indivíduo depende não só de seus genes (genótipo), mas também da ação do ambiente. Existem condições genéticas que se manifestam quase sem interferência do meio, caso da mutação que leva à distrofia muscular, e características que dependem basicamente do ambiente, como o idioma que falamos. No entanto, os conhecimentos sobre o genoma humano têm mostrado que a grande maioria dos fenótipos depende da interação entre vários genes e da influência de fatores ambientais.

A atuação do ambiente pode ocorrer não apenas em genes, mas na extremidade dos cromossomos, chamadas **telômeros** (do grego: *telos* = extremidade, final; *meros* = parte), que são sequências repetitivas de DNA que protegem as extremidades dos cromossomos. Em cada divisão celular por mitose há o encurtamento natural dessas pontas dos cromossomos, o que leva a alterações nas funções celulares.

A descoberta dos telômeros, de como eles são recuperados e de sua importância rendeu em 2009 o prêmio Nobel em Fisiologia e Medicina a Elizabeth H. Blackburn (1948-) Carol W. Greider (1961-) e Jack W. Szostak (1952-). Esses pesquisadores verificaram que, antes de cada mitose, na duplicação do DNA que ocorre na interfase, a ponta de cada cromossomo é duplicada por uma enzima especial chamada **telomerase**. Essa enzima é formada por proteína e por uma molécula curta de RNA, que serve como molde para a síntese da sequência de nucleotídeos da ponta do DNA, recuperando o telômero (Fig. 6.14).

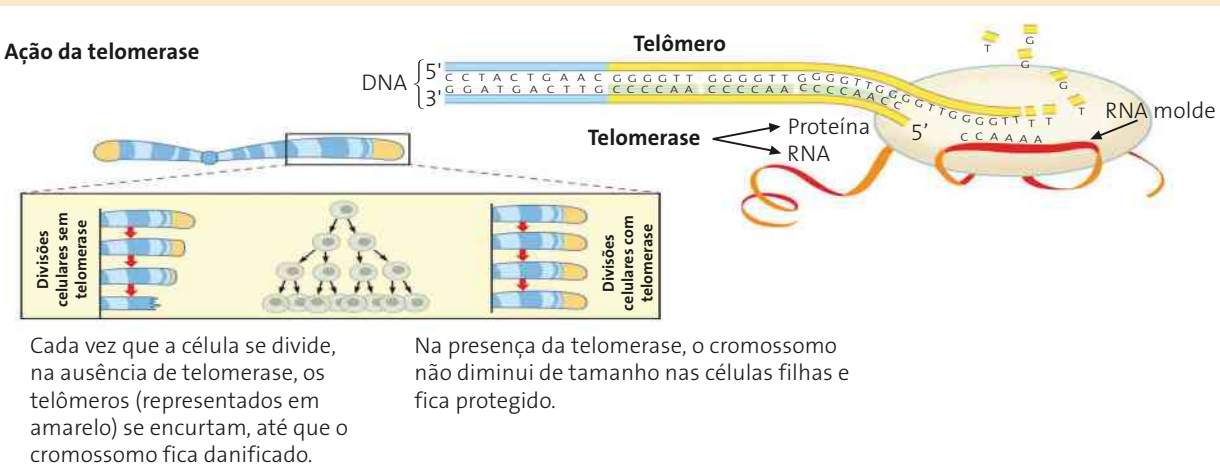


Figura 6.14. Esquema mostrando a localização dos telômeros, o que ocorre ao longo de várias mitoses a partir de uma célula inicial sem e com a atuação da telomerase, e um detalhe de um telômero destacando a ação da telomerase. Adaptado do comitê do Prêmio Nobel em Fisiologia e Medicina de 2009. (Elementos representados em diferentes escalas; cores fantasia.)

Recentemente, verificou-se que o aumento do estresse acelera o encurtamento dos telômeros. Para falar sobre isso, selecionamos trechos do artigo a seguir.

Como andam seus telômeros?

Estudos recentes mostraram que, além das marcas mais visíveis no corpo, o estresse crônico nos afeta em nível molecular, encurtando o tamanho dos telômeros, o que parece valer também para outros animais. [...]

Devido às peculiaridades da enzima DNA polimerase envolvida na duplicação do DNA, que ocorre antes da divisão celular, se não houver ajuda de outra enzima, a telomerase, haveria um encurtamento progressivo dos cromossomos à medida que as gerações de células se sucedessem. Se isso ocorresse, os cromossomos atingiriam prematuramente um limite crítico de tamanho que os tornaria instáveis, o que comprometeria o funcionamento das células e as levaria à morte.

Sem a telomerase, a DNA polimerase só é capaz de realizar a replicação até quase o final da cadeia, deixando um pequeno trecho sem cópia nova. A telomerase evita essa situação esticando um pouco mais as extremidades do DNA, o que permite então a duplicação integral das cadeias.

Entretanto, nem mesmo a telomerase evita que, ao longo da vida de um indivíduo, o DNA vá diminuindo gradualmente. Esse processo (a diminuição dos telômeros) é um entre tantos outros que refletem em nível molecular o desgaste ocorrido nas células e que leva à parada de suas funções.

A telomerase comporia assim um sistema de reparo do DNA, mas nem sempre atuante. Ou seja, as nossas células seguem ao longo de suas vidas um programa que compreende o equilíbrio entre reações de preservação e de desgaste do material genético. No final, prevalece o desgaste e a senescência daí decorrente.

Vulnerabilidade ao ambiente

Alguns dados da literatura científica destacam o fato de que esse programa de vida das células pode ser alterado diretamente por fatores externos, como o estresse gerado pela simples interface formada entre o indivíduo e o seu ambiente mais imediato. Estamos assim diante de uma situação nova, na qual se percebe que os cromossomos, que acreditávamos estar alojados e protegidos nos núcleos das células, se revelam na verdade como entidades bem vulneráveis e sensíveis às intempéries ligadas a diferentes estilos de vida.

[...]

Fica evidente que, longe de ser o grande ditador, o genoma de um indivíduo é um parceiro bastante plástico, o que reforça a ideia de que a discussão *nature* × *nurture* (natureza × ambiente) está longe de ser resolvida.

RUMJANEK, F. *Revista Ciência Hoje*, 26 abr. 2013.
Disponível em: <http://cienciahoje.uol.com.br/revista-ch/2013/302/como-andam-seus-telomeros>. Acesso em: mar. 2016.

6.2. Dominância e recessividade

Quando um alelo só se manifesta em homozigose, dizemos que ele é recessivo. O alelo dominante se expressa tanto na condição homozigótica quanto na heterozigótica.

- **Alelo dominante**: determina o mesmo fenótipo, tanto em homozigose como em heterozigose.
- **Alelo recessivo**: só se expressa quando está em homozigose.

O fato de um alelo ser dominante não significa que ele condicione uma característica "melhor" do que o alelo recessivo. Na espécie humana existem muitos alelos dominantes que causam doenças graves, enquanto alelos recessivos condicionam fenótipo normal e sadio. Além disso, não há relação entre dominância e frequência do alelo na população, pois alelos dominantes podem ser raros e alelos recessivos, mais frequentes.

A simbologia usada para representar os alelos é bastante variada. Uma representação muito empregada consiste em adotar letra maiúscula para indicar o alelo dominante e letra minúscula para o alelo recessivo, sendo a letra maiúscula sempre colocada antes da minúscula. Por exemplo: escreve-se **Aa**, e não **aA**.

Nesses casos, frequentemente a letra escolhida para designar os alelos é a que inicia a palavra que denomina o fenótipo recessivo. Assim, se o fenótipo recessivo para uma característica for o branco, as letras utilizadas para os alelos serão **B** e **b**.

Colocando em foco

DOMINÂNCIA E RECESSIVIDADE EM TERMOS MOLECULARES

O fenômeno da dominância está relacionado ao papel funcional da enzima produzida pelos alelos dominante e recessivo de cada par de alelos.

Se o alelo dominante **A** codifica uma enzima **A**, que catalisa determinada reação bioquímica, seu alelo **a** codifica uma enzima inativa, incapaz de catalisar essa mesma reação. Como uma pequena quantidade de enzimas já é suficiente para catalisar a reação, tanto indivíduos **AA** como **Aa** apresentam o mesmo fenótipo, embora nos indivíduos **AA** exista o dobro da quantidade de enzimas **A** em relação aos indivíduos **Aa**. Já os homozigotos recessivos **aa**, por produzirem enzimas inativas, apresentam um fenótipo diferente para esse caracter (Fig. 6.15).

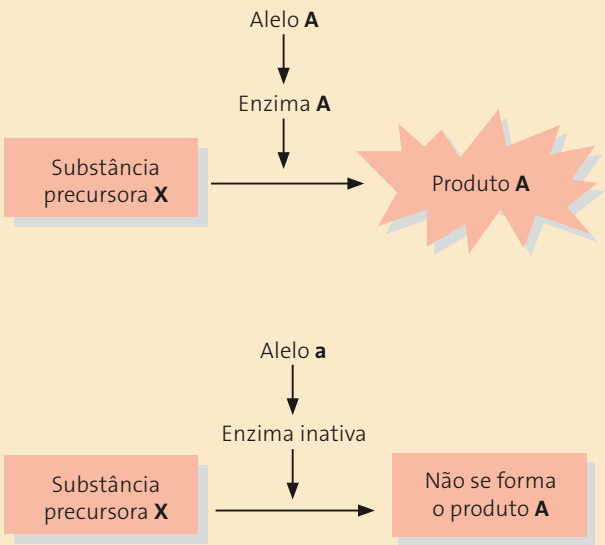


Figura 6.15. Esquema de atuação de alelos dominantes e recessivos.

Tomando como exemplo a herança da textura da semente em ervilhas, o alelo dominante é transcrito em moléculas de RNA que são traduzidas em um tipo de enzima que ajuda a converter açúcar em amido na semente. O alelo recessivo codifica uma forma inativa dessa enzima. Dessa maneira, no homozigoto recessivo, o açúcar fica acumulado na semente e não é convertido em amido. À medida que a semente se desenvolve, o alto teor de açúcar provoca grande absorção de água por osmose e a semente assume o aspecto inchado. Entretanto, à medida que amadurece, a semente perde água, o que dá a ela o aspecto rugoso. A presença de pelo menos um alelo dominante já é suficiente para a produção de enzimas ativas em quantidades ideais para que ocorra a síntese de amido a partir do açúcar e para a semente apresentar o aspecto liso. Dessa maneira, tanto o homozigoto dominante quanto o heterozigoto formam sementes lisas.

7. Noções de probabilidade

Mendel foi um dos primeiros a usar métodos estatísticos na Biologia, fator que pode ser considerado um dos motivos do sucesso de seu trabalho. O uso de métodos experimentais e estatísticos foi de grande influência na história da Genética.

Uma das partes da estatística é a que estuda a probabilidade. A **teoria da probabilidade** é usada para estimar matematicamente resultados de eventos que ocorrem ao acaso, como o lançamento de um dado não viciado. A previsão de resultados é feita com base em grande número de repetições dos eventos. Quanto maior for o número de repetições, mais precisa será a previsão dos resultados.

A probabilidade de um evento ocorrer é determinada pelo quociente entre o número de eventos desejados e o número total de eventos possíveis, que constitui o espaço amostral.

Os elementos que compõem o espaço amostral devem ter a mesma chance de ocorrência.

$$\text{Probabilidade de um evento ocorrer (P)} = \frac{\text{Número de eventos desejados (A)}}{\text{Número total de eventos possíveis (S)}}$$

ou

$$P(A) = \frac{A}{S}$$

Tomando como exemplo o lançamento de um dado não viciado, em que todas as faces têm a mesma chance de ocorrer, podemos calcular a probabilidade de uma das faces ficar voltada para cima; por exemplo, a face 6.

A = evento desejado → face 6
S = (faces 1, 2, 3, 4, 5, 6) → eventos possíveis ou espaço amostral
P = probabilidade
Número de eventos desejados = 1
Número total de eventos possíveis = 6

Logo: $P(\text{face 6}) = \frac{1}{6}$

A probabilidade de ocorrer o número 6 no lançamento de um dado é, portanto, de uma em seis.

As probabilidades de os eventos ocorrerem referem-se a resultados esperados, mas os obtidos na prática não são exatamente os previstos.

Os **resultados obtidos** aproximam-se dos **resultados esperados** à medida que aumenta o número de repetições de eventos.

Por isso, em experimentações genéticas escolhem-se organismos que têm ciclo reprodutivo rápido, com muitos descendentes em cada ciclo. Nesse sentido, a planta de ervilha escolhida por Mendel foi bastante adequada, pois ela atende a esses dois requisitos básicos.

Convém salientar que todas as **proporções esperadas** nos cruzamentos indicam simplesmente sua probabilidade de ocorrer. Quando se diz que uma proporção fenotípica é 3 : 1, não significa que um casal com 4 filhos terá obrigatoriamente 3 deles com fenótipo dominante e 1 com recessivo. A proporção indica apenas que cada filho desse casal tem 3 chances em 4 de apresentar o fenótipo dominante e 1 chance em 4 de apresentar o recessivo. Além disso, esse casal pode ter 4 filhos com o mesmo fenótipo para determinada característica. Entretanto, quanto maior for o número de filhos (assim como quanto maior o número de repetições dos eventos), a proporção fenotípica ficará mais próxima da proporção 3 : 1.

7.1. Regra da adição ou regra do "OU"

Até aqui nos referimos à probabilidade de ocorrer apenas um evento. Entretanto, é possível saber qual a probabilidade de ocorrer um **ou** outro evento. Por exemplo: qual a probabilidade de sair o número 2 **ou** o número 5 em um lançamento de dado?

Nesse caso consideram-se dois eventos: **ou** o número 2 **ou** o 5. Esses eventos não ocorrem juntos, pois, se sair o número 2, não sairá o número 5. Assim, eles são mutuamente exclusivos.

A probabilidade de que aconteçam eventos mutuamente exclusivos é dada pela **soma** das probabilidades isoladas de cada evento. No exemplo dado, a probabilidade de sair 2 **ou** 5 no lançamento do dado será:

$$P(2) = \frac{1}{6}$$

$$P(5) = \frac{1}{6}$$

$$P(2 \textbf{ ou } 5) = \frac{1}{6} + \frac{1}{6} = \frac{2}{6} = \boxed{\frac{1}{3}}$$

Regra da adição ou regra do "OU"

A probabilidade de ocorrerem eventos mutuamente exclusivos é dada pela soma das probabilidades isoladas de cada evento: P (A **ou** B) = P (A) + P (B).

7.2. Regra da multiplicação ou regra do "E"

Eventos iguais

É possível saber a probabilidade de que aconteçam dois **eventos independentes e iguais**. Por exemplo, sair o número 6 em dois dados lançados ao mesmo tempo. Os eventos são independentes, pois o fato de aparecer o número 6 em um dado não interfere na chance de sair o número 6 em outro dado. Portanto, buscamos a chance de ocorrer 6 **e** 6, ou seja, um evento **e** outro. Nesses casos a probabilidade é obtida pela **multiplicação** das probabilidades isoladas.

$$P(6) = \frac{1}{6}$$

$$P(6 \textbf{ e } 6) = \frac{1}{6} \times \frac{1}{6} = \boxed{\frac{1}{36}}$$

Eventos diferentes

No exemplo dado (6 **e** 6), calculamos a probabilidade de ocorrerem **dois eventos iguais e independentes**.

Vejamos agora como se calcula a probabilidade de **dois eventos diferentes e independentes** ocorrerem juntos. Nesse caso devem ser considerados dois tipos de situações:

- uma em que a ordem dos eventos é importante;
- outra em que a ordem não é importante.

Quando a ordem importa

Calculemos a probabilidade de obter o número 1 em um lançamento de um dado e, a seguir, o número 6 em outro dado. Nesse caso o espaço amostral, ou seja, os eventos possíveis, são:

S = [(1, 1) (1, 2) (1, 3) (1, 4) (1, 5) (**1**, **6**)
(2, 1) (2, 2) (2, 3) (2, 4) (2, 5) (2, 6)
(3, 1) (3, 2) (3, 3) (3, 4) (3, 5) (3, 6)
(4, 1) (4, 2) (4, 3) (4, 4) (4, 5) (4, 6)
(5, 1) (5, 2) (5, 3) (5, 4) (5, 5) (5, 6)
(6, 1) (6, 2) (6, 3) (6, 4) (6, 5) (6, 6)]

O resultado desejado está em negrito e corresponde a 1 evento em 36.

$$P(1 \textbf{ e } 6) = \frac{1}{36}$$

Podemos calcular essa probabilidade de modo mais simples, sem escrever todo o espaço amostral:

$$P(1) = \frac{1}{6} \qquad P(6) = \frac{1}{6}$$

$$P(1 \textbf{ e } 6) = \frac{1}{6} \times \frac{1}{6} = \boxed{\frac{1}{36}}$$

Quando a ordem não importa

Se desejássemos saber qual a probabilidade de ocorrer o número 1 e o número 6 sem especificar a ordem, poderíamos considerar como eventos favoráveis tanto (1 **e** 6) como (6 **e** 1). Nesse caso o cálculo da probabilidade deverá ser feito da seguinte maneira:

$$P(1\ \textbf{e}\ 6) = \frac{1}{36} \qquad P(6\ \textbf{e}\ 1) = \frac{1}{36}$$

$$P(1\ \textbf{e}\ 6)\ \textbf{ou}\ (6\ \textbf{e}\ 1) = \frac{1}{36} + \frac{1}{36} = \frac{2}{36} = \boxed{\frac{1}{18}}$$

Regra da multiplicação ou regra do "E"

Para calcular a probabilidade de ocorrerem dois ou mais eventos independentes, deve-se considerar as diferentes situações:

- Deseja-se o mesmo evento: A **e** A, 1 e 1 etc.: $P(A\ \textbf{e}\ A) = P(A) \times P(A)$
- Desejam-se eventos diferentes: A **e** B, 1 **e** 2 etc.
  - — se a ordem for importante: $(1º\ A\ \textbf{e}\ 2º\ B) = P(A) \times P(B)$
  - — se a ordem não for importante, aceita-se: $(1º\ A\ \textbf{e}\ 2º\ B)\ \textbf{ou}\ (1º\ B\ \textbf{e}\ 2º\ A) = P(A\ \textbf{e}\ B)\ \textbf{ou}\ (B\ \textbf{e}\ A) = [P(A) \times P(B)] + [P(B) \times P(A)]$

Professor(a), realize com os estudantes a atividade extra "Probabilidades", descrita no item de Sugestões de atividades extras para este volume, nas Orientações didáticas. A atividade permite evidenciar a importância da repetição de eventos.

8. Probabilidade e primeira lei de Mendel

Vamos retomar a experimentação de Mendel, dada como exemplo neste capítulo, e aplicar a ela as noções de probabilidade estudadas.

Na geração parental, os indivíduos são homozigóticos, sendo que os com sementes lisas são homozigóticos dominantes e os com sementes rugosas, homozigóticos recessivos. Como decorrência da meiose, o indivíduo **RR** produz apenas gametas **R**, e o indivíduo **rr**, apenas gametas **r**. Assim, no primeiro caso, a probabilidade de ocorrer gameta **R** é 100% ou 1 e, no segundo caso, a probabilidade de ocorrer o gameta **r** também é 100% ou 1.

A probabilidade de um gameta **R** e um gameta **r** se encontrarem é dada pela multiplicação das probabilidades isoladas:

$$P(\text{gameta } \textbf{R}) = 1 \qquad P(\text{gameta } \textbf{r}) = 1$$

$$P(Rr) = 1 \times 1 = \boxed{1}$$

Na geração F_1 espera-se que 100% dos indivíduos sejam **Rr**, o que realmente foi obtido por Mendel.

Cada indivíduo **Rr** produz 50% de gametas **R** e 50% de gametas **r**, pois os alelos se separam na meiose.

$$P(\text{gameta } \textbf{R}) = \boxed{\frac{1}{2}} \qquad P(\text{gameta } \textbf{r}) = \boxed{\frac{1}{2}}$$

Esses indivíduos originam gametas masculinos e femininos que se encontram ao acaso, podendo-se obter as combinações a seguir.

Rr

Gametas femininos \ Gametas masculinos	$\frac{1}{2}$ R	$\frac{1}{2}$ r
$\frac{1}{2}$ R	$\frac{1}{2} \times \frac{1}{2} = \frac{1}{4}$ RR	$\frac{1}{2} \times \frac{1}{2} = \frac{1}{4}$ Rr
$\frac{1}{2}$ r	$\frac{1}{2} \times \frac{1}{2} = \frac{1}{4}$ rR	$\frac{1}{2} \times \frac{1}{2} = \frac{1}{4}$ rr

A probabilidade de um gameta masculino **R** encontrar um feminino **R** é dada pela multiplicação das probabilidades de ocorrência de cada gameta. O mesmo raciocínio é aplicado para a probabilidade de um gameta **r** encontrar outro gameta **r**.

$$P(R\ \textbf{e}\ R) = P(R) \times P(R) = \frac{1}{2} \times \frac{1}{2} = \boxed{\frac{1}{4}}$$

$$P(r\ \textbf{e}\ r) = P(r) \times P(r) = \frac{1}{2} \times \frac{1}{2} = \boxed{\frac{1}{4}}$$

Esses são casos de probabilidade de eventos **independentes** e **iguais**.

Para os heterozigóticos, mais uma etapa deve ser acrescentada. Aqui apresentam-se duas possibilidades: o gameta masculino **R** pode encontrar o gameta feminino **r** ou o gameta masculino **r** pode encontrar o gameta feminino **R**. Nos dois casos formam-se heterozigotos.

Assim, calculamos isoladamente cada uma das possibilidades e, em seguida, efetuamos a soma: é a regra das probabilidades de ocorrência de dois eventos independentes e diferentes, em que a ordem não é importante.

$$P(R \textbf{ e } r) = \frac{1}{2} \times \frac{1}{2} = \frac{1}{4}$$

$$P(r \textbf{ e } R) = \frac{1}{2} \times \frac{1}{2} = \frac{1}{4}$$

$$P(Rr) = P(R \textbf{ e } r) + P(r \textbf{ e } R)$$

$$P(Rr) = \frac{1}{4} + \frac{1}{4} = \frac{2}{4} = \boxed{\frac{1}{2}}$$

As proporções **genotípicas** esperadas na geração F_2 de Mendel são, portanto:

$$\boxed{\frac{1}{4}}\ RR : \boxed{\frac{2}{4}}\ Rr : \boxed{\frac{1}{4}}\ rr$$

ou simplesmente 1 : 2 : 1

Essas foram as proporções obtidas por Mendel.

Para calcular as proporções **fenotípicas**, utiliza-se a regra dos eventos mutuamente exclusivos: a probabilidade de ocorrer semente lisa é dada pela **soma** da probabilidade de ocorrer o genótipo **RR** ou o **Rr**.

$$P(\text{lisa}) = P(RR) + P(Rr)$$

$$P(\text{lisa}) = \frac{1}{4} + \frac{2}{4}$$

$$P(\text{lisa}) = \boxed{\frac{3}{4}}$$

A probabilidade de ocorrer semente rugosa em F_2 é obtida apenas pelo genótipo **rr**, que representa $\frac{1}{4}$.

As proporções fenotípicas esperadas na geração F_2 de Mendel são, portanto:

$$\frac{3}{4}\ \text{lisa} : \frac{1}{4}\ \text{rugosa}$$

ou simplesmente 3 : 1

Novamente, essas foram as proporções obtidas por Mendel.

Despertando ideias

Professor(a), veja nas Orientações didáticas os comentários e as respostas das questões dissertativas.

REGISTRE NO CADERNO

Como fazer o quadro de Punnet

O quadro de Punnet é uma ferramenta que auxilia na previsão das combinações genotípicas e fenotípicas que podem surgir nos cruzamentos genéticos. Já usamos esse quadro algumas vezes, mas vamos reforçar aqui como deve ser construído e interpretado, pois ele o ajudará muito no estudo dos demais tipos de herança, além da primeira lei de Mendel.

Vamos partir do seguinte problema.

Suponha que a capacidade de enrolar a língua na espécie humana seja determinada por um par de alelos com relação de dominância completa e que o alelo dominante seja o que se relaciona com essa capacidade. Sobre isso, um casal heterozigótico Aa quer saber:

a) qual é a probabilidade de ter um descendente com a capacidade de enrolar a língua?

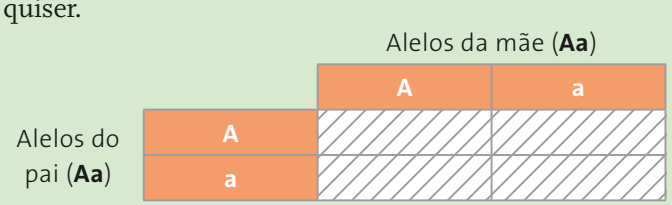
b) qual é a probabilidade de ter um descendente sem a capacidade de enrolar a língua?

c) qual é a probabilidade de ter um descendente homozigótico?

Faça em seu caderno os passos a seguir:

1. Desenhe um quadro com 3 linhas e 3 colunas. Cada retângulo formado chama-se célula do quadro. A célula do quadro referente à primeira linha e à primeira coluna não é utilizada para o quadro de Punnet.

2. Escreva cada um dos alelos dos pais em uma célula, como no modelo abaixo. Neste exemplo, vamos representar os alelos da mãe usando as colunas e os alelos do pai usando as linhas. Você pode inverter essa ordem, se quiser.



3. As quatro células restantes representam os genótipos possíveis resultantes do cruzamento. Cada uma delas deve ser preenchida com dois alelos, um vindo da mãe (valor da coluna) e um vindo do pai (valor da linha). Nos indivíduos heterozigóticos, mantenha sempre a letra maiúscula antes da minúscula.

Agora, com base no quadro preenchido, determine o que é pedido nos itens **a**, **b** e **c**.

8.1. Resolvendo problemas: probabilidade condicional

Vamos analisar agora os casos de probabilidade condicional, frequentes em problemas de Genética. Essa análise será feita pela resolução do seguinte problema:

(Fuvest-SP) Uma planta heterozigótica de ervilha com vagens infladas produziu, por autofecundação, descendência constituída de dois tipos de indivíduos, com vagens infladas e com vagens achatadas.

a) Tomando ao acaso um desses descendentes, qual a probabilidade de ele ser heterozigótico?

b) Tomando ao acaso um descendente com vagens infladas, qual a probabilidade de ele ser homozigótico?

***Respostas**:*

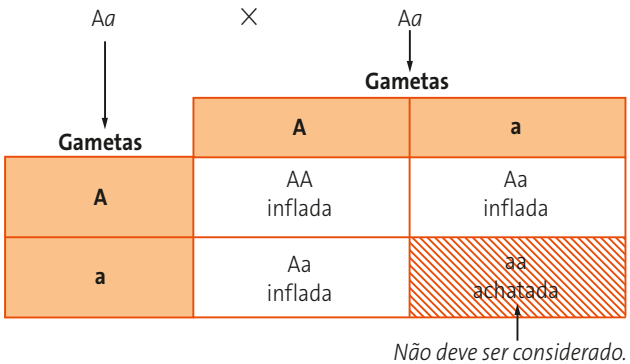
a) Da autofecundação de heterozigotos resultam, em termos de probabilidade, 50% de indivíduos homozigóticos e 50% de heterozigóticos, segundo a primeira lei de Mendel.

***Geração P**: Aa × Aa*

***Geração F_1**: $\frac{1}{4}$ AA : $\frac{2}{4}$ Aa : $\frac{1}{4}$ aa*

A probabilidade de um descendente, tomado ao acaso, ser heterozigótico é de 50%, ou seja, $\frac{1}{2}$.

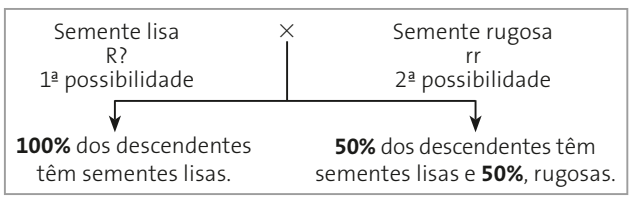
*b) Cuidado! O problema não pede a probabilidade de um indivíduo tomado ao acaso ser homozigótico, em que a resposta seria 50%. O problema propõe um caso de **probabilidade condicional**, em que existe uma condição já definida: as vagens são infladas. Os indivíduos de vagens achatadas (comprimidas) são excluídos. Entre os indivíduos com vagens infladas, $\frac{1}{3}$ é homozigótico (**AA**) e $\frac{2}{3}$ são heterozigóticos (**Aa**).*



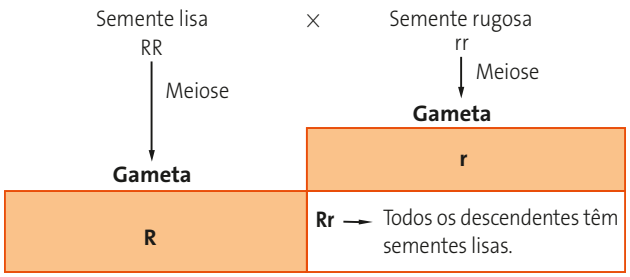
A probabilidade de um descendente, tomado ao acaso, ser heterozigótico é $\frac{1}{3}$.

9. Cruzamento-teste e retrocruzamento

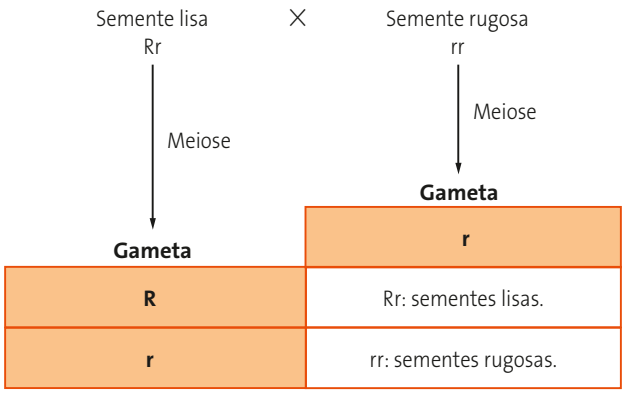
O **cruzamento-teste** permite determinar o genótipo dos indivíduos com fenótipo dominante, pois eles podem ser homozigóticos ou heterozigóticos. Para isso, esses indivíduos são cruzados com indivíduos recessivos para a característica, e então a descendência é analisada.



Pela análise da primeira possibilidade podemos concluir que, se todos os descendentes têm sementes lisas, o genitor cujo genótipo se pretende descobrir é homozigótico RR, pois:



Pela análise da segunda possibilidade, podemos concluir que o genitor com fenótipo dominante é heterozigótico **Rr**, pois:



O **retrocruzamento** refere-se ao cruzamento de indivíduos da geração F_1 com um de seus genitores ou com indivíduos de genótipo idêntico ao de um dos genitores. Retrocruzamento e cruzamento-teste são sinônimos apenas quando se cruzam indivíduos da geração F_1 que apresentam fenótipo dominante com indivíduos da geração parental cujo fenótipo é recessivo.

10. Genealogias ou heredogramas

Genealogias ou **heredogramas** são representações gráficas da herança de uma ou mais características genéticas ao longo de gerações. A genealogia apresentada a seguir foi montada visando fornecer todos os símbolos que podem ser utilizados em sua construção (Fig. 6.16).

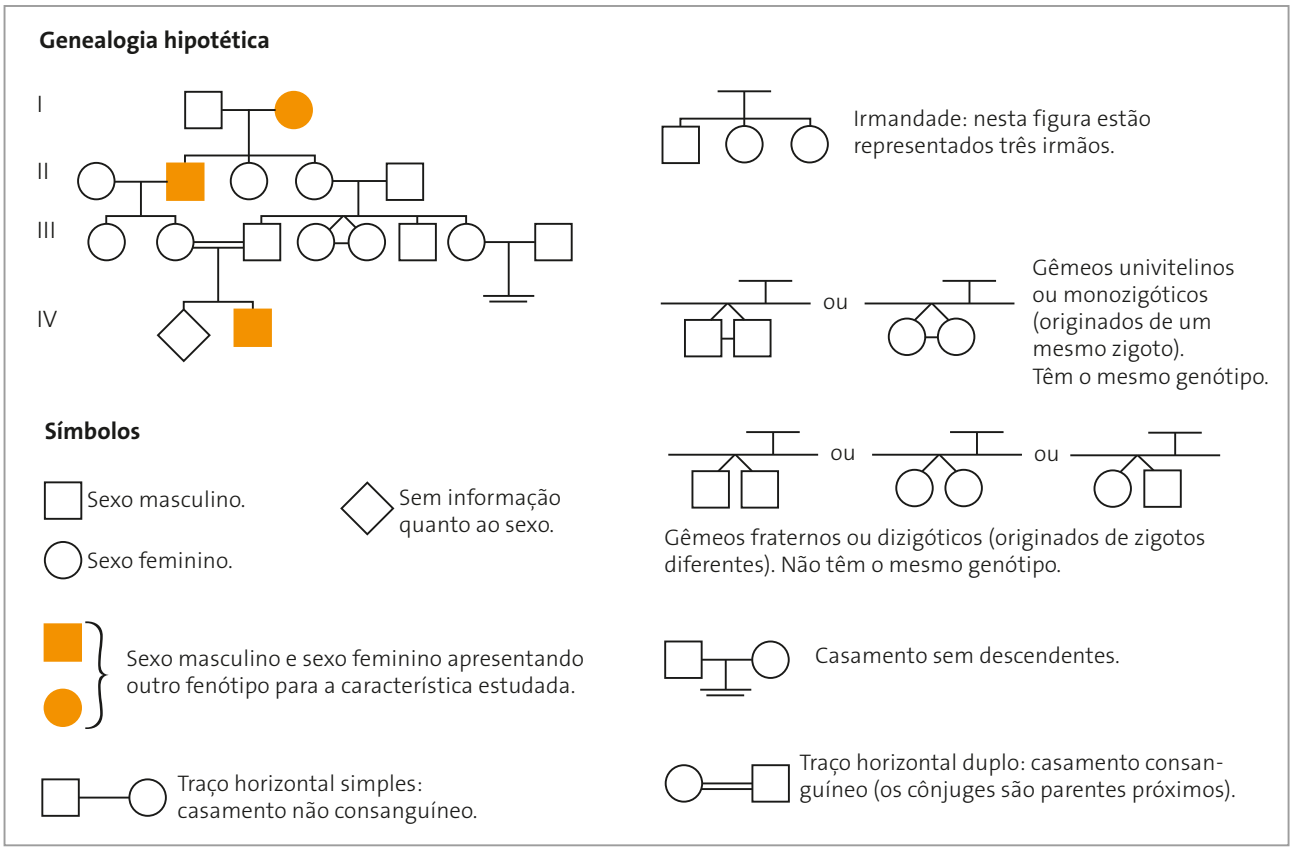
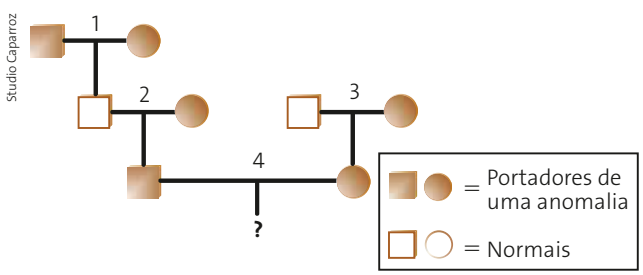


Figura 6.16. Símbolos usados em genealogias. Os numerais romanos representam as gerações.

10.1. Resolvendo problemas: análise de genealogias

Vamos resolver o seguinte problema:

(Fuvest-SP) Com base na genealogia abaixo, responda:



a) A anomalia é causada por um alelo dominante ou recessivo?

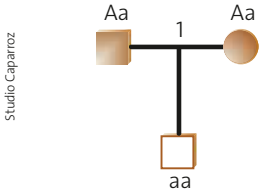
b) Qual é a probabilidade de o casal nº 4 ter um filho que apresente a anomalia?

***Respostas**:*

Quando se pretende determinar se um fenótipo é causado por alelo recessivo ou dominante, é necessário procurar primeiramente os cruzamentos entre indivíduos de mesmo fenótipo e dos quais resulte pelo menos um descendente de fenótipo diferente dos pais. Esse fenótipo diferente será determinado por alelos recessivos, indicando que seus pais são heterozigóticos.

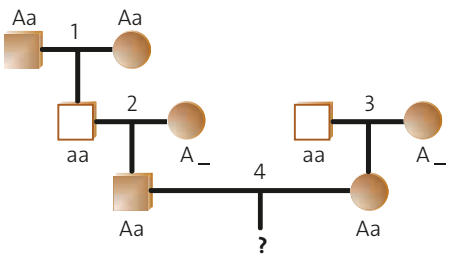
Na genealogia em questão vamos encontrar essa situação no cruzamento 1, em que pais com a anomalia tiveram um filho normal.

*Pela análise desse cruzamento já é possível responder ao item **a** do problema:*



A anomalia é causada por alelo dominante.

*A resposta ao item **a** permite-nos completar os genótipos das demais pessoas da genealogia. Para isso, começamos anotando o genótipo de todos os recessivos (**aa**). Em seguida colocamos uma letra que indique o alelo dominante – no caso **A** – nos indivíduos afetados, pois eles têm pelo menos um alelo dominante. Depois, verificamos se os indivíduos afetados são homozigóticos ou heterozigóticos, por meio da análise dos descendentes.*



*Na genealogia apresentada não há elementos para sabermos se as mulheres dos cruzamentos 2 e 3 são homozigóticas ou heterozigóticas. Nesses casos, devemos escrever **A**_.*

*Para responder ao item **b** basta observar que se trata de um cruzamento entre dois heterozigotos (**Aa** × **Aa**), do qual poderão resultar 75% de indivíduos com fenótipo dominante e 25% com fenótipo recessivo.*

*Então, como a anomalia é causada por alelo dominante, a resposta ao item **b** é:*

A probabilidade de o casal nº 4 ter um descendente que apresente a anomalia é de 75% ou $\frac{3}{4}$.

10.2. Resolvendo problemas: montando e analisando genealogias

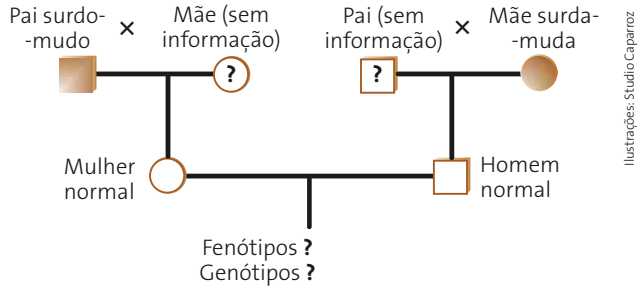
Vamos montar uma genealogia para facilitar a resolução do seguinte problema:

(Fuvest-SP) Uma mulher normal, cujo pai apresentava surdo-mudez de herança autossômica recessiva, casou-se com um homem normal, cuja mãe era surda-muda. Quais os possíveis genótipos e os fenótipos correspondentes na prole desse casal?

***Resposta**:*

*O termo herança autossômica refere-se a alelos localizados em **cromossomos autossômicos**, aqueles que não participam da definição do sexo. Os cromossomos que participam da determinação do sexo são chamados **cromossomos sexuais**, e os alelos localizados neles são transmitidos de modo um pouco diferente dos alelos localizados em cromossomos autossômicos, como será discutido em outro capítulo.*

O problema trata de um caso de herança mendeliana, explicado pela primeira lei. Com base nos dados fornecidos podemos montar a seguinte genealogia:



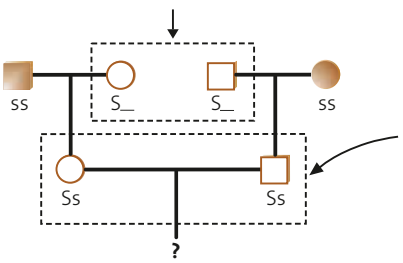
Ilustrações: Studio Caparroz

*Tendo montado a genealogia, colocam-se os genótipos. Para facilitar, colocamos primeiramente os genótipos que correspondem a fenótipos recessivos, pois estes são sempre homozigóticos. Neste caso, o recessivo é o surdo-mudo (**ss**).*

Em seguida colocamos um alelo dominante nos indivíduos de fenótipo dominante; neste caso, fenótipo normal.

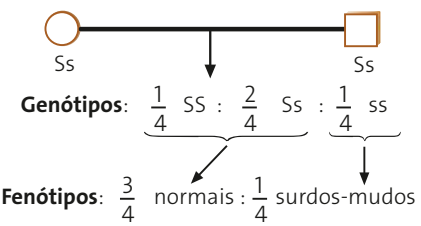
*Depois é só completar os genótipos dos indivíduos da genealogia. Lembre-se de que os indivíduos de fenótipo dominante podem ser homozigóticos (**SS**) ou heterozigóticos (**Ss**). Escreve-se **S**_ sempre que não houver certeza de tratar-se de **SS** ou de **Ss**.*

Embora o problema não esclareça, esses indivíduos são normais, pois, se não o fossem, não poderiam cruzar com surdos-mudos e ter filhos normais. No entanto, não se sabe se eles são **SS** ou **Ss**.



Esses indivíduos são heterozigóticos, pois:
- são normais, o que significa que possuem pelo menos um alelo **S**;
- são filhos de mãe ou pai surdo-mudo, o que significa que herdaram um alelo **s**.

*O problema pede os possíveis genótipos e fenótipos da prole do cruzamento de **Ss** com **Ss**. Assim:*



Fenótipos e genótipos possíveis:
- *normal: **SS** e **Ss**;*
- *surdo-mudo: **ss**.*

11. Modificações nas proporções fenotípicas mendelianas do mono-hibridismo

Até agora, estudamos a herança de caracteres determinados por pares de alelos com relação de dominância e recessividade. Nesses casos, no cruzamento entre dois heterozigotos as proporções esperadas para os descendentes são:

- **proporção fenotípica** — 3 dominantes : 1 recessivo;
- **proporção genotípica** — 1 homozigoto dominante: : 2 heterozigotos : 1 homozigoto recessivo.

Em experimentações realizadas por vários pesquisadores foi verificado que, para caracteres determinados por um par de alelos, as proporções **fenotípicas** mendelianas esperadas nem sempre ocorriam. Esses casos serão aqui analisados, sendo possível notar que, apesar de as proporções fenotípicas esperadas não coincidirem com aquelas obtidas pelo mendelismo, as proporções genotípicas são as mesmas.

Esses casos não diminuem nem invalidam os princípios estabelecidos por Mendel, mas os ampliam. Em todos eles, os pares de alelos separam-se na formação dos gametas, indo um alelo de cada par para um gameta diferente. Portanto, a primeira lei de Mendel continua válida. As únicas modificações observadas referem-se às proporções fenotípicas esperadas.

11.1. Ausência de dominância

Quando não há relação de dominância e recessividade entre os alelos de um gene responsável por uma característica, surge no heterozigoto um fenótipo intermediário. Esses são os casos de **ausência de dominância**, também chamados de **herança intermediária** ou **dominância incompleta**. Dessa forma, a proporção genotípica é igual à fenotípica, pois cada genótipo manifesta um fenótipo diferente. Assim, do cruzamento entre dois heterozigotos, obtém-se:

- **Proporção fenotípica** — 1A : 2AB : 1B
- **Proporção genotípica** — 1AA : 2AB : 1BB

Proporções resultantes de cruzamento entre heterozigotos		
	Genotípica	Fenotípica
Dominância	1AA : 2Aa : 1aa	3 : 1
Ausência de dominância	1AA : 2AB : 1BB	1 : 2 : 1

Quando há ausência de dominância, não se fala em alelos dominantes e recessivos. A representação gráfica desses alelos pode ser feita de duas formas diferentes: com inicial maiúscula da letra do fenótipo manifestado quando em homozigose ou com uma letra maiúscula qualquer com um indicador que diferencie os alelos.

Vamos analisar a herança da cor da flor na planta conhecida como maravilha (*Mirabilis jalapa*). Nesse caso, há plantas com flores vermelhas, róseas e brancas (Fig. 6.17).



Figura 6.17. Fotografias de flores da planta conhecida como maravilha. Elas medem de 2 cm a 2,5 cm de comprimento.

Acompanhe os seguintes cruzamentos (Fig. 6.18):

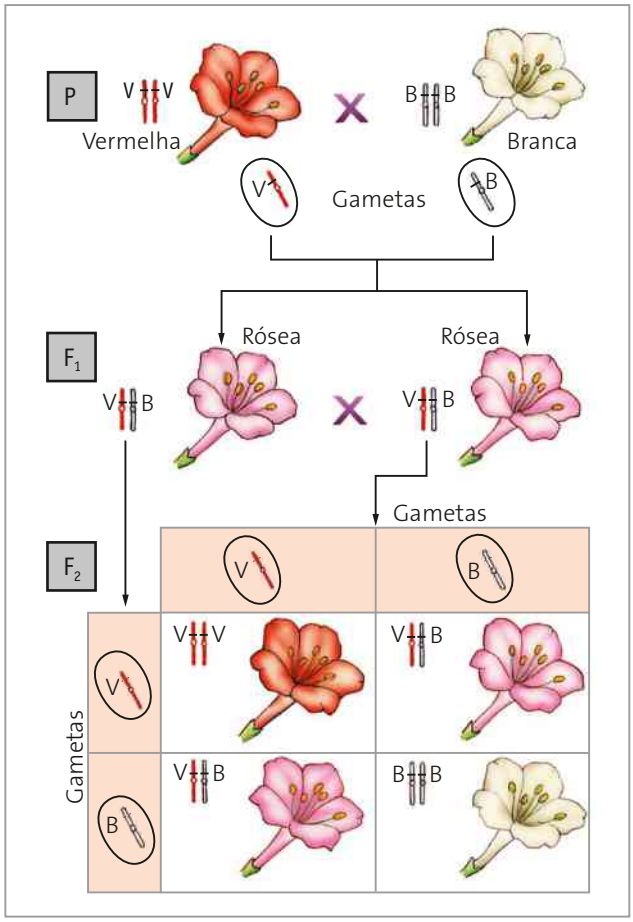


Figura 6.18. Esquema de cruzamento em maravilha, analisando o caracter cor da flor. (Elementos representados em diferentes escalas; cores fantasia.)

Na geração parental, as flores de maravilha são vermelhas e brancas. A primeira geração de descendentes (F_1) não apresenta o fenótipo vermelho nem o branco, mas um fenótipo intermediário: o róseo.

O fenótipo vermelho decorre de um par de alelos **VV**; o fenótipo branco decorre de um par de alelos **BB**; e o fenótipo róseo, de um par de alelos **VB**. Assim, para os fenótipos vermelho e branco essa planta é homozigótica, enquanto para o fenótipo róseo ela é heterozigótica.

O alelo **V** seria dominante sobre o alelo **B** se o heterozigoto **VB** apresentasse o fenótipo vermelho. Entretanto, no heterozigoto **VB** manifestam-se tanto o alelo **V** como o alelo **B**, produzindo uma planta de cor intermediária.

Na autofecundação de flores róseas ou na fecundação cruzada entre duas flores róseas originam-se, na geração F_2, plantas que produzem flores vermelhas, flores róseas e flores brancas, em uma proporção fenotípica que é igual à genotípica:

Proporção dos genótipos	1VV	:	2VB	:	1BB
Proporção dos fenótipos	1 vermelha	:	2 róseas	:	1 branca

Aqui, cada alelo **V** presente representa uma contribuição independente para a cor, enquanto **B** não contribui para a pigmentação.

11.2. Codominância

Em alguns casos em que os alelos não têm relação de dominância e recessividade entre si, o heterozigoto não apresenta um fenótipo intermediário, mas sim os dois fenótipos simultaneamente. Nesses casos, diz-se que há **codominância** entre os alelos. É o caso da herança do **grupo sanguíneo humano do sistema MN**, determinado em função da presença de certas proteínas nas hemácias do sangue. Essas proteínas foram identificadas como antígenos **M** e antígenos **N**.

O quadro a seguir resume os possíveis genótipos e os respectivos fenótipos com relação a esse sistema:

Genótipos	Fenótipos
L^ML^M	Grupo M
L^NL^N	Grupo N
L^ML^N	Grupo MN

Nas hemácias dos indivíduos heterozigóticos, há os antígenos **M** e **N**; não existe um antígeno intermediário entre **M** e **N**, como seria se este fosse um caso de ausência de dominância.

11.3. Alelos letais

Alterações nas proporções do mono-hibridismo podem também ocorrer em função dos **alelos letais**, que são alelos que provocam a morte dos indivíduos.

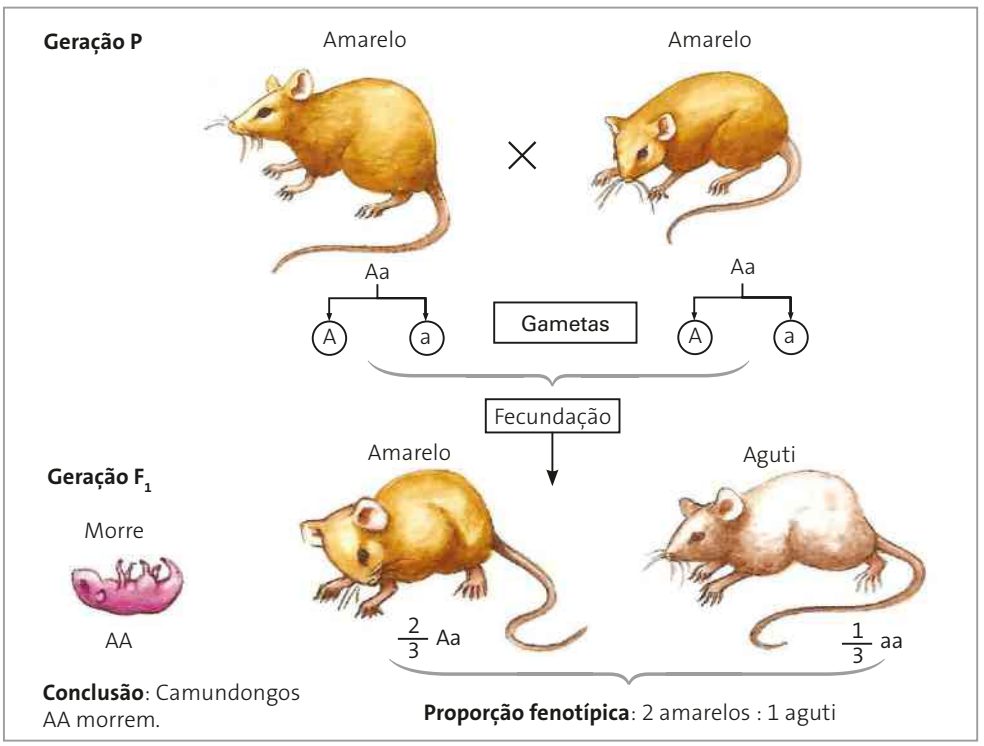
A existência de alelos letais foi sugerida pela primeira vez em 1905, a partir das experimentações do geneticista francês Lucien Cuénot (1866-1951), logo após o redescobrimento dos trabalhos de Mendel.

Cuénot estudava a herança da cor do pelo de camundongos, que é determinada por um par de alelos com relação de dominância completa. Ele verificou que todos os camundongos amarelos eram heterozigóticos, que os agutis (selvagens com cor acinzentada) eram homozigóticos recessivos e que não havia camundongos amarelos homozigóticos.

Ao cruzar camundongos amarelos entre si, esse pesquisador sempre obtinha uma proporção fenotípica de 2 amarelos para 1 aguti (2 : 1), não ocorrendo a proporção mendeliana clássica de 3 : 1 (Fig. 6.19).

Para explicar esse resultado, Cuénot propôs que o espermatozoide portador do alelo dominante para cor (**A**) não fecundava o óvulo portador do mesmo tipo de alelo (**A**).

Posteriormente, outros pesquisadores verificaram que o indivíduo **AA** chegava a se formar, mas morria no útero antes de nascer.



Ingeborg Asbach

Figura 6.19. Esquema do cruzamento entre camundongos amarelos. O alelo que determina a cor amarela é letal em dose dupla e, por isso, não existem camundongos amarelos homozigóticos.

Foi proposto então que o alelo **A** em dose dupla era letal, ou seja, provocava a morte dos indivíduos. Assim, apesar de ser dominante para a cor do pelo, esse alelo é recessivo para a letalidade, pois apenas em homozigose provoca a morte do indivíduo.

Colocando em foco

ALGUNS ALELOS LETAIS NA ESPÉCIE HUMANA

Na **doença de Tay-Sachs**, os indivíduos afetados apresentam paralisia, cegueira e morte por volta do segundo ano de vida. Nesse caso, o indivíduo afetado é **ss** e os indivíduos não afetados são **SS** ou **Ss**.

Outra doença, denominada **acondroplasia**, é caracterizada por um tipo de nanismo em que a cabeça e o tronco têm tamanho normal, mas as pernas e os braços são muito curtos. Nesse caso a letalidade é causada por um alelo **A**, que em homozigose provoca a anomalia de forma muito acentuada, em que a deformidade nos ossos é grande e os indivíduos morrem antes de nascer. Os indivíduos **Aa** também apresentam a anomalia, mas nascem e conseguem sobreviver. Já os indivíduos **aa** não são afetados.

A **braquidactilia** é outra doença causada por alelo letal. Os portadores dessa anomalia apresentam os dedos das mãos muito curtos. Os indivíduos não afetados são **bb**, e os afetados são **BB** ou **Bb**. Os indivíduos **BB**, no entanto, morrem ao nascer; só sobrevivem os heterozigóticos.

12. Alelos múltiplos

Até aqui analisamos casos em que para cada loco havia apenas dois alelos, que podiam ser iguais ou diferentes, com ou sem relação de dominância. Entretanto, em um mesmo loco pode ocorrer mais de uma mutação, originando vários alelos. Quando há mais de dois alelos possíveis para cada loco, fala-se em **alelos múltiplos** ou **polialelia**.

Nos casos de polialelia, ainda que existam em uma população vários alelos para um mesmo loco, em cada célula diploide de um indivíduo ocorrem apenas dois alelos, pois há somente dois cromossomos homólogos.

Suponhamos que um gene tenha três alelos: **A**, $\mathbf{A_1}$ e $\mathbf{A_2}$. Por serem alelos, eles estão localizados no mesmo loco em cromossomos homólogos. Observe na figura 6.20 as combinações possíveis, dois a dois, entre os alelos em células diploides.

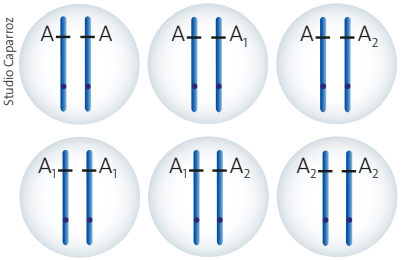


Figura 6.20. Combinações possíveis entre os alelos diploides neste caso. (Cores fantasia.)

Esses alelos permitem seis combinações; cada uma delas pode manifestar um fenótipo diferente, dependendo do tipo de relação existente entre os alelos formadores do par, ou seja, se há ou não dominância de um alelo sobre o outro.

O mecanismo de transmissão desses alelos é o mesmo que ocorre no mono-hibridismo. Para exemplificar apresentaremos a herança da cor do pelo em coelhos.

Existem quatro fenótipos para esse caracter (Fig. 6.21):

Aguti ou **selvagem**: apresenta cor acinzentada com aspecto salpicado.	
Chinchila: apresenta cor cinza prateada, clara.	
Himalaio: apresenta pelos brancos na maior parte do corpo e pelos pretos no focinho, nas orelhas, nas patas e na cauda.	
Albino: com ausência total de pigmentos, apresenta pelos completamente brancos.	

Figura 6.21. Fenótipos para a pelagem de coelhos.

Verificou-se que esses quatro fenótipos distintos são determinados por quatro alelos diferentes, que podem ser assim representados:

Alelos	Fenótipos
c^+	Selvagem ou aguti
c^{ch}	Chinchila
c^h	Himalaio
c	Albino

Observação: O símbolo "+" é geralmente utilizado para o fenótipo selvagem.

Os alelos apresentam a seguinte relação de dominância:

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

Assim, os genótipos podem ser:

Genótipos	Fenótipos
c^+c^+; c^+c^{ch}; c^+c^h; c^+c	Selvagem ou aguti
$c^{ch}c^{ch}$; $c^{ch}c^h$; $c^{ch}c$	Chinchila
c^hc^h; c^hc	Himalaio
cc	Albino

12.1. Resolvendo problemas: alelos múltiplos

Considerados os cruzamentos entre coelhos a seguir, pergunta-se qual é o genótipo da geração parental:

	P	F_1
a)	aguti × aguti	3 agutis : 1 albino
b)	aguti × himalaio	2 agutis : 1 himalaio : : 1 albino

***Respostas**:*

*a) Uma vez que nasceram indivíduos albinos, esse alelo deve estar presente no genótipo dos pais, pois ele é recessivo. Dessa forma, o genótipo da geração parental será **c^+c**, pois:*

P c^+c × c^+c

Gametas: c^+, c

Gametas	c^+	c
c^+	c^+c^+	c^+c
c	c^+c	cc

Assim:

*O genótipo da geração parental será **c^+c**, já que:*
- ***c^+c^+** e **c^+c** determinam fenótipos aguti;*
- ***cc** determina fenótipo albino.*

b) Do cruzamento entre um aguti e um himalaio nasce uma prole composta de agutis, himalaios e albinos. Sendo o albino o alelo recessivo em relação aos demais, ele deve estar presente no genótipo dos pais.

P Aguti c^+c × Himalaio c^hc

Gametas: c^+, c × Gametas: c^h, c

Gametas	c^h	c
c^+	c^+c^h	c^+c
c	c^hc	cc

Logo:

*Os pais são heterozigóticos, portadores de um alelo **c**, pois:*
- ***c^+c^h** e **c^+c** determinam fenótipo aguti;*
- ***c^hc** determina fenótipo himalaio;*
- ***cc** determina fenótipo albino.*

Tema para discussão

REGISTRE NO CADERNO

Expressividade e penetrância

A relação entre o genótipo e o fenótipo nem sempre é direta, pois, como foi explicado, um mesmo genótipo pode manifestar vários fenótipos, dependendo de sua interação com o meio (demais genes, nucleoplasma, citoplasma, corpo do organismo e ambiente externo). Além disso, a interação genótipo-meio, manifestada por determinado fenótipo, pode ser medida por dois tipos de efeito: a expressividade e a penetrância.

A **expressividade** refere-se à intensidade ou ao grau de expressão de certo genótipo no indivíduo. Por exemplo: a polidactilia, anomalia associada a um alelo dominante, pode expressar-se de formas diferentes, dependendo dos outros genes ou de outros fatores que interfiram em sua expressividade. As fotografias a seguir mostram um exemplo: uma criança com nove dedos no pé e, entre os dedos a mais (supranumerários), observam-se os mais desenvolvidos e os menos desenvolvidos.



Fotografias: SPL/Latinstock

Fotografia e radiografia do pé de uma criança com polidactilia. Observe que alguns dedos são completamente desenvolvidos, enquanto outros são menos desenvolvidos.

Se comparássemos esse caso de polidactilia com outros, perceberíamos que nem todos os indivíduos apresentam quatro dedos supranumerários, sendo comuns os casos de apenas um dedo a mais. Além disso, o tamanho dos dedos também pode diferir entre os polidáctilos: alguns apresentam uma leve protuberância em

uma das mãos ou em um dos pés, enquanto outros podem ter um dedo tão desenvolvido quanto os demais nos pés e nas mãos. Assim, o número e o tamanho dos dedos supranumerários variam de acordo com a expressividade do alelo para polidactilia no indivíduo.

A **penetrância** está relacionada à proporção de genótipos em uma população que manifesta o fenótipo esperado. No caso da polidactilia, se 85% dos indivíduos de uma população que apresenta o alelo para polidactilia manifestam o fenótipo esperado em qualquer expressividade, a penetrância desse alelo nessa população é de 85%. Paralelamente, conclui-se que 15% dos indivíduos portadores do alelo não manifestam o fenótipo polidactilia. A penetrância de um alelo também é fortemente influenciada pelo ambiente, assim como sua expressividade.

- Há um debate ético sobre a possibilidade de identificar os "genes associados a doenças" em uma pessoa e a possível discriminação que ela sofreria. Partindo desse ponto, faça uma pesquisa em grupo e prepare-se para um fórum de discussão sobre esse assunto, não se esquecendo de levar em consideração características como expressividade e penetrância do gene. A questão é delicada e deve ser analisada tanto do ponto de vista de quem seria prejudicado quanto do de quem seria beneficiado. Saber fazer uma análise imparcial de temas polêmicos é importante para a prática da cidadania. Esse fórum de discussão pode ser conduzido em classe ou por meio da internet. Em seguida, divulguem as conclusões a que chegaram para outras turmas e também para a comunidade de fora da escola, por meio de cartazes, *blogs*, redes sociais, entre outros recursos.

Retomando

Como você viu, algumas regras simples explicam o funcionamento básico da herança de uma característica. Retome suas respostas às questões da seção **Pense nisso** e reescreva-as. Existem exceções à primeira lei de Mendel?

Professor(a), veja nas Orientações didáticas os comentários e as respostas das questões dissertativas.

Ampliando e integrando conhecimentos

REGISTRE NO CADERNO

Atividade 1 Interpretando casos

Habilidades do Enem: H3, H13, H15, H17.

As doenças genéticas podem ou não ser hereditárias. Elas são hereditárias quando transmitidas dos pais aos descendentes, e podem se manifestar em qualquer momento da vida da pessoa, desde o nascimento. Porém, quando surge alteração no material genético de células somáticas, a doença não é transmitida aos descendentes. É o caso do câncer de pulmão causado pelo fumo.

Quando um bebe já manifesta uma doença ao nascer, fala-se que esta é congênita, sendo hereditária ou não. Nesse último caso, pode ter havido interferências ambientais durante a gestação, o que causaria danos ao feto. É o caso da infecção de gestantes com o zika vírus, que pode desencadear a microcefalia no feto. Com base nessas informações, analise as seguintes situações e diga se elas se referem a características genéticas, hereditárias ou congênitas. Mais de um termo pode ser usado para uma mesma situação. Justifique suas respostas.

Pessoa A

Condição: cegueira – presente desde o nascimento.

No segundo mês de gestação, foi detectado que a mãe apresentou infecção pelo protozoário *Toxoplasma gondii*, causador da toxoplasmose.

Pessoa B

Condição: distrofia muscular de Duchenne (DMD) – primeiros sintomas detectados aos 5 anos de idade, quando a criança passou a apresentar dificuldade para andar e panturrilhas volumosas. Os sintomas tendem a progredir, levando à perda dos movimentos pelo comprometimento da musculatura, inicialmente a das pernas, e depois avançando pelos braços e pelo tórax.

Entre os parentes próximos, um tio, um irmão e dois primos apresentavam a doença.

Pessoa C

Condição: fenilcetonúria – presente no bebê ao nascer e detectado pelo teste do pezinho, obrigatório em todas as maternidades do país. Esse teste pode indicar se o bebê apresenta deficiência na produção de uma enzima que degrada o aminoácido fenilalanina, existente no leite materno e em outros alimentos proteicos. Se a criança tiver essa deficiência, não deve ingerir esse aminoácido; caso contrário, pode ter vários problemas de saúde, inclusive retardo mental. Há outros casos de fenilcetonúria na família da criança.

Pessoa D

Condição: câncer de pele – detectado na paciente aos 50 anos de idade.

A paciente desconhece casos de câncer em parentes próximos; relata que em sua juventude não se protegia ao se expor ao Sol e que se submeteu durante alguns meses a sessões de bronzeamento artificial, em câmaras de raios ultravioleta. Os raios UV são agentes que provocam mutações no DNA, principalmente de células superficiais.

Atividade 2 Escrevendo uma carta

Habilidades do Enem: H3, H17.

Imagine que você fosse um dos pesquisadores da década de 1900 e que acabou redescobrindo os trabalhos de Mendel. Você está maravilhado(a) com o fato de que os cálculos de probabilidade, que permitem prever a frequência de algumas características ao longo das gerações, estão de acordo com o que acontece na meiose. Por isso, decidiu escrever uma carta aos amigos cientistas, relatando essa incrível relação entre a Matemática e a Biologia. Escreva a carta no caderno, registrando suas ideias de maneira clara. Troque essa carta com seus colegas e veja se o texto deles está claro. Em seguida, a turma deve discutir o assunto e, com a ajuda do(a) professor(a), elaborar um esquema na lousa que ajude a explicar as ideias descritas nas cartas.

Atividade 3 Fenótipo molecular

Habilidades do Enem: H13, H15, H17.

Um gene localizado no cromossomo 7 é o responsável pela fibrose cística, doença grave causada pela produção excessiva de muco espesso que bloqueia as vias respiratórias e os ductos que ligam o pâncreas ao intestino. O paciente sofre, então, de problemas respiratórios e digestivos que necessitam de cuidado contínuo.

Pesquisas moleculares mostraram que o alelo normal desse gene codifica uma proteína que se localiza na membrana plasmática das células. Essa proteína atua como um canal de membrana que permite a passagem de íons cloreto para o interior da célula. O alelo mutado codifica uma proteína anormal que atua como um canal permanentemente fechado, impedindo a entrada de íons cloreto. Os portadores de um alelo normal e um alelo mutado produzem os dois tipos de proteína. As proteínas normais codificadas pelo alelo normal são suficientes para garantir o bom funcionamento das células e impedir o aparecimento dos sintomas da doença. Quando se fala em fenótipo, não estamos nos referindo sempre ao aspecto externo de um indivíduo, mas também a aspectos que não conseguimos ver e que podem ser verificados por testes ou técnicas especiais, como já comentado. Assim, podemos considerar como características fenotípicas tanto moléculas quanto características que são visíveis externamente. Na definição do tipo de herança, isso também pode ser levado em conta.

Dependendo do nível de informação que se está considerando (molecular, anatômico ou fisiológico) a herança de uma característica pode ser explicada de formas diferentes. Com base nessas informações, responda:

a) Considerando o nível molecular, qual é o tipo de herança da fibrose cística? Justifique sua resposta.

b) Considerando o nível fisiológico, qual é o tipo de herança da fibrose cística? Justifique sua resposta.

c) Qual é a proporção genotípica e fenotípica esperada de filhos com fibrose cística gerados por um casal de heterozigotos? Indique seu raciocínio.

Testes

REGISTRE NO CADERNO

1. (Enem) Mendel cruzou plantas puras de ervilha com flores vermelhas e plantas puras com flores brancas, e observou que todos os descendentes tinham flores vermelhas. Nesse caso, Mendel chamou a cor vermelha de dominante e a cor branca de recessiva. A explicação oferecida por ele para esses resultados era a de que as plantas de flores vermelhas da geração inicial (P) possuíam dois fatores dominantes iguais para essa característica (VV), e as plantas de flores brancas possuíam dois fatores recessivos iguais (vv). Todos os descendentes desse cruzamento, a primeira geração de filhos (F1), tinham um fator de cada progenitor e eram Vv, combinação que assegura a cor vermelha nas flores.

Tomando-se um grupo de plantas cujas flores são vermelhas, como distinguir aquelas que são VV daquelas que são Vv?

a) Cruzando-as entre si, é possível identificar as plantas que têm o fator v na sua composição pela análise de características exteriores dos gametas masculinos, os grãos de pólen.

X b) Cruzando-as com plantas recessivas, de flores brancas. As plantas VV produzirão apenas descendentes de flores vermelhas, enquanto as plantas Vv podem produzir descendentes de flores brancas.

c) Cruzando-as com plantas de flores vermelhas da geração P. Os cruzamentos com plantas Vv produzirão plantas de flores brancas.

d) Cruzando-as entre si, é possível que surjam plantas de flores brancas. As plantas Vv cruzadas com outras Vv produzirão apenas descendentes vermelhas, portanto as demais serão VV.

e) Cruzando-as com plantas recessivas e analisando as características do ambiente onde se dão os cruzamentos, é possível identificar aquelas que possuem apenas fatores V.

2. (Enem) Quando adquirimos frutas no comércio, observamos com mais frequência frutas sem ou com poucas sementes. Essas frutas têm grande apelo comercial e são preferidas de uma parcela cada vez maior da população. Em plantas que normalmente são diploides, isto é, apresentam dois cromossomos de cada par, uma das maneiras de produzir frutas sem sementes é gerar plantas com uma ploidia diferente de dois, geralmente triploide. Uma das técnicas de produção dessas plantas triploides é a geração de uma planta tetraploide (com 4 conjuntos de cromossomos), que produz gametas diploides e promove a reprodução dessa planta com uma planta diploide normal.

A planta triploide oriunda desse cruzamento apresentará uma grande dificuldade de gerar gametas viáveis, pois como a segregação dos cromossomos homólogos na meiose I é aleatória e independente, espera-se que:

a) os gametas gerados sejam diploides.

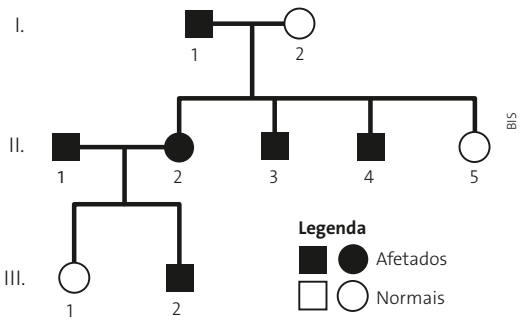
b) as cromátides irmãs sejam separadas ao final desse evento.

c) o número de cromossomos encontrados no gameta seja 23.

d) um cromossomo de cada par seja direcionado para uma célula-filha.

X e) um gameta raramente terá o número correto de cromossomos da espécie.

3. (UFMG) Analise este heredograma, que representa uma família em que há indivíduos afetados por um tipo de tumor de gengiva:



Considerando-se as informações desse heredograma e outros conhecimentos sobre o assunto, é **incorreto** afirmar que:

a) os indivíduos normais, em todas as gerações, são homozigotos.

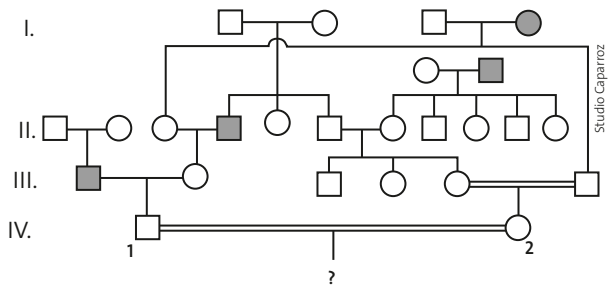
b) a ocorrência do tumor é uma característica autossômica.

X c) o próximo filho do casal II.1 II.2 será normal.

d) a probabilidade de o indivíduo III.2 ser heterozigoto é de dois terços.

4. (UFMA) A alcaptonúria é uma doença determinada por um gene autossômico recessivo, resultante da deficiência da enzima oxidase do ácido homogentísico, ou alcaptona, que se acumula no sangue e é eliminado pela urina, que se torna escura em contato com o ar. Os principais agravos são escurecimento das cartilagens e propensão à artrite.

Considerando o heredograma abaixo, calcule a probabilidade de o casal IV-1 e IV-2 ter uma criança alcaptonúrica.



a) 0
b) $\frac{1}{4}$
c) $\frac{1}{8}$
d) $\frac{1}{16}$
x e) $\frac{1}{24}$

5. (Fuvest-SP) Numa espécie de planta, a cor das flores é determinada por um par de alelos. Plantas de flores vermelhas cruzadas com plantas de flores brancas produzem plantas de flores cor-de-rosa.

Do cruzamento entre plantas de flores cor-de-rosa, resultam plantas com flores:

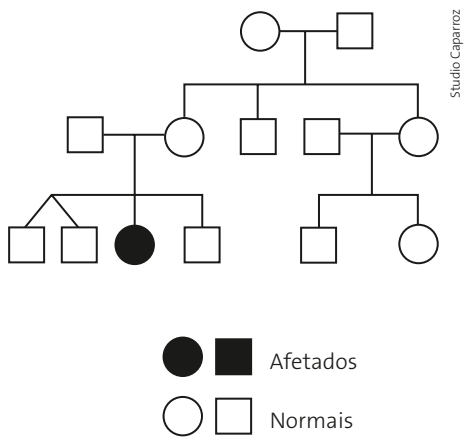
a) das três cores, em igual proporção.
x b) das três cores, prevalecendo as cor-de-rosa.
c) das três cores, prevalecendo as vermelhas.
d) somente cor-de-rosa.
e) somente vermelhas e brancas, em igual proporção.

6. (Enem) Em um experimento, preparou-se um conjunto de plantas por técnica de clonagem a partir de uma planta original que apresentava folhas verdes. Esse conjunto foi dividido em dois grupos, que foram tratados de maneira idêntica, com exceção das condições de iluminação, sendo um grupo exposto a ciclos de iluminação solar natural e outro mantido no escuro. Após alguns dias, observou-se que o grupo exposto à luz apresentava folhas verdes como a planta original e o grupo cultivado no escuro apresentava folhas amareladas.

Ao final do experimento, os dois grupos de plantas apresentaram

a) os genótipos e os fenótipos idênticos.
x b) os genótipos idênticos e os fenótipos diferentes.
c) diferenças nos genótipos e fenótipos.
d) o mesmo fenótipo e apenas dois genótipos diferentes.
e) o mesmo fenótipo e grande variedade de genótipos.

7. (UFMG-MG) Em aconselhamentos genéticos, um dos recursos utilizados é a elaboração de heredogramas, como este:



É INCORRETO afirmar que a análise de heredogramas pode

a) determinar o provável padrão de herança de uma doença.
b) ilustrar as relações entre os membros de uma família.
x c) prever a frequência de uma doença genética em uma população.
d) relatar, de maneira simplificada, histórias familiares.

8. (Mack-SP) As flores da planta maravilha podem ser vermelhas, brancas ou rosa. As flores vermelhas e brancas são homozigotas, enquanto as rosas são heterozigotas. Para se obter 50% de flores brancas, é necessário cruzar:

a) duas plantas de flores rosa.
x b) uma planta de flores brancas com outra de flores rosa.
c) uma planta de flores rosa com outra de flores vermelhas.
d) uma planta de flores vermelhas com outra de flores brancas.
e) duas plantas de flores vermelhas.

CAPÍTULO

7

A herança simultânea de duas ou mais características



Maximilian Stock/Corbis/Latinstock

Figura 7.1. Dando continuidade aos seus estudos, Mendel passou a analisar a herança de dois caracteres ao mesmo tempo nas plantas de ervilha. Alguns desses caracteres estão mostrados na fotografia: forma da semente e da vagem (fruto) e posição das flores no caule. As conclusões desses experimentos deram origem à segunda lei de Mendel, hoje restrita a certos casos.

Pense nisso

- Tomando por base os caracteres estudados por Mendel para a planta de ervilha, ao analisar a fotografia acima, qual é o fenótipo:
  – das sementes, quanto à cor e à forma?
  – do fruto, quanto à forma?
- No capítulo anterior, analisamos a herança de uma só característica. Já sabemos, porém, que em cada cromossomo existem vários genes associados a diferentes características. Vamos agora analisar a herança de duas características hereditárias ao mesmo tempo. Suponha que os pares de alelos para essas características estejam em cromossomos diferentes e proponha uma ou mais explicações para a herança dessas duas características ao mesmo tempo. Em sua proposta, use seus conhecimentos sobre meiose e as informações dadas no capítulo anterior sobre essas carcterísticas.
- Suponha agora que os alelos para essas duas características estejam no mesmo cromossomo. Sua explicação seria a mesma?

1. A segunda lei de Mendel

Professor(a), veja nas Orientações didáticas sugestões de atividades extras sobre alguns dos temas tratados neste capítulo.

Neste capítulo veremos como Mendel chegou às conclusões que hoje são conhecidas como sua **segunda lei**. Para isso, vamos analisar um dos experimentos de Mendel com ervilhas e utilizar probabilidade no tratamento dos dados, assim como ele fez.

Depois, estabeleceremos a relação da segunda lei com a meiose, processo de divisão celular descoberto após a publicação dos trabalhos de Mendel.

A segunda lei de Mendel trata da herança concomitante de dois, três ou mais caracteres, falando-se, assim, em **di-hibridismo**, **tri-hibridismo** ou **poli-hibridismo**, respectivamente.

Analisaremos também os casos em que a segunda lei não se aplica: os genes ligados.

Mendel deu prosseguimento a seus trabalhos analisando dois caracteres ao mesmo tempo, como, por exemplo, os caracteres **textura** e **cor** da semente de ervilha. A figura 7.2 mostra resumidamente os resultados de cruzamentos realizados por Mendel.

Jurandir Ribeiro

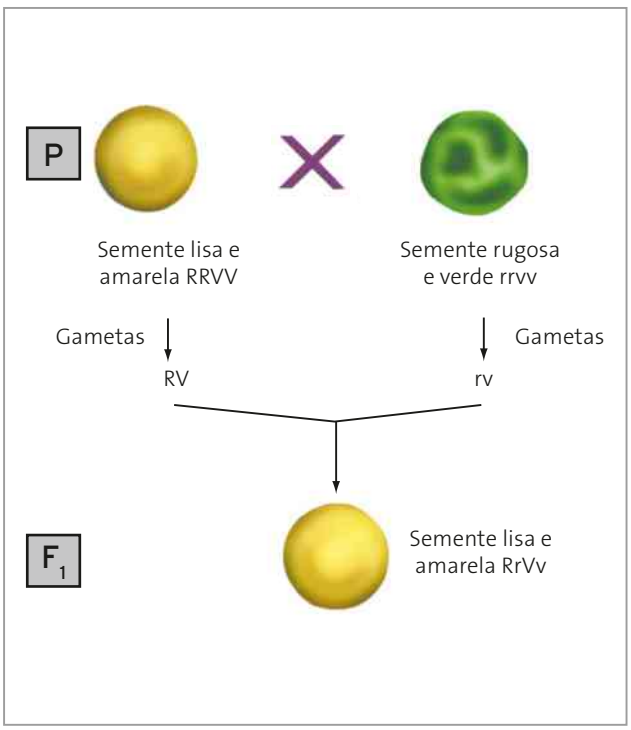


Figura 7.2. Esquema do resultado obtido no cruzamento entre plantas de ervilha homozigóticas para os caracteres textura e cor da semente. (Cores fantasia.)

Nesse exemplo, foram cruzadas plantas de ervilhas que, se sofressem autofecundação, originariam sementes lisas e amarelas com plantas que originariam sementes rugosas e verdes, ou seja, plantas puras para os dois caracteres.

As sementes resultantes desse cruzamento compõem a geração F_1 e são todas lisas e amarelas. Sabendo que existe dominância entre os fatores para a textura e para a cor, esse resultado coincide com o esperado, caso estivéssemos trabalhando com apenas um par de fatores (primeira lei).

Em seguida, Mendel plantou as sementes que compõem a geração F_1 e deixou que as plantas germinadas sofressem o processo natural de **autofecundação**. As sementes assim formadas constituem a geração F_2 (Fig. 7.3).

Jurandir Ribeiro

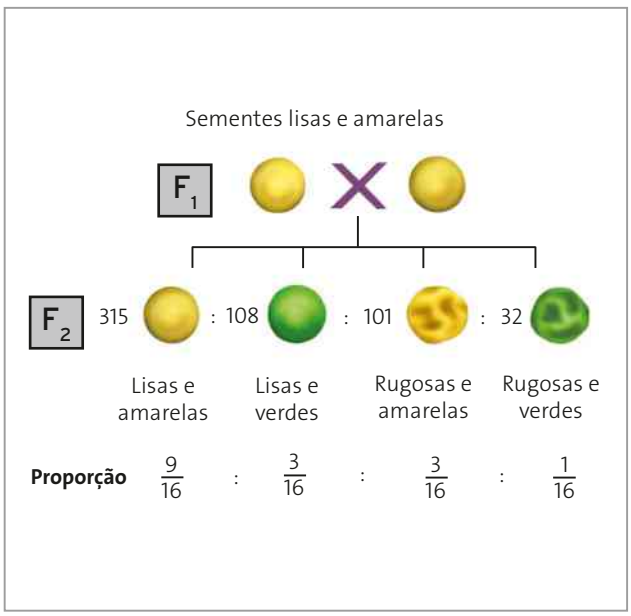


Figura 7.3. Esquema do resultado obtido no cruzamento entre plantas de ervilha com sementes lisas e amarelas. (Cores fantasia.)

A análise desses resultados levou Mendel a concluir que o fato de a semente ser lisa ou rugosa **independe** de ela ser amarela ou verde.

Assim, a herança do caracter textura da semente **independe** da herança do caracter cor da semente.

Mendel analisou, dois a dois, os sete caracteres da planta da ervilha, utilizada em seus experimentos.

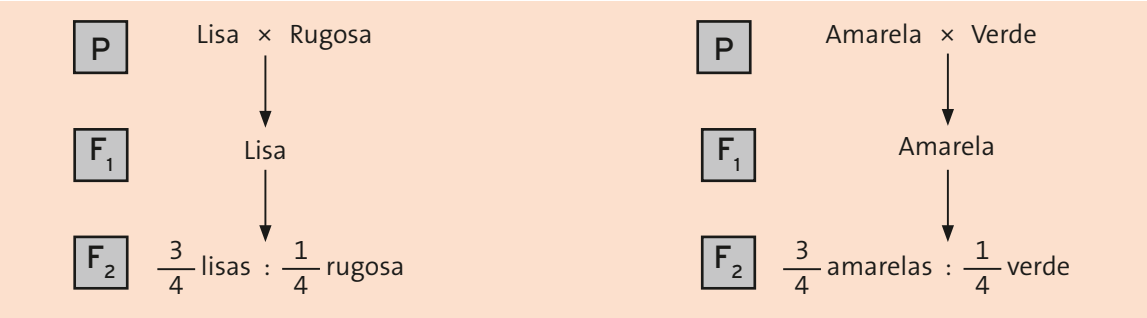
Para todos os casos ele obteve sempre essa independência na transmissão hereditária.

Outra constante verificada por Mendel foi a proporção fenotípica em F_2, que sempre se aproximava de **9 : 3 : 3 : 1**, sendo que o número **9** refere-se à ocorrência de dois fenótipos dominantes no mesmo indivíduo, o **3** refere-se à ocorrência de um fenótipo dominante e um recessivo e o **1**, à ocorrência de dois fenótipos recessivos.

2. A segunda lei e a teoria das probabilidades

A proporção 9 : 3 : 3 : 1 é a esperada quando se aplica a teoria das probabilidades para eventos **independentes** e **simultâneos**, confirmando que a transmissão de um caracter é um evento que independe da transmissão de outro caracter.

Vamos analisar então, separadamente, cada um dos caracteres. Veja o esquema abaixo.



Probabilidade de se obter semente lisa
×
Probabilidade de se obter semente amarela

Considerando esses eventos independentes, a probabilidade de uma semente ser verde ou amarela não depende da probabilidade de ela ser lisa ou rugosa. Nesse caso, para calcular a probabilidade de um evento e outro ocorrerem juntos, é necessário multiplicar as probabilidades isoladas de cada evento.

Então, se a probabilidade de se obter semente lisa é $\frac{3}{4}$ e a de se obter semente amarela é $\frac{3}{4}$, para calcular a probabilidade de ocorrer uma semente lisa e amarela, basta multiplicar:

$$\frac{3}{4} \times \frac{3}{4} = \boxed{\frac{9}{16}}$$

Utilizando o mesmo raciocínio, é possível calcular as probabilidades dos outros eventos:

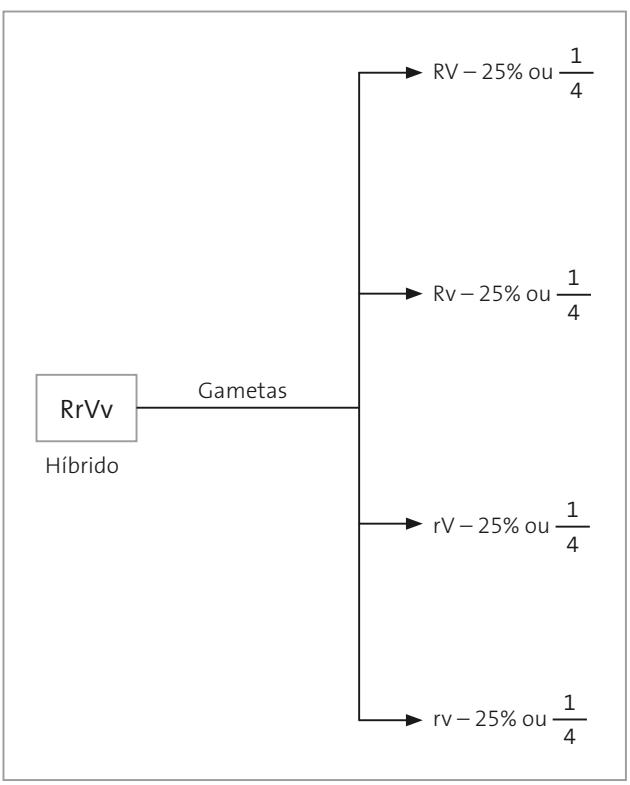
- sementes lisas e verdes = $\frac{3}{4} \times \frac{1}{4} = \boxed{\frac{3}{16}}$
- sementes rugosas e amarelas = $\frac{1}{4} \times \frac{3}{4} = \boxed{\frac{3}{16}}$
- sementes rugosas e verdes = $\frac{1}{4} \times \frac{1}{4} = \boxed{\frac{1}{16}}$

Obtém-se, então, a proporção de:

- **9** lisas e amarelas;
- **3** rugosas e amarelas;
- **3** lisas e verdes;
- **1** rugosa e verde.

Essa foi a proporção que Mendel obteve em suas experimentações, o que serviu como evidência da transmissão independente dos caracteres.

Uma vez que cada caracter está relacionado a um par de fatores que são transmitidos independentemente, Mendel supôs que os híbridos de F_1 poderiam formar quatro tipos diferentes de gametas em iguais proporções.



Assim, na autofecundação, esses quatro tipos de gameta têm chances iguais de se unir, dando origem à geração F_2 (Fig. 7.4).

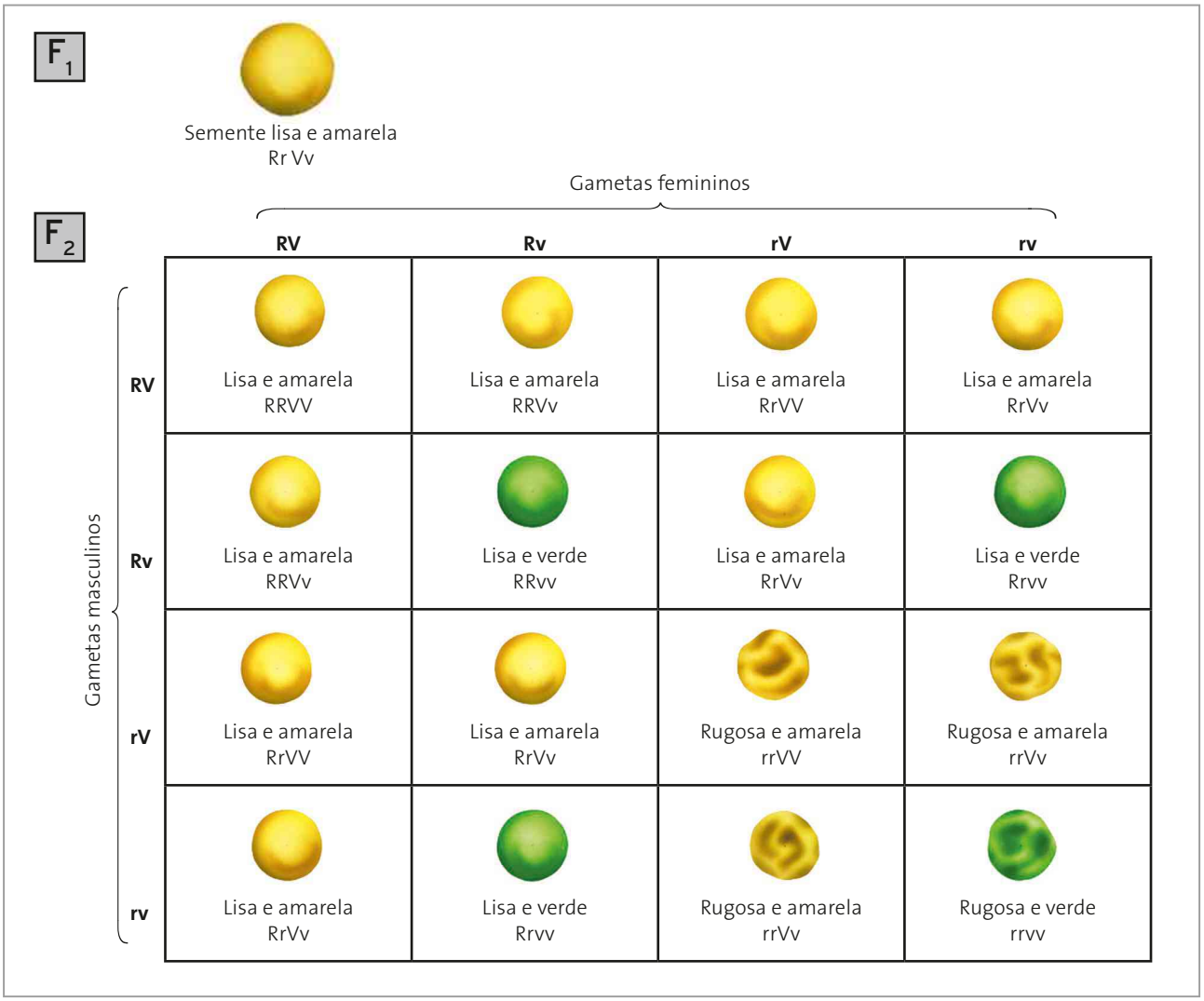


Figura 7.4. Esquema dos resultados obtidos na autofecundação de plantas de ervilha heterozigóticas da geração F_1, para textura e cor da semente. (Cores fantasia.)

Os dados desse quadro permitem estabelecer as seguintes proporções:

Proporção fenotípica	9 lisas e amarelas :	3 lisas e verdes :	3 rugosas e amarelas :	1 rugosa e verde
Proporção genotípica	1 RRVV 2 RrVV 2 RRVv 4 RrVv	1 RRvv 2 Rrvv	1 rrVV 2 rrVv	1 rrvv
Total	9 R__V__	3 R__vv	3 rrV__	1 rrvv

Realizando experimentos semelhantes para os vários pares de caracteres selecionados, Mendel verificou que os resultados se repetiam. As conclusões, a partir desses experimentos, foram, mais tarde, enunciadas como **segunda lei de Mendel** ou Princípio da distribuição independente dos caracteres.

Segunda lei de Mendel

Na formação dos gametas, o par de fatores responsável por uma característica separa-se independentemente de outro par de fatores responsável por outra característica.

Ou:

Segunda lei de Mendel

Os pares de alelos localizados em cromossomos não homólogos separam-se independentemente na formação dos gametas.

3. Relação entre a meiose e a segunda lei de Mendel

A figura 7.5 mostra a meiose em uma célula hipotética que possui dois pares de alelos localizados em cromossomos não homólogos. No conjunto das meioses, indivíduos AaBb (genótipo da célula inicial do esquema) podem produzir quatro tipos de gameta, todos em iguais proporções: 25% AB, 25% ab, 25% Ab e 25% aB.

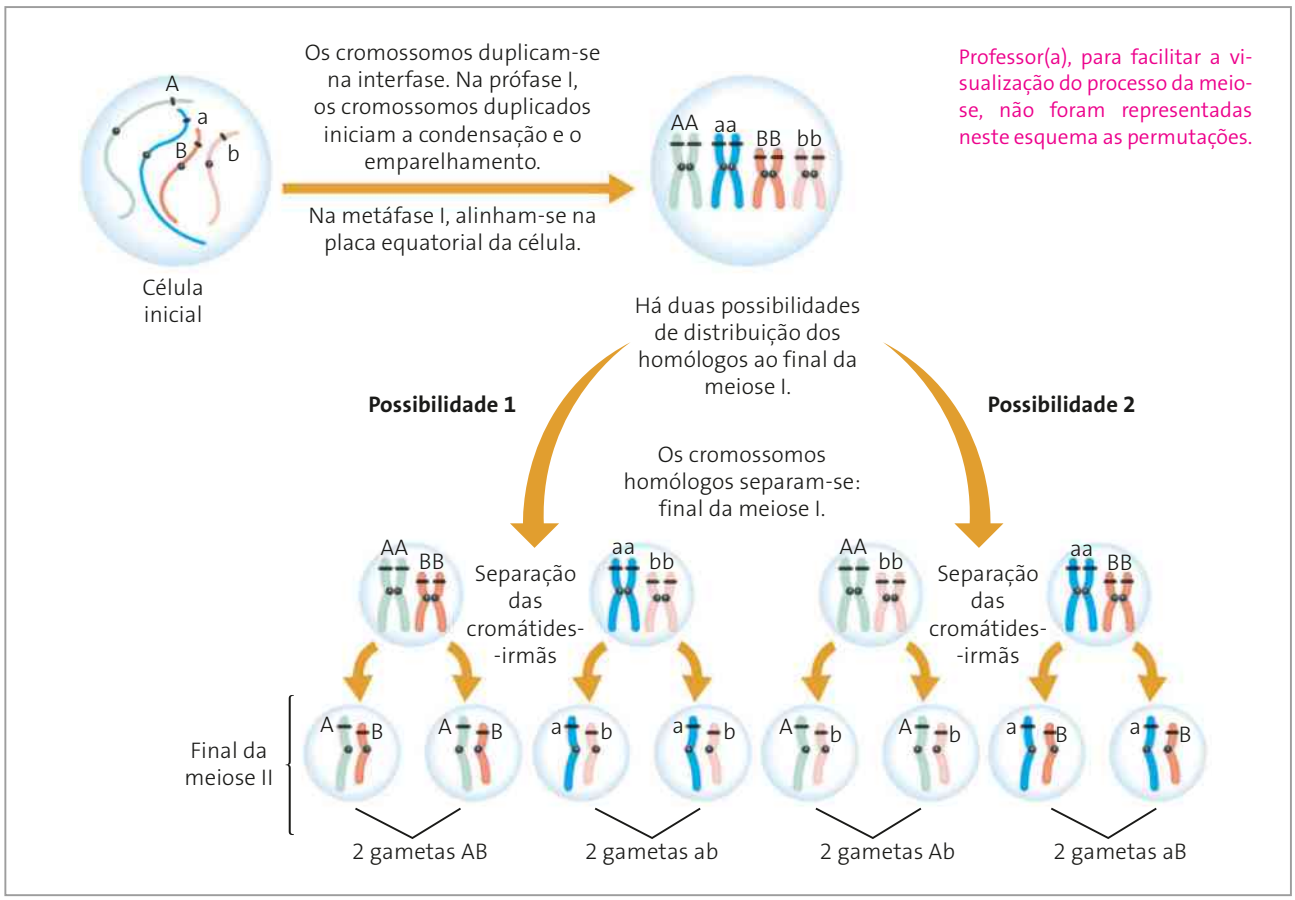


Figura 7.5. Esquema que explica dois resultados possíveis da meiose em uma célula heterozigótica, considerando dois pares de alelos localizados em cromossomos distintos. (Elementos representados em diferentes escalas; cores fantasia.)

4. Quando a segunda lei não é válida

Vamos supor agora que os pares de alelos mencionados no item 3 estivessem no mesmo par de cromossomos homólogos, como está representado na figura 7.6.

Nesse caso seriam formados apenas dois tipos de gameta, desde que não ocorresse *crossing-over* ou permutação na meiose. Se os dois pares de alelos estiverem no mesmo par de cromossomos homólogos, os caracteres determinados por esses pares de alelos não serão transmitidos independentemente, como propõe a segunda lei. Os casos de genes ligados a um mesmo cromossomo serão analisados mais adiante neste capítulo.

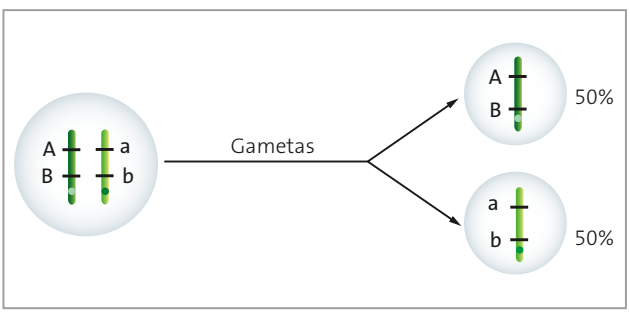
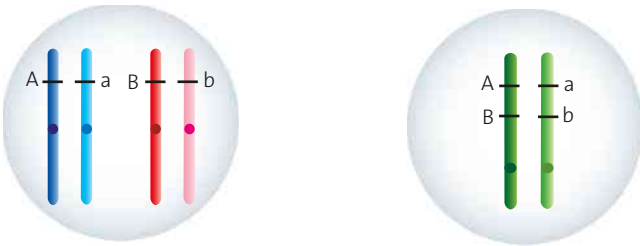


Figura 7.6. Esquema mostrando os gametas que poderiam surgir se os pares de alelos estivessem no mesmo par de cromossomos homólogos. (Elementos representados em diferentes escalas; cores fantasia.)

Assim, a segunda lei de Mendel não é tão geral quanto a primeira, limitando-se apenas a **pares de alelos localizados em cromossomos não homólogos** (Fig. 7.7).



A segunda lei **é válida**.

A segunda lei **não é válida**, pois os pares de alelos estão localizados no mesmo par de cromossomos homólogos.

Studio Caparroz

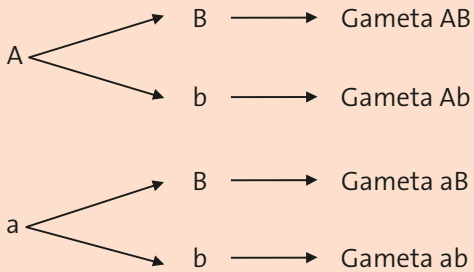
Figura 7.7. Esquema representando a situação em que a segunda lei é válida e a que não pode ser relacionada à segunda lei. (Elementos representados em diferentes escalas; cores fantasia.)

5. Determinação dos tipos de gameta de acordo com a segunda lei

Um modo fácil de saber os tipos de gameta formados por um indivíduo com pares de alelos em diferentes cromossomos homólogos é utilizar o **método das ramificações**. Para explicar esse método, vamos analisar os exemplos a seguir.

- Quais são os tipos de gameta formados por um indivíduo AaBb?

Como esses pares de alelos segregam-se independentemente, um gameta terá o alelo **A** e o outro, o alelo **a**. Se tiver o alelo **A**, o outro alelo que pode ocorrer nesse gameta é o **B** ou o **b**; se tiver o alelo **a**, o outro alelo pode ser o **B** ou o **b**. Com base nesse raciocínio, montam-se as ramificações do seguinte modo:

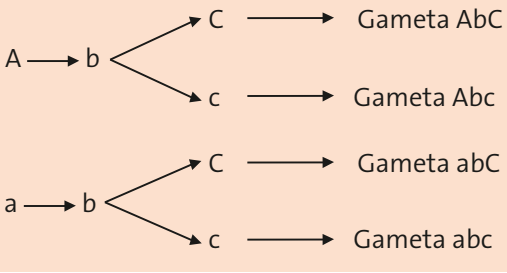


Formam-se quatro tipos de gameta em iguais proporções:

$$\frac{1}{4}\text{AB} : \frac{1}{4}\text{Ab} : \frac{1}{4}\text{aB} : \frac{1}{4}\text{ab}.$$

- Quais são os tipos de gameta formados por um indivíduo AabbCc?

Utiliza-se o mesmo raciocínio do exemplo anterior, lembrando apenas que o par **bb** forma um só tipo de gameta: o **b**. Assim, as ramificações são:



No indivíduo formam-se, portanto, quatro tipos de gameta em iguais proporções:

$$\frac{1}{4}\text{AbC} : \frac{1}{4}\text{Abc} : \frac{1}{4}\text{abC} : \frac{1}{4}\text{abc}.$$

Quando se pretende saber apenas **o número de tipos diferentes de gameta** no caso de alelos que obedecem à segunda lei, é possível utilizar a fórmula:

2^n, em que **n** = número de pares de alelos em heterozigose.

Vamos aplicar essa fórmula aos exemplos dados e a outros para calcular quantos tipos de gameta são formados.

- AaBb → nº de pares de alelos em heterozigose = 2
  $2^n = 2^2 = 4$
- AabbCc → nº de pares de alelos em heterozigose = 2
  $2^n = 2^2 = 4$
- AaBbCc → nº de pares de alelos em heterozigose = 3
  $2^n = 2^3 = 8$
- AAbbCCddEe → nº de pares de alelos em heterozigose = 1
  $2^n = 2^1 = 2$
- aaBBCC → nº de pares de alelos em heterozigose = 0
  $2^n = 2^0 = 1$

6. A herança dos grupos sanguíneos humanos

Na espécie humana, existem cerca de 20 sistemas de classificação dos grupos sanguíneos. Vamos analisar apenas os três sistemas principais: **ABO**, **Rh** e **MN**.

Esses três sistemas são transmitidos independentemente, pois os pares de alelos localizam-se cada um deles em um par distinto de cromossomos homólogos.

Portanto, o estudo da herança desses sistemas é um caso particular de tri-hibridismo. Além disso, reúne os principais mecanismos de herança abordados até agora:

- o sistema ABO é um caso de alelos múltiplos;
- o sistema MN é um exemplo de codominância entre alelos; ele já foi discutido no capítulo anterior e será retomado aqui;
- o sistema Rh pode ser considerado, por simplificação, um caso de dominância completa entre dois alelos.

Vamos analisar cada um desses sistemas separadamente e depois resolver problemas que envolvem a herança dos três sistemas ao mesmo tempo.

6.1. A herança dos grupos sanguíneos do sistema ABO

Existem quatro grupos sanguíneos do sistema ABO que são relacionados a herança genética. Na manifestação dos fenótipos desses grupos sanguíneos estão envolvidos três alelos, que, nos indivíduos diploides, aparecem dois a dois.

Os alelos envolvidos são **A**, **B** e **O** ou I^A, I^B e **i**. A representação dos alelos pela letra **I** deve-se à palavra **isoaglutinação**, que se refere à aglutinação do sangue ocorrida na transfusão entre indivíduos de mesma espécie com tipos sanguíneos incompatíveis.

Dependendo da relação de dominância entre os alelos dos pares formados, são obtidos os diferentes grupos sanguíneos: **grupo A**, **grupo B**, **grupo AB** e **grupo O**.

A figura 7.8 apresenta os genótipos e os respectivos fenótipos para o caracter grupo sanguíneo.

Como o alelo **i** só se manifesta em dose dupla, ele é recessivo em relação a seus alelos I^A e I^B. Assim, um indivíduo do grupo sanguíneo **O** é homozigótico recessivo (**ii**).

Quando os alelos I^A e I^B estão presentes no mesmo indivíduo, o fenótipo apresentado é o grupo sanguíneo **AB**. Nesse caso há dois alelos diferentes em um mesmo indivíduo, e ambos se manifestam. Trata-se, portanto, de um caso de codominância entre os alelos I^A e I^B.

Genótipos	Fenótipos (grupos sanguíneos)
$I^A I^A$ ou $I^A i$	**A**
$I^B I^B$ ou $I^B i$	**B**
$I^A I^B$	**AB**
ii	**O**

Ilustrações: Studio Caparroz

Figura 7.8. Genótipos e fenótipos para o caracter grupo sanguíneo do sistema ABO. (Elementos representados em diferentes escalas; cores fantasia.)

Sistema ABO

Resumindo as interações entre os três alelos, temos que:

- o alelo I^A é dominante sobre o alelo **i**;
- o alelo I^B é dominante sobre o alelo **i**;
- os alelos I^A e I^B são codominantes;
- o alelo **i** é recessivo em relação aos alelos I^A e I^B.

Colocando em foco

CODOMINÂNCIA EM TERMOS BIOQUÍMICOS

Nos casos de codominância, os dois alelos do par codificam enzimas ativas, manifestando-se o fenótipo determinado por eles. As diferenças bioquímicas entre os homozigotos e os heterozigotos manifestam-se claramente. Um exemplo são os grupos sanguíneos do sistema ABO: o alelo I^A codifica enzima **A**, que participa da reação de formação do antígeno **A**; o alelo I^B codifica enzima **B**, que participa da reação de formação do antígeno **B**; os indivíduos **AB** produzem os antígenos **A** e **B**; já os indivíduos do grupo **O**, que não têm o alelo I^A nem o I^B, não produzem essas enzimas e, portanto, não apresentam nenhum desses antígenos.

Determinação dos grupos sanguíneos do sistema ABO

No sistema ABO consideram-se duas proteínas presentes na membrana plasmática das hemácias que atuam como antígenos e são chamadas **aglutinogênios**. Cada uma delas é determinada por um alelo:

- o antígeno ou **aglutinogênio A** é determinado pelo alelo I^A;
- o antígeno ou **aglutinogênio B** é determinado pelo alelo I^B;
- o alelo **i** não determina síntese de aglutinogênios.

Assim, indivíduos:

- I^AI^A ou I^Ai possuem o **aglutinogênio A** em suas hemácias;
- I^BI^B ou I^Bi possuem o **aglutinogênio B** em suas hemácias;
- I^AI^B possuem os **aglutinogênios A** e **B** em suas hemácias;
- **ii** não possuem aglutinogênios nas hemácias.

Além dos aglutinogênios presentes nas hemácias, existem no **plasma** proteínas específicas chamadas **aglutininas**, que atuam como anticorpos e já se encontram sintetizadas no plasma. A reação antígeno-anticorpo é extremamente específica e, no caso dos grupos sanguíneos, essa reação é denominada **aglutinação**: formam-se flocos no sangue, que correspondem às hemácias aglutinadas.

Há dois tipos de aglutinina que podem ocorrer no sistema ABO:

- **anti-A**, que reage com o aglutinogênio **A**;
- **anti-B**, que reage com o aglutinogênio **B**.

Assim, um indivíduo do grupo **A** apresenta o aglutinogênio **A** em suas hemácias e não possui a aglutinina anti-A em seu plasma; um indivíduo do grupo **B** apresenta o aglutinogênio **B** nas hemácias e não possui a aglutinina anti-B no plasma.

Já os indivíduos do grupo **AB** não apresentam aglutininas em seu plasma, e os indivíduos do grupo **O** possuem os dois tipos de aglutininas no plasma.

Genótipo	Grupo sanguíneo	Antígeno ou aglutinogênio (nas hemácias)	Anticorpo ou aglutinina (no plasma)
I^AI^A ou I^Ai	A	A	anti-B
I^BI^B ou I^Bi	B	B	anti-A
I^AI^B	AB	A e B	—
ii	O	—	anti-A e anti-B

O procedimento para saber o grupo sanguíneo a que um indivíduo pertence só deve ser realizado em laboratórios especializados. Primeiramente, coloca-se em uma lâmina uma gota de soro que possui anti-A e, ao lado, uma gota de soro que possui anti-B. Em seguida, acrescenta-se uma gota de sangue a cada gota de soro. Mistura-se com um bastão de vidro cada uma das amostras, evitando utilizar a mesma ponta do bastão nas duas amostras, para não contaminá-las.

Lembrando que o aglutinogênio **A** é aglutinado pelo anticorpo anti-A e que o aglutinogênio **B** é aglutinado pelo anticorpo anti-B, podem-se interpretar os possíveis resultados (Fig. 7.9):

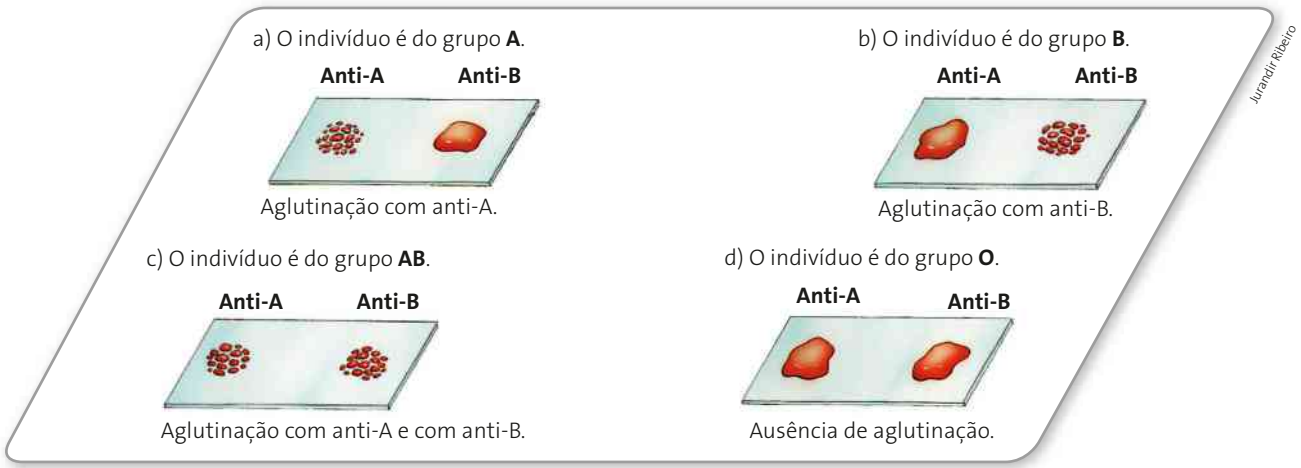


Figura 7.9. Esquema mostrando possíveis resultados obtidos no teste para verificação do grupo sanguíneo de um indivíduo. (Cores fantasia.)

Atenção: Esse procedimento só deve ser realizado em laboratórios especializados, pois há risco de contágio por doenças transmitidas pelo sangue.

6.2. A herança dos grupos sanguíneos do sistema Rh

Além do sistema MN de grupo sanguíneo, mencionado no capítulo anterior, há outros sistemas, como o sistema Rh. Esse sistema foi descoberto a partir de experimentos realizados em 1940, com sangue de macaco do gênero *Rhesus*, atualmente classificado como *Macaca mulatta*.

Foi verificado que, ao injetar o sangue desse macaco em cobaias, ocorria produção de anticorpos para combater as hemácias introduzidas. Retirando-se amostras de sangue das cobaias assim tratadas, obtinha-se um soro contendo um anticorpo que aglutinava as hemácias do macaco *Rhesus*.

Concluiu-se, então, que nas hemácias desse macaco havia um fator (antígeno) denominado **fator Rh** (por causa do gênero ***Rh****esus*), que, ao entrar em contato com o sangue da cobaia, estimulava a produção de um anticorpo, que foi chamado **anti-Rh**.

Analisando o sangue de muitos indivíduos da espécie humana, verificou-se que, ao misturar gotas de sangue desses indivíduos com o soro contendo anti-Rh, em cerca de 85% dos casos examinados ocorria aglutinação e em 15% não ocorria. Portanto, 85% dessas pessoas apresentavam o fator Rh nas hemácias e foram classificadas como grupo sanguíneo Rh^+. Já 15% das pessoas examinadas não apresentavam esse fator nas hemácias e foram classificadas como grupo Rh^-.

No plasma, o anticorpo anti-Rh não ocorre naturalmente. O anticorpo pode ser formado se uma pessoa do grupo Rh^- receber sangue de uma pessoa do grupo Rh^+.

A determinação genética do sistema Rh é bastante complexa, mas, de modo simplificado, pode-se atribuí-la a um par de alelos com relação de dominância completa: o alelo **R**, que determina a produção do fator Rh, é dominante sobre o alelo **r**.

Genótipos	Fenótipos
RR, Rr	Rh^+
rr	Rh^-

Transfusões de sangue

Em transfusões de sangue é necessário que haja compatibilidade entre o antígeno (ou aglutinogênio) das hemácias do doador e o anticorpo (ou aglutinina) do plasma do receptor.

Se um indivíduo do grupo sanguíneo **A**, que possui aglutinogênio **A**, doar sangue a uma pessoa do grupo **B**, ocorrerá aglutinação, pois nesse caso o receptor possui aglutinina anti-A pronta no plasma. Esse anticorpo reage com o aglutinogênio **A** das hemácias do doador, aglutinando-as. Essa aglutinação promove a formação de grumos no sangue, que obstruem os vasos sanguíneos, podendo causar a morte do indivíduo receptor. Assim, uma pessoa do grupo **A** não pode doar sangue a uma pessoa do grupo **B**.

Com base na presença ou na ausência de aglutinogênios, pode-se construir o esquema representado na figura 7.10.

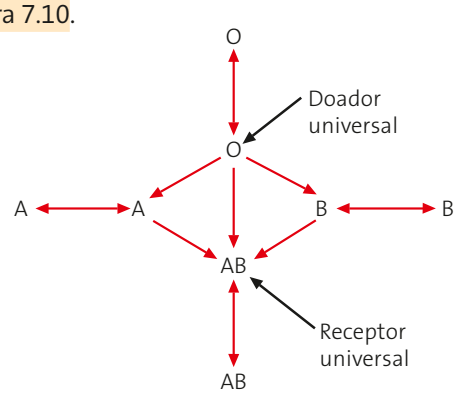


Figura 7.10. Diagrama das possibilidades de transfusão de sangue considerando o sistema ABO.

Os indivíduos do grupo sanguíneo **O** podem doar sangue para indivíduos de todos os outros grupos, pois suas hemácias não contêm aglutinogênios **A** nem **B**. Por isso, são denominados **doadores universais**.

Já os indivíduos do grupo sanguíneo **AB** podem receber sangue de indivíduos de todos os outros grupos, pois seu plasma não contém as aglutininas anti-A e anti-B. Em razão disso, são denominados **receptores universais**. Embora isso seja possível, é sempre necessário cautela, pois o ideal é que as transfusões sejam feitas entre indivíduos do mesmo grupo sanguíneo.

Em transfusões, além de considerarmos o sistema ABO, também deve haver compatibilidade do sistema Rh. Dessa forma, o indivíduo doador universal é do tipo **O** Rh^-, e o receptor universal é do tipo **AB** Rh^+.

Colocando em foco

A ERITROBLASTOSE FETAL

Essa doença, também chamada doença hemolítica do recém-nascido, é provocada pelo fator Rh. Caracteriza-se pela destruição das hemácias do feto ou do recém-nascido, podendo causar a morte da criança.

A eritroblastose fetal só ocorre quando mulheres Rh^- já sensibilizadas anteriormente têm filho Rh^+. A sensibilização pode ocorrer por transfusão de sangue Rh^+ ou gestação anterior de um filho Rh^+.

Durante o parto, quando a placenta se descola do útero, há rompimento de capilares, propiciando a passagem de hemácias do feto para o sangue da mãe. Se o feto for Rh^+, ele tem em suas hemácias o antígeno fator Rh, que, ao entrar em contato com o sangue da mãe Rh^-, estimula a produção do anticorpo anti-Rh no plasma da mãe.

Após 15 a 20 dias dessa passagem, a mãe desenvolve os anticorpos anti-Rh. Assim, na primeira gestação não há perigo de ocorrer eritroblastose, a não ser que a mãe já tenha sido sensibilizada anteriormente por transfusão de sangue Rh^+.

A partir da segunda gestação, se o feto for Rh^+ novamente, a mãe, já sensibilizada, ao passar o anticorpo anti-Rh presente no seu plasma para ele, provoca a destruição das hemácias do feto (Fig. 7.11).

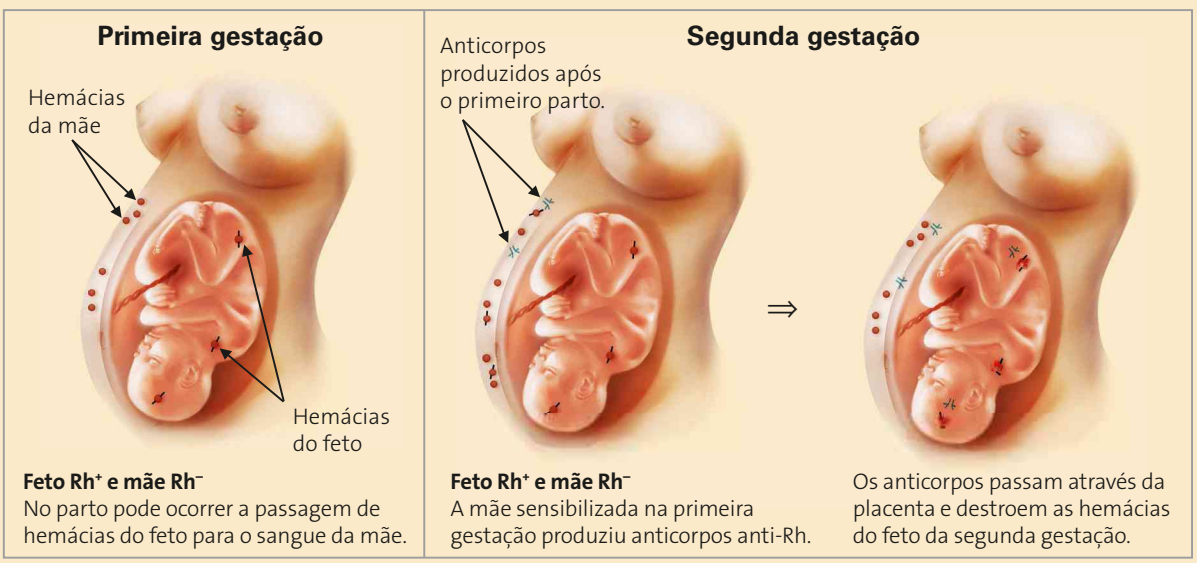


Figura 7.11. Esquema mostrando as condições necessárias para a ocorrência de eritroblastose fetal. (Elementos representados em diferentes escalas; cores fantasia.)

Um recém-nascido que apresente eritroblastose fetal deve ser imediatamente submetido a uma transfusão total de sangue, recebendo sangue do tipo Rh^-, que tem hemácias que não são destruídas pelos anticorpos recebidos da mãe pois não apresentam fator Rh. Como as hemácias são células anucleadas, elas têm pouco tempo de vida. Assim, após certo tempo, as hemácias recebidas no sangue da transfusão morrem e são substituídas por outras, produzidas pelo próprio indivíduo. Essas novas hemácias possuem fator Rh, pois o indivíduo apresenta o alelo que determina a produção desse antígeno. Contudo, não havendo mais o anticorpo que recebeu da mãe, ele pode viver sem problemas.

Atualmente, a eritroblastose fetal é prevenida injetando-se, na mãe Rh^-, soro contendo anti-Rh logo após o nascimento do primeiro filho Rh^+. A aplicação do soro anti-Rh logo em seguida ao parto provoca a destruição das hemácias que passaram do filho para o sangue da mãe, evitando, assim, a produção de anticorpos. Essa prática deve ser repetida depois de cada parto, a fim de diminuir a sensibilização da mãe.

A frequência observada de eritroblastose fetal é, no entanto, menor que a esperada. Um dos motivos importantes para a redução da ocorrência dessa doença é a **incompatibilidade do grupo sanguíneo do sistema ABO entre mãe e feto**. Assim, se o filho é do grupo **A** e a mãe é do grupo **B**, o sangue do filho não é compatível com o da mãe, e vice-versa. Nesse caso, se as hemácias do filho, portadoras de um antígeno para o qual existe no sangue da mãe um anticorpo correspondente, passarem para o sangue da mãe, elas serão imediatamente destruídas; não haverá tempo para se formar o anticorpo anti-Rh e a mãe não será sensibilizada.

Dessa forma, quando há incompatibilidade no sistema ABO, a frequência de eritroblastose é bastante reduzida.

6.3. Resolvendo problemas: grupos sanguíneos

Dois casais afirmam que determinada criança achada pela polícia é seu filho desaparecido. Os resultados dos testes para os grupos sanguíneos foram os mostrados abaixo.

***Criança**: O, MN, Rh^-*

Casal 1	***Casal 2***
♀ : *O, MN, Rh^-*	♀ : *A, N, Rh^+*
♂ : *AB, M, Rh^+*	♂ : *B, M, Rh^+*

Explique como esses resultados excluem ou não a possibilidade de a criança ser o filho desaparecido do casal 1 ou do casal 2.

***Resposta**:*

Com relação à criança:

- *para o sistema ABO: grupo O, genótipo ii;*
- *para o sistema MN: grupo MN, genótipo L^ML^N;*
- *para o sistema Rh: grupo Rh^-, genótipo rr.*

O genótipo da criança é:

$$ii L^M L^N rr$$

Casal 1

Fenótipo: ♀ *O* × ♂ *MN* *Rh^-* × *AB* *M* *Rh^+*

Genótipo: *ii* × I^AI^B L^ML^N L^ML^M *rr* *R_*

*Esse casal não pode ter filho de sangue **O**, pois, apesar de a mãe ser **O**, o pai é **AB**.*

♀ *ii* × ♂ i^Ai^B

↓

*50% I^Ai → Grupo **A***

*50% I^Bi → Grupo **B***

Com relação aos outros sistemas de grupo sanguíneo, esses pais poderiam ter filho MN e Rh^-, mas, em relação ao sistema ABO, isso não é possível.

Assim, a criança encontrada pela polícia não é o filho do casal 1.

Casal 2

Fenótipo: ♀ *A* *N* *Rh^+* × ♂ *B* *M* *Rh^+*

Genótipo: $I^A_$ L^NL^N *R_* $I^B_$ L^ML^M *R_*

Com relação ao sistema ABO:

♀ $I^A_$ × ♂ $I^B_$

Podem ter filho O se a mulher for I^Ai e o homem for I^Bi.

Com relação ao sistema MN: ♀ L^NL^N × ♂ L^ML^M

Só podem ter filho $\mathbf{L^ML^N}$. Quanto a esse sistema, o filho poderia ser desse casal.

Com relação ao sistema Rh: ♀ *R_* × ♂ *R_*

Esse casal pode ter um filho Rh^- se tanto o pai como a mãe forem heterozigóticos Rr.

Assim, a análise dos grupos sanguíneos permite-nos concluir apenas que a criança não pode ser o filho do casal 1. Com relação ao casal 2, não se pode afirmar com certeza se a criança é ou não seu filho.

Colocando em foco

FALSO O – O EFEITO BOMBAIM

Pais do grupo sanguíneo **O** tiveram um filho **A**. Isso é possível? A resposta mais lógica a essa pergunta é **não**. Entretanto, essa resposta nem sempre pode ser absoluta. Deve-se investigar se os pais são realmente do grupo **O** ou se pertencem a uma pequena porcentagem da população (menos de 1%) que é formada por indivíduos **falso O**. Estes podem ter genótipos I^AI^A, I^Ai, I^BI^B, I^Bi ou I^AI^B, mas são sempre identificados como do grupo **O** por meio das técnicas tradicionais de determinação dos grupos sanguíneos. Para esclarecer essa questão, devem ser realizados testes especiais, porém simples, que permitem verificar se os indivíduos são realmente do grupo **O** ou se são **falso O**. A incidência de **falso O** é maior na Índia, especialmente em Bombaim, falando-se, por isso, em **efeito Bombaim**.

Vamos explicar esse fenômeno. Existe, em um dos cromossomos, um loco gênico denominado loco **H**, onde estão os alelos **H** ou **h**, que apresentam relação de dominância entre si. Os indivíduos HH ou Hh sintetizam uma enzima que transforma uma substância precursora em **antígeno H**. Esse antígeno é transformado em **antígeno A** ou **B**, respectivamente, pelas enzimas sintetizadas sob o comando dos alelos I^A ou I^B. É a presença desses **antígenos A** e **B** que se investiga nos testes tradicionais de determinação dos grupos sanguíneos. Desse modo, nos indivíduos HH ou Hh esses testes fornecem resultados corretos (quadro 1).

No entanto, os indivíduos hh sintetizam uma enzima defeituosa que não transforma a substância precursora em **antígeno H**. Na ausência desse antígeno, as enzimas produzidas sob o comando dos alelos I^A e I^B não são operantes, pois não existe o substrato (**antígeno H**) sobre o qual atuam. Assim, não são formados os **antígenos A** ou **B**, mesmo que a pessoa tenha os alelos I^A e/ou I^B. Essas pessoas são **falso O** (quadro 2).

Quadro 1

Loco H	Loco do sistema ABO	Fenótipo
Genótipos **HH** ou **Hh** → Enzima **H** → Antígeno **H** → Substância precursora	Genótipos I^AI^A ; I^Ai → Enzima **A** → Antígeno **A**	Grupo **A**
	Genótipos I^BI^B ; I^Bi → Enzima **B** → Antígeno **B**	Grupo **B**
	Genótipos I^AI^B → Enzima **A** e Enzima **B** → Antígeno **A** e Antígeno **B**	Grupo **AB**
	Genótipos ii → Não sintetizam enzimas **A** ou **B** → Não sintetizam enzimas **A** ou **B**	Grupo **O**

Quadro 2

Loco H	Loco do sistema ABO	Fenótipo
Genótipos **hh** → Enzima inativa → Substância precursora → Substância precursora	Genótipos I^AI^A ; I^Ai / I^BI^B ; I^Bi / I^AI^B → Enzima **A** / Enzima **B** / Enzima **A** e enzima **B** → Inoperantes pela ausência do substrato sobre o qual atuam.	Falso **O**

O loco **H** está em um par de cromossomos homólogos diferente de onde está o loco do sistema ABO. Logo, eles se segregam independentemente na meiose, de acordo com a segunda lei de Mendel.

O teste para saber se o indivíduo é um **falso O** é feito pingando-se uma gota de seu sangue em uma lâmina e adicionando-se a ela o anticorpo anti-H. Se ocorrer aglutinação, o indivíduo é um **O verdadeiro**; se não, é um **falso O**. Nesse caso, não é possível saber o grupo sanguíneo real do indivíduo.

7. Genes ligados: restrição à segunda lei

Uma importante **restrição** à segunda lei de Mendel são os **genes ligados**. Em 1910, **Thomas Morgan** (1866-1945) e seus colaboradores, ao estudarem a herança de certos caracteres da mosca *Drosophila melanogaster*, observaram que nem sempre as características transmitiam-se independentemente, restringindo, assim, a segunda lei de Mendel.

Morgan verificou que certos caracteres, que chamaremos **A**, **B**, **C** e **D**, sempre ocorriam juntos, o que seria explicado pelo fato de os alelos A, B, C, D estarem em um mesmo cromossomo (Fig. 7.12). Diz-se que esses alelos estão **ligados** ou que apresentam **ligação gênica** ou *linkage* (palavra inglesa). Cada conjunto de alelos localizado em um cromossomo forma um **grupo de *linkage*** ou grupo de ligação, pois são transmitidos conjuntamente.

Como os alelos ligados localizam-se em um mesmo cromossomo, eles não se separam na formação dos gametas, a não ser que ocorra **permutação** ou *crossing-over* (assunto a ser discutido no próximo item).

Nos esquemas a seguir, vamos comparar a meiose em um caso em que os pares de alelos Aa e Bb estão localizados em cromossomos diferentes com outro caso em que os pares de alelos Aa e Bb estão ligados em um mesmo par de cromossomos homólogos.

Studio Caparroz

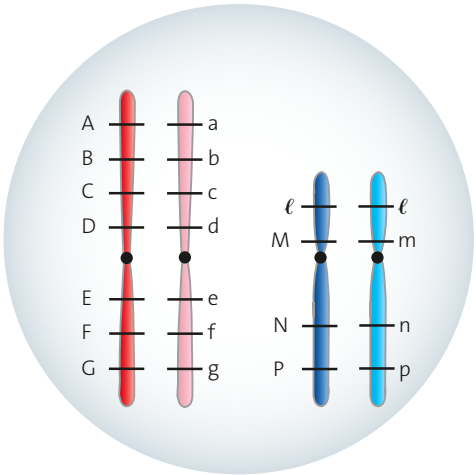


Figura 7.12. Esquema hipotético mostrando a disposição linear dos alelos **A**, **B**, **C**, **D**, **E**, **F** e **G** em um mesmo cromossomo e dos alelos **a**, **b**, **c**, **d**, **e**, **f** e **g** no cromossomo homólogo. São alelos ligados, formando um grupo de ligação. Outro grupo de ligação é observado em outro par de cromossomos homólogos: alelos ℓ, **M**, **N** e **P** e alelos ℓ, **m**, **n** e **p**. (Elementos representados em diferentes escalas; cores fantasia.)

Quando os genes não estão ligados e, portanto, transmitem-se independentemente, podem ser formados quatro tipos de gametas, todos em igual proporção, como diz a segunda lei de Mendel (Fig. 7.13).

Quando os genes estão ligados e não há permutação entre eles, formam-se apenas dois tipos de gameta, em igual proporção (Fig. 7.14).

Studio Caparroz

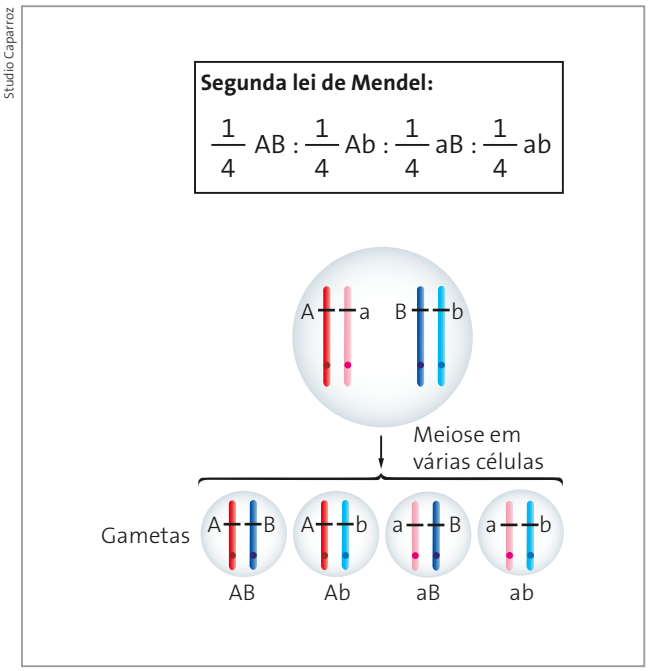


Figura 7.13. Tipos de gameta formados quando os genes se transmitem independentemente, obedecendo à segunda lei de Mendel. (Elementos representados em diferentes escalas; cores fantasia.)

Studio Caparroz

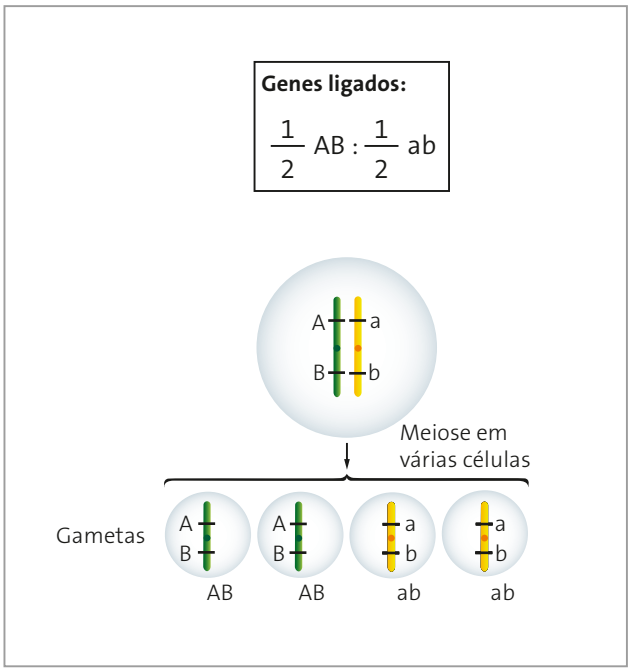


Figura 7.14. Tipos de gameta formados quando os genes estão ligados. (Elementos representados em diferentes escalas; cores fantasia.)

8. Permutação

Observe e analise o esquema de meiose resumido na figura 7.15.

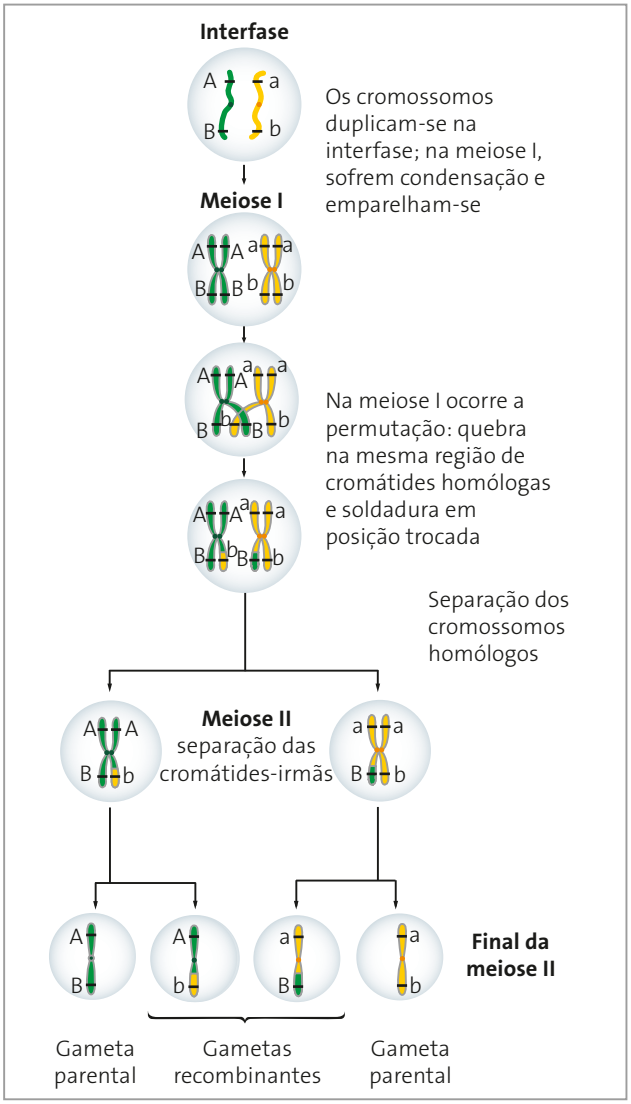


Figura 7.15. Esquema simplificado de meiose, resultando em quatro tipos de gameta. (Elementos representados em diferentes escalas; cores fantasia.)

Após a duplicação dos cromossomos na interfase, inicia-se a meiose I com a condensação e o emparelhamento dos cromossomos homólogos. Na prófase I, pode ocorrer quebra em duas cromátides homólogas na mesma altura, seguida da troca de suas partes. Esse processo denomina-se permutação ou *crossing-over*. Por causa da troca de segmentos ocorre a recombinação dos genes, o que aumenta a **variabilidade genética**.

No exemplo dado, se não houvesse permutação, os gametas seriam: **AB** e **ab**. Como houve permutação, aparecem quatro tipos de gameta: **AB**, **Ab**, **aB**, **ab**.

Quando há segregação independente, também surgem quatro tipos de gameta. A diferença entre segregação independente e genes ligados em cromossomos que sofrem permutação está na porcentagem de gametas formados. A permutação não ocorre exatamente no mesmo local dos cromossomos em todas as células germinativas que entram em meiose, mas em pequeno número delas.

Dessa forma, os gametas surgem em proporções diferentes. São considerados **gametas recombinantes** os que apresentam as novas combinações gênicas resultantes da permutação. Os **gametas parentais** são os que apresentam as combinações gênicas não resultantes da permutação. A porcentagem de gametas recombinantes é menor que a porcentagem de gametas parentais.

Para exemplificar, vamos supor que 100 células germinativas de genótipo AaBb entrem em meiose, como representado na figura 7.16, e que não haja permutação entre esses locos gênicos.

Formam-se 400 gametas, e a proporção entre eles é $\frac{1}{2}$ AB : $\frac{1}{2}$ ab.

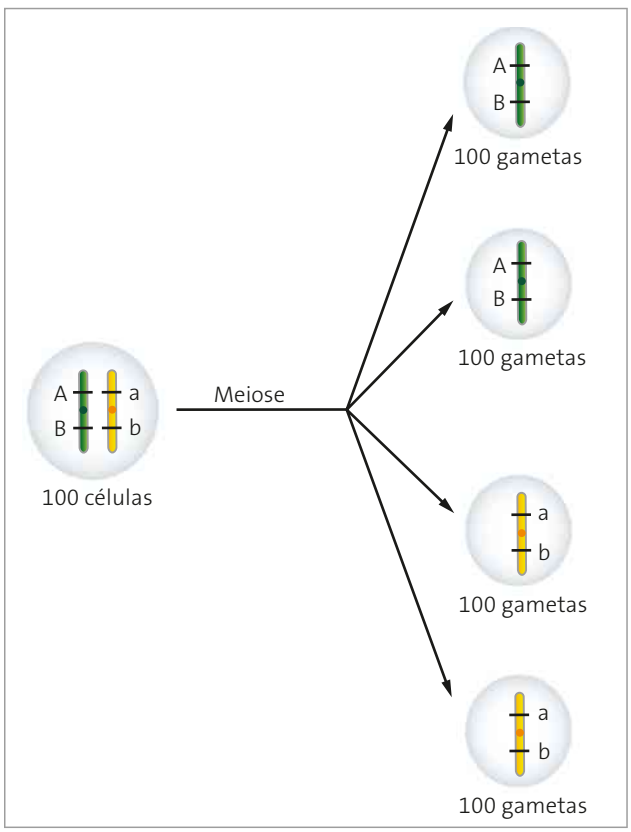


Figura 7.16. Exemplo de gametas produzidos a partir de 100 células germinativas de genótipo AaBb, sem permutação. (Elementos representados em diferentes escalas; cores fantasia.)

Suponhamos agora que, das 100 células do exemplo anterior, 20 apresentem permutação na meiose entre os locos gênicos considerados (Fig. 7.17):

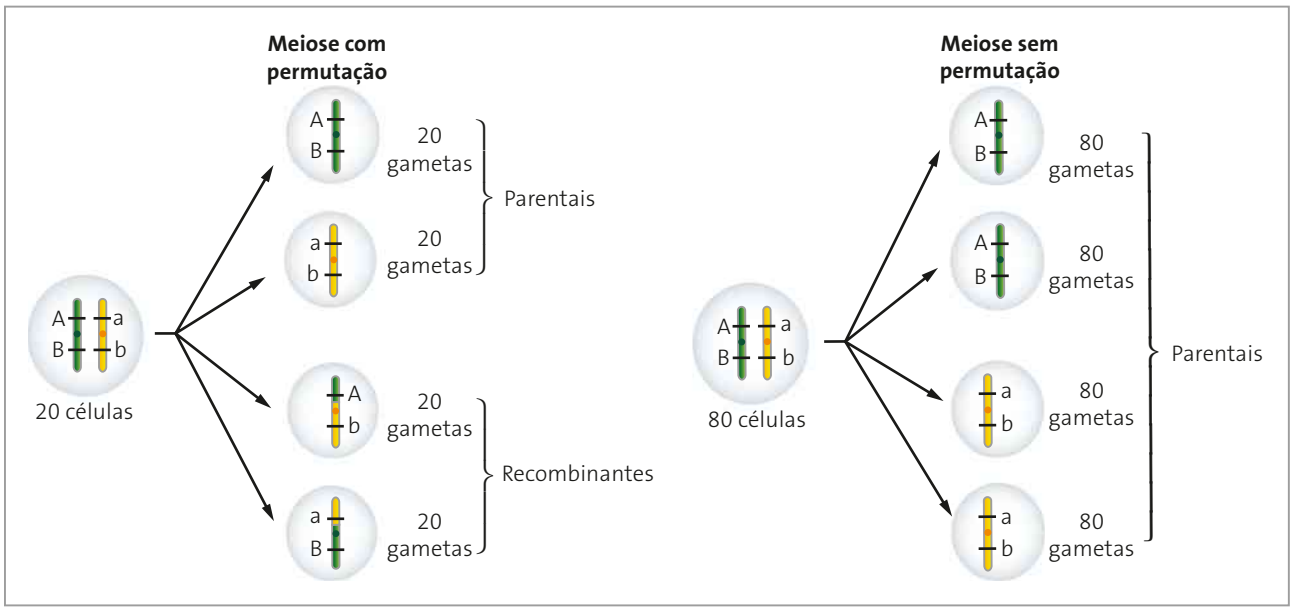


Figura 7.17. Exemplo de gametas produzidos a partir de 20 células germinativas nas quais ocorreu permutação e de 80 células germinativas sem permutação. (Elementos representados em diferentes escalas; cores fantasia.)

Serão formados:

Gametas Ab ⟶ 20
Gametas aB ⟶ 20
} Recombinantes (10%)

Gametas AB ⟶ 20 + 80 + 80 = 180
Gametas ab ⟶ 20 + 80 + 80 = 180
} Parentais (90%)

A porcentagem de gametas recombinantes (10%) é menor do que a dos parentais (90%) e corresponde ao que se chama de taxa de permutação ou taxa de recombinação.

9. O método de Morgan e a descoberta dos genes ligados

A equipe de Morgan utilizou em seus estudos a mosca-das-frutas, *Drosophila melanogaster* (Fig. 7.18). Essas moscas são consideradas interessantes para realizar pesquisas genéticas por vários motivos: apresentam ciclo reprodutivo curto, completando o ciclo vital em 10 dias, a 25 °C; são facilmente mantidas em laboratório; e apresentam fecundidade alta (uma fêmea põe centenas de ovos de cada vez).

Inicialmente, Morgan e seus colaboradores procuraram detectar a existência de caracteres bem definidos em populações de *Drosophila melanogaster*. Verificaram a existência de certas variações hereditárias decorrentes de mutações gênicas, que eram facilmente observáveis e ocorriam com alguma frequência.


Valeu Stock Images/Fotosearch/Glow Images

Figura 7.18. Fotografia de *Drosophila melanogaster* (mede cerca de 3 mm de comprimento).

Vamos estudar um dos experimentos da equipe de Morgan em que se analisou a herança de dois caracteres, ambos apresentando fenótipos selvagem e mutante: cor do corpo e tamanho das asas. Os fenótipos selvagens correspondem a corpo castanho e asas normais, e os fenótipos mutantes correspondem a corpo preto e asas vestigiais.

Cruzando um indivíduo selvagem e homozigótico para os dois caracteres com um indivíduo mutante também homozigótico para esses caracteres, Morgan e seus colaboradores obtiveram em F_1 apenas descendentes selvagens e heterozigóticos para ambos os caracteres, isto é, indivíduos com asas normais e corpo castanho (Fig. 7.19). Esse fato mostrou que os alelos mutantes para esses caracteres são recessivos.

Jurandir Ribeiro

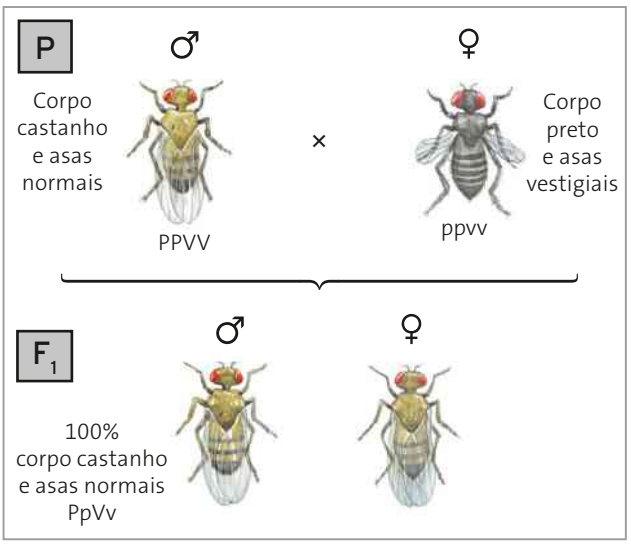
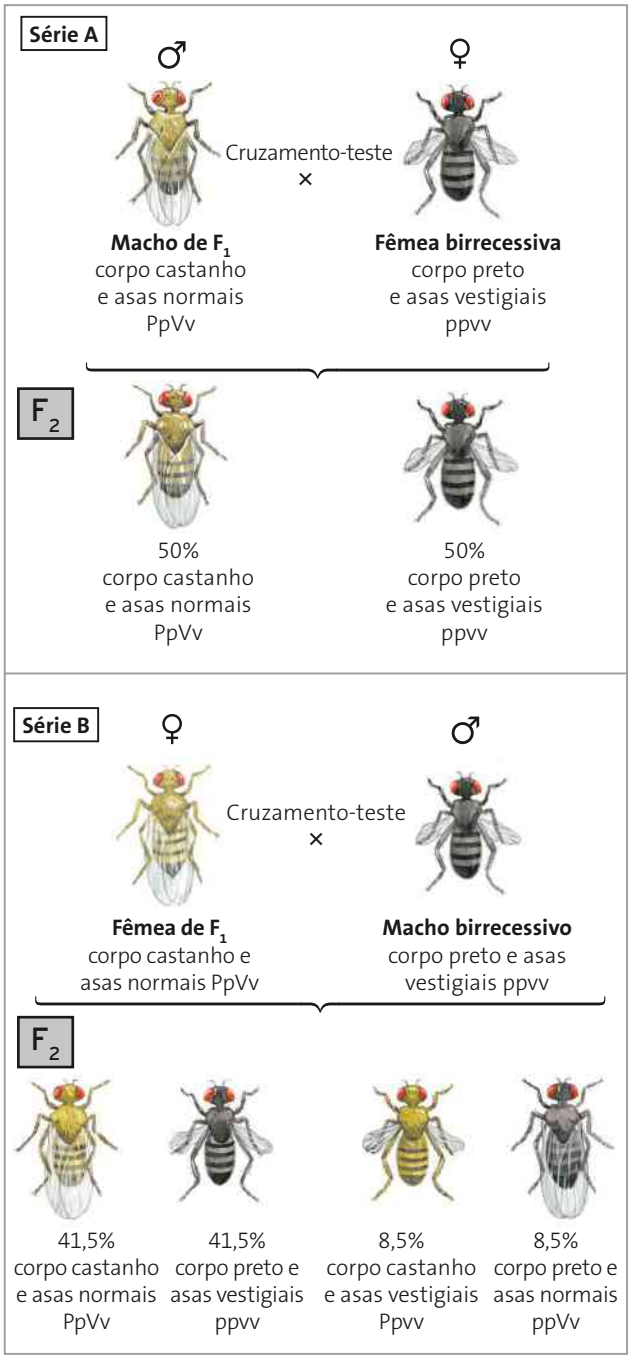


Figura 7.19. Esquema representando os resultados obtidos por Morgan e seus colaboradores, na geração F_1, em cruzamentos de *Drosophila melanogaster*, considerando cor do corpo e tamanho das asas. (Cores fantasia.)

Com os indivíduos originados em F_1, Morgan realizou duas séries de cruzamentos-testes: em uma série (**A**) cruzou machos de F_1 com fêmeas birrecessivas, e em outra (**B**), fêmeas de F_1 com machos birrecessivos. Os resultados obtidos estão mostrados na figura 7.20.

Na série de experimentação **A**, a fêmea birrecessiva produziu apenas um tipo de gameta. Logo, os fenótipos que surgiram em F_2 estavam relacionados aos gametas produzidos pelo macho di-híbrido. Se 50% de F_2 apresentaram corpo castanho e asas normais e 50% apresentaram corpo preto e asas vestigiais, isso indica que os di-híbridos produziram apenas dois tipos de gameta em igual proporção: 50% **PV** e 50% **pv**. Dessa forma, os alelos **P** e **V** estão juntos em um cromossomo, e os alelos recessivos **p** e **v** estão juntos em um cromossomo homólogo. Então, os genótipos dos machos de F_1 e seus gametas são os representados na figura 7.21.



Ilustrações: Jurandir Ribeiro

Figura 7.20. Esquema representando os resultados obtidos por Morgan e seus colaboradores em cruzamentos-testes de *Drosophila melanogaster*, considerando a cor do corpo e o tamanho das asas. (Cores fantasia.)

Com base nesses resultados, Morgan e seus colaboradores propuseram que esses caracteres **não** se transmitiam de modo independente.

Na série de experimentação **B**, o macho birrecessivo produziu um só tipo de gameta: **pv**. Logo, os resultados obtidos em F_2 deviam-se aos gametas produzidos pela fêmea. Esses gametas e suas respectivas proporções estão indicados na figura 7.22.

Studio Caparroz

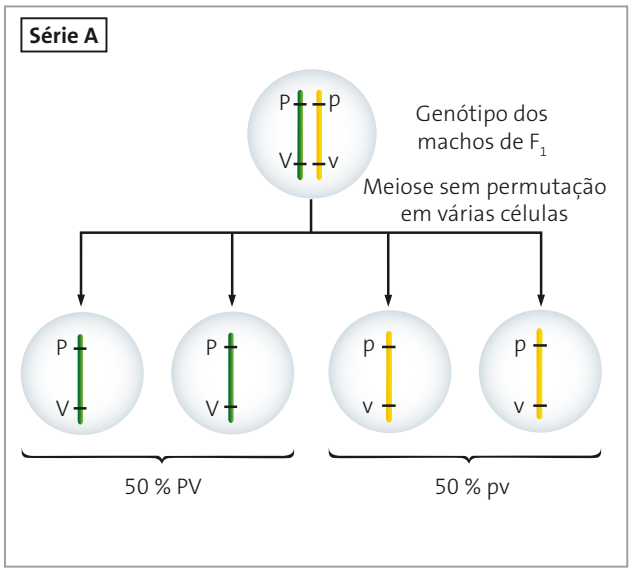
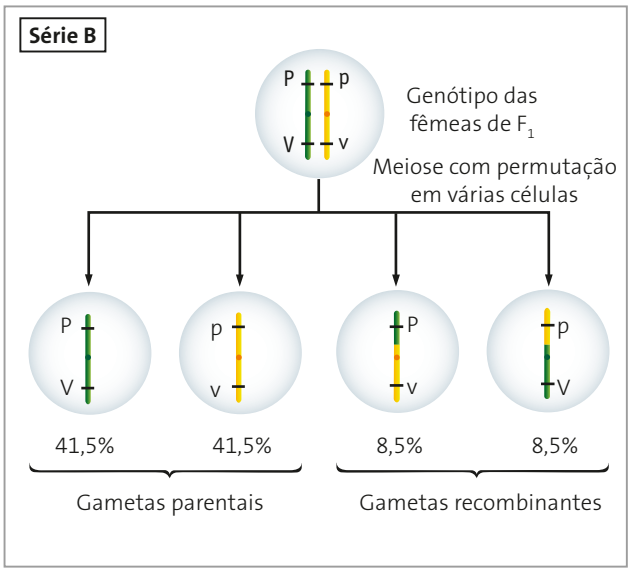


Figura 7.21. Genótipos dos machos F_1 e seus gametas, produzidos em eventos de meiose sem permutação. (Elementos representados em diferentes escalas; cores fantasia.)



Studio Caparroz

Figura 7.22. Genótipos das fêmeas de F_1 e seus gametas, produzidos em eventos de meiose com permutação. (Elementos representados em diferentes escalas; cores fantasia.)

Nesse caso, houve permutação na formação dos gametas das fêmeas, dando origem aos gametas recombinantes **pV** e **Pv**. Os genótipos e os respectivos fenótipos são, portanto, os listados na tabela abaixo:

Genótipos	Fenótipos
Pp**V**v	41,5% castanho, normal
pp**v**v	41,5% preto, vestigial
Pp**v**v	8,5% castanho, vestigial
pp**V**v	8,5% preto, normal

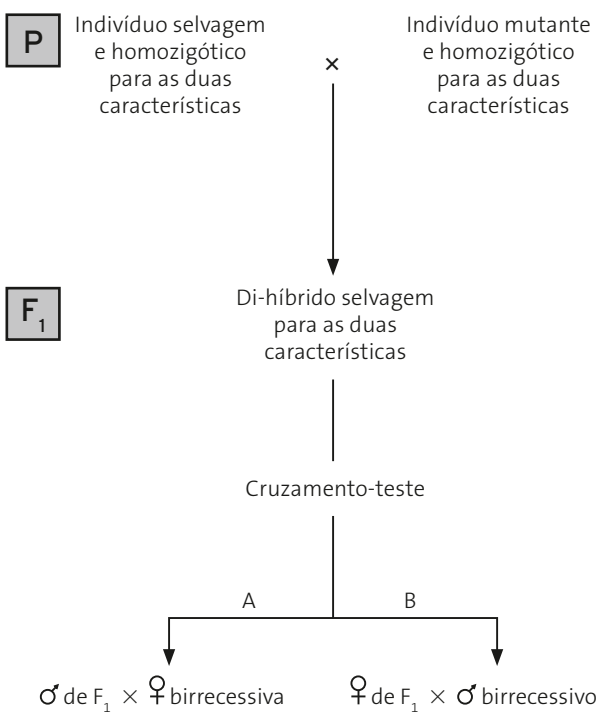
Surge, então, a dúvida: por que a permutação só ocorreu nas fêmeas?

As duas séries de experimentação realizadas pela equipe de Morgan apresentavam diferenças em seus resultados: cruzando-se um macho heterozigótico com uma fêmea birrecessiva, não se detectava permutação; no entanto, cruzando-se uma fêmea heterozigótica com um macho birrecessivo, a permutação era observada. Utilizando dados de observações citológicas da meiose em machos e fêmeas de *Drosophila*, foi possível explicar essa diferença: os machos de *Drosophila* nunca apresentam permutação, enquanto nas fêmeas ela é frequente.

Na maioria dos seres vivos, a permutação ocorre tanto em machos como em fêmeas, mas, devido a razões ainda não esclarecidas, em *D. melanogaster* e em algumas outras espécies animais, não há permutação durante a meiose no macho.

Com experimentações como essas, Morgan e sua equipe conseguiram provar que existem vários genes em um cromossomo. Esses genes estão ligados e, portanto, não se transmitem de acordo com a segunda lei de Mendel.

Método de Morgan e sua equipe



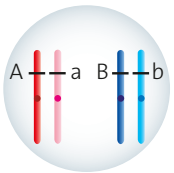
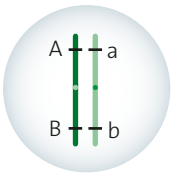
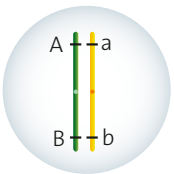
A proporção fenotípica obtida em F_2 fornece diretamente a proporção dos gametas formados pelo di-híbrido.

10. Como diferenciar ligação gênica de segregação independente

Para diferenciar os casos de ligação gênica dos casos de segregação independente, basta analisar os tipos de gameta formados por um indivíduo heterozigótico para todos os genes.

Essa análise pode ser feita de dois modos:

a) **direto**, quando o problema fornece diretamente as porcentagens entre os gametas formados pelo híbrido. Por exemplo, vamos considerar o di-híbrido AaBb. Podem ocorrer as situações resumidas na figura 7.23.

São produzidos quatro tipos diferentes de gameta, todos com a mesma proporção (25% AB : 25% Ab : 25% aB : 25% ab). Trata-se de um caso de **segregação independente**.	
São produzidos apenas dois tipos de gameta (50% AB e 50% ab). Trata-se de um caso de **ligação gênica**, em que não houve permutação entre esses locos gênicos.	
São produzidos quatro tipos de gameta em proporções diferentes das esperadas pela segunda lei de Mendel. Trata-se de um caso de **genes ligados**, que se **recombinaram** por ocorrer permutação na meiose entre esses locos gênicos. Por exemplo: 40% AB : 40% ab : 10% Ab : 10% aB.	

Studio Caparroz

Figura 7.23. Diferenciação de casos de ligação gênica dos casos de segregação independente. (Elementos representados em diferentes escalas; cores fantasia.)

b) **indireto**, quando o problema não fornece as porcentagens dos gametas do híbrido. Nesse caso devemos analisar as porcentagens fenotípicas dos descendentes do cruzamento entre o di-híbrido e o duplo recessivo (cruzamento-teste). Isso porque o duplo recessivo produz apenas um tipo de gameta, e a proporção fenotípica da prole corresponderá à proporção gamética do di-híbrido.

Vamos analisar juntos, passo a passo, alguns problemas em que essas porcentagens gaméticas do di-híbrido não são mencionadas diretamente.

10.1. Resolvendo problemas: genes ligados

Problema 1

*No milho, grão colorido é condicionado por um alelo dominante **B**, e grão liso, por um alelo dominante **R**. Os alelos recessivos **b** e **r** condicionam, respectivamente, grãos brancos e rugosos. Cruzando indivíduos **BbRr** com indivíduos **bbrr**, obteve-se:*

BbRr × ***bbrr***

↓

48% sementes coloridas e lisas

48% sementes brancas e rugosas

2% sementes coloridas e rugosas

2% sementes brancas e lisas

Trata-se de ligação gênica ou de segregação independente?

Resposta:

Na prole surgiram quatro fenótipos com porcentagens distintas entre eles. Como já sabemos que nesses casos a porcentagem fenotípica nos fornece diretamente a porcentagem entre os diferentes gametas formados pelo di-híbrido, podemos concluir que esses genes estão ligados e que houve permutação na meiose.

Assim, os fenótipos e seus respectivos genótipos na prole são:

*48% sementes coloridas e lisas → **B**b**R**r*

*48% sementes brancas e rugosas → **b**br*

*2% sementes coloridas e rugosas → **B**br*

*2% sementes brancas e lisas → **b**b**R**r*

Os gametas do di-híbrido e suas respectivas porcentagens são:

*48% **BR***

*48% **br***

*2% **Br***

*2% **bR***

*Os gametas encontrados em menor porcentagem são os recombinantes, e os que ocorrem em porcentagens maiores são os parentais. Como as porcentagens dos gametas **BR** e **br** foram as maiores, eles são os parentais. Sendo assim, eles estão ligados a um mesmo cromossomo.*

Trata-se de um caso em que houve permutação entre genes ligados.

11. Os mapas cromossômicos

Os gametas recombinantes surgem por permutação, e a frequência de gametas recombinantes é constante para dois genes ligados. Isso indica que a frequência de permutação entre os locos desses genes também deve ser constante. A pergunta que surge dessa observação é: Por que isso ocorre?

Para responder a essa questão, foi levantada a seguinte hipótese: "A probabilidade de ocorrer permutação em qualquer ponto do cromossomo é a mesma e, estando os genes dispostos linearmente nos cromossomos, quanto mais distantes estiverem dois genes em um cromossomo, maior será o número de pontos entre eles que poderão sofrer permutação" (Fig. 7.24).

Studio Caparroz

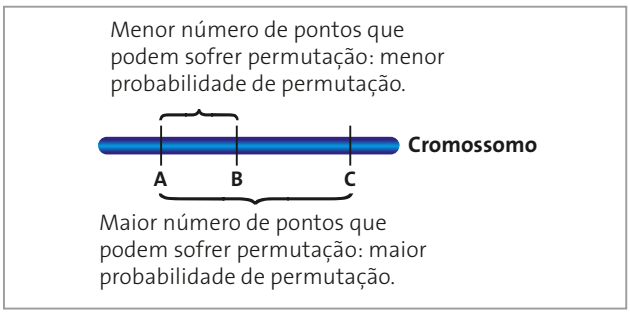


Figura 7.24. Hipótese sobre a probabilidade de ocorrer permutação em relação à distância relativa dos genes. (Cores fantasia.)

Convencionou-se estabelecer a porcentagem de permutação como a medida da distância entre dois genes. Assim, se a porcentagem de permutação entre os genes **A** e **B** é 1%, a distância entre eles é de 1 unidade. Essa unidade foi denominada **centimorgan** (**cM**) ou morganídeo, em homenagem a Morgan, cujos experimentos permitiram chegar a essas conclusões.

Conhecendo a distância entre os diferentes locos gênicos, é possível construir mapas cromossômicos, ou seja, localizar os genes dentro do cromossomo. Se soubermos a porcentagem de permutação entre três genes **A**, **B**, **C**, por exemplo, podemos encontrar suas posições relativas no cromossomo.

Assim, se a **porcentagem de recombinação** entre:

- **A** e **B** for 19%,
- **A** e **C** for 2%,
- **B** e **C** for 17%,

a **distância** entre:

- **A** e **B** será de 19 centimorgans,
- **A** e **C** será de 2 centimorgans,
- **B** e **C** será de 17 centimorgans.

Com base nesses valores, podemos estabelecer as posições relativas dos genes no cromossomo, conforme representado na figura 7.25.

Podemos esquematizar, então, as distâncias entre os locos gênicos da forma representada na figura 7.26.

Diz-se que $d_1 + d_2$ é *aproximadamente* igual a d_3, pois existem alguns fatores que interferem na frequência com que ocorrem as permutações e que não serão discutidos aqui.

Studio Caparroz

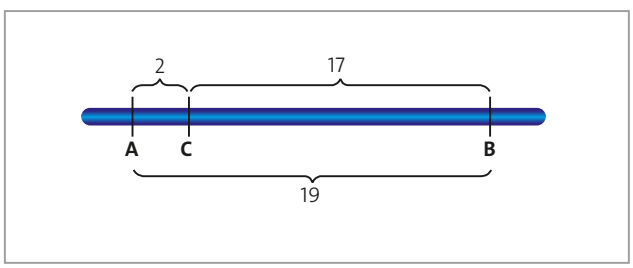


Figura 7.25. Posição relativa dos genes no cromossomo do exemplo dado. (Cores fantasia.)

Studio Caparroz

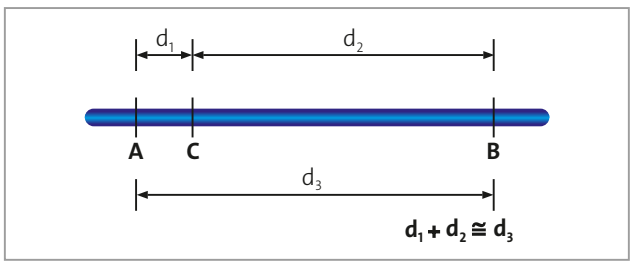


Figura 7.26. Representação generalizada das distâncias entre os locos gênicos no cromossomo do exemplo dado. (Cores fantasia.)

12. Mapeamento dos genes humanos

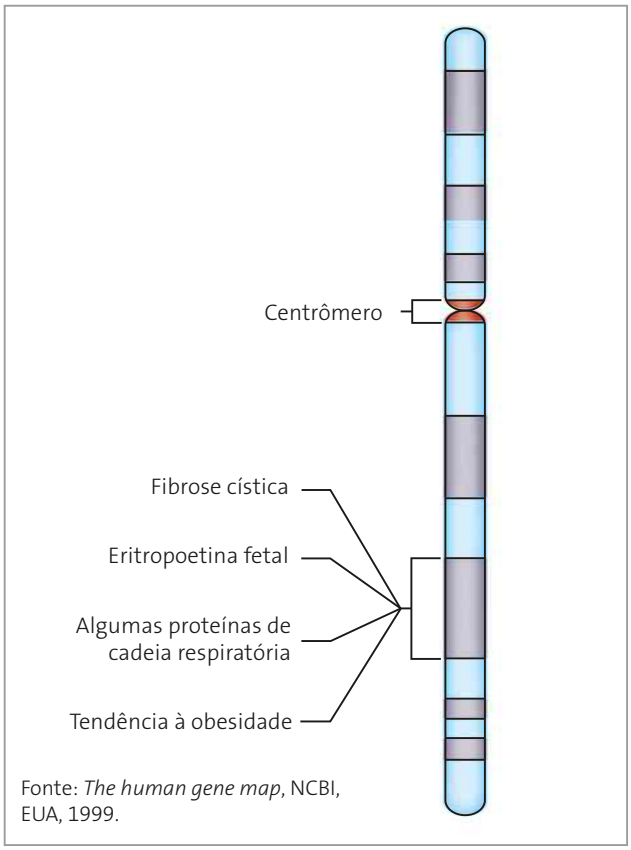
Aprendemos até agora como fazer um mapa genético considerando as frequências de permutações.

Entretanto, com o avanço da biologia molecular, tem sido possível mapear genes nos cromossomos utilizando técnicas mais avaçadas, caracterizadas pelo uso de marcadores moleculares.

Por meio dessas técnicas, o Projeto Genoma Humano, resultado do esforço da pesquisa internacional, incluindo o Brasil, já localizou nos cromossomos humanos muitos genes associados a características normais e patológicas (Fig. 7.27), mas ainda há muito a ser feito.

Essas informações têm permitido aprimoramentos nos serviços de aconselhamento genético, pois possibilitam informar a um indivíduo se ele é ou não portador de um alelo de determinado gene que causa doença (deletério) e que pode ser transmitido a seus descendentes.

Professor(a), o Projeto Genoma Humano foi abordado com maior aprofundamento no capítulo 5 deste volume. Se julgar pertinente, retome o assunto com os estudantes.



Studio Caparroz

Fonte: *The human gene map*, NCBI, EUA, 1999.

Figura 7.27. Esquema do mapeamento de genes em um cromossomo humano, o nº 7. Apenas no trecho indicado, foram identificados diversos genes, que formam um grupo de ligação. (Cores fantasia.)

Tema para discussão

REGISTRE NO CADERNO

Informar ou não informar, eis a questão

Popularização dos testes genéticos para detecção de mutações associadas a doenças levanta questionamentos éticos sobre os limites entre a decisão de diagnóstico do médico e as escolhas do paciente.

Sua família tem histórico de uma doença genética e hereditária e você decide investigar se também tem chance de desenvolver o mesmo mal. O médico lhe orienta a fazer um teste de mapeamento do DNA em busca de mutações que indiquem o seu risco. No mesmo exame ou com análises complementares é possível ver marcadores para outras doenças. Você gostaria de saber que outros riscos está correndo? O médico tem o dever de te informar? Ele pode investigar outras doenças sem que você tenha pedido?

Essas perguntas ficarão cada vez mais rotineiras com a popularização de testes para detectar indícios genéticos associados a doenças neurodegenerativas, câncer, complicações cardiovasculares e outras.

[...]

Apesar de ainda serem caros e não estarem disponíveis no Sistema Único de Saúde (SUS) – com a exceção de alguns hospitais universitários –, tais exames podem ser feitos, com prescrição médica, em laboratórios brasileiros [...]

Ainda assim, não existe no país regulamentação sobre como os geneticistas, médicos e laboratórios devem proceder em relação a testes genéticos com fins diagnósticos. Há apenas recomendações da Associação Médica Brasileira e uma resolução do Conselho Nacional de Saúde (CNS) sobre pesquisas genéticas, que não inclui o uso dos testes

na clínica médica. Na falta de diretrizes próprias, exemplos de outros países podem ser uma alternativa para a discussão.

Dever de informar

Nos Estados Unidos, o Colegiado Americano de Medicina Genética e Genômica (ACMG, na sigla em inglês) lançou recentemente um relatório com novas recomendações sobre os testes genéticos para laboratórios e médicos sobre os testes genéticos que mapeiam o DNA – o teste de genoma, que analisa todo o DNA, e o de exoma, que investiga o DNA ativo. [...]

A ACMG orienta que, quando o paciente se submeter a um desses testes, o médico procure por mutações mesmo que não estejam relacionadas à doença de interesse do paciente. Se o sujeito pedir um teste para procurar marcadores para câncer, por exemplo, o recomendado é que o laboratório também procure por mutações ligadas a outras doenças e que o médico informe ao paciente caso ele tenha esses marcadores.

A instituição lista um grupo de 57 mutações sabidamente ligadas a condições graves, com tratamento e prevenção conhecidos, que devem sempre ser investigadas em detalhe pelos laboratórios e incluídas no laudo entregue ao médico.

O principal autor do relatório que traz as novas recomendações, o geneticista Robert Green, reconhece que com isso os testes podem ficar mais caros, mas acredita que a medida vai trazer benefícios para médicos e pacientes.

"O nosso genoma tem um potencial enorme de fornecer informação sobre doenças raras e comuns, mas tem sido difícil estabelecer quais descobertas devem e quais não devem fazer parte do relatório médico", diz Green. "Nossas recomendações facilitam essa escolha ao listar algumas mutações e genes que, se identificados, têm forte impacto positivo na saúde dos pacientes e suas famílias, que poderão monitorar e evitar algumas doenças."

Mas as recomendações têm causado debate nos Estados Unidos. Em artigo publicado na revista *Science*, a especialista em direito e medicina Susan Wolf, da Universidade de Minnesota, defende que a medida é uma ameaça à liberdade de escolha dos pacientes. Na sua interpretação, as novas diretrizes retiram do paciente o direito de escolher a que exame vai ser submetido e de não saber sobre uma condição qualquer para a qual não pretendia ser testado.

"As situações em que os médicos podem testar sem o consentimento do paciente são raras exceções, apenas quando a vida do paciente está comprometida, ele está inconsciente e não há ninguém para consentir", pondera. "Esse não é o caso dos sequenciamentos genéticos. Os pacientes têm o direito de recusar testes médicos não desejados e a informação que os testes podem gerar, mesmo que essa informação ofereça um benefício."

Já o oncologista Steven Joffe, do Instituto do Câncer Dana-Farber, que também assina um artigo de opinião sobre o assunto na *Science*, acredita que as recomendações não ferem a liberdade do paciente. Segundo o médico, tudo se resolve por meio de um aconselhamento em consulta informando ao paciente as possibilidades de resultados, tratamento e monitoramento.

"A decisão do escopo de análise é do médico, ele é quem tem a *expertise* para saber que análises clínicas são benéficas para o paciente", afirma. "Se um paciente está sendo avaliado para uma condição cardíaca por meio de um teste genético e o laboratório encontra indicação de predisposição para o câncer, o paciente deve ser comunicado e isso não é testar sem consentimento; o paciente consente quando aceita fazer o teste."

Direito de não saber

A oncogeneticista Maria Isabel Achatz, do Hospital AC Camargo, em São Paulo, está de acordo com a recomendação americana. "Podendo ter informações sobre outras doenças, é um absurdo não contar ao paciente e deixar de informar que ele pode fazer alguma coisa pela sua saúde."

Achatz assinala, contudo, que o paciente tem o direito de se negar a saber o resultado do teste. A médica já passou por essa experiência na clínica, quando uma paciente fez um teste para detectar mutações ligadas ao câncer e desistiu de saber o resultado.

Para a geneticista, cada caso tem que ser avaliado levando-se em conta os benefícios e danos para o paciente e sua família. No caso de detecção de uma mutação que coloca em risco os parentes do paciente, que podem compartilhar dos mesmos marcadores genéticos, Achatz acredita que é dever do médico, se solicitado, informar à família.

"Encontro em um paciente uma mutação VHL, que proporciona 100% de chance de desenvolver tumores até os 50 anos, e ele diz que não quer que ninguém saiba que ele tem essa mutação", supõe a geneticista. "Se os pais dele ou os filhos me procurarem, eu posso entrar com um processo junto ao Conselho Regional de Medicina para que os parentes saibam e comecem a monitorar o desenvolvimento do câncer."

De opinião diferente é o também oncogeneticista José Cláudio Casali, do Hospital Erasto Gaertner e da Pontifícia Universidade Católica do Paraná, que

já passou por situação parecida e não revelou o resultado do teste aos parentes a pedido do paciente. Casali frisa que o código de ética médico brasileiro prioriza o direito do paciente sobre o da família.

"O médico não tem o direito de introduzir uma informação para um paciente que não quer saber, que muitas vezes não se sente preparado, nem pode passar por cima da decisão do paciente e informar à família", diz. "A decisão do paciente tem que ser respeitada até porque não se sabe se a mutação vai ou não expressar a doença. A genética não é determinística e a percepção de risco é muito pessoal. Quando falo que um paciente tem 80% de chance de desenvolver uma doença, ele pode pensar que está entre esses 80% ou entre os 20%."

Achatz lembra, no entanto, que os testes genéticos mais completos ainda são uma novidade na clínica brasileira. "O teste do exoma traz uma situação completamente nova; temos que rever todo o código ético em relação aos testes genéticos", afirma.

Além da discussão sobre os limites de decisão do médico e do paciente, os testes genéticos abrem espaço para outros debates, como a seleção genética em caso de exames feitos em fetos e a discriminação que pode haver caso as informações dos pacientes cheguem às empresas de seguros de saúde e vida.

"Essa é uma discussão que temos que levar adiante, é muito importante que haja regulamentação sobre a genética clínica", defende Casali. "O Brasil é pioneiro em priorizar a escolha do paciente em pesquisas genéticas, nas quais o paciente tem o direito de escolher para que será usado o material genético que doa e que tipos de resultados quer receber. Mas falta ainda uma decisão para a clínica."

MOUTINHO, S. Informar ou não informar, eis a questão. Disponível em: <http://cienciahoje.uol.com.br/noticias/2013/05/informar-ou-nao-informar-eis-a-questao>. Acesso em: mar. 2016.

1. Com base nesse texto e no que você já leu em outras fontes de consulta, qual é sua posição sobre os dilemas éticos que envolvem o conhecimento dos genes humanos?
2. Você gostaria de saber se é portador de um gene para uma doença letal de manifestação tardia? O que você faria com essa informação?
3. Retome, com seu grupo de estudo, o que já foi discutido na seção **Tema para discussão** dos capítulos 5 e 6, e procure complementar as conclusões a que chegou anteriormente com base nas informações aqui apresentadas. Em seguida, elabore algum material de divulgação, como artigo de jornal, cartaz ou folheto, e divulgue para outras turmas utilizando *blogs*, redes sociais ou outros meios.

Professor(a), veja nas Orientações didáticas os comentários e as respostas das questões dissertativas.

Retomando

No estudo deste capítulo deve ter ficado mais evidente a grande interação que a Biologia tem com a Matemática no estudo de Genética. Baseando-se nesse conhecimento, verifique suas respostas às questões da seção **Pense nisso** e reescreva-as com as alterações que julgar necessárias. Suas respostas também se aplicam a organismos triploides?

Ampliando e integrando conhecimentos

REGISTRE NO CADERNO

Atividade 1 Modelo – a meiose e a segunda lei de Mendel

Habilidades do Enem: H13, H15.

Construa um modelo que represente o que acontece com dois pares de cromossomos homólogos – e um par de alelos localizados em cada par de homólogos – durante a meiose em uma célula animal. Você pode utilizar para a construção do seu modelo um pedaço de cartolina para servir de base e massa de modelar para fazer os cromossomos. Escolha cores diferentes para cada par de homólogos. Depois, indique os locos dos alelos nos cromossomos usando miçangas ou contas coloridas; você pode escolher cores parecidas para alelos dominante e recessivo do mesmo par (ex.: vermelho e laranja) ou usar a mesma cor caso o genótipo seja homozigótico.

Inicie seu modelo representando os cromossomos na interfase, antes da duplicação do DNA. Represente então os cromossomos duplicados na interfase. A partir daí, manipule os filamentos de massinha reproduzindo o que acontece na meiose: condensação dos cromossomos, emparelhamento dos homólogos, separação do par de homólogos na meiose I e separação das cromátides-irmãs na meiose II. Explore todas as possibilidades de formação de gametas.

Atividade 2 Interpretando experimentos

Habilidades do Enem: H13, H15, H17.

Dois pesquisadores estão trabalhando com uma espécie de planta a fim de determinar os padrões de herança de alguns caracteres por meio de cruzamentos.

Cada um está analisando um conjunto distinto de caracteres, como mostra o esquema:



Caracteres que serão analisados pelos pesquisadores. (Cores fantasia.)

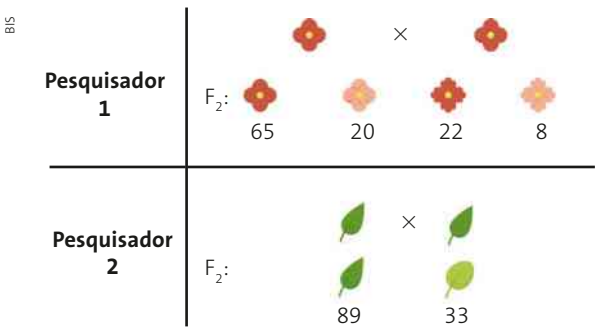
Após a obtenção de linhagens puras, foi realizado o seguinte cruzamento:



Fenótipos da geração F_1. (Cores fantasia.)

a) O que é possível concluir após esses resultados?

Os pesquisadores prosseguiram em sua investigação, realizando o cruzamento entre indivíduos de F_1:



Proporções fenotípicas da geração F_2. (Cores fantasia.)

b) Qual dos dois resultados pode ser explicado pela segunda lei de Mendel?

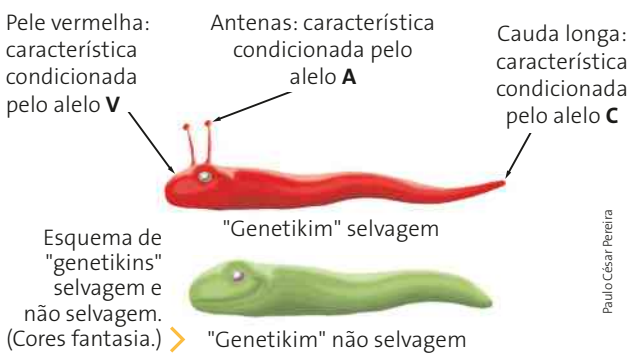
c) O que é possível concluir a respeito da posição dos alelos nos cromossomos para cada caso?

d) Faça uma previsão dos resultados fenotípicos para cor e forma da pétala do cruzamento-teste de um indivíduo de F_1.

Habilidades do Enem: H13, H15, H17.

Atividade 3 Os "genetikins"

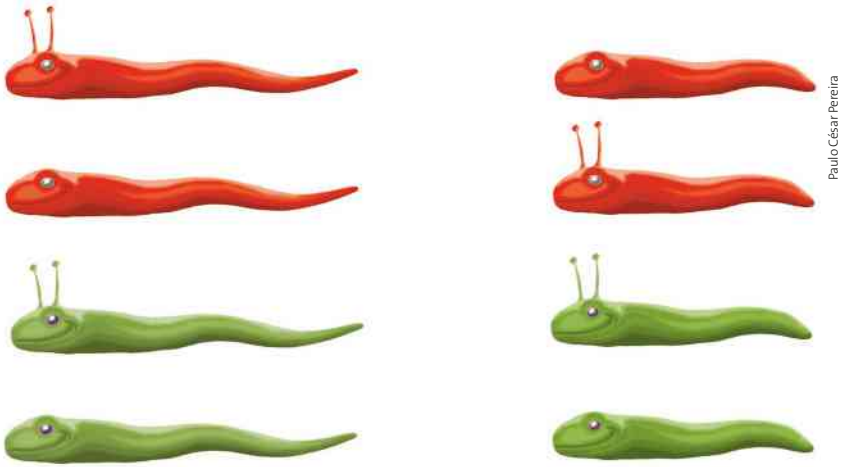
Os "genetikins" constituem uma espécie fictícia, criada apenas para que você aplique seus conhecimentos de genética. Vamos analisar os dados de cruzamentos entre eles, considerando três características: antenas, cauda e cor da pele. O tipo selvagem apresenta um par de antenas, uma cauda longa e pele vermelha. O tipo não selvagem não possui antenas ou cauda e a cor de sua pele é verde.



Esquema de "genetikins" selvagem e não selvagem. (Cores fantasia.)

Paulo César Pereira

Foi observada a prole gerada por um macho de fenótipo selvagem e uma fêmea de fenótipo não selvagem, formada por mil filhotes. Os fenótipos da prole foram representados de acordo com as características abaixo:



Paulo César Pereira

Esquema dos fenótipos da prole. (Cores fantasia.)

A cada combinação fenotípica, associe o respectivo genótipo. Para isso, copie os desenhos no caderno. Agora, responda:

a) O macho que deu origem à prole deve ser homo ou heterozigótico? Justifique sua resposta.

b) Quantos tipos diferentes de gameta foram formados pelo macho? E pela fêmea?

Testes

REGISTRE NO CADERNO

1. (UEPA) Em um dos vários programas televisivos, onde é muito frequente a presença de pessoas em busca da confirmação de paternidade, surge uma mulher que alega ser filha de um famoso astro de televisão e requer que a paternidade seja reconhecida. Encaminhada ao tribunal de justiça, o juiz encarregado do caso solicita a retirada de uma amostra de sangue dessa pessoa e do suposto pai. Após a análise da tipagem sanguínea, obteve-se o seguinte resultado: a mulher é do tipo AB, Rh negativo e o homem O, Rh positivo. Com base nessas informações, o veredicto do juiz sobre essa questão deverá ser que a mulher:

a) pode ser filha do famoso astro.

x b) com certeza, não é filha do homem citado.

c) tem 25% de chance de ser filha do suposto pai.

d) tem 50% de chance de ser filha do suposto pai.

e) tem 75% de chance de ser filha do suposto pai.

2. (Fuvest-SP) Em tomates, a característica planta alta é dominante em relação à característica planta anã e a cor vermelha do fruto é dominante em relação à cor amarela. Um agricultor cruzou duas linhagens puras: planta alta/fruto vermelho x planta anã/fruto amarelo. Interessado em obter uma linhagem de plantas anãs com frutos vermelhos, deixou que os descendentes dessas plantas cruzassem entre si, obtendo 320 novas plantas.

O número esperado de plantas com o fenótipo desejado pelo agricultor e as plantas que ele deve utilizar nos próximos cruzamentos, para que os descendentes apresentem sempre as características desejadas (plantas anãs com frutos vermelhos), estão corretamente indicados em:

a) 16; plantas homozigóticas em relação às duas características.

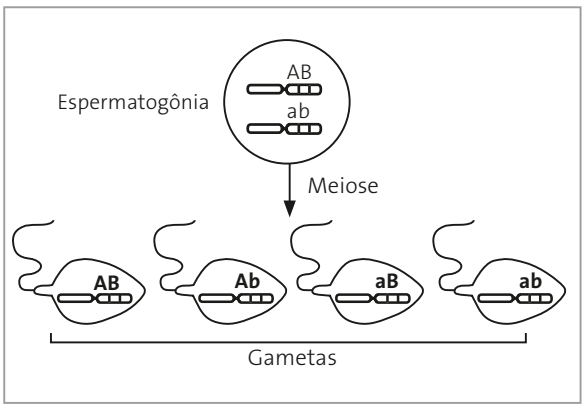
b) 48; plantas homozigóticas em relação às duas características.

c) 48; plantas heterozigóticas em relação às duas características.

d) 60; plantas heterozigóticas em relação às duas características.

x e) 60; plantas homozigóticas em relação às duas características.

3. (UFPE) Analise as proposições a seguir, considerando a seguinte situação: Em uma amostra de 100 (cem) espermatogônias, de um organismo genotipicamente (AB//ab), ocorreu permutação meiótica entre os lócus **A** e **B**, em 20 (vinte) espermatogônias, tendo sido observada uma segregação gamética como ilustrado na figura abaixo.



Studio Caparroz

V ( ) O número de gametas AB deverá ser idêntico ao de gametas ab.

F ( ) A frequência de gametas recombinantes deverá ser igual à de gametas não recombinantes.

V ( ) Trezentos e sessenta gametas não recombinantes são esperados.

F ( ) Vinte gametas recombinantes são esperados no caso descrito.

V ( ) A taxa de recombinação no caso citado é de 10%; logo, os lócus A e B distam de 10 unidades de mapa.

4. (UFPI) Um aluno do ensino médio recebeu de seu professor de biologia a seguinte tarefa: descobrir a ordem correta de quatro genes distribuídos em um mesmo cromossomo e que apresentaram, nos descendentes, as seguintes frequências de *crossing-over*:

I. 40% entre **a** e **d**;

II. 20% entre **a** e **b**;

III. 30% entre **c** e **d**;

IV. 10% entre **c** e **b**.

A ordem correta dos quatro genes no cromossomo está na opção:

X a) a-c-b-d.
b) a-b-c-d.
c) b-a-d-c.
d) c-b-d-a.
e) a-d-c-b.

5. (Unesp-SP) No romance *Dom Casmurro*, de Machado de Assis, Bentinho vive uma incerteza: Ezequiel, seu filho com Capitu, é mesmo seu filho biológico ou Capitu teria cometido adultério com Escobar? O drama de Bentinho começa quando, no velório de Escobar, *momentos houve em que os olhos de Capitu fitaram o defunto, quais os da viúva*. Escobar havia sido o melhor amigo de Bentinho e fora casado com Sancha, com quem tivera uma filha. Suponha que, à época, fosse possível investigar a paternidade usando os tipos sanguíneos dos envolvidos. O resultado dos exames revelou que Bentinho era de sangue tipo O Rh^-, Capitu era de tipo AB Rh^+ e Ezequiel era do tipo A Rh^-. Como Escobar já havia falecido, foi feita a tipagem sanguínea de sua mulher, Sancha, que era do tipo B Rh^+, e da filha de ambos, que era do tipo AB Rh^-. Com relação à identificação do pai biológico de Ezequiel, a partir dos dados da tipagem sanguínea, é correto afirmar que:

a) permaneceria a dúvida, pois os tipos sanguíneos de Sancha e de sua filha indicam que Escobar ou tinha sangue tipo O Rh^+, e nesse caso ele, mas não Bentinho, poderia ser o pai, ou tinha sangue tipo AB Rh^-, o que excluiria a possibilidade de Escobar ser o pai de Ezequiel.

X b) permaneceria a dúvida, pois os tipos sanguíneos dos envolvidos não permitem excluir a possibilidade de Bentinho ser o pai de Ezequiel, assim como não permitem excluir a possibilidade de Escobar o ser.

c) permaneceria a dúvida, pois, no que se refere ao sistema ABO, os resultados excluem a possibilidade de Escobar ser o pai e indicam que Bentinho poderia ser o pai de Ezequiel; mas, no que se refere ao sistema Rh, os resultados excluem a possibilidade de Bentinho ser o pai e indicam que Escobar poderia sê-lo.

d) seria esclarecida a dúvida, pois, tanto no sistema ABO quanto no sistema Rh, os resultados excluem a possibilidade de Bentinho, mas não de Escobar, ser o pai de Ezequiel.

e) seria esclarecida a dúvida, pois os tipos sanguíneos de Ezequiel e da filha de Sancha indicam que eles não poderiam ser filhos de um mesmo pai, o que excluiria a possibilidade de Escobar ser o pai de Ezequiel.

CAPÍTULO

8

Outros mecanismos de herança



Markus Moellenberg/Corbis/Latinstock

Figura 8.1. A música *Ebony and Ivory*, escrita por Paul McCartney e apresentada em 1982 com Stevie Wonder, trata de um assunto fundamental: a igualdade entre as pessoas. Cada pessoa herda muitas características, como a cor da pele, dos olhos e dos cabelos. A analogia feita na música refere-se às teclas brancas e às teclas pretas do piano, que convivem em plena harmonia, o que seria de se esperar entre pessoas com diferentes cores de pele. A música, que merece ser ouvida, diz que todas as pessoas são iguais e que vivemos melhor quando aprendemos a dar uns aos outros o que precisamos para sobreviver juntos. É uma lição da qual devemos nos lembrar sempre, aplicando-a ao nosso dia a dia. A discriminação de pessoas por cor, sexo ou qualquer outra condição é crime.

Pense nisso

- Já comentamos anteriormente que na espécie humana as células dos homens apresentam dois cromossomos sexuais diferentes entre si – **XY** – e as células da mulher apresentam dois cromossomos sexuais homólogos – **XX**. Assim como os cromossomos autossômicos, os cromossomos sexuais também possuem genes. Como você imagina que ocorra a herança desses genes? Na sua opinião, o que foi explicado para os autossomos se aplica aos cromossomos sexuais?
- Descendentes de casais com alta estatura terão a estatura dos pais? Podem ter baixa estatura? Podem ser mais altos? Justifique suas respostas.

1. Introdução

Nos capítulos anteriores, estudamos casos em que cada caracter está associado a um par de alelos ou a alelos múltiplos, que ocorrem dois a dois nos indivíduos diploides. Vimos também que, dependendo da relação de dominância entre os alelos de cada par, há manifestação de determinado fenótipo.

Entretanto, isso nem sempre acontece. Existem casos em que apenas um par de alelos, sob as mesmas condições ambientais, está associado a dois ou mais caracteres. Por exemplo: o par de alelos que na mosca *Drosophila melanogaster* está associado ao caracter tamanho das asas também determina o caracter tamanho das pernas. Esses casos são denominados **pleiotropia**.

Existem ainda casos inversos à pleiotropia, ou seja, em que um só caracter está associado à interação de dois ou mais genes. Quando isso ocorre, fala-se em **interação gênica**.

Além desses casos, analisaremos também a **herança quantitativa**, que explica os casos em que há variação fenotípica contínua.

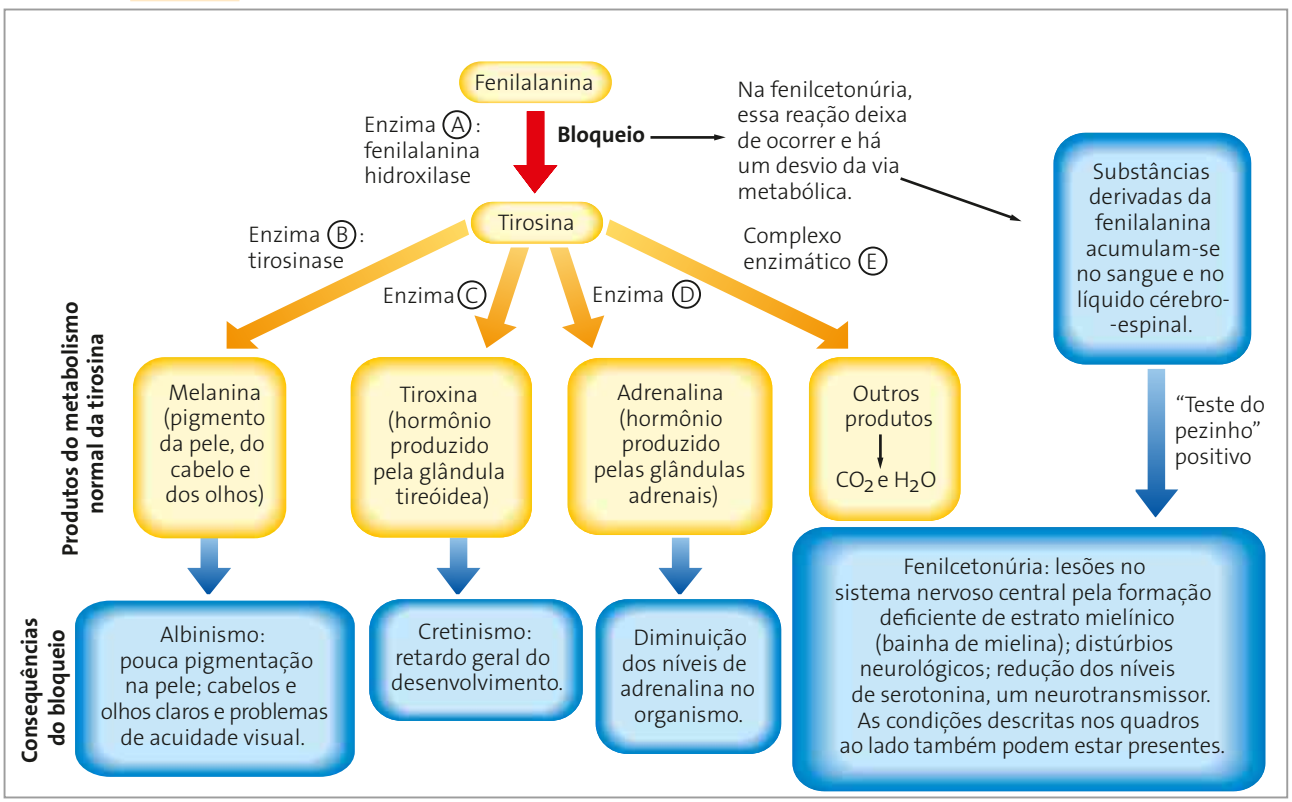
Todos esses mecanismos de herança são bastante frequentes, ocorrendo na maioria dos casos de herança genética. Vamos, no entanto, nos deter apenas em alguns exemplos, visando à compreensão desses mecanismos de herança.

Pleiotropia	associado a 1 par de alelos → vários caracteres
Interação gênica	associado a 1 caracter → dois ou mais genes

2. Pleiotropia

Como exemplo de pleiotropia podemos citar os alelos letais, pois acabam afetando vários caracteres ao mesmo tempo. Outro exemplo é a fenilcetonúria, doença hereditária associada a um alelo recessivo. A pessoa afetada não consegue metabolizar o aminoácido fenilalanina em tirosina, pois não sintetiza a enzima responsável por essa conversão. Esse fato desencadeia uma série de consequências graves no organismo. Os afetados podem ter uma vida normal, desde que restrinjam a ingestão de alimentos que contenham fenilalanina. Por isso, é obrigatório nos rótulos dos alimentos o alerta para a presença de fenilalanina.

Veja na figura 8.2 um resumo dos efeitos pleiotrópicos desse gene.



BIS

Figura 8.2. Esquema dos efeitos pleiotrópicos do gene que determina a fenilcetonúria. (Cores fantasia.)

O diagnóstico dessa anomalia é feito pelo "teste do pezinho" (Fig. 8.3), obrigatório nas maternidades do Brasil, assim que a criança nasce. Uma dieta orientada por médicos deve ser seguida com rigor para o bem da criança.



Jennie Woodcock; Reflections Photolibrary/Corbis/Latinstock

Há versões do teste do pezinho que detectam até 30 doenças; no entanto, essas versões ampliadas não estão disponíveis no Sistema Único de Saúde, somente na rede particular.

Figura 8.3. O teste do pezinho é feito gratuitamente e pode detectar doenças como: fenilcetonúria, fibrose cística, hipotireoidismo congênito, anemia falciforme, entre outras.

3. Interação gênica

Analisaremos apenas os casos mais simples de interação gênica, que são aqueles em que dois pares de alelos com segregação independente interagem no desenvolvimento de um caracter e em que os alelos de cada par apresentam relação de dominância completa entre si.

Nesses casos, os vários tipos de interação gênica são classificados de acordo com as proporções fenotípicas verificadas nos descendentes do cruzamento entre dois heterozigotos, que correspondem à geração F_2 de Mendel.

De acordo com a segunda lei, no cruzamento entre heterozigotos para dois pares de alelos localizados em cromossomos não homólogos, a proporção fenotípica esperada é 9 : 3 : 3 : 1.

Na interação gênica surgem modificações nessas proporções fenotípicas, pois não existem dois caracteres, mas um só caracter com diferentes fenótipos, que surgem de acordo com o tipo de interação entre os alelos. A proporção genotípica, no entanto, é a mesma que se obtém de acordo com a segunda lei de Mendel.

Os diferentes tipos de interação gênica podem ser agrupados em duas categorias: **interações epistáticas** e **interações não epistáticas**.

Nas interações não epistáticas, os alelos de diferentes locos interagem na determinação de um só caracter.

As interações epistáticas são caracterizadas pela redução do número de classes fenotípicas, alterando-se a proporção 9 : 3 : 3 : 1. Já nas interações não epistáticas, as proporções de 9 : 3 : 3 : 1 se mantêm, mas esses valores referem-se à proporção entre quatro fenótipos distintos de um mesmo caracter.

Vamos analisar primeiramente as relações não epistáticas, para depois analisarmos as epistáticas.

3.1. Interação gênica não epistática

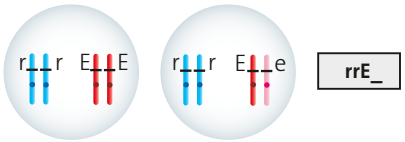
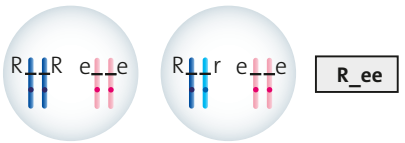
A herança da forma da crista em galináceos

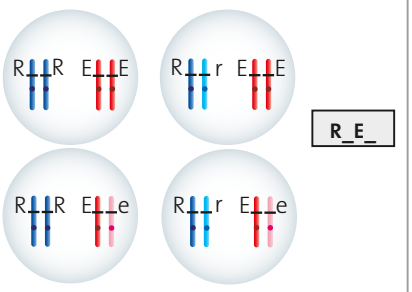
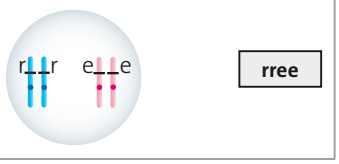
Um exemplo clássico de interação gênica não epistática é a herança do caracter forma da crista em galináceos. Nesse caso o desenvolvimento dos fenótipos envolve a interação de dois pares de alelos localizados em cromossomos não homólogos.

Vamos considerar que os alelos atuantes nesse caracter sejam representados pelos pares **Rr** e **Ee**. Verificou-se que:

- o alelo **R** está relacionado a crista rosa e é dominante sobre seu alelo **r**, que está relacionado a crista simples;
- o alelo **E** está relacionado a crista ervilha e é dominante sobre seu alelo **e**, que também está relacionado a crista simples;
- quando os dois alelos dominantes (**R_E_**) estão presentes no genótipo, o fenótipo resultante dessa interação é um fenótipo novo: crista em noz;
- quando ocorrem os dois pares de alelos recessivos, o fenótipo resultante é o simples.

Podemos representar os genótipos e os respectivos fenótipos conforme mostrado esquematicamente na figura 8.4, na página seguinte.

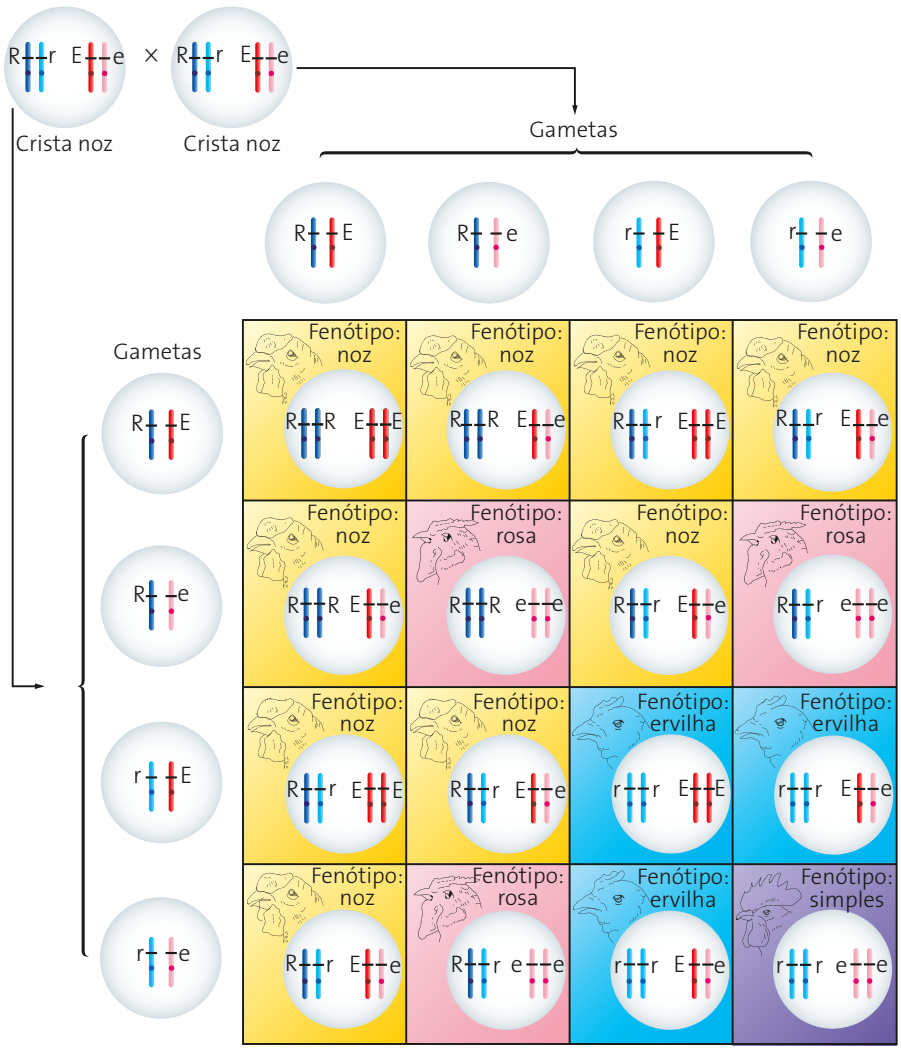
Fenótipos	Genótipos
Ervilha 	
Rosa 	

Fenótipos	Genótipos
Noz 	
Simples 	

Ilustrações: Walter Caldeira

Figura 8.4. Quadros mostrando fenótipos e genótipos associados à forma da crista em galináceos. (Elementos em diferentes escalas; cores fantasia.)

Analisando o resultado do cruzamento entre dois indivíduos heterozigóticos para os dois pares de alelos, obtemos a proporção fenotípica esquematizada na figura 8.5.



Proporção fenotípica – 9 noz : 3 rosa : 3 ervilha : 1 simples.

Studio Caparroz

Figura 8.5. Esquema representando o resultado do cruzamento entre indivíduos heterozigóticos – crista noz – para dois pares de alelos. (Elementos representados em diferentes escalas; cores fantasia.)

A proporção fenotípica obtida no cruzamento entre indivíduos heterozigóticos para os dois pares de alelos é 9 : 3 : 3 : 1, a mesma obtida por Mendel na geração F_2. A diferença, conforme foi dito, é que pela segunda lei de Mendel aparecem dois caracteres (como cor da semente e forma da semente), enquanto nos casos de interação gênica não epistática surge apenas um caracter com quatro fenótipos diferentes.

3.2. Epistasia

As interações epistáticas caracterizam-se pela redução do número de classes fenotípicas, alterando a proporção 9 : 3 : 3 : 1 da geração F_2 de Mendel. Essa alteração deve-se à interação de pares de alelos, em que os alelos de um gene "inibem" o efeito dos alelos de outro gene, localizado em cromossomo não homólogo, que também atuam na manifestação da mesma característica.

O alelo que "inibe" é denominado **epistático**, enquanto aquele cujo efeito é "inibido" recebe o nome de **hipostático**.

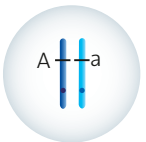
É importante salientar que **epistasia** é diferente de **dominância**. A dominância está relacionada aos alelos de um gene; a epistasia refere-se ao efeito de um gene sobre outro gene localizado em outro cromossomo (Fig. 8.6).

Vamos, por simplificação, utilizar o termo "inibir", entre aspas, quando nos referirmos ao gene epistático.

Studio Caparroz



Fenótipo **A**: **A epistático** sobre **B** e **b**.



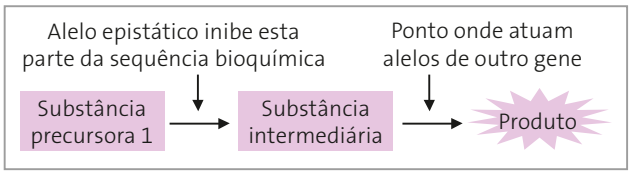
Fenótipo **A**: **A dominante** sobre **a**.

Figura 8.6. Representação da diferença entre epistasia e dominância. (Cores fantasia.)

Existem vários tipos de epistasia, mas vamos considerar apenas três: **epistasia dominante**, **epistasia recessiva** e **epistasia recessiva duplicada** (ou genes complementares).

Em termos bioquímicos, a explicação dos diferentes tipos de epistasia depende de as enzimas codificadas pelos alelos serem ativas ou inativas.

Em geral, os alelos epistáticos atuam antes dos genes que eles "inibem" na via bioquímica. Assim, se em uma sequência existirem dois genes atuando, cada um com dois alelos, os epistáticos são aqueles que vão determinar se haverá ou não o substrato sobre o qual atuará a enzima codificada pelos alelos que entram a seguir.



Desse modo, se a substância intermediária não se formar, não haverá substrato para que a enzima codificada pelo alelo do outro gene possa agir, e o produto final não se formará.

Epistasia dominante

Ocorre quando o alelo dominante de um par "inibe" a ação dos alelos de outro par.

A herança da cor do fruto da abóbora é um exemplo de epistasia dominante. Nesse caso, a interação de alelos de dois locos está associada a três fenótipos: fruto branco, fruto verde e fruto amarelo.

Analise os cruzamentos esquematizados na figura 8.7.

Ingeborg Asbach

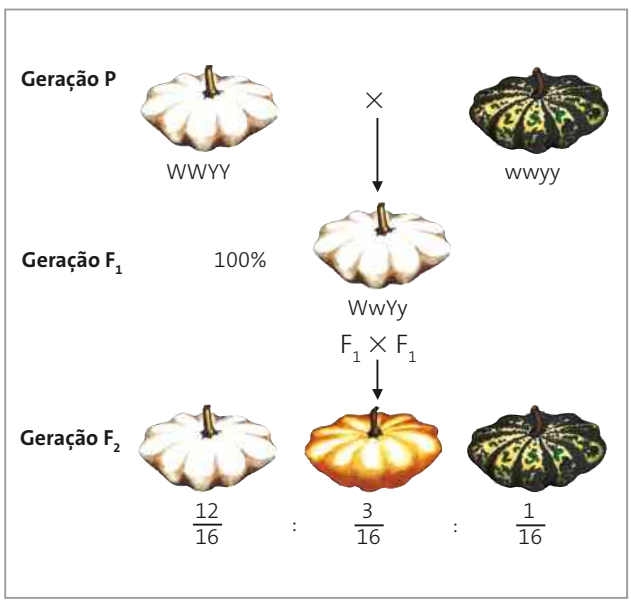


Figura 8.7. Representação do cruzamento entre plantas de abóbora com fruto branco e com fruto verde. (Cores fantasia.)

O alelo **Y** codifica a síntese do pigmento amarelo e é dominante sobre **y**, que codifica o pigmento verde. O alelo **W** é dominante sobre **w** e inibe a ação dos alelos **Y** e **y**. Assim, uma vez presente o alelo **W**, a abóbora será branca; para ser amarela, a abóbora tem de ser **wwY_** e para ser verde, **wwyy**.

A explicação bioquímica para esse caso está resumida na figura 8.8, na página seguinte, que mostra que a produção do pigmento amarelo depende de duas etapas. Lembre-se de que na sequência de atuação dos genes o alelo epistático sempre atua primeiro.

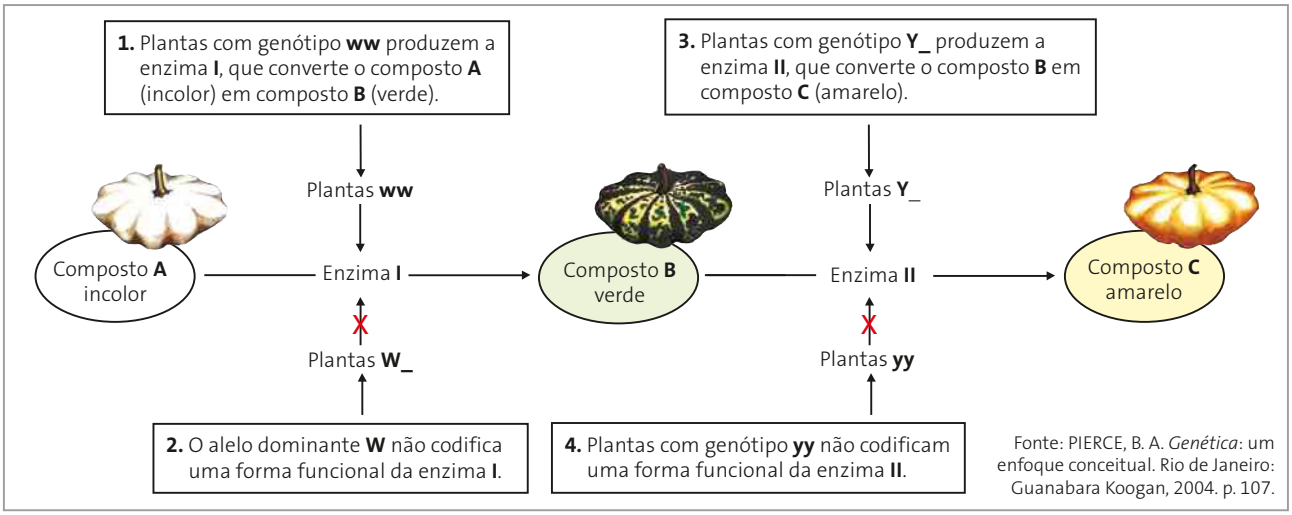


Figura 8.8. Esquema da explicação da via bioquímica dos três fenótipos possíveis para cor de abóbora. (Cores fantasia.)

Conclusão: Os genótipos **W_Y_** e **W_ yy** não produzem a enzima **I**; **wwyy** produz a enzima **I**, mas não a enzima **II**; **wwY_** produz tanto a enzima **I** quanto a enzima **II**.

Epistasia recessiva

Ocorre quando um par de alelos recessivos "inibe" a ação de alelos de outro par.

Um exemplo é a herança da cor do pelo em cães labradores. Esses cães podem ter pelos de cor preta, chocolate ou amarela (Fig. 8.9).


Dale Spartas/Corbis/Latinstock

Figura 8.9. Fotografia de cães labradores com pelagens preta, chocolate e amarela.

Nesses casos, o alelo dominante **B** codifica o pigmento preto e o recessivo **b**, o pigmento marrom, que dá a cor chocolate. Os alelos de outro loco interferem na deposição do pigmento produzido: o alelo dominante **E** permite a deposição do pigmento no pelo, enquanto o recessivo **e** a impede.

A presença dos dois alelos recessivos **ee** no genótipo mascara a expressão dos alelos associados à cor no pelo – preto ou chocolate. Nesse caso, surgem cães com pelos amarelos.

Genótipo	Fenótipo
B_E_	Preto
bbE_	Chocolate (também chamado marrom)
B_ee	Amarelo
bbee	Amarelo

O cruzamento entre dois labradores pretos com genótipos **BbEe** resulta em uma prole com uma proporção esperada de $\frac{9}{16}$ pretos; $\frac{3}{16}$ chocolate; $\frac{4}{16}$ amarelos, como mostra o resumo a seguir.

BbEe × **BbEe**
preto preto

$\underbrace{9\ \textbf{B_E_}}_{\text{pretos}} : \underbrace{3\ \textbf{bbE_}}_{\text{chocolate}} : \underbrace{3\ \textbf{B_ee} : 1\ \textbf{bbee}}_{\text{amarelos}}$

A proporção fenotípica característica desse tipo de epistasia é **9 : 3 : 4**. No caso, 9 pretos : 3 chocolate : 4 amarelos.

Epistasia recessiva duplicada

Ocorre quando o par de alelos recessivos (**aa**) de um loco "inibe" a ação de alelos de outro par de cromossomos homólogos (**B** e **b**) e, ao mesmo tempo, o par de alelos **bb** "inibe" a ação dos alelos **A** e **a**. Assim, o par **aa** é epistático sobre **B** e **b**, e o par **bb** é epistático sobre **A** e **a**. Nesse caso, quando ocorrerem no genótipo os pares **aa** e/ou **bb**, os fenótipos serão iguais.

Quando os dois dominantes ocorrem juntos (**A_B_**), eles se complementam, produzindo outro fenótipo. Esse exemplo ilustra um importante processo de interação entre dois alelos chamado **ação gênica complementar** ou alelos de ação complementar, na qual dois alelos dominantes de genes diferentes interagem no desenvolvimento de um fenótipo específico. Entretanto, esses alelos só atuam se não forem inibidos por seus respectivos alelos recessivos em homozigose.

Nesses casos formam-se duas classes fenotípicas no cruzamento entre dois heterozigotos, para os dois pares de alelos.

Um exemplo desse tipo de interação gênica é o que acontece com a **surdez congênita** na espécie humana. Essa anomalia provém da homozigose dos alelos recessivos **d** ou **e**, que interagem no desenvolvimento desse caracter. São necessários os dois alelos dominantes **D** e **E** para a audição normal. A proporção esperada no cruzamento entre di-híbridos é:

Mãe normal **DdEe** × Pai normal **DdEd**

↓

9 **D_E_** : 3 **D_ee** : 3 **ddE_** : 1 **ddee**

9 normais | 7 surdos

A proporção fenotípica característica desse tipo de epistasia é **9 : 7**.

A seguir apresentaremos o resumo dos casos de interações epistáticas aqui discutidos, considerando o cruzamento entre dois heterozigotos, para dois pares de alelos localizados em cromossomos não homólogos: AaBb × AaBb (correspondente à geração F_2 de Mendel):

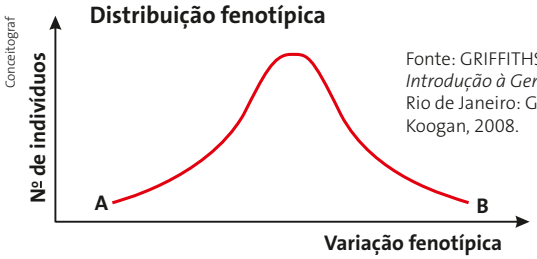
Tipos de interação	Característica da interação	Proporção clássica			
		9A_B_	3A_bb	3aaB_	1aabb
Epistasia dominante	**A** epistático sobre **B** e **b**	12		3	1
Epistasia recessiva	**aa** epistático sobre **B** e **b**	9	3	4	
Epistasia recessiva duplicada/ alelos de ação complementar	**aa** epistático sobre **B** e **b**; **bb** epistático sobre **A** e **a**	9	7		

4. Herança quantitativa

Até agora estudamos casos em que os fenótipos eram descontínuos, ou seja, os fenótipos eram, por exemplo, verde ou amarelo, branco ou preto. Não havia uma gradação entre eles. Entretanto, existem certas variedades fenotípicas que são contínuas, falando-se em **herança quantitativa** (herança poligênica, poligenia ou ainda herança multifatorial). Nesse tipo de herança, dependendo do número de genes atuantes, obtém-se maior ou menor variação fenotípica, mas sempre contínua.

Se você medir a altura dos colegas que têm a mesma idade, notará uma variação na altura deles. Poderá observar que entre os indivíduos baixos e os altos há uma gradação de estaturas possíveis.

Colocando em um gráficos números de indivíduos em função da variação fenotípica, provavelmente obterá uma curva simétrica de distribuição das alturas (Fig. 8.10).



Fonte: GRIFFITHS, A. J. et al. *Introdução à Genética*. 9. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2008.

Figura 8.10. Gráfico apresentando curva simétrica de distribuição de fenótipos.

Os pontos **A** e **B** indicam que poucos indivíduos apresentam aquele fenótipo, havendo entre esses extremos uma variação contínua de fenótipos e maior número de indivíduos com fenótipos intermediários.

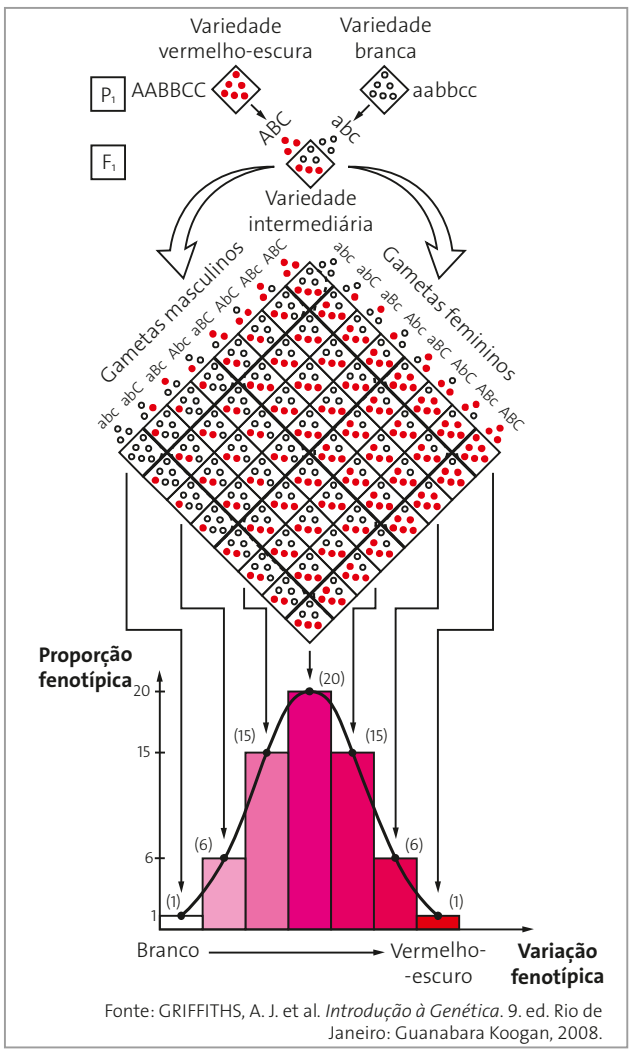
Além de estar associada ao genótipo, a estatura pode sofrer forte interferência de fatores ambientais, como a alimentação. Crianças malnutridas crescerão menos do que o determinado por seu potencial genético.

Os genes que participam da herança quantitativa são denominados **polígenes** e podem ou não apresentar segregação independente. Vamos analisar apenas os casos em que cada par de alelos localiza-se em um par de cromossomos homólogos e se transmite independentemente.

Nos casos de herança quantitativa, um dos alelos de cada gene exerce uma modificação no fenótipo, enquanto o outro alelo não. Os que exercem a modificação são chamados **alelos efetivos** e contribuem com uma parcela igual na modificação do fenótipo, sendo representados por letras maiúsculas. Os que não exercem modificação no fenótipo são chamados **alelos não efetivos** e são representados por letras minúsculas.

O pesquisador sueco Nilsson-Ehle (1873-1949) foi um dos primeiros a descrever a herança quantitativa, em 1910, realizando experimentos em que analisava a herança da cor do grão de trigo.

Esse pesquisador cruzou uma variedade de trigo que apresentava grãos brancos com outra variedade cujos grãos eram vermelho-escuros. Desses cruzamentos ele obteve um tipo de trigo que apresentava apenas grãos de cor intermediária entre os fenótipos da geração parental, sugerindo um caso de ausência de dominância. Entretanto, ao cruzar entre si indivíduos da geração F_1, Nilsson obteve em F_2 uma série gradual de sete fenótipos, que variavam do branco até o vermelho-escuro. Analisando as proporções fenotípicas obtidas, ele pôde construir o diagrama e o gráfico representados na figura 8.11.



Fonte: GRIFFITHS, A. J. et al. *Introdução à Genética*. 9. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2008.

Figura 8.11. Diagrama e gráfico obtidos pelas análises dos resultados de Nilsson-Ehle.

Nilsson-Ehle sugeriu, então, que a herança desse caracter é causada pela ação de três pares de alelos com segregação independente. Em cada par de alelos, um deles produz efeito no fenótipo e o outro não.

Os pares de alelos envolvidos segregam-se de acordo com a herança mendeliana, podendo-se observar a seguinte relação entre o número de alelos envolvidos e o número de fenótipos obtidos:

nº de alelos = nº de fenótipos – 1

nº de fenótipos = nº de alelos + 1

Professor(a), veja nas sugestões de atividades extras um problema proposto sobre o tema do item 4.1.

4.1. Cálculo das proporções entre as classes fenotípicas

Esse conteúdo pode ser aprofundado na disciplina de Matemática.

Analisados vários casos de herança quantitativa, verificou-se que há um padrão constante nas proporções fenotípicas resultantes do cruzamento entre dois heterozigotos. Essas proporções obedecem às sequências dos coeficientes do desenvolvimento do **binômio de Newton**:

$$(p + q)^n$$

O desenvolvimento do binômio de Newton para valores elevados de **n** dá origem à curva simétrica de distribuição binomial, semelhante à curva de Gauss.

Quando n = 2, o binômio desenvolve-se do seguinte modo:

$(p + q)^2 = (1p + 1q) \times (1p + 1q) =$

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

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

Na herança quantitativa, temos:

p = alelos efetivos, que produzem muito efeito no fenótipo (**A**, **B**, **C** etc.);

q = alelos não efetivos, que produzem pouco ou nenhum efeito no fenótipo (**a**, **b**, **c** etc.);

n = número total de alelos.

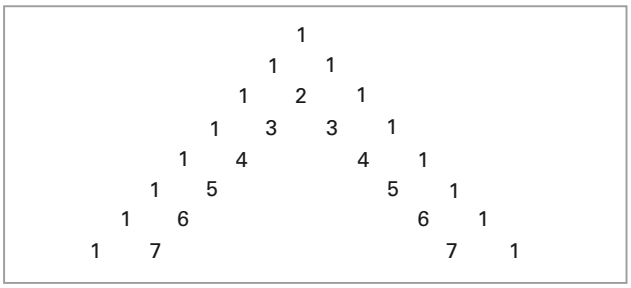
Os expoentes de **p** e de **q**, que surgem no desenvolvimento do binômio, referem-se ao número total de alelos efetivos e não efetivos, respectivamente. Assim:

- **p^2** significa que há dois alelos efetivos;
- **q^2** significa que há dois alelos não efetivos.

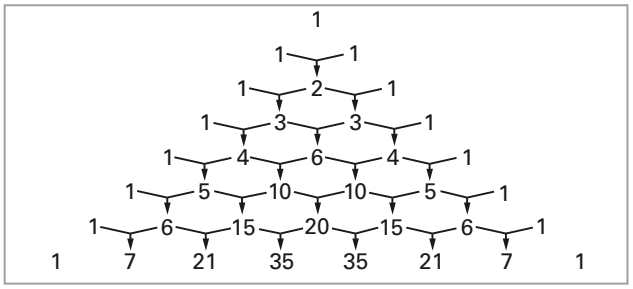
Uma maneira mais simples de obter as proporções fenotípicas na geração resultante do cruzamento entre heterozigotos é utilizar o **triângulo de Pascal**, construído com base na distribuição dos coeficientes do binômio de Newton elevado à potência **n**.

Para construir o triângulo de Pascal:

a) Escreve-se o número 1 em dois lados do triângulo e numera-se do 2 em diante, a partir do ápice.



b) Os números seguintes correspondem à soma dos dois números anteriores.



Assim, é obtido o triângulo de Pascal, mostrando os coeficientes da expansão do binômio.

Nº total de alelos	Coeficientes binomiais	Nº total de combinações
0	1	1
1	1 1	2
2	1 2 1	4
3	1 3 3 1	8
4	1 4 6 4 1	16
5	1 5 10 10 5 1	32
6	1 6 15 20 15 6 1	64
7	1 7 21 35 35 21 7 1	18
8	1 8 28 56 70 56 28 8 1	256

Quando se deseja conhecer a distribuição da proporção fenotípica na geração resultante do cruzamento entre dois heterozigotos, por exemplo para quatro pares de alelos (oito alelos), procura-se no triângulo de Pascal a nona linha, em que n = 8. A proporção é: 1 : 8 : 28 : 56 : 70 : 56 : 28 : 8 : 1, totalizando 256 combinações.

Podemos escrever essas proporções assim: $\frac{1}{256} : \frac{8}{256} : \frac{28}{256} : \frac{56}{256} : \frac{70}{256} : \frac{56}{256} : \frac{28}{256} : \frac{8}{256} : \frac{1}{256}$.

A herança da cor de pele humana está associada, em parte, à herança quantitativa envolvendo vários genes, provavelmente mais de oito. Sendo assim, pode-se perceber pelo triângulo de Pascal a grande quantidade de fenótipos possíveis. Isso explica em parte a grande variação dessa característica na nossa espécie, pois, além de outros fatores genéticos, há também muita influência ambiental. A herança da cor dos olhos e a da cor dos cabelos humanos também se devem em parte a esse tipo de herança.

4.2. Resolvendo problemas: herança quantitativa

Determinado fruto apresenta variação de massa entre 1,0 kg e 2,5 kg, com intervalos de 250 g entre cada valor. Pergunta-se:

a) Quais fenótipos podem ocorrer para esse caracter e quantos alelos estão atuando?

b) Quais são as classes fenotípicas esperadas e as proporções entre elas, resultantes do cruzamento entre heterozigotos?

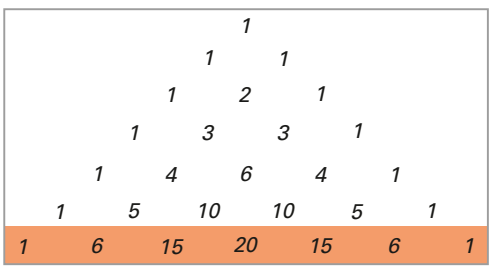
***Respostas**:*

a) Os valores extremos são 1,0 kg e 2,5 kg, e os intermediários com intervalos de 250 g: 1,000 kg, 1,250 kg, 1,500 kg, 1,750 kg, 2,000 kg, 2,250 kg e 2,500 kg.

Se os fenótipos são sete, o número de alelos que devem estar atuando nesse caracter é dado pela fórmula:

- *nº de alelos = nº de fenótipos – 1*
  nº de alelos = 7 – 1 = 6 alelos

b) Pode-se desenvolver o binômio de Newton $(p + q)^6$ ou montar o triângulo de Pascal, localizando as proporções na sétima linha, conforme mostrado abaixo.



As proporções fenotípicas esperadas são:

1	:	6	:	15	:	20	:	15	:	6	:	1
↓		↓		↓		↓		↓		↓		↓
1,000 kg: com seis alelos não efetivos		*1,250 kg: com um alelo efetivo*		*1,500 kg: com dois alelos efetivos*		*1,750 kg: com três alelos efetivos*		*2,000 kg: com quatro alelos efetivos*		*2,250 kg: com cinco alelos efetivos*		*2,500 kg: com seis alelos efetivos*

5. Determinação do sexo biológico

Todos os casos de herança estudados até agora relacionam-se a genes localizados nos cromossomos autossômicos. Os que se localizam nos cromossomos sexuais têm um padrão diferente de herança e é isso que vamos analisar no restante deste capítulo. Antes disso, no entanto, vamos comentar como ocorre a determinação do sexo nos animais. Há dois grupos básicos de mecanismos de determinação do sexo:

- o que envolve apenas os cromossomos sexuais, do qual fazem parte os sistemas **XY**, **X0** e **ZW**;
- o que não envolve os cromossomos sexuais, interferindo nesse caso outros fatores, como os ambientais (temperatura, por exemplo).

5.1. O sistema XY

A figura 8.12 mostra idiogramas de dois indivíduos da espécie humana.

Comparando a figura **A**, que mostra o idiograma de um indivíduo do sexo feminino, com a figura **B**, que mostra o idiograma de um indivíduo do sexo masculino, nota-se que os pares de cromossomos de 1 a 22 são morfologicamente iguais nos dois casos, mas há um par de cromossomos morfologicamente diferentes. Na figura **A** esse par é composto de cromossomos de mesma forma e mesmo tamanho, enquanto na figura **B** ele é formado por dois cromossomos diferentes.

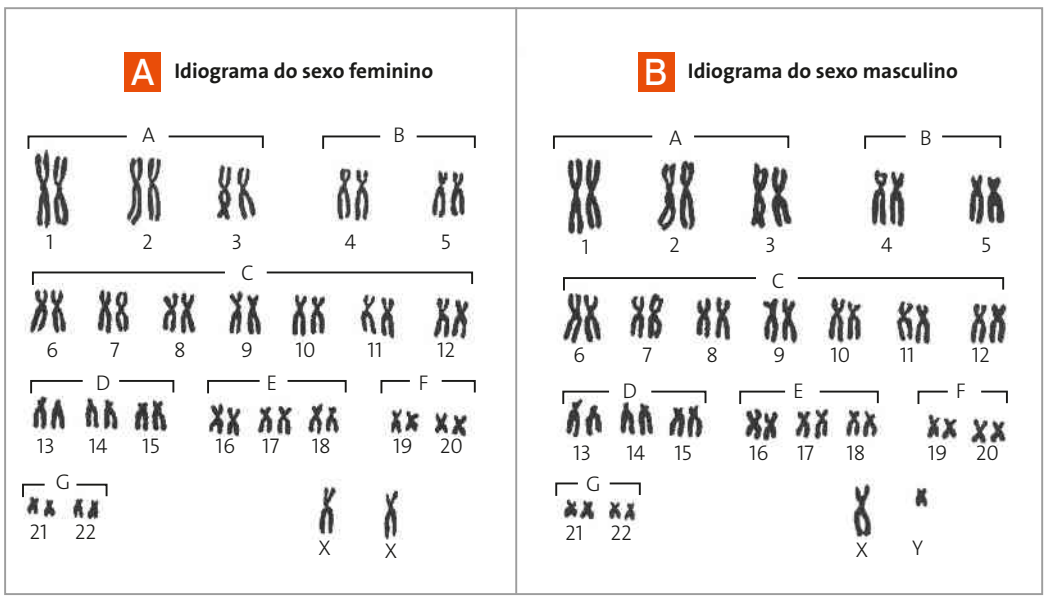


Figura 8.12. Esquemas de idiogramas humanos produzidos com base em fotomicrografias. Em **A**, idiograma do sexo feminino; em **B**, do sexo masculino.

Os cromossomos que diferem nos dois sexos denominam-se **cromossomos sexuais**, e os que são idênticos em ambos os sexos denominam-se **cromossomos autossomos**.

No sistema **XY** de determinação do sexo, o cromossomo **Y** é fundamental na determinação do sexo masculino. Se ele estiver presente e não houver outras interferências, como analisaremos adiante, o sexo será masculino. O sexo feminino é definido pela ausência do cromossomo **Y**: nos fenótipos normais há dois cromossomos sexuais chamados cromossomos **X**. O indivíduo do sexo masculino possui um cromossomo **X** e um **Y**. Esse sistema de determinação do

sexo ocorre na espécie humana e na maioria das espécies de mamíferos (Fig. 8.13) e de insetos.


Nature PL/Pete Oxford/Diomedia

Figura 8.13. Em veados-campeiros, o sistema de determinação do sexo é o **XY**. A fotografia mostra, à esquerda, uma fêmea e, à direita, um macho. Os animais medem cerca de 1 m de altura, desconsiderando a galhada do macho.

No sistema **XY** as fêmeas são o sexo **homogamético**, pois produzem apenas um tipo de gameta quanto aos cromossomos sexuais, e os machos são o sexo **heterogamético**, pois produzem dois tipos de gameta quanto aos cromossomos sexuais.

Se cada lote haploide de autossomos for representado por **A**, o indivíduo diploide será representado por **2A**. Por sua vez, se o lote haploide de cromossomos sexuais for representado por apenas um dos cromossomos sexuais, o indivíduo diploide poderá ser representado por **XX**, se for fêmea, e por **XY**, se for macho. Assim, pode-se escrever **2AXX** e **2AXY** ou **46,XX** e **46,XY**.

No sistema **XY**, o sexo dos descendentes é determinado pelo gameta masculino, pois somente ele pode conter o cromossomo **X** ou o **Y**.

2AXY × 2AXX

Gametas	AX	
AX	2AXX	50% fêmeas
AY	2AXY	50% machos

Sistema XY

- Sexo homogamético: feminino (**XX**).
- Sexo heterogamético: masculino (**XY**).
- Determinação do sexo: a presença do cromossomo **Y** determina sexo masculino, enquanto sua ausência determina sexo feminino.

Colocando em foco

ALTERAÇÕES CROMOSSÔMICAS RELACIONADAS AO X E/OU AO Y

Observe ao lado a representação do cruzamento entre um indivíduo da espécie humana que sofreu meiose anormal, sem a disjunção (separação) dos cromossomos sexuais, e outro que sofreu meiose normal.

Os filhos resultantes terão cariótipo alterado. O zigoto **2AY0** não chegará a se desenvolver.

O indivíduo com cariótipo **2AXXX** será do sexo feminino, sendo chamado **superfêmea**; é fértil e raramente apresenta anormalidade.

O indivíduo portador do cariótipo **2AXXY** será do sexo masculino e apresentará um conjunto de características denominado **síndrome de Klinefelter**: estatura elevada, braços e pernas muito longos, pouco pelo no corpo, esterilidade.

2AXX — Meiose anormal — Gametas: AXX, A0

Não houve disjunção dos cromossomos X; os dois vão para o mesmo polo da célula.

× 2AXY — Meiose normal — Gametas: AX, AY

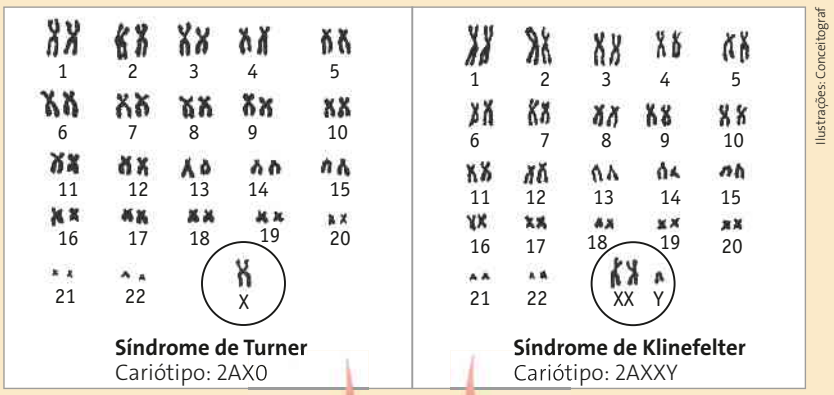
Houve disjunção dos cromossomos sexuais.

	AX	AY
AXX	2AXXX	2AXXY
A0	2AX0	2AY0

(Obs.: **0** indica ausência de cromossomo.)

O indivíduo portador do cariótipo **2AX0** será do sexo feminino e apresentará **síndrome de Turner**, caracterizada pelos seguintes fenótipos: baixa estatura, geralmente esterilidade e, em alguns casos, pescoço curto e largo.

Os quadros abaixo mostram a síndrome de Turner (Fig. 8.14) e a síndrome de Klinefelter (Fig. 8.15).



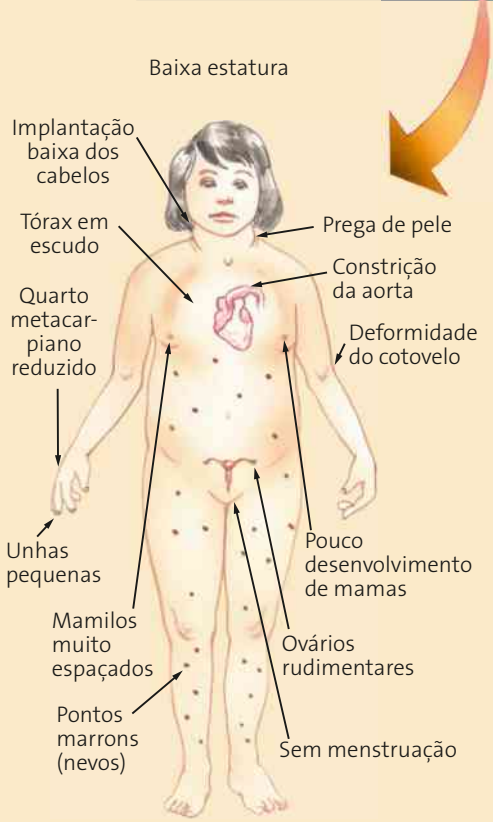


Figura 8.14. Esquema mostrando características da síndrome de Turner (X0). (Cores fantasia.) O esquema do cariótipo (acima) foi baseado em fotomicrografias.



Figura 8.15. Esquema mostrando características da síndrome de Klinefelter (XXY). (Cores fantasia.) O esquema do cariótipo (acima) foi baseado em fotomicrografias.

Existem ainda indivíduos com cariótipo **2AXYY**, resultantes da fecundação de um óvulo **AX** normal por um espermatozoide **AYY**, que surge por erro na meiose II quando não há separação das cromátides-irmãs. Esses indivíduos são do sexo masculino, geralmente altos e apresentam acne acentuada na adolescência. Alguns pesquisadores afirmavam que esses indivíduos eram muito agressivos, com propensão à criminalidade. Tal conclusão baseou-se em estudos tendenciosos que mostravam maior incidência de indivíduos **2AXYY** nas prisões. No entanto, atualmente sabe-se que eles vivem perfeitamente bem ajustados à sociedade, tendo sido registrados inclusive casos de **2AXYY** tímidos. Homens com esse cariótipo são férteis e seus gametas são normais, pois o **Y** extra não é transmitido.

5.2. O sistema X0

Nesse sistema os **machos** são **2AX0** e as **fêmeas** são **2AXX**.

Os machos são o sexo heterogamético, pois produzem dois tipos de gameta relacionados aos cromossomos sexuais: um com o cromossomo **X** e outro que não contém cromossomo sexual. As fêmeas, por sua vez, são o sexo homogamético, pois produzem apenas um tipo de gameta: **AX**.

O sistema **X0** de determinação do sexo ocorre em alguns insetos, especialmente em percevejos, gafanhotos e baratas.

5.3. O sistema ZW

No sistema **ZW** as fêmeas apresentam dois cromossomos sexuais diferentes, sendo o sexo heterogamético, enquanto os machos apresentam dois cromossomos sexuais iguais, sendo o sexo homogamético. Nesse caso os cromossomos sexuais são denominados **Z** e **W**.

O sistema **ZW** de determinação do sexo ocorre em borboletas, mariposas (Fig. 8.16), em diversas aves e anfíbios, assim como em alguns peixes.



Biosphoto/Georges L/Diomedia

Figura 8.16. A determinação do sexo em mariposas é dada pelo sistema **ZW**. As mariposas da fotografia chegam a medir 6 cm de envergadura.

5.4. Sistemas de determinação do sexo que não envolvem cromossomos sexuais

Em formigas, abelhas e vespas (ordem *Hymenoptera*), o sexo não é determinado pelos cromossomos sexuais, mas pelo número de conjuntos de cromossomos: as fêmeas são diploides e originam-se da fecundação de um óvulo por um espermatozoide; já os machos são haploides e originam-se de óvulos não fecundados que se dividem e formam um indivíduo (partenogênese). Portanto, nesse caso a determinação do sexo depende da **haploidia** ou da **diploidia**.

No caso das abelhas, os óvulos fecundados (diploides) podem dar origem às operárias, que são estéreis, ou à rainha, que é fértil, dependendo da quantidade e da qualidade do alimento recebido pela larva durante seu desenvolvimento. Dessa forma o caracter esterilidade ou fertilidade das fêmeas está vinculado ao meio ambiente.

Em uma colmeia há apenas uma fêmea fértil, que é a rainha. Os machos (haploides) são férteis e produzem espermatozoides haploides.

Nos répteis o sexo pode ser determinado por meio de cromossomos sexuais ou pela ação do meio ambiente, sendo a **temperatura** o fator mais comum.

A determinação cromossômica do sexo ocorre na grande maioria das serpentes e dos lagartos, em tuataras e em somente algumas espécies de quelônios.

A determinação sexual vinculada à temperatura ocorre em todos os crocodilianos e na maioria dos quelônios, sendo rara em lagartos e ausente no grupo das serpentes. Nesse processo o sexo é determinado de acordo com a temperatura média à qual os ovos são submetidos durante o período de **desenvolvimento embrionário**.

Em lagartos e jacarés (Fig. 8.17), temperaturas mais baixas determinam fêmeas, enquanto temperaturas mais altas, machos. No caso dos quelônios pode ocorrer o inverso. A diferença de temperatura que favorece um sexo é pequena, da ordem de 1 °C a 2 °C.



Images of Africa Photobank/Alamy/Glow Images

Figura 8.17. O sexo em jacarés é determinado pela temperatura a que os ovos estão submetidos durante o período de desenvolvimento embrionário. Os ovos de jacaré medem cerca de 10 cm.

6. Genes localizados nos cromossomos sexuais humanos

Na espécie humana, os cromossomos sexuais **X** e **Y** têm formas e tamanhos diferentes e seu emparelhamento na meiose das células germinativas masculinas é parcial. Já nas células femininas, como há dois cromossomos **X**, o emparelhamento é total.

Assim, em função do emparelhamento nas células masculinas, podem-se distinguir duas regiões nesses cromossomos (Fig. 8.18):

- **região homóloga**: onde há emparelhamento entre o cromossomo **X** e o cromossomo **Y**;
- **região não homóloga**: onde não há emparelhamento entre o cromossomo **X** e o **Y**.

Conceitograf

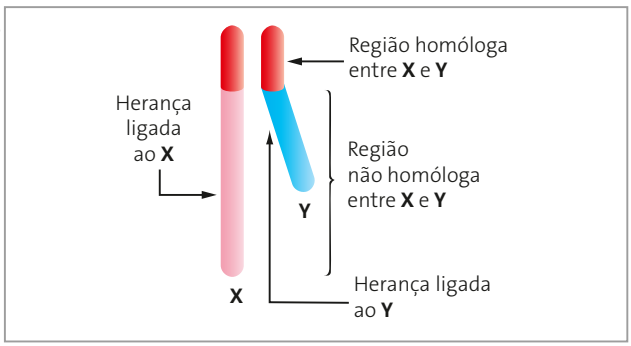


Figura 8.18. Esquema do emparelhamento dos cromossomos sexuais nas células masculinas. (Cores fantasia.)

Os alelos que se encontram na região não homóloga do cromossomo **X** apresentam um tipo de herança chamado **herança ligada ao sexo** ou herança ligada ao **X**.

Nesse caso, como os homens possuem apenas um cromossomo **X** e, consequentemente, não possuem alelos dos genes localizados na região não homóloga desse cromossomo, eles são chamados **hemizigóticos**. As mulheres, entretanto, podem ser **homozigóticas** ou heterozigóticas, pois apresentam dois cromossomos **X**, que se emparelham completamente.

Alelos recessivos localizados nessa região não homóloga do cromossomo **X** expressam-se fenotipicamente com maior frequência nos homens, bastando o alelo estar presente para seu efeito se manifestar. Nas mulheres, esses alelos recessivos só se manifestam em dose dupla (homozigose recessiva).

Os alelos localizados na região não homóloga do cromossomo **Y** condicionam um tipo de herança chamado **herança restrita ao sexo** ou herança ligada ao **Y**, que só ocorre nos homens. Nesse caso também se fala em indivíduos hemizigóticos.

A herança ligada ao cromossomo **X** foi descoberta por Morgan e sua equipe em 1910, por meio de cruzamentos realizados em laboratório com a mosca drosófila, ao analisar a herança da cor do olho desses animais. Eles verificaram que o loco para esse caracter estava localizado na região não homóloga do cromossomo **X** em relação ao cromossomo **Y**. Mostrou-se, assim, que um gene específico localizava-se em um cromossomo também específico (**X**), somando fortes argumentos à hipótese de que os genes localizavam-se nos cromossomos.

Foi a descoberta dos genes ligados ao sexo e dos casos de *linkage* que levaram Morgan e seus colaboradores a desenvolverem de modo substancial a teoria cromossômica da herança.

Despertando ideias

Professor(a), veja nas Orientações didáticas os comentários e as respostas das questões dissertativas.

REGISTRE NO CADERNO

Jogo: Herança ligada ao X

Vamos montar um jogo para entendermos melhor como ocorre a herança de qualquer característica ligada ao X. Para isso, vamos usar como exemplo o daltonismo, que é uma doença que segue esse padrão de herança. O alelo para o daltonismo é recessivo em relação ao alelo normal.

Materiais

- 3 grãos de feijão-branco (representarão os cromossomos X);
- 1 grão de feijão-preto (representará o cromossomo Y);
- 2 copos de plástico;
- caneta hidrográfica.

Montagem

1. Faça uma marca com a caneta hidrográfica em dois dos feijões-brancos. Esses feijões representarão cromossomos **X** com o alelo para o daltonismo.
2. Identifique um dos copos como "MÃE", e o outro como "PAI".
3. Construa no caderno uma tabela como a seguinte. Cada linha vai representar um descendente.

	Genótipo	Sexo	Daltonismo
Geração 1			
Geração 2			

4. No copo que representa a mãe, coloque um grão de feijão-branco sem a marca e um grão de feijão-branco com a marca.
5. No copo que representa o pai, coloque um grão de feijão-preto e um grão de feijão-branco com a marca.

Como jogar

Forme um grupo com 4 ou 5 colegas. Com os olhos fechados, um participante deve tirar um feijão de cada copo, representando o cromossomo sexual que cada genitor está passando para seu descendente. Anote essas informações na linha "Geração 1" da tabela. Especifique o sexo de cada descendente e o genótipo. Os feijões então devem ser devolvidos aos respectivos copos, e uma nova rodada se inicia. Cada grupo deve repetir todo o procedimento dez vezes.

Questões

Terminado o jogo, vamos interpretar os resultados e aplicar conhecimentos de Matemática.

1. Qual é a porcentagem de descendentes de cada sexo?
2. Os descendentes do sexo masculino apresentam apenas um alelo do gene, pois têm somente um cromossomo **X**. Sendo assim, qual é a porcentagem de descendentes daltônicos?
3. Entre os descendentes daltônicos, quantos são meninas? Explique.
4. Mostre os dados de seu grupo para a classe e discuta os resultados dos demais colegas. Eles são diferentes dos seus?

6.1. Heranças ligadas ao X

Daltonismo

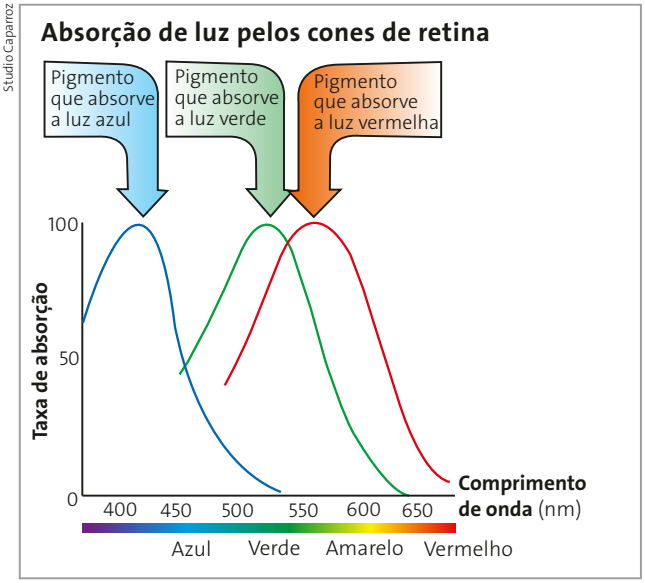
O daltonismo é uma doença em que a pessoa não consegue enxergar certas **cores**. Existem vários tipos de defeitos de visão relacionados à percepção de cores, e os mecanismos genéticos responsáveis por eles são mais complexos do que se imaginava anteriormente.

A visão normal de cores depende de três tipos de proteínas capazes de absorver luz (pigmentos). Essas proteínas são codificadas por genes ativos nos **cones** da retina, sendo cada uma produzida em um tipo de cone. Dessa maneira há três tipos de cones: o que contém pigmento que absorve a luz azul, o que contém pigmento que absorve a luz verde e o que contém pigmento que absorve a luz vermelha (Fig. 8.19).

Defeitos na discriminação da cor azul se devem a um gene autossômico recessivo localizado no cromossomo 7.

Defeitos na discriminação das cores verde e vermelha se devem a dois alelos recessivos localizados muito próximos entre si, no cromossomo **X**. Estes são os casos mais estudados e conhecidos e neles iremos focar nossa atenção.

Studio Caparroz



Fonte: GUYTON, A. C.; HALL, J. E. *Tratado de fisiologia médica*. 12. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2011.

Figura 8.19. Gráfico do espectro de absorção da luz pelos três tipos de cones da retina: com pigmento que absorve o azul, o verde ou o vermelho. Os defeitos na discriminação de cores resultam da ausência (ou de alterações) em um ou mais tipos de cone. Abaixo do gráfico está esquematizado o espectro de cores que forma a luz branca e seus comprimentos de onda.

Pessoas que são homozigóticas recessivas para os três locos em questão não conseguem perceber cores.

Vamos analisar os casos de daltonismo ligados ao **X**, sem fazer distinção entre o daltonismo para o verde ou para o vermelho; por simplificação, vamos usar o alelo **d** para representar ambos os casos de daltonismo.

Para a mulher manifestar daltonismo ela precisa ser homozigótica recessiva, ou seja, o alelo **d** deve estar em dose dupla (homozigose). Para o homem, uma vez presente o alelo **d**, o daltonismo se manifesta. Por isso, a frequência de homens daltônicos na população é maior que a de mulheres daltônicas.

Os genótipos possíveis são:

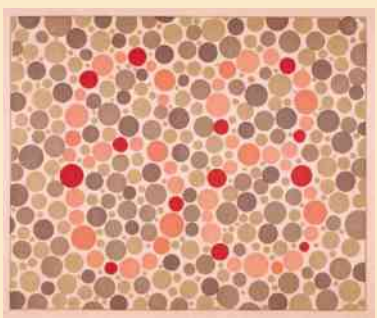
Sexo masculino	Sexo feminino
X^dY Fenótipo: daltônico	X^dX^d Fenótipo: daltônico
X^DY Fenótipo: normal	X^DX^D; X^DX^d Fenótipo: normal

Colocando em foco

O TESTE DAS CORES

Figuras semelhantes à que é mostrada ao lado (Fig. 8.20) são usadas para testar se uma pessoa consegue distinguir o número nela representado. Os daltônicos não conseguem distinguir o número representado, pois não diferenciam as cores que o compõem.

Professor(a), certifique-se de que se houver estudantes daltônicos na turma, eles não sejam alvo de discriminação ao estudar o tema.



Lester V. Bergman/Corbis/Latinstock

Figura 8.20. Imagem usada para teste de daltonismo.

Hemofilia A

A hemofilia é uma doença caracterizada pela ausência de uma das proteínas que agem na **coagulação** do sangue. Existem vários tipos de hemofilia, mas o mais comum é a hemofilia **A**, causada por um alelo recessivo ligado ao cromossomo **X**. Nesse tipo de hemofilia, a pessoa não possui o fator VIII, que atua no processo de coagulação. Para os hemofílicos, um pequeno corte na pele pode significar grande hemorragia.

Os avanços da medicina têm possibilitado o aumento da sobrevivência dos hemofílicos, por meio de transfusões de sangue com concentrados de fatores de coagulação.

Vamos supor um cruzamento entre uma mulher heterozigótica para hemofilia e um homem sem hemofilia:

♀ X^HX^h × ♂ X^HY

Meiose

Gametas

Meiose

Gametas

	X^H	Y
X^H	X^HX^H	X^HY
X^h	X^HX^h	X^hY

As mulheres resultantes desse cruzamento serão todas normais, mas 50% delas serão heterozigóticas e, portanto, portadoras do alelo para hemofilia. Os homens poderão ser normais ou hemofílicos, em igual proporção.

Distrofia muscular progressiva do tipo Duchenne

Essa anomalia, determinada por alelo recessivo ligado ao **X**, é caracterizada pela **degeneração** progressiva da **musculatura esquelética**, que leva o indivíduo à morte. Na infância, os portadores da doença parecem normais, mas, à medida que atingem a adolescência, vão perdendo a musculatura e não sobrevivem. Felizmente, hoje há tratamentos que elevam muito a expectativa de vida dessas pessoas.

Adrenoleucodistrofia

Doença genética causada por alelo recessivo ligado ao **X**. Está relacionada à atividade anormal do metabolismo de lipídios, acometendo as glândulas suprarrenais e o sistema nervoso. Existe a possibilidade de controlar a manifestação dessa doença com alimentação e orientação a pacientes e familiares. A história da descoberta dessa forma de tratamento pode ser vista no filme *O óleo de Lorenzo* (1992).

Colocando em foco

O ALBINISMO – O QUE É E COMO É HERDADO?

O albinismo é uma condição em que a pessoa não produz **melanina**, pigmento responsável pela cor de pele, olhos e cabelo. Na espécie humana, há pelo menos quatro formas de albinismo, todas relacionadas à ausência de produção de melanina em determinadas estruturas do corpo: o albinismo parcial, o ocular, o óculo-cutâneo tirosinase-negativo e o óculo-cutâneo tirosinase-positivo.



Norman Lightfoot/Latinstock

Figura 8.21. À direita, homem com pigmentação normal; à esquerda, homem portador de albinismo.

O **albinismo parcial** carateriza-se pela ausência de melanina em zonas bem definidas da pele ou do cabelo, sem comprometimento da pigmentação dos olhos (Fig. 8.21). É determinado por um alelo autossômico dominante, sendo o fenótipo normal determinado pelo duplo recessivo. Assim, se chamarmos de **B** o alelo para esse tipo de albinismo, os genótipos **BB** e **Bb** determinarão o albinismo parcial, e o genótipo **bb**, o fenótipo normal para essa característica.

O **albinismo ocular** caracteriza-se pela ausência de melanina na retina, o que causa danos ao globo ocular e à visão. A pele e o cabelo, no entanto, possuem pigmentação normal. Esse tipo de albinismo é determinado por alelo recessivo localizado no cromossomo **X**. Assim, mulheres afetadas são X^aX^a e homens afetados são X^aY.

Nas outras formas de albinismo, o **óculo-cutâneo tirosinase-negativo** e o **óculo-cutâneo tirosinase-positivo**, a pessoa não apresenta pigmentação na pele, no cabelo e nos olhos. Essas duas formas de albinismo são coletivamente chamadas de **albinismo universal**, pois o fenótipo é praticamente o mesmo. Apesar disso, os genes que atuam em cada caso são distintos e situam-se em cromossomos distintos. Casos como esses são chamados de **heterogeneidade genética**.

O albinismo universal é o mais comum. Nos problemas de genética, quando se fala em albinismo, está sendo feita referência a um deles, em geral o tirosinase-negativo, que é o mais fácil de explicar.

O primeiro caso que chamou a atenção dos cientistas sobre a possibilidade de heterogeneidade genética no albinismo universal foi o de um casal de albinos que teve quatro filhos, todos com pigmentação normal. Veja os genótipos e os fenótipos desse casal e os seus descendentes:

aaPP (albinismo tirosinase-negativo)	×	**AApp** (albinismo tirosinase-positivo)
↓		
Todos os descendentes **AaPp** (pigmentação normal).		

Síndrome da feminização testicular

Essa síndrome é muito rara, ocorrendo em cerca de 1 a cada 65 mil nascimentos masculinos. Acontece em função de um alelo recessivo ligado ao **X** que determina uma disfunção no receptor de **hormônios masculinos**, de modo que esses hormônios não atuam nos órgãos-alvo envolvidos com a masculinidade. As pessoas afetadas por essa síndrome são cromossomicamente do sexo masculino (**XY**), mas desenvolvem-se fenotipicamente como mulheres. Possuem mamas bem desenvolvidas como uma mulher, apresentam comportamento feminino, genitália externa feminina e vagina em fundo cego. Como não possuem útero ou ovários, são estéreis. Possuem testículos, que ficam localizados ou nos lábios maiores ou dentro do abdome. Essa condição não pode ser revertida por tratamento hormonal, pois os receptores de hormônios masculinos não respondem a ele.

Hiperplasia congênita da suprarrenal

Existe uma anomalia na espécie humana que se chama **hiperplasia congênita da suprarrenal**. Essa doença ocorre em indivíduos **XX**, portanto geneticamente mulheres, mas que apresentam uma quantidade de hormônios masculinizantes muito acima do nível normal por causa de uma disfunção da glândula suprarrenal durante o desenvolvimento embrionário. Com isso, apesar de serem **XX**, possuem genitália externa com características masculinas, com o desenvolvimento de pênis.

Ao nascer, a criança já apresenta genitália externa semelhante à masculina, mas internamente possui toda a estrutura do sistema genital feminino, com ovários e útero. Por possuírem pênis, essas crianças são confundidas com indivíduos do sexo masculino até que na adolescência começam a surgir os caracteres externos femininos. Esses casos são passíveis de cirurgia, tornando o indivíduo uma mulher fértil.

6.2. Herança ligada ao Y

Nesse tipo de herança os genes estão localizados na região do **cromossomo Y** que não tem correspondência com o cromossomo **X**. Esses genes são denominados **genes holândricos** (do grego: *hólos* = total; *andrós* = masculino), pois ocorrem apenas no sexo masculino.

O cromossomo **Y** humano possui pouquíssimos genes, todos eles holândricos e relacionados com a formação e o funcionamento dos testículos.

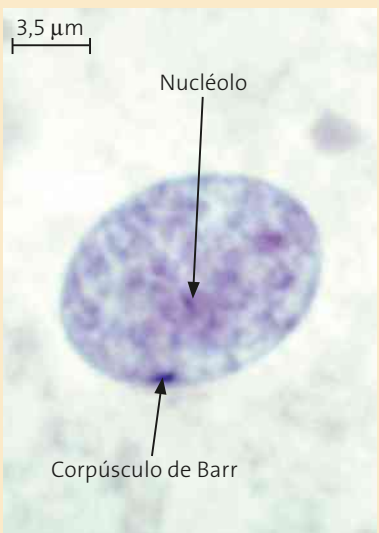
Colocando em foco

A CROMATINA SEXUAL

Em 1949, Murray Barr observou que células somáticas de fêmeas de mamíferos apresentavam no núcleo um corpúsculo que se corava intensamente. Nos machos, entretanto, esse corpúsculo não ocorria. Posteriormente, ele foi denominado **corpúsculo de Barr** ou **cromatina sexual**.

Vários estudos mostraram que o corpúsculo de Barr corresponde a um cromossomo **X** que permanece condensado na interfase, estando, assim, inativo. A inativação estaria relacionada a um mecanismo chamado **compensação de dose**, que mantém constante a relação entre autossomos e cromossomos **X** tanto nos machos como nas fêmeas, havendo sempre um cromossomo **X** funcional nas células somáticas. Assim, os machos, com apenas um **X**, não possuem cromatina sexual; enquanto as fêmeas, que possuem dois cromossomos **X**, apresentam um corpúsculo de Barr, ficando com apenas um **X** funcional (Fig. 8.22).

A verificação da presença do corpúsculo de Barr permite detectar anomalias cromossômicas relacionadas aos cromossomos sexuais. Os indivíduos com síndrome de Turner (**X0**), por exemplo, não possuem esse corpúsculo, apesar de serem fenotipicamente femininos. Os indivíduos com síndrome de Klinefelter (**XXY**) apresentam



Michael Abbey/Latinstock

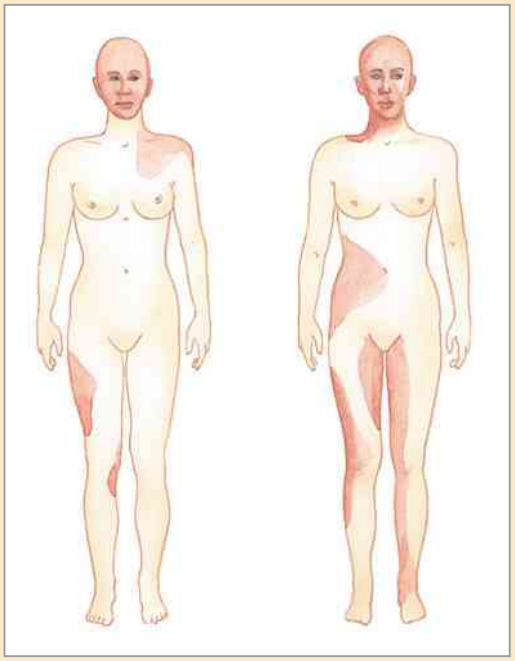
Figura 8.22. Fotomicrografia de células epiteliais (coradas artificialmente) de uma mulher mostrando o nucléolo e o corpúsculo de Barr dentro do núcleo.

o corpúsculo de Barr, apesar de serem fenotipicamente masculinos. Portanto, há sempre apenas um **X** funcional nas células somáticas.

A inativação do **X** é aleatória: em algumas células é inativado o cromossomo **X** que veio da mãe, em outras é o **X** que veio do pai. Esse processo ocorre bem no início do desenvolvimento embrionário e surpreendentemente persiste em todas as mitoses seguintes. Como resultado, o corpo das mulheres é uma mistura ou **mosaico** de células distintas com relação ao **X** ativo, pois algumas possuem o **X** ativo que veio da mãe e, outras, o **X** ativo que veio do pai.

Embora isso ocorra em todas as mulheres, detecta-se esse mosaico principalmente quando a mulher é heterozigótica para genes ligados ao **X** relacionados a características que se expressem no aspecto externo do corpo, pois algumas de suas células terão o alelo recessivo ativo e, outras, o alelo dominante ativo.

Um exemplo disso é a **displasia ectodérmica anidrótica**, relacionada com a distribuição de glândulas sudoríparas no corpo. A mulher heterozigótica apresenta um mosaico de setores do corpo com e sem essas glândulas: em algumas áreas é o alelo dominante do gene que se manifesta e há formação de glândulas sudoríparas; em outras áreas é o alelo recessivo e não há formação de glândulas sudoríparas, como mostra a figura ao lado (Fig. 8.23).



Osni de Oliveira

Figura 8.23. Esquemas mostrando mosaicismo somático em duas mulheres heterozigóticas para a displasia ectodérmica anidrótica. As áreas sem glândulas sudoríparas estão indicadas em escuro e representam locais onde o cromossomo **X** que contém o alelo dominante está condensado, formando o corpúsculo de Barr. A extensão e a localização dessas áreas é aleatória, mas constante na mesma mulher ao longo de sua vida. (Cores fantasia.)

Casos semelhantes de inativação do **X** determinando modificações no fenótipo ocorrem em fêmeas de outros mamíferos. Um exemplo clássico é o da gata de três cores, mostrada na fotografia abaixo (Fig. 8.24).

Nos gatos domésticos, os indivíduos machos podem ter pelagem de no máximo duas cores. Já as fêmeas podem apresentar pelagem de até três cores no mesmo indivíduo. Vamos ver como isso acontece.

Na determinação da cor do pelo dos gatos atuam três pares de alelos com segregação independente: dois desses pares são autossômicos e um deles é ligado ao **X**.

Os pares autossômicos são:

Par 1
- **BB**, **Bb** — determinam pelagem uniforme, sem manchas brancas;
- **bb** — determina pelagem com manchas brancas.

Par 2
- **MM**, **Mm** — determinam pelagem preta;
- **mm** — determina pelagem marrom.

O par ligado ao **X** é:

- X^AX^A ou X^AX^a — determinam pelagem laranja. O alelo **A** interage com os alelos autossômicos **M** e **m**, sendo epistático sobre eles; quando o alelo **A** estiver presente, a pelagem sempre será laranja. O alelo **A**, entretanto, não interfere na manifestação dos alelos autossômicos **B** ou **b**. Assim, não interfere no fato de a pelagem apresentar ou não manchas brancas.
- X^aX^a — não determina pelagem laranja e deixa que os alelos **M** ou **m** se manifestem.



J.-L. Klein & M.-L. Hubert/Biosphoto/Diomedia

Figura 8.24. Fotografia de gata doméstica com três cores na pelagem: preta, laranja e branca.

7. Outros mecanismos de herança relacionados com o sexo

Professor(a), veja nas sugestões de atividades extras mais um problema sobre o tema do item 7.3.

Existem variações fenotípicas relacionadas com o sexo envolvendo genes que podem estar localizados em quaisquer dos autossomos, ocorrendo, assim, nos dois sexos. Esses genes podem expressar-se de modo diferente, dependendo do sexo do indivíduo. Isso se deve ao efeito do meio interno do organismo, principalmente dos hormônios sexuais.

Os mecanismos que determinam essas variações fenotípicas relacionadas com o sexo são: **herança com efeito limitado ao sexo** e **herança influenciada pelo sexo**.

7.1. Herança com efeito limitado ao sexo

Ocorre quando alguns genes, embora presentes nos dois sexos, manifestam-se apenas em um deles – a penetrância do gene em um dos sexos é zero. Um exemplo disso é a manifestação dos caracteres sexuais secundários no homem e na mulher.

A **hipertricose auricular**, que corresponde ao crescimento excessivo de pelos na orelha, é outro exemplo de alelo autossômico dominante com efeito limitado ao sexo.

Esse alelo pode estar presente tanto em homens como em mulheres, mas só se manifesta nos homens. É interessante notar que até algum tempo atrás a hipertricose auricular era interpretada como um tipo de herança ligada ao cromossomo **Y**. Hoje se sabe que muitas das características que eram atribuídas a alelos localizados na região não homóloga do **Y** em relação ao **X**, ou seja, alelos restritos ao sexo (ou ao **Y**), são na verdade condicionadas por alelos autossômicos, com efeito limitado ao sexo.

7.2. Herança influenciada pelo sexo

Caracteriza-se pela variação de dominância e recessividade de alelos em função do sexo do indivíduo: um alelo tem efeito dominante em um sexo e efeito recessivo em outro.

Um exemplo desse tipo de herança é a **calvície** na espécie humana. Essa característica é associada a um alelo C_1, localizado em um autossomo, sendo dominante nos homens e recessivo nas mulheres. Com isso, o mesmo genótipo manifesta-se de forma diferente em cada sexo devido à influência de hormônios.

Genótipo	Fenótipo
C_1C_1	Homem: calvo Mulher: calva
C_1C_2	Homem: calvo Mulher: não calva
C_2C_2	Homem: não calvo Mulher: não calva

A calvície é, portanto, uma característica influenciada pelo sexo. Devemos lembrar, porém, que a calvície também pode ser determinada por outras causas, como doenças, radiações e problemas com a glândula tireóidea, casos em que não há interferência genética.

7.3. Resolvendo problemas: herança autossômica ou relacionada com o sexo?

Muitas vezes, os problemas de genética solicitam a identificação do mecanismo de herança envolvido: se é autossômico ou relacionado com o sexo. Vamos resolver um problema que pede essa diferenciação, pois assim fica mais fácil compreender o raciocínio para se chegar a uma resposta correta.

*(Fuvest-SP) O raquitismo resistente à vitamina **D** é uma doença hereditária. Na prole de homens afetados, todas as meninas são afetadas e todos os meninos são normais. Qual o tipo de herança dessa doença?*

***Resposta**:*

Em uma questão como essa, na qual se pede o tipo de herança envolvida, devemos analisar todos os tipos possíveis. A primeira observação a fazer é se existem diferenças na manifestação do fenótipo em homens e em mulheres. Se não houver, a herança é autossômica. Se houver, ela é relacionada com o sexo.

*No problema em questão há diferenças na manifestação do fenótipo em função do sexo; logo, trata-se de um tipo de herança relacionada com o sexo. Nesse tipo de herança podemos pensar em herança ligada ao **X**, uma vez que pais afetados têm filhas afetadas e filhos normais. As filhas recebem um cromossomo **X** do pai e um **X** da mãe. Assim, se a mãe é normal e todas as*

filhas manifestam a doença, o cromossomo portador do alelo para a anomalia é o ***X*** *do pai. Os filhos não recebem o* ***X*** *do pai, sendo então todos normais. Eles recebem do pai o* ***Y*** *e da mãe o* ***X****, que não possui o alelo para a anomalia.*

Resta saber agora se o alelo para a anomalia é dominante ou recessivo. Para isso, devemos analisar os heterozigotos. Neste problema, as filhas são com certeza heterozigóticas, pois receberam um ***X*** *do pai com a anomalia e o outro* ***X*** *da mãe, sem o alelo para a anomalia. Como as filhas manifestam a doença, trata-se de um alelo dominante.*

R → *Alelo causador do raquitismo*
r → *Alelo para normalidade*

X^RY × X^rX^r

Gametas: X^r

Gametas	X^r
X^R	X^RX^r (♀ *afetada*)
Y	X^rY (♂ *normal*)

Herança ligada ao sexo, causada por alelo dominante.

Colocando em foco

EPIGENÉTICA

O termo epigenética (do grego *epi* = acima) refere-se a alterações, em função do meio, na **expressão gênica**, sem que haja mudança na sequência primária de DNA. Essas modificações podem ser temporárias ou permanentes e passar para gerações seguintes por herança.

Os padrões epigenéticos surgem principalmente por um processo chamado **metilação do DNA**, em que um grupo metil (CH_3) une-se à base nitrogenada citosina, geralmente seguida de guanina na mesma fita do DNA (Fig. 8.25), podendo causar o silenciamento de alguns genes.

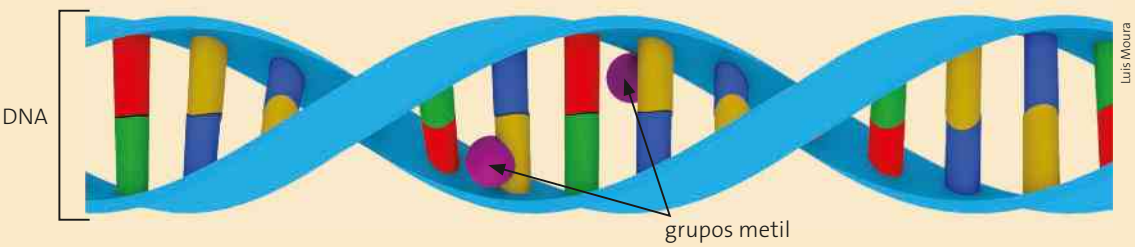


Figura 8.25. Esquema mostrando como ocorre a metilação do DNA. (Elementos representados em diferentes escalas; cores fantasia.)

Outro modo de interferência epigenética no DNA refere-se a fatores que se ligam às **histonas dos cromossomos**, fazendo com que certos genes, que estavam inacessíveis em função da condensação da cromatina, tornem-se acessíveis e ativos.

Gêmeos monozigóticos, por exemplo, derivam de um mesmo zigoto e, assim, possuem cromossomos com as mesmas sequências de bases nitrogenadas no DNA. O que seria esperado é que eles fossem iguais em tudo, mas não é o que ocorre. Eles diferem em vários aspectos comportamentais e até mesmo em relação à manifestação de certas doenças, inclusive genéticas, ou de malformações congênitas. Um caso que sempre intrigou os cientistas é o de gêmeos monozigóticos em que um deles apresenta lábio leporino (fenda no lábio superior) e o outro não. Estudos indicam que essas diferenças devem-se à epigenética.

O silenciamento dos genes por processos epigenéticos pode causar doenças, como o câncer, mas nem sempre acarreta problemas. É o que acontece em processos de regulação gênica por meio da inativação do cromossomo **X** e do chamado "*imprinting* genético" (impressão genética). O *imprinting* genético é um processo natural que ocorre em certos locos, em que apenas um dos alelos do gene manifesta-se: ou o alelo herdado da mãe ou o alelo herdado do pai. O mesmo alelo sempre se mantém ativo ao longo das gerações, por isso se fala em impressão genética. Além disso, processos epigenéticos protegem o genoma contra a invasão de sequências exteriores ao organismo, como o DNA viral, por exemplo.

Mudanças epigenéticas são mais comuns do que mutações gênicas como resposta a estímulos do meio, do comportamento e de fatores psicológicos, fisiológicos e patológicos.

Para falarmos de um exemplo prático da epigenética, vamos tratar do primeiro estudo que mostrou que a atividade física altera o padrão de metilação do DNA de genes do adipócito, afetando o metabolismo dessas células.

Considerando que fatores ambientais potencialmente alteram o metabolismo por meio de modificações epigenéticas, os autores desse estudo verificaram que seis meses de atividade física alteram o padrão de metilação do DNA, afetando a expressão de genes no tecido adiposo humano. Os dados que obtiveram confirmaram também que, em células do tecido adiposo, após o exercício, há metilação diferencial do DNA em genes que causam obesidade e diabetes tipo 2. Os autores comentam que a vida sedentária, a dieta mal orientada e as novas tecnologias que reduzem a atividade física vêm causando problemas de saúde no mundo todo, como obesidade e, consequentemente, aumento de riscos cardiovasculares e diabetes tipo 2.

O tecido adiposo atua como um órgão endócrino, afetando muitos caminhos metabólicos que participam da homeostase global da glicose. Diabetes tipo 2 é causada por um conjunto de processos que interagem e que envolvem genética e estilo de vida. Indivíduos com história familiar de diabetes tipo 2 podem evitar a doença com dieta e exercícios. A atividade física é importante para a saúde geral do indivíduo, o que inclui manutenção da massa corpórea adequada e seus efeitos benéficos sobre as taxas de triglicérides, colesterol e pressão sanguínea, fruto de um complexo mecanismo de mudanças nos padrões de transcrição gênica em diferentes tecidos, em decorrência dos processos epigenéticos.

Fonte dos dados: RÖNN, T. *et. al*. A six months exercise intervention influences the genome-wide DNA methylation pattern in human adipose tissue. *PLOS Genetics*. Disponível em: <http://www.journals.plos.org/plosgenetics/article?id=10.1371/journal.pgen.1003572>. Acesso em: maio 2016.

Tema para discussão

REGISTRE NO CADERNO

Orientação sexual e identidade de gênero

Discutimos neste capítulo a determinação cromossômica do sexo na espécie humana, pela qual se define o chamado sexo biológico, que pode ser masculino ou feminino.

Agora, vamos tratar de assuntos que são fundamentais para o entendimento da sociedade como uma composição heterogênea e diversa. Vamos aqui abordar um pouco mais as dimensões que se referem a questões de orientação sexual e identidade de gênero, assim definidas por convenções internacionais:

> [...] orientação sexual está definida como uma referência à capacidade de cada pessoa de ter uma profunda atração emocional, afetiva ou sexual por indivíduos de gênero diferente, do mesmo gênero ou ambos, assim como ter relações íntimas e sexuais com essas pessoas. Modernamente, as orientações sexuais são distinguidas em heterossexualidade (quando o interesse afetivo-erótico-sexual da pessoa se dirige em direção a pessoas do sexo oposto), homossexualidade (quando esse interesse se expressa por pessoas do mesmo sexo) e bissexualidade (interesse por pessoas de ambos os sexos).
>
> [...] identidade de gênero está definida como a profundamente sentida experiência interna e individual do gênero de cada pessoa, que pode ou não corresponder ao sexo atribuído no nascimento, incluindo o senso pessoal do corpo – que pode envolver, por livre escolha, modificação da aparência ou função corporal por meios médicos, cirúrgicos ou outros – e outras expressões de gênero, inclusive vestimenta, modo de falar e maneirismos.

BRASIL. Ministério da Saúde. Saúde sexual e saúde reprodutiva. *Cadernos de atenção básica*. n. 26. Brasília: Ministério da Saúde, 2013. Disponível em: <http://bvsms.saude.gov.br/bvs/publicacoes/saude_sexual_saude_reprodutiva.pdf>. Acesso em: mar. 2016.

Em 2011, passou a ser reconhecida legalmente no Brasil a união homoafetiva, isto é, entre casais homossexuais. A decisão estendeu a esses casais os direitos que, até então, eram exclusivos de casais heterossexuais. Porém, há ainda muito preconceito contra homo e bissexuais, o que pode tornar difícil a aceitação da própria sexualidade por essas pessoas.

No caso da identidade de gênero, uma pessoa pode apresentar um par de cromossomos XX, ter sistema genital feminino e, mesmo assim, identificar-se e se comportar de acordo com os estereótipos estabelecidos para um homem. Da mesma maneira, uma pessoa pode ter um par de cromossomos XY, sistema genital masculino e identificar-se como uma mulher. Essas pessoas são transexuais.

Há, na legislação brasileira, abertura para que pessoas transexuais realizem tratamento hormonal que modifique seu corpo, desenvolvendo características físicas do sexo biológico oposto, além da realização de cirurgia para alterar o sistema genital. Essas pessoas podem, também legalmente, alterar seu nome para um que corresponda à sua identidade de gênero. As pessoas transexuais têm o direito de serem tratadas pelo nome e pelo gênero com os quais se identificam. Porém, essas ações são muito difíceis de se concretizar na prática, pois ainda há muita burocracia e cuidados envolvidos nos processos. Além disso, assim como acontece com homo e bissexuais, há muito preconceito na sociedade contra transexuais.

Tanto a orientação sexual quanto a identidade de gênero de uma pessoa devem ser respeitadas e livres de preconceitos. Essa compreensão leva à construção de uma sociedade mais justa e humana.

- Em grupo, façam uma pesquisa sobre os temas: orientação sexual e identidade de gênero. Discutam os dados que obtiveram, fazendo reflexão crítica a respeito do assunto e da importância de se combater toda e qualquer forma de discriminação. Feita a reflexão, elaborem um *slogan* que possa ser usado em uma ação social de combate a esse aspecto da sociedade, que acaba produzindo muita dor, sofrimento e até mesmo levando à morte de algumas pessoas.

Professor(a), veja nas Orientações didáticas os comentários e as respostas das questões dissertativas.

Retomando

Agora que você conhece diversos mecanismos de herança, retome suas respostas às questões da seção **Pense nisso** e reescreva-as. Como sua altura é determinada? Não se esqueça de considerar, em sua resposta, que o fenótipo é resultado da interação do genótipo com o ambiente.

Ampliando e integrando conhecimentos

REGISTRE NO CADERNO

Atividade 1 Padrões em ervilha

Habilidades do Enem: H3, H13, H15, H17.

Quando Mendel estudava a herança de caracteres em ervilhas, os resultados obtidos nem sempre podiam ser explicados pelos mecanismos da primeira e da segunda lei.

Um desses resultados intrigantes foi o seguinte: ele reparou que havia duas variedades de plantas de ervilha: uma com flores púrpura, revestimento cinza das sementes e mancha escura na base das folhas, e outra cujas flores eram brancas, as sementes produziam revestimento branco e não havia manchas na base das folhas. Interessado em descobrir o padrão de herança dessas três características, realizou cruzamentos entre essas plantas, e ele nunca obteve um fenótipo em que essas características aparecessem combinadas de forma diferente. Por exemplo, nunca uma planta de flor púrpura tinha semente com revestimento branco. Mendel não sabia, no entanto, explicar esse tipo de herança.

Baseando-se nos conhecimentos que temos hoje, que tipo de herança poderia explicar essas observações de Mendel? Justifique sua resposta.

Atividade 2 Herança de cor em serpentes

Habilidades do Enem: H13, H15.

Uma espécie de serpente tem sua cor resultante de dois pigmentos separados: preto e laranja. Cada pigmento tem sua síntese determinada por um par de alelos (P/p e L/ℓ).

Os fenótipos observados quanto à cor da pele são:

– selvagem (laranja e preta): L_P_
– laranja: L_pp
– preta: $\ell\ell$P_
– albina: $\ell\ell$ pp

Foram realizados diversos cruzamentos entre serpentes selvagens heterozigóticas e como resultado os pesquisadores observaram: 27 selvagens, 11 pretas, 9 laranja e 2 albinas. Responda:

a) Qual é o tipo de herança que determina a cor das serpentes nessa espécie? Justifique sua resposta.

b) Suponha que todas as serpentes selvagens heterozigóticas foram mantidas pelos pesquisadores em uma gaiola inapropriada e os animais conseguiram escapar. Para conseguir mais serpentes selvagens heterozigóticas, que cruzamentos os pesquisadores poderiam promover no cativeiro?

Atividade 3 Herança da cor em flores

Habilidades do Enem: H13, H15.

Em uma espécie de planta, há indivíduos com flores púrpura e outros com flores brancas. Uma variedade homozigótica de plantas com flores púrpura foi cruzada com uma variedade homozigótica que tem flores brancas. Toda a geração F_1 apresentou flores púrpura. Em uma planta dessa geração foi realizada autofecundação. Na F_2, surgiu uma proporção de $\frac{9}{16}$ plantas com flores púrpura para $\frac{7}{16}$ plantas com flores brancas.

a) Quais são os genótipos das plantas obtidas em F_2? Indique seu raciocínio.

b) Qual é o tipo de herança que explica a transmissão do caracter cor da flor nessa espécie de planta? Justifique sua resposta.

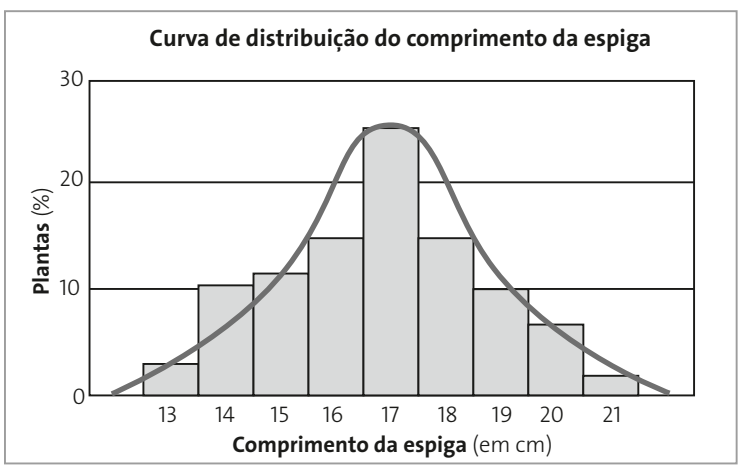
c) Esquematize uma via bioquímica hipotética que explique como ocorre a síntese dos pigmentos responsáveis pelas flores púrpura e brancas.

Atividade 4 Comprimento de espigas de milho

Habilidades do Enem: H13, H15, H17.

Analise o gráfico abaixo, que mostra uma curva de distribuição das proporções das diversas classes fenotípicas (expressas pelos números no eixo horizontal), para o caracter comprimento da espiga em uma variedade de milho.

Determine o número de alelos envolvidos na herança desse caracter e justifique sua resposta.



Studio Caparroz

Gráfico apresentando uma curva de distribuição para o caracter comprimento da espiga em uma variedade de milho. Dados elaborados pelos autores, com fins didáticos.

Atividade 5 Sexo em jacaré-de-papo-amarelo

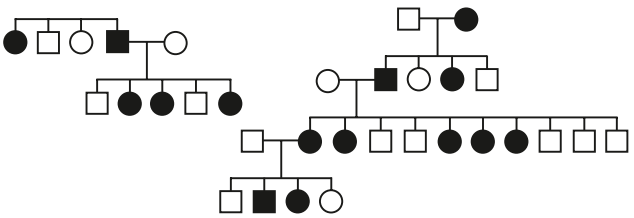
Habilidades do Enem: H13, H15, H17, H19, H22.

O jacaré-de-papo-amarelo esteve seriamente ameaçado de extinção nas décadas de 1980 e 1990, devido à caça desenfreada para exportação do "couro", que era matéria-prima para fabricação de bolsas e sapatos. Na década de 1990, surgiram leis e projetos ambientais para controle da caça e conservação da espécie.

Os jacarés e seus hábitos de vida tiveram de ser mais bem estudados para que os projetos de conservação surtissem efeito. Nas primeiras tentativas de proteger os ovos, eles eram coletados na natureza e mantidos em incubadoras sob temperatura constante até o nascimento, mas só nasciam machos. Posteriormente, estudos apontaram que as fêmeas de jacaré-de-papo-amarelo constroem ninhos com duas camadas de ovos, sendo que a camada mais basal apresenta temperatura ligeiramente mais elevada que a da camada superior. Na natureza, nascem fêmeas e machos.

Explique por que no laboratório nasciam apenas machos e em condições naturais nasciam filhotes de ambos os sexos.

1. (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.



BIS

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.

X 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.

2. (Enem) Os vegetais biossintetizam determinadas substâncias (por exemplo, alcaloides e flavonoides), cuja estrutura química e concentração variam num mesmo organismo em diferentes épocas do ano e estágios de desenvolvimento. Muitas dessas substâncias são produzidas para a adaptação do organismo às variações ambientais (radiação UV, temperatura, parasitas, herbívoros, estímulo a polinizadores etc.) ou fisiológicas (crescimento, envelhecimento etc.).

As variações qualitativa e quantitativa na produção dessas substâncias durante um ano são possíveis porque o material genético do indivíduo

a) sofre constantes recombinações para adaptar-se.

b) muda ao longo do ano e em diferentes fases da vida.

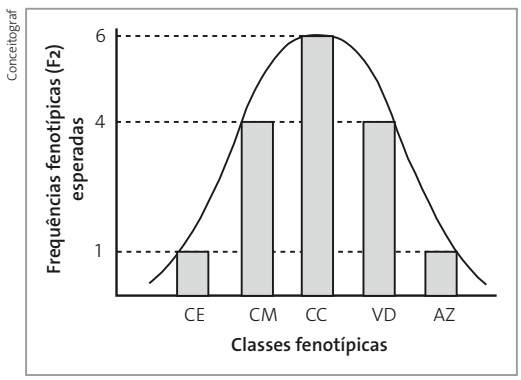
c) cria novos genes para biossíntese de substâncias específicas.

d) altera a sequência de bases nitrogenadas para criar novas substâncias.

X e) possui genes transcritos diferentemente de acordo com cada necessidade.

3. (UFPE) Em um dos modelos propostos para a determinação da cor dos olhos na espécie humana (herança quantitativa), são considerados cinco diferentes fenótipos. Na descendência de pais heterozigóticos para os lócus determinantes desta característica, foram observados os dados apresentados no quadro abaixo. Analise-os, juntamente com o gráfico, e identifique a correção das proposições a seguir.

Classes fenotípicas observadas	Nº de indivíduos observados por classes fenotípicas
Castanho-escuro (CE)	2
Castanho-médio (CM)	8
Castanho-claro (CC)	12
Verde (VD)	8
Azul (AZ)	2



F ▨ Três pares de alelos justificam os resultados apresentados.

V ▨ Nos indivíduos de olhos castanho-claros, os lócus em questão podem estar em homozigose ou em heterozigose.

V ▨ Indivíduos de olhos verdes apresentam homozigose em apenas um dos lócus em questão.

V ▨ A probabilidade do nascimento de duas crianças de olhos azuis, a partir de um casal genotipicamente igual ao do exemplo dado, é de aproximadamente 0,004.

V ▨ A probabilidade do casal indicado no item anterior ter duas crianças sendo uma de olhos castanho-claros e uma de olhos verdes é de $\frac{3}{16}$.

4. (UFPE) Em uma exaustiva análise de genealogias humanas, com relação à surdez congênita na descendência de pais normais para a audição, cujos progenitores eram surdos, foi observado que a distribuição fenotípica para normais e surdos obedecia a uma proporção de 9 : 7, respectivamente, como ilustrado no quadro a seguir. Considerando esses dados, analise as proposições com verdadeiro ou falso.

Geração P	Pai surdo	×	Mãe surda
	↓		
Geração F_1	100% descendentes normais para audição		
	↓		
Geração F_2 ($F_1 \times F_1$)	9 descendentes normais para audição	:	7 descendentes surdos

F a) A surdez congênita é determinada por alelos múltiplos em um lócus autossômico.

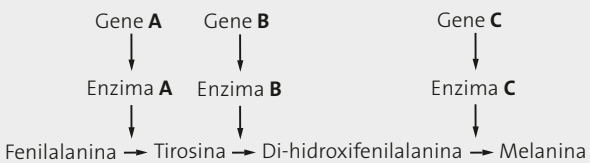
V b) Interação gênica entre dois lócus justificam esses dados.

F c) Na determinação da característica analisada atuam lócus gênicos ligados que distam entre si em 16 unidades de mapa.

V d) A probabilidade do nascimento de uma criança normal para a audição, a partir de um casal genotipicamente igual ao mostrado na F_1, é de aproximadamente de 0,56.

V e) Cinco distintas classes genotípicas são observadas entre os descendentes surdos citados.

5. (UnB-DF) As diversas substâncias ingeridas pelo homem são transformadas em outras, durante os processos metabólicos. Essas transformações são catalisadas por diferentes enzimas. O esquema a seguir representa alguns passos da síntese da melanina.



Com base no esquema e sabendo que indivíduos incapazes de sintetizar a melanina são albinos, julgue os itens a seguir:

V (1) Na produção de melanina a partir da fenilalanina atuam três mRNAs.

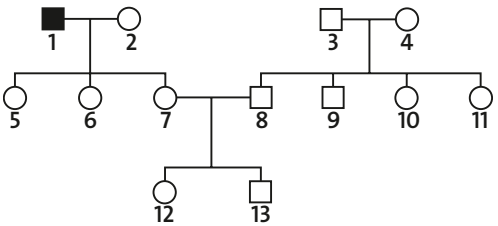
V (2) Indivíduos albinos podem apresentar homozigose recessiva **bb** ou **cc**.

V (3) Um casal de indivíduos albinos pode ter filhos com pigmentação normal.

V (4) O gene **B** é epistático sobre o gene **C**.

F (5) Se não ocorrer a transformação de tirosina em di-hidroxifenilalanina, por falta da enzima **B**, a catálise realizada pela enzima **C** não ocorrerá, consequentemente o gene **C** não atuará. Esse fenômeno é conhecido como epistasia.

6. (Fuvest-SP) No heredograma a seguir, o símbolo ■ representa um homem afetado por uma doença genética rara, causada por mutação num gene localizado no cromossomo **X**. Os demais indivíduos são clinicamente normais.



Studio Caparroz

As probabilidades de os indivíduos 7, 12 e 13 serem portadores do alelo mutante são, respectivamente:

a) 0,5; 0,25 e 0,25.
b) 0,5; 0,25 e 0.
c) 1; 0,5 e 0,5.
X d) 1; 0,5 e 0.
e) 0; 0 e 0.

7. (UFSC) Sobre os cromossomos **X** e **Y**, responsáveis pela determinação cromossômica do sexo da espécie humana, é **CORRETO** afirmar que:

X (01) todos os homens normais receberam o cromossomo **Y** de seu avô paterno, mas nem todos receberam o cromossomo **X** de sua avó materna.

X (02) todas as mulheres normais receberam um cromossomo **X** de sua avó paterna, mas nem todas receberam um cromossomo **X** de sua avó materna.

(04) todos os genes presentes nos cromossomos **X** e **Y** são responsáveis pelo desenvolvimento sexual de um indivíduo.

(08) apenas o cromossomo **X** tem genes responsáveis pelo desenvolvimento sexual, pois o cromossomo **Y** tem poucos genes.

(16) todos os genes do cromossomo **Y** são responsáveis pelo desenvolvimento sexual masculino.

(32) o sistema **XY** de determinação cromossômica do sexo está presente apenas na espécie humana.

(64) os cromossomos **X** e **Y** são assim denominados porque apresentam a forma de um X e de um Y. 03 (01 + 02)

CAPÍTULO

9

Biotecnologia

Wladimir Bulgar/SPL/Getty Images



Figura 9.1. Na fotografia, vemos uma das etapas da chamada eletroforese em gel, na qual fragmentos de DNA de diferentes tamanhos são injetados, através de pipetas, em uma fina placa de gel imersa em solução aquosa. Esse procedimento é utilizado para separar moléculas, entre elas as de DNA. Técnicas de manipulação de DNA são relativamente recentes na ciência, despertando a curiosidade das pessoas em geral, mas também gerando mitos e dúvidas. Conhecer como essa molécula coordena as funções celulares e de que forma ela pode ser manipulada nos ajuda a identificar o que é de fato possível e o que é irreal para a chamada biotecnologia. Como em tudo na Biologia, ainda há muito por descobrir e fazer.

Pense nisso

- Você deve ter ouvido falar em teste de paternidade pela análise do DNA. Você sabe explicar os princípios empregados na realização desse teste?
- Amebas mantidas em condições ideais dividem-se por mitose a cada 20 minutos, dando origem a duas amebas-filhas. Um meio de cultura se iniciou com uma só ameba e depois de 24 horas havia várias delas. Essas amebas são clones da ameba inicial? Explique sua resposta.
- Biotecnologia é um tema que foi abordado em alguns momentos deste livro. Escreva um parágrafo para explicar o que é biotecnologia, considerando o que já foi apresentado e o que você já conhece de outras fontes de informação.
- Como você explicaria o que é um organismo transgênico para uma pessoa que nunca ouviu falar sobre esse assunto?

1. Introdução

A **biotecnologia** corresponde a técnicas que têm permitido ao ser humano utilizar organismos para obter produtos de interesse.

Durante milênios, os agricultores vêm cruzando diferentes espécies e variedades vegetais para obter plantas com determinadas características. Há cerca de 3 mil anos, por exemplo, lavradores chineses cultivaram uma leguminosa silvestre que produzia um feijão preto ou marrom: a soja. Atualmente há cerca de 7 mil variedades de soja, o que ilustra a grande diversidade obtida por meio de técnicas de melhoramento genético baseadas em cruzamentos seletivos.

A partir dos conhecimentos obtidos com seleção de organismos, estão sendo desenvolvidos alimentos agrícolas mais ricos em vitaminas e nutrientes do que os consumidos atualmente. Nesses casos, fala-se em **biofortificação** de alimentos. A Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa) desenvolveu variedades de oito espécies alimentícias – abóbora, arroz, batata-doce, feijão, feijão-fradinho (Fig. 9.2), milho, trigo e mandioca – mais ricas em ferro e zinco e com maior resistência a doenças e variações climáticas. Algumas delas já estão no mercado.



Thinkstock/Getty Images

Figura 9.2. Fotografia de feijão-fradinho ou feijão-de-corda. A intervenção genética nas plantas dessa espécie visam elevar os teores de proteínas, ferro, zinco e fibras.

Colocando em foco

MANDIOCA VITAMINADA

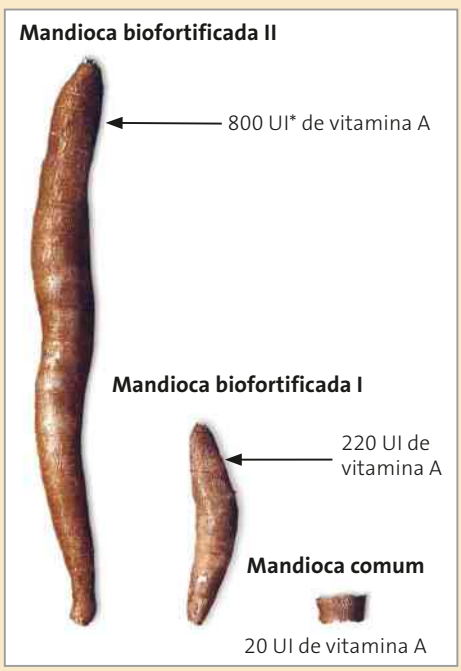
[...] Alimentos agrícolas mais ricos em vitaminas e nutrientes do que os consumidos atualmente, como uma mandioca com 40 vezes mais vitamina A do que as comuns, por exemplo, já estão em testes finais de campo no Instituto Agronômico (IAC) de Campinas [Fig. 9.3]. [...]

Trata-se de um processo chamado biofortificação de alimentos, realizado por meio do método de melhoramento genético clássico, em que se buscam, cruzando diferentes variedades, plantas com, por exemplo, resistência a doenças, alta produção e boas características nutricionais com mais vitaminas e minerais. É um trabalho lento e demorado, que pode se estender por 10 a 15 anos.

A nova mandioca do IAC, chamada IAC 6-01, começou a ser desenvolvida em 2000 e ainda não está completamente pronta para ser repassada aos agricultores. "Entregamos essa nova variedade apenas para alguns produtores a cultivarem como teste", conta a engenheira agrônoma Teresa Losada Valle, pesquisadora do IAC e responsável pelo seu desenvolvimento. [...]

Teresa lembra que, a rigor, o trabalho de melhorar essa planta da família das euforbiáceas, originária do oeste do Brasil, é a continuidade do que começou a ser feito antes de Pedro Álvares Cabral aportar no país. "As populações indígenas domesticaram a mandioca e nos deixaram um grande legado cultural e biológico: uma planta rústica, muito bem adaptada a todos os ecossistemas brasileiros", diz Teresa. "Além disso, ela é tolerante aos grandes estresses causados por pragas e por aqueles provocados por agentes não vivos, como seca ou geada, por exemplo, e atende à necessidade da agricultura atual com sustentabilidade e baixo custo."

SILVEIRA, E. *Revista Pesquisa Fapesp* 200, out. 2012. Disponível em: <http://revistapesquisa.fapesp.br/2012/10/11/mandioca-vitaminada>. Acesso em: abr. 2016.



Fabio Colombini

Figura 9.3. Comparação entre a quantidade de vitamina A presente em três variedades de mandioca: a comum, a biofortificada I e a biofortificada II. As diferenças de tamanho são meramente ilustrativas. * a UI (Unidade Internacional) é utilizada para quantificar vitaminas. 1 UI = 0,3 µg (microgramas) de vitamina.

Além da obtenção por meio de cruzamento seletivo de linhagens de interesse para o ser humano, um novo campo se abriu a partir do momento em que se firmaram as técnicas de manipulação do DNA, falando-se em **engenharia genética**. Por meio dessas técnicas é possível gerar organismos transgênicos e mapear os genes nos cromossomos. É possível também realizar o chamado sequenciamento gênico, ou seja, determinar qual é a sequência de bases nitrogenadas de um techo do genoma. Essas informações têm permitido aprimoramentos nos serviços de **aconselhamento genético**, pois possibilitam informar a um indivíduo se ele é ou não portador de um alelo do gene relacionado a alguma doença (deletério) e que pode ser transmitido a seus descendentes. Além disso, esses conhecimentos ajudam a aprimorar as informações que podem ser obtidas em diagnóstico pré-natal sobre doenças genéticas em fetos.

As técnicas de engenharia genética permitem, ainda, identificar pessoas com base na análise do DNA, com um nível de certeza igual ao das impressões digitais. Por isso fala-se em "**impressões digitais**" **genéticas** ou DNA *fingerprint* (palavra inglesa que significa impressão digital). Esses recursos têm sido empregados em testes de paternidade, para elucidar casos de troca de crianças em maternidades, além de crimes, como estupros, roubos e assassinatos.

A engenharia genética está abrindo caminhos para a produção de hormônios de forma mais rápida e eficiente. A **terapia gênica** é outra área em expansão que envolve essas técnicas. Como se pode notar, o campo de atuação dessa nova área do conhecimento é muito grande e tende a aumentar.

Já abordamos ao longo dos capítulos anteriores vários temas envolvendo a biotecnologia, além de alguns aspectos éticos que merecem ser debatidos. Essa tecnologia tem o lado bom, que pode ser usado para a melhoria da vida em nosso planeta, mas tem também um lado ruim, quando não utilizada dentro de padrões éticos e morais. Neste capítulo vamos conhecer um pouco mais os diferentes aspectos da biotecnologia.

2. DNA recombinante

A técnica central na tecnologia do DNA recombinante é o isolamento de trechos determinados do DNA de um organismo e sua inserção no DNA de outro.

Para isso é preciso isolar o trecho do material genético a ser inserido. Esse processo envolve a fragmentação do DNA dos cromossomos na interfase, o que é feito pela ação de enzimas especiais denominadas **enzimas de restrição**. A descoberta dessas enzimas permitiu grandes avanços na manipulação do DNA. Nas bactérias, essas enzimas fazem parte dos mecanismos de defesa desses procariontes contra os vírus, pois atuam como verdadeiras "tesouras moleculares", cortando o DNA viral em vários pedaços e tornando-o inativo.

Hoje há inúmeras dessas enzimas de restrição identificadas, as quais são isoladas das bactérias e purificadas. Essas enzimas são comercializadas por grandes empresas da área de biologia molecular e vendidas a especialistas que trabalham nessa área.

Cada enzima de restrição corta o DNA somente quando encontra uma sequência específica de bases nitrogenadas. Dessa forma, esse corte não é feito em qualquer lugar. Os cientistas já sabem onde atua cada uma das enzimas de restrição conhecidas. Por exemplo, existe uma enzima chamada **Eco R1**, que corta o DNA toda vez que encontra as seguintes sequências emparelhadas (Fig. 9.4).

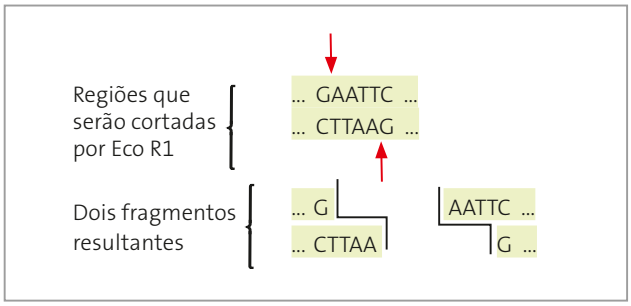


Figura 9.4. Representação do local de corte da enzima Eco R1.

Ao encontrar essa sequência, a **Eco R1** sempre corta o DNA entre as bases **G** e **A**.

Além dessas enzimas com capacidade de cortar o DNA em locais específicos, os cientistas têm conseguido inserir segmentos isolados em outra molécula de DNA, com o uso de enzimas chamadas **DNA ligases**.

Aproveitando-se dessas propriedades, os cientistas têm usado as enzimas de restrição para cortar moléculas de DNA de vários organismos, inclusive das próprias bactérias. Assim, tem-se conseguido trabalhar com trechos menores da molécula de DNA e isolar genes.

Esses genes ou trechos de DNA isolados são unidos a moléculas de DNA de outro organismo.

A molécula de DNA associada ao novo trecho inserido é denominada **DNA recombinante**.

3. Clonagem de DNA

Clonagem de DNA significa produzir inúmeras **cópias idênticas** de um mesmo fragmento da molécula de DNA.

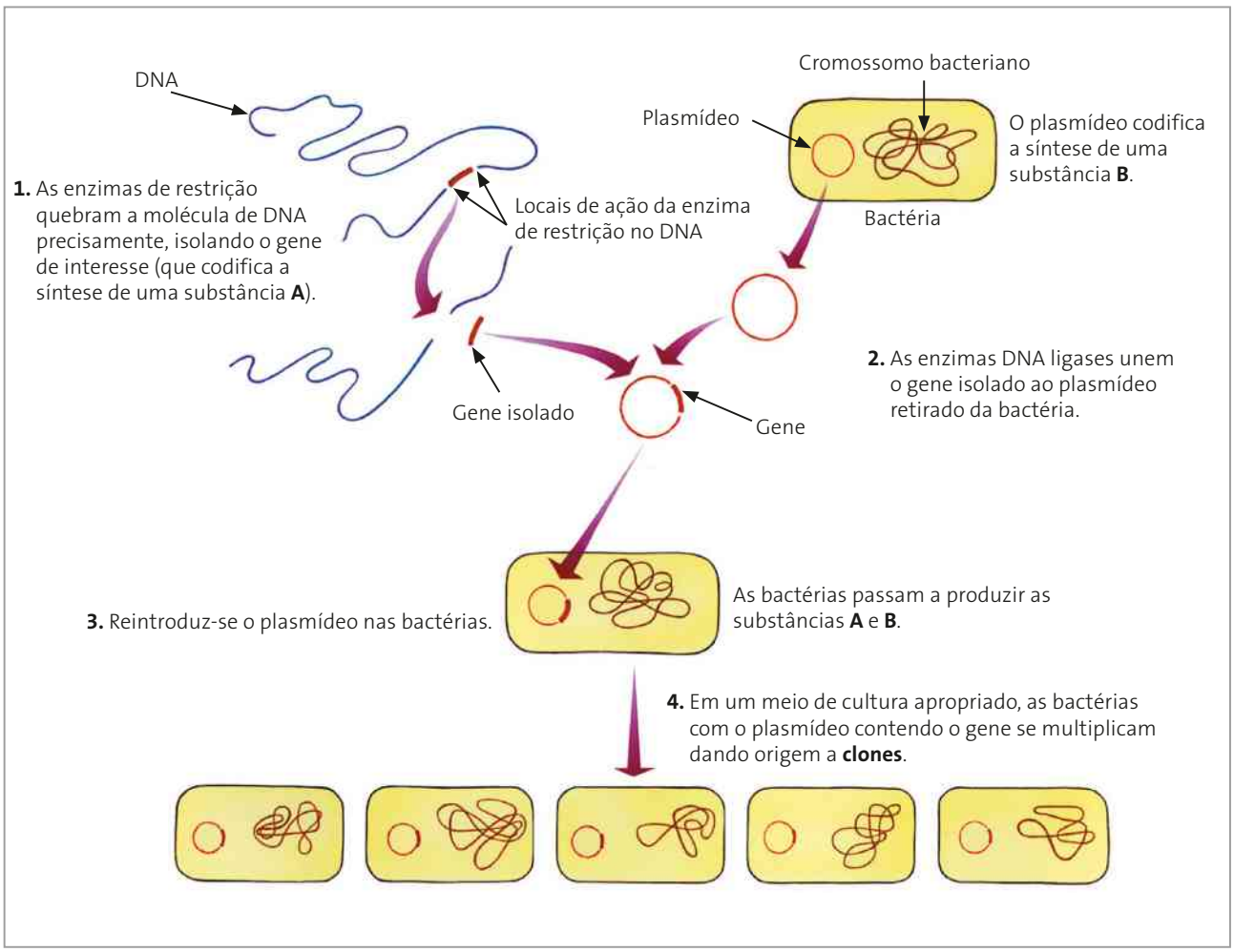
Esse processo tem início com o isolamento, pela ação das enzimas de restrição, de fragmentos do DNA a serem clonados.

Depois de isolados, esses trechos são introduzidos no DNA de outros organismos, principalmente vírus e bactérias, chamados **vetores**. Ao se reproduzir, esses microrganismos multiplicam as moléculas recombinantes, dando origem a um grande número de cópias idênticas. Consegue-se desse modo produzir grande número de cópias exatas (clones) de um mesmo trecho do DNA.

Vamos ver como isso pode ser feito com as bactérias.

Algumas bactérias possuem, além de seu cromossomo circular, moléculas menores e também circulares de DNA – os **plasmídeos**. Estes são utilizados como vetores. Os plasmídeos podem ser manipulados, e as bactérias continuam vivendo e se reproduzindo normalmente. Nos plasmídeos estão, em geral, genes que conferem às bactérias resistência a antibióticos.

Acompanhe pela figura 9.5 como se pode formar uma molécula de DNA recombinante e clonar essa molécula em uma bactéria.



Osni de Oliveira

Figura 9.5. Esquema simplificado da formação de DNA recombinante e sua clonagem em bactérias. (Elementos representados em diferentes escalas; cores fantasia.)

A produção de certos hormônios da espécie humana, por exemplo, já tem sido realizada por meio de técnicas de clonagem como a descrita. É o caso da **insulina**.

A insulina produzida por engenharia genética é idêntica à sintetizada pelo pâncreas humano, o que elimina o risco de qualquer reação alérgica pelo diabético, que antes era mais frequente por ser a insulina extraída do pâncreas de ratos criados em laboratório ou de bois e porcos obtidos em matadouros.

4. Identificação de pessoas

A "impressão digital" genética ou DNA *fingerprint* é tão segura quanto a identidade determinada por meio das impressões digitais, que são **exclusivas** de cada indivíduo. Uma explicação à parte deve ser feita quanto aos gêmeos monozigóticos. Eles têm o mesmo patrimônio genético e não se distinguem pela análise do DNA. No entanto, suas impressões digitais podem ser ligeiramente diferentes, pois, durante o desenvolvimento embrionário, podem surgir diferenças, mantidas após o nascimento.

O DNA *fingerprint* tem sido utilizado para a identificação de pessoas, para esclarecer dúvidas sobre a possível participação de suspeitos em crimes e para realizar testes de paternidade. Os testes que utilizam DNA *fingerprint* fornecem certeza de 99,9% em seu resultado.

Os cromossomos humanos contêm cerca de 25 mil genes, mas isso representa apenas 2% do genoma humano. O restante é formado por **DNA não codificante**.

Entre as sequências de DNA não codificante, destacam-se as utilizadas para determinar o DNA *fingerprint*. Essas sequências chamam-se **VNTRs** (do inglês: ***V**ariable **N**umber of **T**andem **R**epeats* = número variável de repetições em sequência) e são formadas por repetições de unidades compostas de poucos nucleotídeos. Em humanos, o número de nucleotídeos de cada unidade varia de 5 a 100.

Cada indivíduo tem um padrão específico de repetições dessas unidades e esse padrão é herdado dos pais, de acordo com os princípios mendelianos.

Obtendo amostras de células nucleadas de um indivíduo, pode-se isolar o DNA nuclear e cortá-lo utilizando enzimas de restrição específicas para se obterem as VNTRs.

Uma vez quebrado o DNA, isolam-se fragmentos de diferentes tamanhos, que são separados por uma técnica chamada **eletroforese** (do grego: *phóresis* = ação de levar) em gel. Em seguida, os fragmentos são marcados com marcadores radioativos que serão impressos em um filme de raios X (Fig. 9.6).

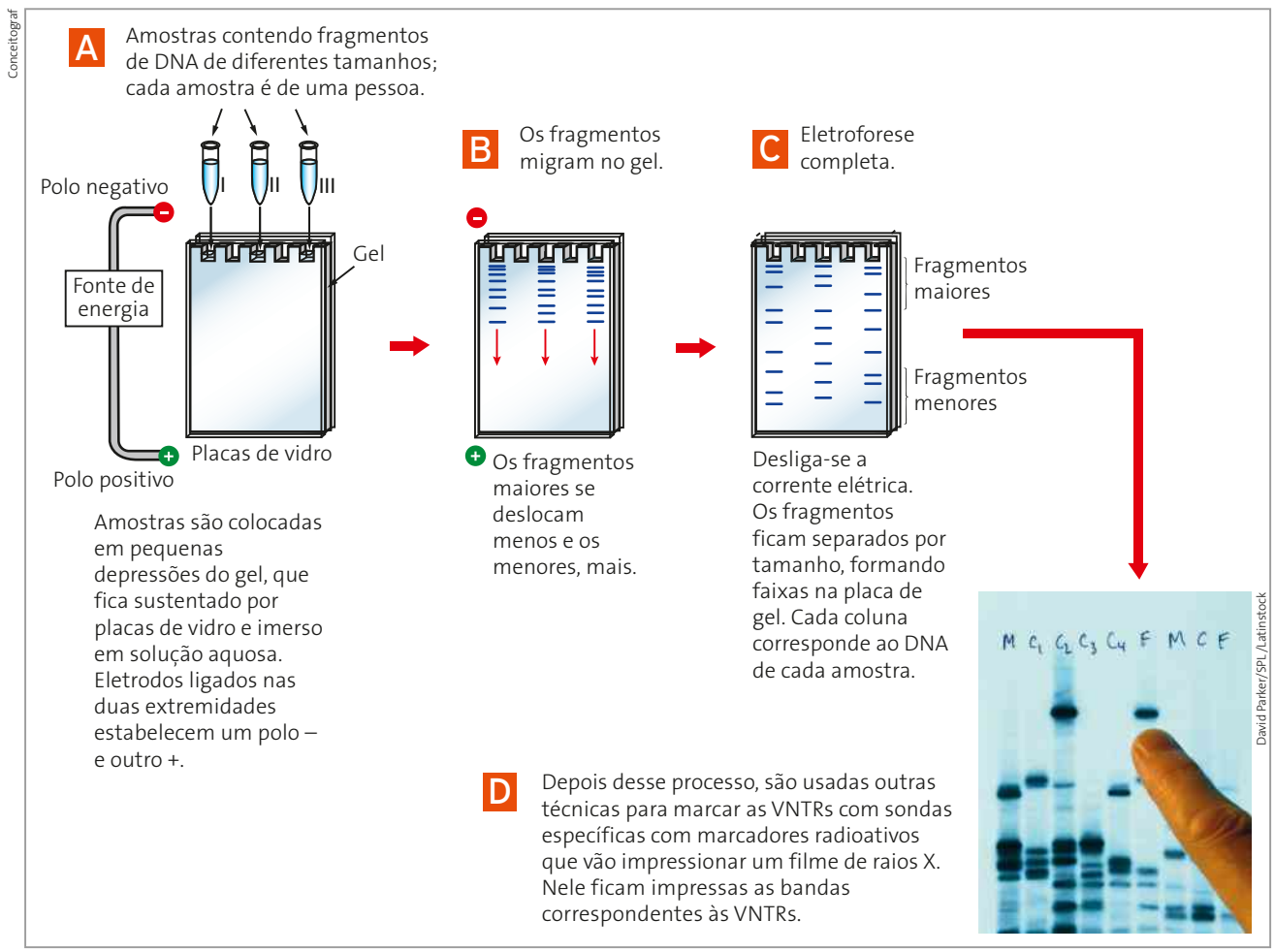


Figura 9.6. Esquema resumido das etapas de separação de fragmentos de DNA por meio da eletroforese em gel e o resultado final representado na fotografia de filme de raios X após a marcação das VNTRs com marcadores radioativos. (Elementos representados em diferentes escalas; cores fantasia.)

Observe a figura 9.7, que mostra as aplicações práticas do DNA *fingerprint* na identificação de pessoas por meio da técnica de eletroforese em gel.

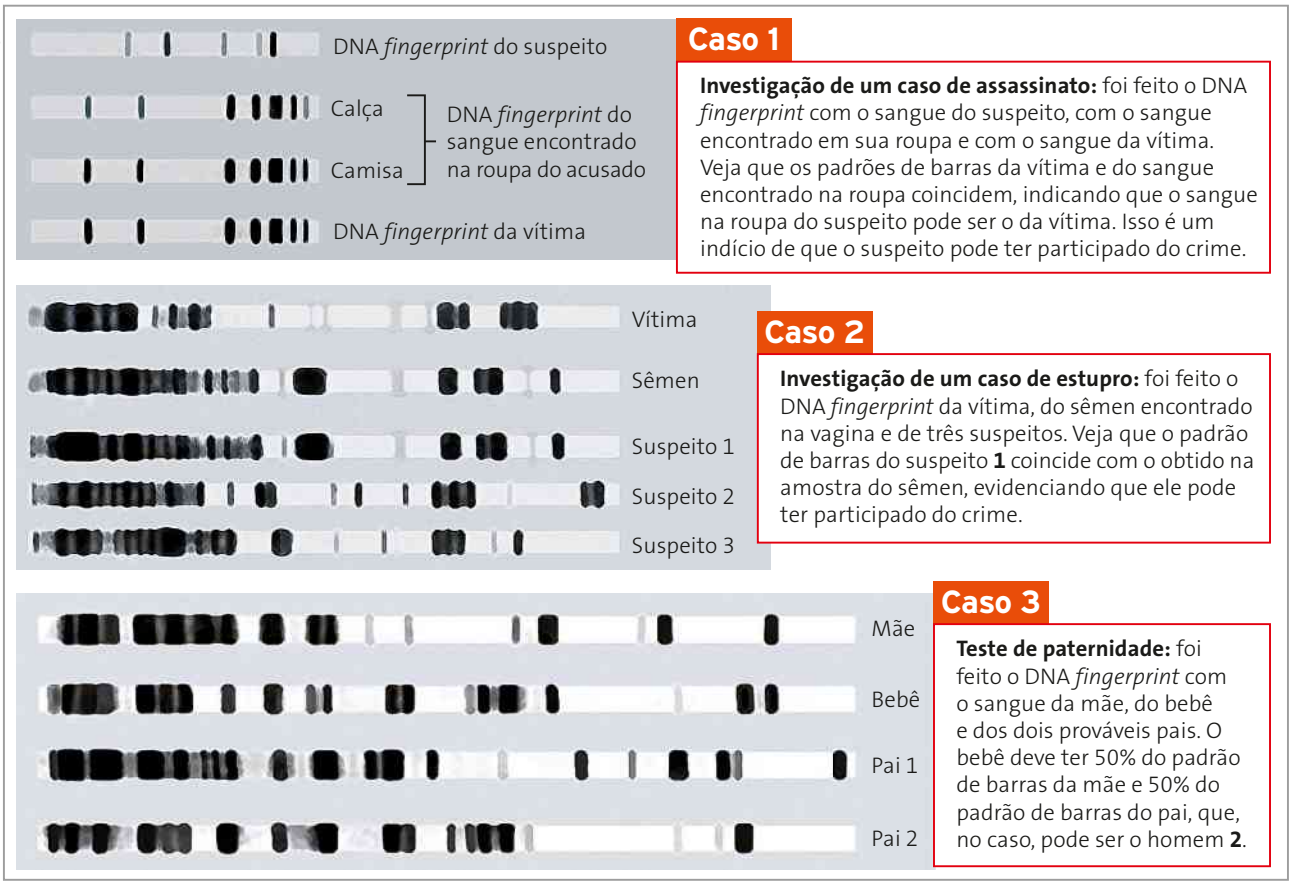


Figura 9.7. Esquemas demonstrando a aplicabilidade do DNA *fingerprint* na identificação de pessoas. Em cada um dos casos, é apresentada uma ilustração que representa como seria a respectiva eletroforese em gel.

5. Técnica de reação em cadeia da polimerase (PCR)

A técnica de reação em cadeia da polimerase (PCR) (do inglês, *Polymerase Chain Reaction*) foi desenvolvida em 1985 pelo bioquímico Kary Mullis. Essa técnica propiciou um aumento muito grande na eficiência da análise do material genético.

As **polimerases** são enzimas que ocorrem nas células e catalisam reações de polimerização (formação de moléculas de cadeias longas). É o caso da DNA polimerase, que participa da duplicação da molécula de DNA. Pela PCR promove-se a duplicação de trechos do DNA *in vitro*, usando essas enzimas.

Antes da PCR, para se detectar genes ou VNTRs havia necessidade de grande quantidade de DNA-alvo, o que nem sempre era possível. Essa dificuldade foi resolvida com a introdução da técnica de PCR, que possibilitou a obtenção de quantidades muito grandes de fragmentos específicos do DNA por meio da **amplificação** em ciclos.

A cada ciclo, a quantidade de DNA-alvo é duplicada, de modo que em 10 ciclos obtêm-se 1 024 vezes mais DNA-alvo; em 20 ciclos, cerca de 1 milhão de vezes mais DNA-alvo; e assim por diante, mostrando a natureza exponencial dessa amplificação. Com isso, pequenas amostras contendo poucos fragmentos de DNA podem ser estudadas com mais facilidade.

6. Mapeamento da variabilidade humana

Além das VNTRs, há os chamados polimorfismos de nucleotídeo único (SNP – do inglês *single nucleotide polymorphism*), que correspondem ao tipo mais comum de variação de sequência no DNA. Eles se referem a alterações em um único par de bases em certos locais do genoma. Por exemplo, uma pessoa pode ter, em uma sequência

do DNA, a base citosina emparelhada com a guanina, enquanto outra pessoa tem nesse mesmo local a base adenina emparelhada com a timina (Fig. 9.8). Estima-se que isso ocorra a cada 300 nucleotídeos em média, o que significa que há pelo menos 10 milhões de SNPs no genoma humano.

Nem toda alteração de base única é classificada como SNP. Para ser considerada SNP ela deve ocorrer em pelo menos 1% da população.

A maioria das SNPs conhecidas ocorre em regiões do DNA que não são genes e é empregada como **marcadores biológicos**. Estes auxiliam na localização de genes associados a doenças. Quando ocorre dentro do gene, a SNP pode afetar a função deste. Quando ocorre na região reguladora do gene, pode afetar a quantidade de proteínas produzida por aquele gene (Fig. 9.9). Nesses casos, a SNP pode ter um papel direto na determinação de uma doença.

A maioria das SNPs, no entanto, não causa efeitos na saúde humana, mas são importantes nos estudos que preveem respostas individuais a certas drogas, suscetibilidades a fatores ambientais como toxinas e riscos de desenvolvimento de doenças e nos estudos que traçam a herança de doenças genéticas em famílias.

Ilustrações: Cristiane de Alencar Ferro

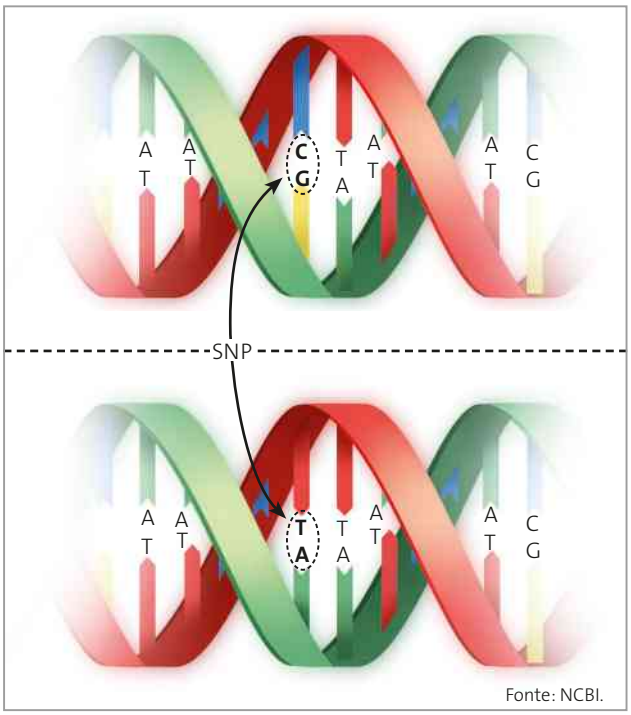


Figura 9.8. Exemplo de um polimorfismo de nucleotídeo único. (Elementos representados em diferentes escalas; cores fantasia.)

Cristiane de Alencar Ferro

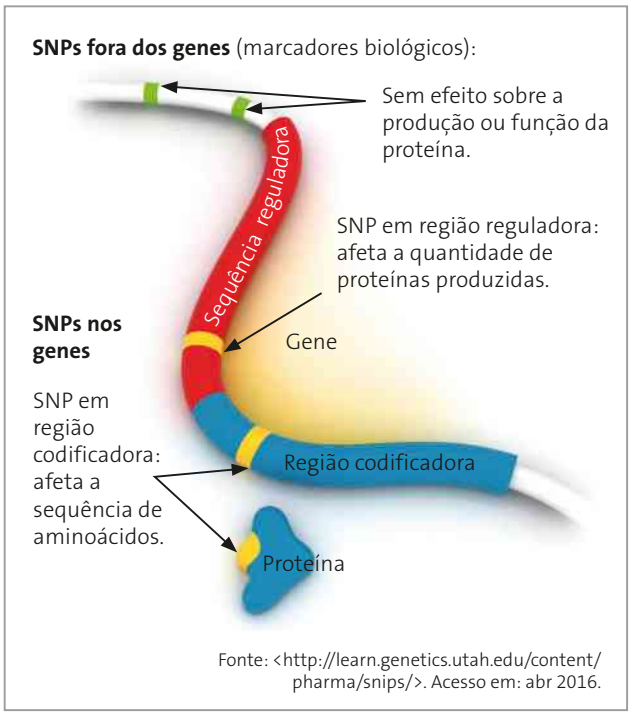


Figura 9.9. Esquema mostrando as possibilidades de ocorrência de SNPs no DNA e seus possíveis efeitos. (Elementos representados em diferentes escalas; cores fantasia.)

7. Terapia gênica

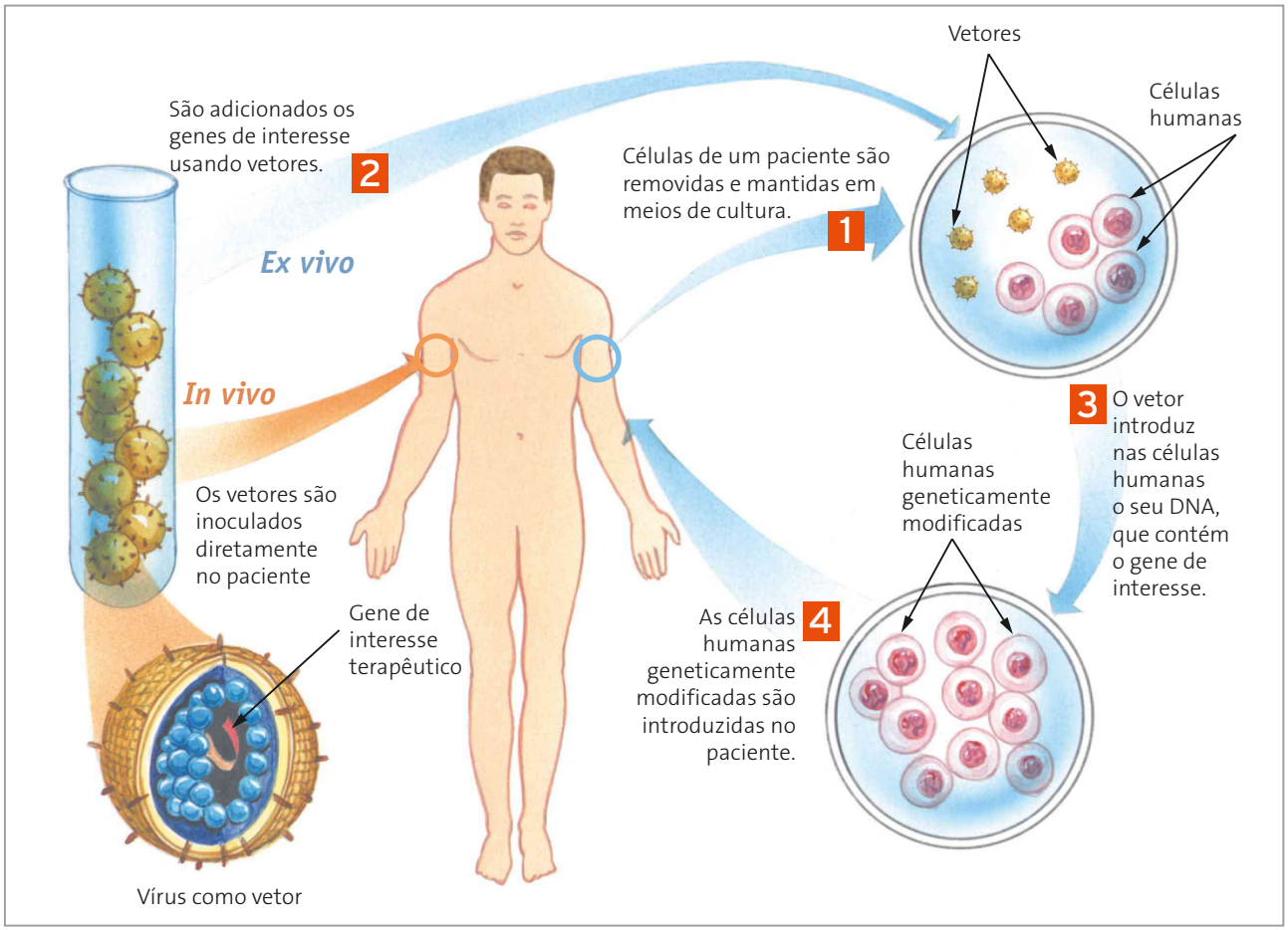
Essa técnica consiste em substituir o alelo associado a uma doença pelo alelo normal. Os estudos de terapia gênica estão até o momento restritos a **células somáticas**, mas em um futuro próximo pretende-se atuar sobre as células que formam os gametas, de modo que o indivíduo afetado não possa mais transferir o alelo anormal para seus descendentes. Todos esses estudos ainda estão em fase de testes e há ainda muito a ser feito antes de a terapia gênica se tornar disponível para uso medicinal.

As principais doenças que têm sido alvo dos estudos envolvendo a terapia gênica são as causadas por apenas um gene, como ocorre com fibrose cística, imunodeficiência humana (ADA), talassemia, anemia falciforme, hemofilia A, fenilcetonúria, hipercolesterolemia e distrofia muscular.

As principais maneiras de introduzir genes em humanos nos casos de terapia gênica têm sido:

- **Técnica *ex vivo***: consiste em usar um vetor, como um vírus modificado, que contenha o alelo normal. A seguir, colhem-se glóbulos brancos (leucócitos) do sangue da pessoa afetada e permite-se que os vírus alterados infectem essas células em meio de cultura. Os vírus introduzem nos leucócitos o alelo normal e, assim modificados, os leucócitos são mantidos em meios propícios à sua intensa multiplicação. Depois são reintroduzidos no paciente, num processo semelhante a uma transfusão de sangue.

- **Técnica *in vivo***: consiste na clonagem em um vetor do alelo normal e de seu preparo para introdução no paciente por meio de injeção na veia ou intramuscular. Alguns dos alelos acabam por ser incorporados às células do paciente e dentro delas passam a codificar proteínas normais (Fig. 9.10).



Osni de Oliveira

Figura 9.10. Representação esquemática do processo de introdução de genes modificados no corpo humano pelos processos *in vivo* (representado pela seta laranja) e *ex vivo* (representado pelas setas azuis). (Elementos representados em diferentes escalas; cores fantasia.)

Colocando em foco

TERAPIA GÊNICA BARRA DOENÇA DEGENERATIVA

Técnica usa vírus derivado do HIV para alterar DNA.

Um tratamento desenvolvido na França conseguiu interromper a evolução da doença degenerativa adrenoleucodistrofia (ALD) em duas crianças. O filme *O Óleo de Lorenzo* tornou conhecido o drama dos pais com filhos que sofrem da doença.

A ALD afeta 1 em cada 18 mil pessoas. O defeito genético costuma ser herdado da mãe, e a doença manifesta-se principalmente nos garotos. Leva a um processo de neurodegeneração que começa com quadros de déficit de atenção e evolui para cegueira, surdez, paraplegia, incapacidade de engolir e se comunicar [...].

A revista *Science* publicou em 2009 um artigo que descreve a nova proposta de tratamento. O grupo responsável pela técnica sempre se mostrou cético quanto à eficácia do óleo descoberto por Augusto Odone para tratar seu filho Lorenzo.

O professor de pediatria da Universidade Paris-Descartes, Patrick Aubourg, um dos principais autores do estudo [...], investiu de modo pioneiro em outra abordagem de tratamento: o transplante de

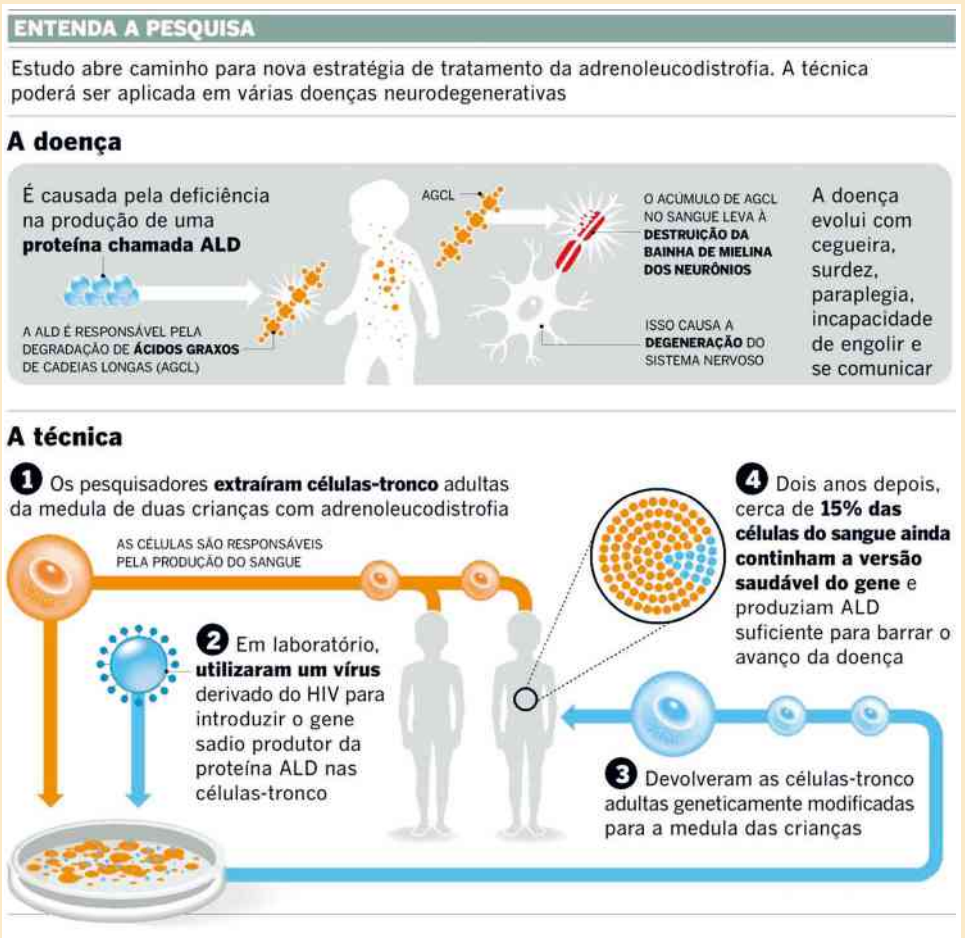
medula óssea. Mas a estratégia sempre esbarrou no problema mais comum em qualquer transplante: a descoberta de doadores compatíveis em tempo hábil, pois a cirurgia só é eficaz quando realizada bem no início da doença.

Além disso, o transplante de medula ainda está associado a riscos relativamente altos relacionados à forma como o tecido enxertado reconhecerá o organismo receptor.

A técnica descrita na *Science* revela um possível caminho para resolver o problema de disponibilidade de medulas e, ao mesmo tempo, diminuir os riscos do transplante.

Os pesquisadores extraíram amostras de medulas de duas crianças, utilizaram vírus geneticamente modificados para corrigir o defeito que causa a doença e enxertaram novamente as células corrigidas na medula dos garotos.

Depois de dois anos de acompanhamento, os resultados foram comparáveis aos obtidos com transplante de medula. Apesar de não se chegar à cura, houve ganho na capacidade cognitiva e o progresso da doença sofreu interrupção (Fig. 9.11).



Agência Estado (jornal *O Estado de S. Paulo*, 6/11/2009, página A18)

Figura 9.11. Infográfico sobre terapia gênica para tratamento de adrenoleucodistrofia. (Elementos representados em diferentes escalas; cores fantasia.)

Os vírus usados na pesquisa para realizar a correção genética são versões alteradas e inativas do HIV.

"É a primeira vez que conseguimos usar com sucesso os lentivírus derivados do HIV para terapia gênica em humanos", afirma Aubourg. "É também a primeira vez que conseguimos tratar com eficácia uma doença neurológica grave com o uso de terapia gênica."

[...] Pesquisadores brasileiros consideram importante sublinhar que será necessário realizar testes com um acompanhamento mais longo para garantir que o método é eficaz e seguro.

GONÇALVES, A. Terapia gênica barra doença degenerativa. In: *O Estado de S. Paulo*, 6 nov. 2009.

8. Vacinas gênicas

As vacinas gênicas estão em fase de estudos e são bastante promissoras. Elas são produzidas a partir de genes ou fragmentos de genes que codificam **antígenos** potencialmente capazes de estimular o sistema imunitário (Fig. 9.12). Os genes isolados são ligados a plasmídeos, e a vacinação pode ser feita por injeção intramuscular, que é a mais comum, por via oral, intranasal (na forma de aerossol) ou intradérmica. O material genético (DNA) inoculado é incorporado pelas células, alojando-se no núcleo. Usando as vias metabólicas normais da célula hospedeira, o DNA inoculado é transcrito em RNAm, que passa para o citossol, onde é traduzido em proteínas, ou seja, o antígeno do agente infeccioso. Este vai desencadear os processos de imunidade.

A imunidade obtida pela vacina de DNA dura por muito tempo, pois a produção de antígeno dentro da célula hospedeira é constante, mantendo os estímulos que desencadeiam respostas imunes. As vacinas de DNA podem ser mantidas em via seca, o que possibilita sua distribuição em regiões de acesso mais difícil. Algumas vacinas gênicas em fase de estudo são para o combate de tuberculose, febre amarela, hepatite B e meningite bacteriana.

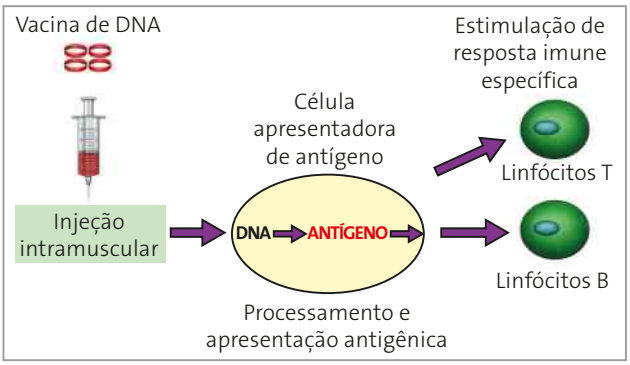


Figura 9.12. Esquema mostrando como a vacina de DNA administrada por injeção intramuscular desencadeia respostas imunes. (Elementos representados em diferentes escalas; cores fantasia.)

9. Programas de triagem populacional

O avanço da engenharia genética nas técnicas de identificação de genes associados a doenças e alterações cromossômicas tem permitido fazer testes genéticos em exames laboratoriais.

Apesar de incipiente, já foram feitos programas de triagem populacional em alguns países.

Entretanto, nem sempre o programa de triagem populacional é bem-aceito. Foi o que ocorreu na década de 1970 nos Estados Unidos, quando o governo instituiu para os afro-americanos um programa de triagem para a doença **anemia falciforme**. Essa doença é causada por alelos com dominância incompleta, em que os indivíduos S^1S^1 morrem de anemia, os S^1S^2 têm anemia leve e os S^2S^2 são normais. Pela falta de informações e de aconselhamento, o programa levou a uma discriminação contra os portadores do alelo na comunidade afrodescendente, alterando as possibilidades de emprego e seguro-saúde. Além disso, eles foram estigmatizados como os únicos portadores dessa doença. A anemia falciforme é comum em várias etnias, inclusive em caucasianos. As maiores incidências dessa doença, por exemplo, ocorrem na Índia e na Arábia Saudita.

Como se pode notar, todas as tentativas de conhecer melhor o genoma humano envolvem problemas éticos que devem ser debatidos e muito bem esclarecidos.

10. Proteoma: o desafio para o século XXI

Proteoma é um termo relativamente novo, que significa o conjunto de **prote**ínas expressas por um gen**oma**. O genoma de um organismo, por exemplo o de um ser humano, é praticamente constante, independentemente de qual das diferentes células nucleadas (excetuando-se óvulos e espermatozoides) está sendo analisada ou de variações no meio ambiente. Por outro lado, o proteoma de um neurônio será bastante diferente do proteoma de um linfócito do mesmo indivíduo, já que as diferenças morfológicas e funcionais entre as duas células são reflexo do conjunto de proteínas produzidas por cada uma. O mesmo tipo de célula pode apresentar diferentes proteomas em resposta a estímulos externos como a ação de drogas, a poluição ou mesmo o estresse nervoso. O proteoma é, portanto, o resultado da **expressão** de um conjunto de genes e das modificações pós-traducionais das **proteínas** produzidas em resposta a condições ambientais definidas.

Hoje, já se vislumbra uma enorme gama de aplicações dos conhecimentos detalhados dos proteomas, principalmente em medicina, agropecuária e biotecnologia. Por exemplo, a comparação de expressão de cepas (variedades) patogênicas e não patogênicas de microrganismos pode ajudar no desenvolvimento de métodos diagnósticos e de agentes terapêuticos. Outra possibilidade da análise de proteomas é a comparação de tecidos humanos normais e doentes. No caso de câncer, várias proteínas marcadoras já foram identificadas por análise de proteomas.

11. Clonagem

Já comentamos a clonagem do DNA e agora vamos falar da clonagem de organismos multicelulares, mencionando três técnicas desenvolvidas para se obter um clone:

a) reproduz-se em laboratório um acontecimento natural, que é a reprodução vegetativa (mais comum em plantas), ou, no caso de animais como mamíferos, estimula-se em laboratório o surgimento de gêmeos monozigóticos. Nesse caso, recolhem-se **sêmen** e **óvulos** de animais selecionados que possuem **características de interesse** e promove-se a fecundação em laboratório. Assim que o zigoto se forma e se iniciam as primeiras divisões celulares, as células originadas são separadas artificialmente e implantadas em fêmeas ("mães de aluguel"), onde se completa o desenvolvimento embrionário. Essas células darão origem a indivíduos geneticamente idênticos. Formam-se, então, clones de animais de interesse para o ser humano;

b) a partir de células somáticas, como foi o caso da ovelha Dolly: uma **célula receptora**, o ovócito retirado do ovário de uma ovelha da raça *Blackface*, teve seu material genético removido com auxílio de uma micropipeta. Uma célula (2n) retirada da glândula mamária de uma ovelha adulta da raça *Finn Dorset* foi mantida em estado de quiescência, ou seja, em condições que a tornaram pouco ativa. Essa célula foi fundida ao ovócito desprovido de material genético nuclear. O ovócito, agora com o núcleo 2n recebido da célula somática, foi estimulado a iniciar o desenvolvimento embrionário. A seguir, o embrião com poucas células foi introduzido no útero de uma "mãe de aluguel".

A figura 9.13 resume os procedimentos para a obtenção da ovelha Dolly.

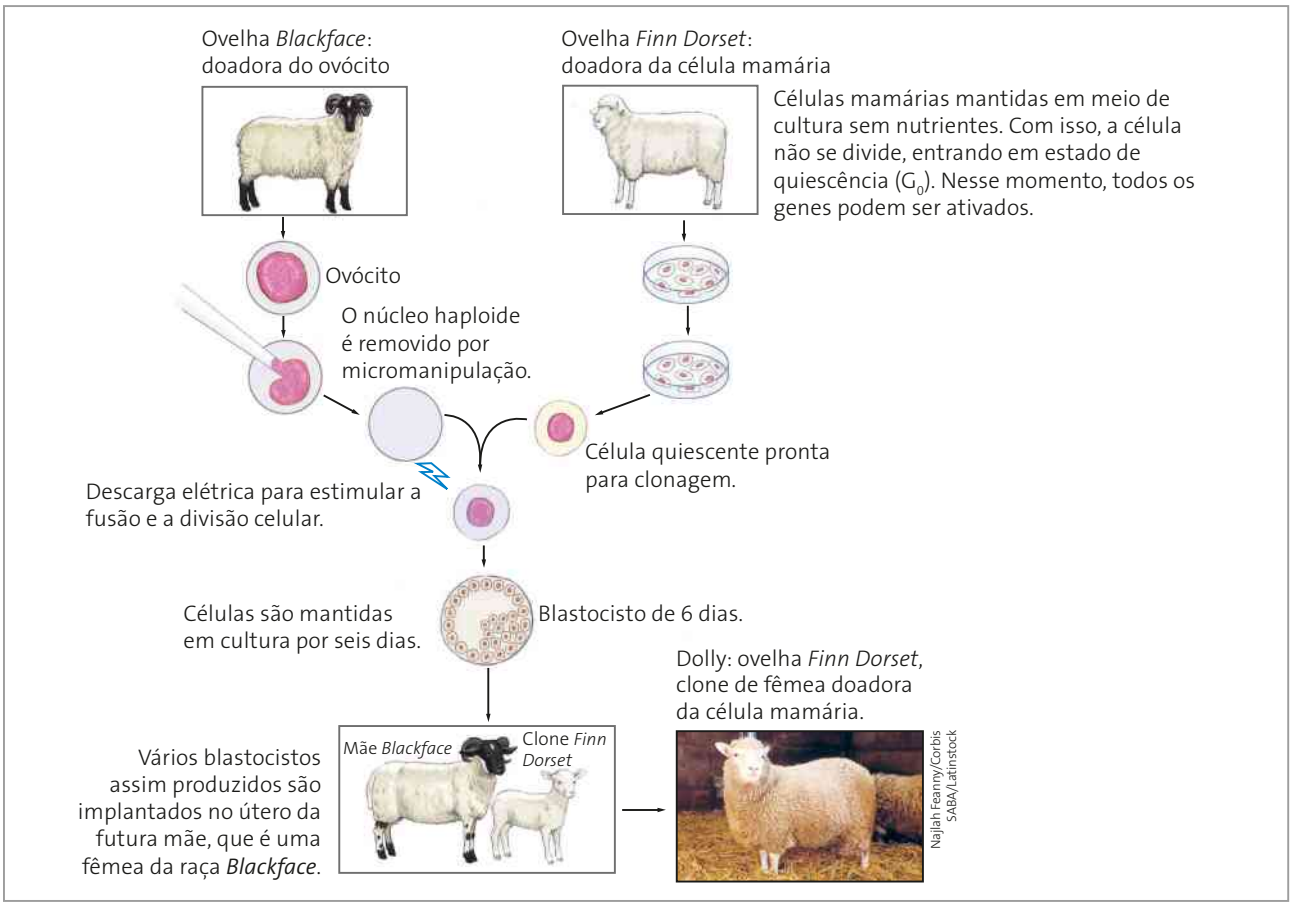


Ilustração: Rodval Matias

Najlah Feanny/Corbis SABA/Latinstock

Figura 9.13. Esquema simplificado mostrando como a ovelha Dolly foi obtida. Ao final, fotografia da ovelha Dolly. (Elementos representados em diferentes escalas; cores fantasia.)

Vale ressaltar que o processo de clonagem não é tão simples quanto parece. No caso descrito, foram produzidos 277 embriões até que um deles, a Dolly, nascesse. Mesmo assim, Dolly apresentou sinais de envelhecimento precoce e artrite, tendo sido sacrificada em 2003 em função de complicações de saúde, aos 7 anos de idade;

c) a partir de células embrionárias, como foi o caso do primeiro animal clonado no Brasil: a bezerra Vitória, da raça Simental, que nasceu em 2001, no Campo Experimental Sucupira, da Embrapa. Vitória é fruto da transferência do núcleo de uma célula de embrião de cinco dias, coletado de uma vaca da raça Simental, para um ovócito enucleado retirado de uma vaca de outra raça. Depois, o embrião em início de desenvolvimento foi implantado em uma "vaca de aluguel". Gestação e parto ocorreram normalmente. Aos três anos de idade, Vitória recebeu o sêmen de um touro de sua raça (Simental) e deu à luz no dia 19 de fevereiro de 2004 seu primeiro filhote: a bezerrinha Glória. (Fig. 9.14).

Reuters/Jamil Bittar/JB/Latinstock



Figura 9.14. Fotografia de Vitória, o primeiro clone bovino brasileiro, e sua filha Glória.

A possibilidade da clonagem, inclusive a humana, tem levantado intensas discussões éticas.

A clonagem humana para fins reprodutivos, que é a clonagem com a finalidade de obtenção de um indivíduo, não é permitida por lei, mas a clonagem terapêutica, que é feita com a finalidade de produção de células-tronco embrionárias para utilização terapêutica, sim.

É importante frisar que não se clonam indivíduos, mas sim **genomas**, termo que se refere ao conjunto de todo o DNA nuclear que determinado organismo tem em suas células.

A clonagem não impede as interações complexas do genótipo com o ambiente na produção do fenótipo. Assim, apesar de genotipicamente idênticos, os clones não terão exatamente os mesmos fenótipos.

Outra questão a ser analisada nessas clonagens é o **DNA mitocondrial**, que pode conter alguns genes associados a doenças, como é o caso da doença humana chamada atrofia óptica de Leber, um tipo de cegueira.

Se a clonagem for feita apenas com a transferência de núcleo 2n para o ovócito desprovido de DNA nuclear, o DNA mitocondrial será o do ovócito e o clone não será completo devido ao material genético das mitocôndrias.

Quando ocorre fusão entre a célula 2n e o ovócito desprovido de DNA nuclear, o DNA mitocondrial é em parte do ovócito e em parte da célula somática, e o clone terá mitocôndrias tanto do ovócito quanto da célula que se fundiu a ele.

Testes de maternidade (para constatar quem é a mãe de uma criança) podem ser feitos pela análise do DNA mitocondrial, pois as mitocôndrias dos descendentes são herdadas apenas da mãe.

12. Organismos transgênicos

Organismos transgênicos são aqueles que recebem genes de outras espécies de seres vivos. A importância deles está na obtenção de indivíduos com características vantajosas e que produzam substâncias de interesse para o ser humano.

A transferência de genes de uma espécie para outra já foi feita com sucesso em camundongos da seguinte maneira: os ovócitos das fêmeas de camundongos foram removidos cirurgicamente e fecundados *in vitro* com espermatozoides de machos da mesma espécie. Em cada zigoto foram injetadas com o auxílio de uma delicada agulha de vidro (Fig. 9.15) inúmeras cópias do gene associado ao hormônio de crescimento humano.

SPL/Latinstock



Figura 9.15. Fotomicrografia mostrando introdução do material genético em zigoto de mamífero. O zigoto está preso por sucção à pipeta, e o material genético está sendo introduzido por uma microagulha de vidro. O zigoto mede cerca de 100 μm de diâmetro.

Algumas dessas cópias se integraram, ao acaso, no genoma do zigoto. Então os zigotos foram reimplantados em fêmeas, e a embriogênese prosseguiu normalmente. Os camundongos transgênicos adultos atingiram tamanho duas a três vezes maior que o normal.

No Brasil, foi produzido um camundongo transgênico que apresenta um gene de água-viva incorporado ao seu DNA. Esse gene codifica uma proteína responsável pela cor verde fluorescente. Um vírus modificado foi usado como vetor da inserção do gene de água-viva no DNA de zigotos de camundongo. Os zigotos desenvolveram-se em adultos que adquirem a cor verde fluorescente se iluminados com luz especial (Fig. 9.16).

SPL/Latinstock



Figura 9.16. Fotografia de filhotes de camundongo normais e camundongos transgênicos sob luz especial. Os camundongos transgênicos sintetizam uma proteína de água-viva, que confere a cor verde fluorescente à sua pele, sob essa iluminação.

Considera-se que esses resultados possam ser importantes em futuras pesquisas sobre o câncer, pois a proteína verde fluorescente poderia ser utilizada para marcar células cancerígenas, que seriam, então, facilmente visualizadas em microscópio, sob luz azul.

Na Inglaterra, os cientistas já conseguiram produzir ovelhas transgênicas, que apresentam o gene humano que codifica a proteína alfa-1-antitripsina. Essas ovelhas lançam essa proteína no leite produzido em suas glândulas mamárias (Fig. 9.17).

SPL/Latinstock



Figura 9.17. Fotografia de ovelhas transgênicas que expressam o gene humano que codifica a proteína alfa-1-antitripsina. A proteína é usada no tratamento de pessoas que não a produzem em quantidade suficiente, o que pode causar enfisema pulmonar.

A ausência dessa proteína na espécie humana provoca deficiência hepática e suscetibilidade a enfisema pulmonar. O tratamento atual, bastante caro, é feito com proteína extraída do sangue de pessoas normais. Por meio dessas ovelhas transgênicas tem sido possível obter essa proteína a um custo bem inferior.

Nas plantas há diversos métodos empregados na obtenção de organismos transgênicos (organismos geneticamente modificados – OGMs), sendo que muitos são os exemplos de plantas transgênicas. Vamos comentar apenas alguns.

Várias espécies vegetais, como milho, algodão, tomate e outras, portam e expressam genes de bactérias que lhes conferem resistência a insetos. Com isso, são menos predadas por esses organismos.

Já foram produzidos batata, feijão e mamão transgênicos (Fig. 9.18) resistentes ao ataque de vírus e bananas resistentes ao ataque de fungos.



Alan Marques/Folhapress

Figura 9.18. Fotografia de plantas de mamoeiros transgênicos produzidos pela Embrapa, em Brasília (DF), no início dos anos 2000. O Brasil é um dos pioneiros nas pesquisas com alimentos transgênicos.

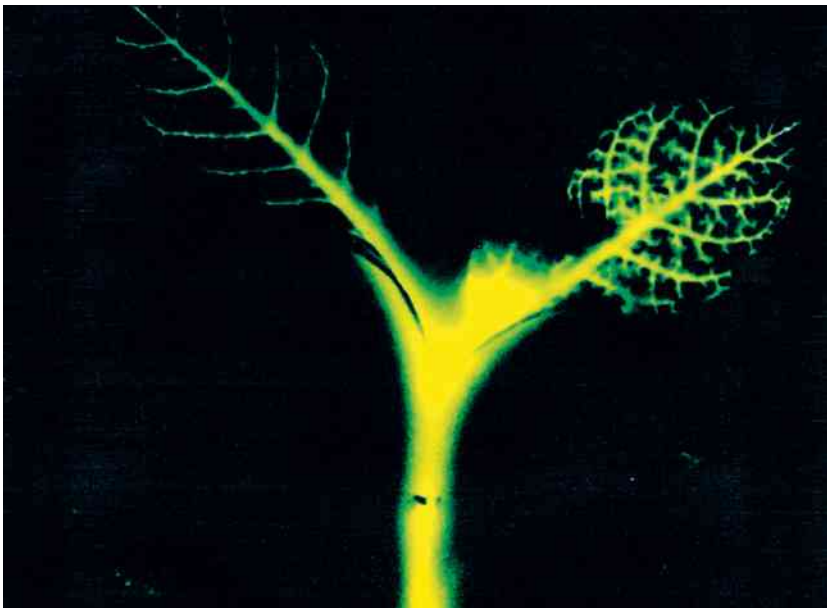
Variedades de soja transgênica resistentes a herbicidas (Fig. 9.19) também já foram desenvolvidas, assim como uma variedade de arroz rica em betacaroteno, substância precursora da vitamina **A**.



Sérgio Lima/Folhapress

Figura 9.19. Fotografia de sementes de soja transgênica. Imagens em diferentes escalas.

Um exemplo curioso é o de plantas de tabaco contendo o gene associado à bioluminescência do vaga-lume. Quando essas plantas são regadas com água contendo a proteína luciferina, elas produzem luz (Fig. 9.20). Isso ocorre porque o gene do vaga-lume presente nas células da planta codifica uma enzima chamada luciferase, que catalisa a reação química com a luciferina, a qual libera energia luminosa.



Keith Wood (of DeLuca Lab)/UC Davis/University of California

Figura 9.20. Fotografia de planta de tabaco com gene de vaga-lume, que lhe deu a característica de bioluminescência.

13. Biologia sintética

Professor(a), para mais informações sobre biologia sintética, leia o documento disponível em: <www.easac.eu/fileadmin/Reports/Easac_11_SB-Lay-Portuguese_web.pdf>. Acesso em: abr. 2016.

Uma nova área dentro da biotecnologia é a biologia sintética, considerada hoje a próxima fronteira tecnológica da humanidade.

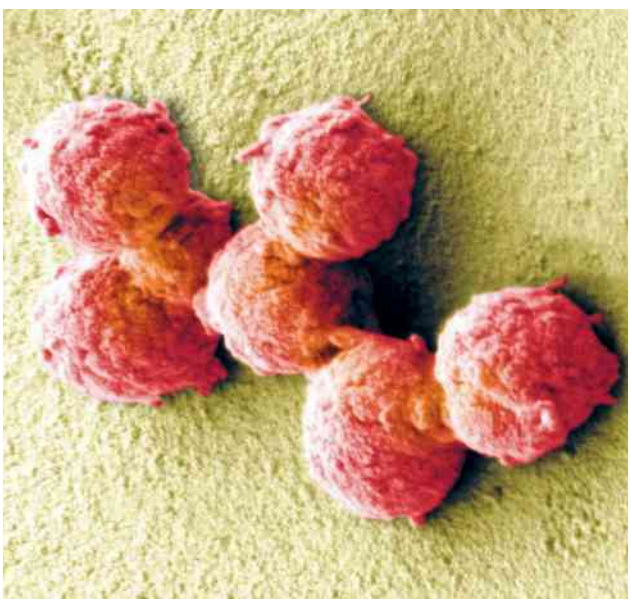
A biologia sintética baseia-se em técnicas conhecidas, mas amplia as técnicas que criam organismos transgênicos, modificando genes antes de inseri-los nos seres vivos e até mesmo criando em laboratório novas moléculas de DNA a partir de bancos de referência.

O maior objetivo da biologia sintética é desenhar seres vivos que respondam a **necessidades específicas** para a espécie humana.

Usando a biologia sintética, a equipe do cientista John Craig Venter anunciou, em 2010, a produção em laboratório de uma bactéria sintética (Fig. 9.21). Este não é um organismo criado do "zero", como alguns podem pensar; para sua produção, os cientistas removeram o material genético de uma bactéria que já existia e introduziram nela o DNA novo, construído em laboratório e não existente na natureza. Essa bactéria viveu normalmente, mas com produtos gênicos distintos da bactéria original.

Também em 2010, pesquisadores brasileiros das universidades federais de Pernambuco e do Rio de Janeiro, criaram em laboratório um vírus artificial de HIV, o que pode possibilitar o desenvolvimento de uma nova vacina terapêutica para pacientes portadores de Aids.

Essa nova área desencadeia discussões éticas importantes, pois ela pode ser usada de forma extremamente positiva, gerando possíveis soluções para a saúde humana e para o meio ambiente. A esperança é de que a biologia sintética seja empregada, por exemplo, para enfrentar obstáculos naturais como a poluição das águas e até mesmo possíveis epidemias de novas doenças. Nesses casos, organismos com capacidade de metabolizar poluentes ou produzir anticorpos específicos, por exemplo, poderiam, segundo as bases técnicas da biologia sintética, ser produzidos. Apesar disso, essas técnicas também podem ser usadas de forma negativa, como na criação de armas biológicas e na geração de novas formas de vida, que podem afetar o equilíbrio dos ecossistemas.



Thomas Deerinck/Visuals Unlimited/Corbis/Latinstock

Figura 9.21. Fotomicrografia eletrônica de varredura de bactérias sintéticas desenvolvidas pela equipe do pesquisador John Craig Venter. Cada bactéria mede cerca de 0,4 μm de diâmetro. (Cores artificiais.)

Um exemplo de interesse médico é a produção, já em andamento, do princípio ativo usado no tratamento da malária: a artemisinina. Até pouco tempo atrás, essa substância era extraída da planta *Artemisia annua* (Fig. 9.22), mas os custos são elevados e o processo é demorado e dependente da sazonalidade da plantação.

Foram necessários cerca de quatro anos de estudos, durante os quais foram isolados e modificados mais de dezessete genes da planta que estão envolvidos na síntese da artemisinina. Esse novo DNA produzido em laboratório foi introduzido em células de leveduras (fungos unicelulares) e elas passaram a produzir o ácido artemísico. Criou-se, assim, uma "fábrica" de ácido artemísico no interior de um ser vivo geneticamente modificado.

Esse novo sistema de síntese foi aprovado pela Organização Mundial da Saúde (OMS), e a produção deverá atender à demanda da maior parte dos países carentes.



Gregory G. Dimijian, M.D./Photoresearchers/Latinstock

Figura 9.22. Fotografia de *Artemisia annua*. Chega a medir cerca de 2 m de altura.

14. Recuperação de espécies em extinção

No filme *Jurassic Park*, de Steven Spielberg, é proposta a recuperação de seres extintos, como os dinossauros, por meio do material genético de fósseis. Recuperar parte do material genético de fósseis é possível e isso tem sido feito, mas ainda não existe a possibilidade de recuperar o organismo inteiro.

No entanto, espécies extintas mais recentemente e com parentes muito próximos ainda vivos têm maiores chances de serem recuperadas. Foi o que aconteceu com a zebra quagga, extinta em 1883 (Fig. 9.23). O Projeto Quagga teve início em 1987 por pesquisadores da África do Sul. Esses pesquisadores examinaram o DNA de zebras de outras espécies que apresentavam características da quagga (poucas listras na parte traseira, coloração amarronzada e igual nas patas) e compararam com o DNA das quaggas extintas, que estão empalhadas em museus. Então, escolheram as zebras geneticamente mais aparentadas com a quagga e realizaram cruzamentos, até que começaram a nascer zebras mais semelhantes às extintas quaggas (Fig. 9.24).

Embora esse seja um exemplo interessante, há discordância entre os cientistas quanto ao fato de a zebra quagga ser realmente uma espécie distinta das demais. Há os que consideram a quagga uma subespécie da zebra (*Equus burchelli)*. A subespécie é considerada uma variação dentro da espécie, podendo haver cruzamento com descendentes férteis entre elas. Se esse for o caso, a que teria sido extinta é a subespécie *Equus burchelli quagga*, e não a espécie. Em 2006, os cientistas do Projeto Quagga anunciaram que a terceira e a quarta gerações dessas zebras são formadas por animais muito semelhantes às extintas quaggas. Portanto, embora esses resultados possam ser considerados um sucesso na recuperação de organismos extintos, o assunto é bastante polêmico.

Figura 9.23. Gravura da extinta zebra quagga. Media cerca de 1,35 m de altura.



ThinkStock/Getty Images

Figura 9.24. Fotografia de zebra atual, semelhante à quagga, obtida por cruzamento seletivo. Mede cerca de 1,45 m de altura.



SPL/Latinstock

15. Aconselhamento genético

Os itens 15 e 16 merecem ampla discussão com os estudantes, pois envolvem valores de ética e cidadania.

Os avanços da engenharia genética nos últimos anos têm permitido maior conhecimento a respeito dos cromossomos e de seus genes, o que possibilita melhorias no serviço de aconselhamento genético.

O aconselhamento genético é especialmente indicado nos casos a seguir.

- Casais normais que não conseguem ter filhos porque a mulher não consegue engravidar ou levar uma gestação a termo, passando por abortos consecutivos. Convém esclarecer, no entanto, que é comum ocorrer aborto na primeira gestação (frequência de 30%, que é bastante alta) e que, nesse caso, não há necessidade de maiores preocupações, pois em geral a segunda gravidez vai a termo. O aconselhamento genético é indicado a partir do terceiro aborto sucessivo.
- Casais normais com casos de doenças genéticas na família da mulher e/ou do homem.
- Casais normais que já tiveram um filho com anomalia genética ou cromossômica.
- Casais consanguíneos, pois têm risco maior de ter filhos com anomalias; esse risco é da ordem de 10% para primos em primeiro grau.
- Casais com mais de 35 anos de idade, sendo mais importante a idade da mulher. Antes dos 35 anos, a chance de se ter um filho com anomalias cromossômicas, como a síndrome de Down, é inferior a três casos em mil. Depois dos 35 anos, essa probabilidade aumenta consideravelmente: para mulheres com 40 anos a probabilidade é da ordem de um caso em cem, e quando a mãe chega aos 44 anos essa probabilidade vai para 2,4 em cem.
- Casais em que pelo menos um dos cônjuges recebeu radiação ionizante, tomou drogas mutagênicas para tratamento de câncer ou fez uso de drogas que provocam mutações, como a droga ilegal LSD.
- Casos médico-legais referentes a testes de paternidade ou troca de crianças.

O aconselhamento genético inclui: o estudo do histórico pessoal e familiar, a realização e a análise de exames genéticos, a avaliação por uma equipe multidisciplinar, o fornecimento de informações a respeito de doenças genéticas e o cálculo de riscos de ocorrência em familiares.

No Brasil, o aconselhamento genético é realizado em alguns centros de pesquisas de universidades (Fig. 9.25) e em outras instituições públicas e privadas.



Evelson de Freitas/AE

Figura 9.25. Fotografia de Mayana Zatz, pesquisadora do Centro de Pesquisa sobre o Genoma Humano e Células-Tronco da USP (SP). Além de desenvolver pesquisas, esse centro oferece serviços de aconselhamento genético.

16. Diagnóstico pré-natal

O diagnóstico pré-natal permite que se saiba com antecedência se a criança que vai nascer é do sexo feminino ou do masculino e se ela pode apresentar alguma das anomalias cromossômicas ou genéticas, detectáveis por meio de várias técnicas laboratoriais.

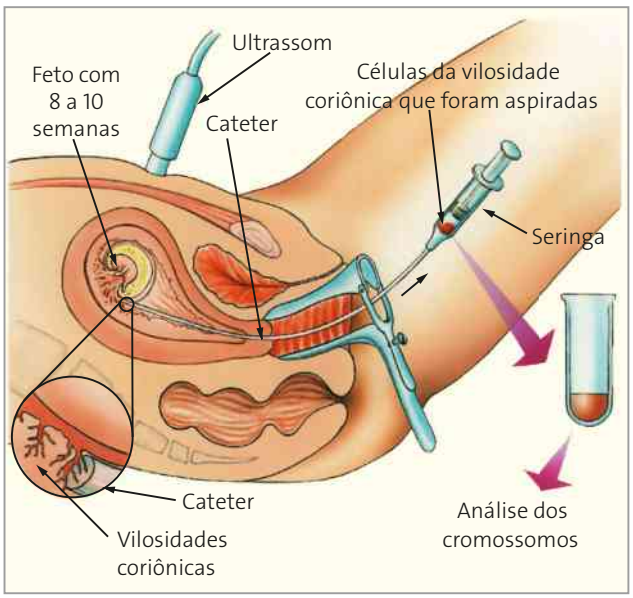
Apesar de muito valioso, esse diagnóstico, quando aponta anomalias graves no feto, gera problemas éticos muito sérios a respeito de se manter ou interromper a gravidez. Em muitos países, como o Brasil, o aborto só é permitido em casos de estupro, para salvar a vida da mãe ou nos casos em que o feto é anencéfalo (não tem o encéfalo). Assim, a questão do aborto envolve aspectos religiosos, éticos e morais que merecem ampla discussão, especialmente agora que os casais podem saber se o filho que está sendo gerado apresenta anomalias.

A seguir descreveremos algumas técnicas utilizadas para o diagnóstico pré-natal.

16.1. Exame das vilosidades coriônicas

Por esse exame é possível determinar o **sexo** do feto, **anomalias cromossômicas** e estudar o DNA a fim de detectar **anomalias genéticas**. Esse exame só pode ser feito entre a oitava e a décima primeira semana de gravidez e é o que fornece diagnóstico mais precoce. Ele é feito com o auxílio de ultrassonografia, que orienta o médico na introdução de uma cânula flexível ou cateter pela vagina. Esse cateter deve passar pelo colo do útero até atingir as vilosidades coriônicas, estruturas formadas pelos anexos embrionários do feto e que contribuem para a formação da placenta.

Células das vilosidades coriônicas são aspiradas e mantidas em meios de cultura especiais, onde se dividem. Interrompe-se a mitose dessas células, e as que estão em metáfase têm seus cromossomos analisados. Esse exame só deve ser feito nos casos indicados por aconselhamento genético, pois há risco de aborto em decorrência do próprio exame (Fig. 9.26).

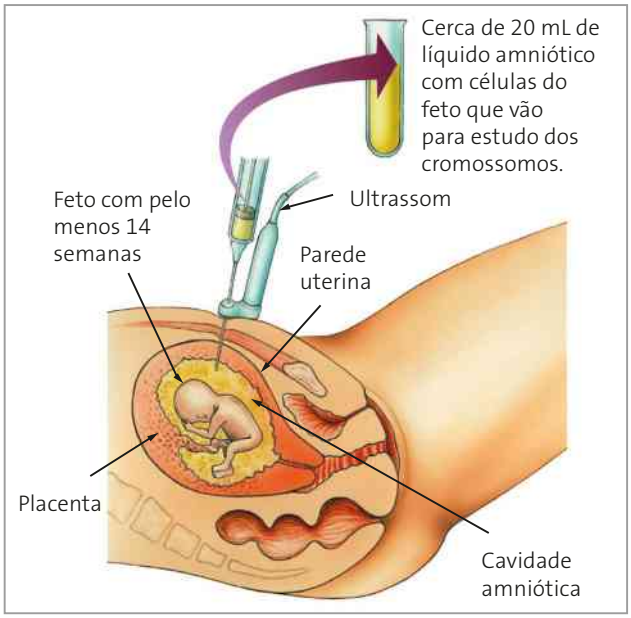


Jurandir Ribeiro

Figura 9.26. Esquema de procedimento médico de coleta de amostra das vilosidades coriônicas. A região pélvica da mãe está representada em corte longitudinal. (Elementos representados em diferentes escalas; cores fantasia.)

16.2. Amniocentese

Com a amniocentese, obtêm-se as mesmas informações que no exame das vilosidades coriônicas, mas ela só pode ser feita a partir da 14ª semana de gestação. A amniocentese consiste na coleta do **líquido amniótico**, por meio de uma seringa introduzida na barriga da mãe. Essa coleta também deve ser acompanhada por ultrassonografia (Fig. 9.27).



Jurandir Ribeiro

Figura 9.27. Esquema do procedimento médico da coleta de amostra do líquido amniótico. Região pélvica da mãe representada em corte longitudinal. (Elementos representados em diferentes escalas; cores fantasia.)

No líquido amniótico estão presentes células originadas da pele e dos sistemas urinário e respiratório do feto. Essas células são mantidas em culturas, e então seus cromossomos são analisados. Também existe risco de aborto em decorrência do exame, por isso ele é indicado somente por aconselhamento genético.

16.3. Ultrassonografia

É o exame mais comum e não apresenta riscos para o feto ou para a mãe. É feito utilizando-se **ondas sonoras de alta frequência**, que são convertidas em imagens transmitidas por uma tela de computador (Fig. 9.28). Esse exame não proporciona análise dos cromossomos do feto, pois não se coletam células do embrião. No entanto, permite diagnosticar anomalias do sistema nervoso central, como espinha bífida, anencefalia (ausência de encéfalo) e hidrocefalia (encéfalo alterado pela presença de líquido), anomalias renais, anomalias no trato digestório, anomalias cardíacas e defeitos nos ossos. Em alguns casos, é possível saber o sexo do embrião observando-se a genitália externa.


Sean Justice/Corbis/Glow Images

Figura 9.28. Fotografia de exame de ultrassonografia sendo realizado em gestante.

16.4. Fetoscopia

Feito em situações muito especiais, nesse exame o feto é visualizado por meio de uma cânula com fibra óptica introduzida na barriga da mãe. Dessa forma, podem-se observar anomalias morfológicas, como fendas faciais e defeitos nos membros. Por meio dessa técnica, também é possível introduzir uma agulha e obter amostra do sangue e da pele do feto para fazer diagnósticos antes do nascimento.

Tema para discussão

REGISTRE NO CADERNO

Bioética como Ética Aplicada e Genética

A história do pensamento ético do último terço do século XX caracteriza-se pelo crescente interesse na solução dos problemas de ordem individual e coletiva que preocupam as pessoas e a humanidade no seu dia a dia. Temas como o da poluição da hidrosfera e da atmosfera, por exemplo, alarmam pessoas e entidades nos mais diversos níveis, quer nacionais ou internacionais. Em outro âmbito, mas dentro da problemática moral, o que fazer perante uma gravidez cujo feto é anencefálico? Ou qual a melhor alternativa para remediar a dor insuportável de um paciente terminal? Nesses casos e em outros parecidos, trata-se de assuntos significativos que têm a ver com a conduta certa ou conduta errada, com ato bom ou ato mau. Como é amplamente sabido, esta é a tarefa fundamental da Ética.

[...]

Se a Ética, de forma geral, se ocupa do que é correto ou incorreto no agir humano, a Ética Aplicada trata de questões relevantes para a pessoa e a humanidade. Um tema é eticamente relevante quando considerado pela maioria dos seres racionais, exemplificando, o uso sem limites dos recursos naturais. Conforme Singer, "uma parte importante da Ética Normativa corresponde à Ética Aplicada, que trata de questões práticas como o aborto, a eutanásia, sobre se há justificativa em criar e em matar animais para a alimentação e sobre a obrigação de compartilhar nossa riqueza com aqueles que vivem em extrema pobreza em outros países".

[...]

A Ética Aplicada, como introdução dos princípios que sustentam a Ética ou as diversas teorias éticas nos problemas da vida quotidiana, não é, contudo, uma novidade. A Ética Política, por exemplo, tem sua origem na Filosofia Clássica de Platão. A Ecoética e a Bioética são formas novas da Ética Aplicada que caracterizam a sociedade, a cultura e os valores morais da civilização contemporânea.

[...]

Com o termo Bioética tenta-se focalizar a reflexão ética no fenômeno vida. Constata-se que existem formas diversas de vida e modos diferentes de consideração dos aspectos éticos com elas relacionados. Multiplicaram-se as áreas diferenciadas da Bioética e os modos de serem abordadas. A Ética Ambiental, os deveres para com os animais, a ética do desenvolvimento e a ética da vida humana relacionada com o uso adequado e o abuso das diversas biotecnologias aplicadas à Medicina são exemplos dessa diversificação. [...] Com o espetacular desenvolvimento da Biologia Molecular e da Genética médica, a humanidade deparou-se com novos questionamentos de caráter ético. [...] **"Qual a influência do desenvolvimento da Biologia Molecular no futuro do homem?". [...] A quem cabe o direito de reproduzir a molécula que carrega as informações hereditárias de uma pessoa? Quais as vantagens ou perigos para a sociedade a partir do uso indiscriminado das mesmas?** Indiscutivelmente, o papel da Bioética tem-se fortalecido com o progresso da Biologia Molecular e da Genética.

CLOTET, J. Bioética como Ética Aplicada e Genética. *Revista Bioética*. Brasília, v. 5, n. 2, 1997.

1. Em grupo, procurem mais informações a respeito de Bioética, em especial com enfoque na Genética e na biotecnologia. Com base nessa pesquisa, elaborem uma apresentação para os demais colegas visando discutir os dados e as informações que obtiveram e debater as três perguntas que foram destacadas no trecho selecionado do artigo.

2. Ao longo deste capítulo foram tratados temas importantes da biotecnologia que merecem discussões éticas mais amplas. Com os colegas de grupo, escolha um tópico da biotecnologia para aprofundar a discussão, buscando mais informações em outras fontes confiáveis de consulta. Algumas sugestões:

- O livro *GenÉtica: escolhas que nossos avós não faziam*, escrito pela geneticista Mayana Zatz, coordenadora do Centro de Estudos do Genoma Humano, e publicado pela Editora Globo, em 2011.
- A geneticista Lygia da Veiga Pereira escreveu diversos livros sobre Biotecnologia, que abordam os assuntos estudados neste capítulo:
  – *Células-tronco*: promessas e realidades, Editora Moderna, 2013.
  – *Clonagem*: da ovelha Dolly às células-tronco, Editora Moderna, 2008.
  – *Sequenciaram o genoma humano... E agora?*, vol. 1, Editora Moderna, 2005.
  – *Clonagem, fatos e mitos*, vol. 1, Editora Moderna, 2005.
- A *Revista USP* número 24, disponível em: <http://www.revistas.usp.br/revusp/issue/view/2030/showToc> (acesso em: mar. 2016), apresenta textos de grande valia até os dias de hoje, apesar de ser uma publicação de 1995.
- O artigo disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103-40142010000300004> (acesso em: mar. 2016) fornece uma boa fonte de informações a respeito da terapia gênica.

Com as informações obtidas, façam uma apresentação para a sala ou divulguem seus dados em um *blog* da classe analisando o assunto e propondo discussões. A seguir, citamos algumas sugestões de temas que podem ser escolhidos, mas vocês também podem pesquisar outros temas de que vocês tenham interesse em aprofundar o conhecimento e a discussão:

a) Os testes genéticos, sejam eles populacionais, pessoais ou em pré-natais, levantam muitas discussões éticas que merecem ser aprofundadas. Procurem mais informações a respeito.

b) A terapia gênica está em fase de estudos e há registros de insucessos em certos casos em que os testes foram feitos em humanos. Procurem mais informações a respeito.

c) Pesquisem sobre a clonagem humana reprodutiva e a terapêutica: vantagens, desvantagens e questões éticas envolvidas.

Professor(a), veja nas Orientações didáticas os comentários e as respostas das questões dissertativas.

Retomando

Neste capítulo, você conheceu um pouco mais a respeito da biotecnologia e viu alguns exemplos de técnicas interessantes. Retome suas respostas às questões da seção **Pense nisso** e reescreva-as. A biotecnologia é recente? Você consome produtos de técnicas biotecnológicas?

Ampliando e integrando conhecimentos

REGISTRE NO CADERNO

Professor(a), veja nas Orientações didáticas os comentários as respostas das questões dissertativas.

Atividade 1 Homozigotos e heterozigotos

Habilidades do Enem: H3, H14, H15.

Considere que, no esquema abaixo, estão representados dois pequenos segmentos de DNA de um par de cromossomos homólogos que chamaremos de par 7, isolados do núcleo de células de Márcio. Considere também que esses segmentos correspondem a alelos de um gene hipotético, lembrando que os alelos são formados por um número muito maior de bases nitrogenadas e que o exercício que vamos fazer é uma extrema simplificação.

5'–ATGGTGCACTTGACTCCTGAGGAGAAG–3'
3'–TACCACGTGAACTGAGGACTCCTCTTC–5'
7A

5'–ATGGTGCACTTGACTCCTGAGGAGAAG–3'
3'–TACCACGTGAACTGAGGACTCCTCTTC–5'
7B

a) Analisando essa sequência de bases nitrogenadas, você diria que Márcio é homozigótico ou heterozigótico para esse par de alelos? Justifique sua resposta.

b) Vamos agora comparar esse gene de Márcio com o de sua irmã Clarice, cuja sequência está representada abaixo. Repare que os alelos de Clarice diferem dos alelos de seu irmão em apenas um par de nucleotídeos, destacado em laranja. Você diria que Clarice é homozigótica ou heterozigótica para esse par de alelos?

5'–ATGGTGCACTTGACTCCTGAGGAGAAG–3'
3'–TACCACGTGAACTGAGGACTCCTCTTC–5'
7A

5'–ATGGTGCACTTGACTCCTGTGGAGAAG–3'
3'–TACCACGTGAACTGAGGACACCTCTTC–5'
7B

c) Usando a cor vermelha para os alelos encontrados no DNA de Márcio e a cor azul para os de Clarice, represente no seu caderno a condição heterozigótica para esse par de alelos.

Atividade 2 Alimentos transgênicos

Habilidades do Enem: H3, H4, H10, H11, H12, H17, H19, H28, H29, H30.

Quando o assunto é a produção e o consumo de alimentos transgênicos, há muita polêmica, principalmente a respeito das questões ambientais e de segurança alimentar. A seguir, leia alguns argumentos contra os alimentos geneticamente modificados e outros a favor deles.

Argumento 1 – Transgênicos no Brasil: Realidade e perspectivas

O Profº Marcos Silveira Buckeridge, do departamento de Botânica – IB/USP –, fala em entrevista sobre o cenário dos transgênicos no país. "O Brasil pode assumir um papel protagonista na pesquisa com OGMs para criar um futuro próprio, e não navegar naquele criado pelos outros", aposta o biologista vegetal.

O pesquisador esclarece na entrevista que, apesar do receio em relação aos alimentos transgênicos, a técnica em muito se parece com a manipulação biológica tradicional — que busca aperfeiçoar características mais interessantes ou valorizadas em um organismo. "Já está muito claro que os transgênicos não oferecem todo aquele perigo que se imaginava aos seres humanos e ao ambiente."

Disponível em: <www.ib.usp.br/mais-noticias/634-transgenicos-no-brasil-realidade-e-perspectivas.html>. Acesso em: abr. 2016.

Argumento 2 – As sementes transgênicas não são mais produtivas, nem foram planejadas com este objetivo

[...]

Passados 10 anos da entrada das sementes transgênicas no Brasil, alguns efeitos sociais e econômicos deste tipo de agricultura podem ser melhor visualizados. Dados indicam que há maior concentração

no mercado de sementes, o que resulta em menor poder de escolha dos agricultores, sem contar que aumentou o uso de agrotóxicos, afinal as sementes geneticamente modificadas são mais resistentes a esses produtos químicos. "O objetivo prioritário das empresas parece associado à inserção de transgenes que permitem banhar as lavouras com venenos e alimentar mecanismos de vendas casadas capazes de ampliar a renda de controladores dos mercados de sementes e de agrotóxicos", explica Leonardo Melgarejo [engenheiro agrônomo da Univerdade Federal de Santa Caratina] [...].

De acordo com Leonardo Melgarejo, as promessas de aumento de produtividade das sementes transgênicas restaram improvadas, o que na prática nunca foi o objetivo na manipulação genética dos grãos. Ao contrário da expectativa, os transgênicos acabaram gerando mais custos. "Isto trouxe crescimento nos custos de produção e redução na rentabilidade, obrigando à busca de ganhos de escala via expansão no tamanho das lavouras. Os resultados práticos estão aí: aumento na concentração de terras, esvaziamento demográfico do campo, desaparecimento de atividades produtivas, desmatamentos, enchentes, problemas ambientais", aponta.

"Além disso, está sendo estimulada a dependência dos agricultores e a subordinação de nossa economia a interesses pouco comprometidos com nosso desenvolvimento", complementa. A incorporação da transgenia na agricultura nacional gerou, segundo Melgarejo, degradação ambiental e socioeconômica, cuja avaliação de todos esses processos não pode ser chamada de "desenvolvimento", pois não tem perspectiva de futuro, apesar de certos ganhos setoriais.

Disponível em: <www.ihu.unisinos.br/entrevistas/525697-entrevista-especial-com-leonardo-melgarejo>. Acesso em: abr. 2016.

Você pode perceber que o debate é acirrado e que existem muitas informações conflitantes. Atualize-se sobre a questão, fazendo o seguinte:

a) Acesse os *sites* indicados e leia as entrevistas completas. Além disso, procure em jornais, revistas e em outros *sites* mais argumentos contra os alimentos geneticamente modificados e a favor deles. Procure também saber quais são as últimas regulamentações sobre o cultivo de plantas transgênicas no país, consultando o *site* do Ministério do Meio Ambiente ou outras publicações. Com que posições você concorda?

b) Produza um texto com as suas opiniões sobre o assunto e, junto aos colegas e ao professor, publique o texto em um *blog* feito pela turma. Use-o para discutir e divulgar o que a turma pensa sobre o tema. Você pode incluir imagens, vídeos e *links* para outros *sites*, por exemplo.

Atividade 3 Investigação policial

Habilidades do Enem: H11, H13, H15.

Em uma investigação policial, Breno foi encontrado morto em seu apartamento e não havia sinais de sangue no local. Desconhece-se a causa de sua morte. O médico legista, ao analisar o corpo, encontrou sob as unhas de Breno células epiteliais desagregadas, sugerindo que, antes de morrer, teria arranhado uma pessoa. Durante a investigação, a polícia chegou a dois suspeitos e pediu teste de DNA para tentar saber qual deles foi o culpado. Para isso, foram coletadas amostras de tecido do corpo de Breno, das células epiteliais encontradas em sua unha e do sangue dos dois suspeitos.

Vamos realizar o DNA *fingerprint* desses materiais de forma simplificada e omitindo a etapa de hibridização *in situ*.

As células nucleadas de cada material devem ser colocadas em frascos separados e tratadas com enzimas de restrição que cortam o DNA em locais previamente conhecidos.

Vamos usar a enzima *Hae* III, que corta o DNA toda vez que encontra a seguinte sequência de bases:

Local do corte

5' .....GG ↓ CC ..... 3'
3' .....CC ↑ GG .....5'

Apenas por simplificação, vamos considerar para esses materiais somente os seguintes segmentos de um par de cromossomos homólogos: por exemplo, o par 9. O local onde o corte deve ser feito foi destacado com negrito.

DNA de Breno

9A
GGCCTTAGACCTTTAGGCCTATATTCCTAATAAATAAGGTTGGCCAGGGACCATATTAGGCC
CCGGAATCTGGAAATCCGGATATAAGGATTATTTATTCCAACCGGTCCCCGGTATAATCCGG

9B
GGCCTTAGACCTTTAATTCTATATTCCTGGCTAATAAGGTTGGCCAGGGACCATATTAGGCC
CCGGAATCTGGAAATTAAGATATAAGGACCGATTATTCCAACCGGTCCCTGGTATAATCCGG

DNA das células epiteliais sob as unhas de Breno

9A
GGCCTTAGACCTTTAGGCCTATATTCCTAATAAATAAGGTTGGCCAGGGACCATATTAGGCC
CCGGAATCTGGAAATCCGGATATAAGGATTATTTATTCCAACCGGTCCCCGGTATAATCCGG

9B
GGCCTTAGACCTTTAATTCTATATTCCTGGCTAATAAGGTTGGCCAGGGACCATATTAGGCC
CCGGAATCTGGAAATTAAGATATAAGGACCGATTATTCCAACCGGTCCCTGGTATAATCCGG

DNA do suspeito 1

9A
GGCCTTAGACCTTTAGGCCTATATTCCTAATAAATAAGGTTGGCCAGGGACCATATTAGGCC
CCGGAATCTGGAAATCCGGATATAAGGATTATTTATTCCAACCGGTCCCCGGTATAATCCGG

9B
GGCCTTAGACCTTTAATTCTATATTCCTGGCTAATAAGGTTGGCCAGGGACCATATTAGGCC
CCGGAATCTGGAAATTAAGATATAAGGACCGATTATTCCAACCGGTCCCTGGTATAATCCGG

DNA do suspeito 2

9A
GGCCAATTGGATCCATCCGGAATGGCCATAATTGGCCTCTCATGGTCCGGCCAAATCTGGCC
CCGGTTAACCTAGGTAGGCCTTACCGGTATTAACCGGAGAGTACCAGGCCGGTTTAGACCGG

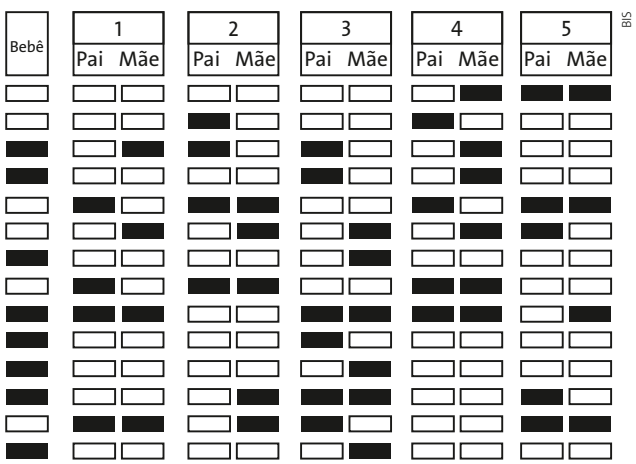
9B
GGCCAATTGGATCCATGGCCAATGGCCATAATTGGCCTCTCATGGTCCTTCCAAATCTGGCC
CCGGTTAACCTAGGTACCGGTTACCGGTATTAACCGGAGAGTACCAGGAAGGTTTAGACCGG

Copie essas sequências em folha sulfite ou cartolina e simule a atuação da enzima de restrição, cortando os diferentes segmentos com tesoura sem ponta. Mas cuidado para não misturar os segmentos de um material com os de outro. Uma vez isolados, organize e cole os segmentos de cada material por ordem decrescente de tamanho em uma folha de papel ou cartolina. Ao fazer isso, estamos simulando a eletroforese em gel, em que os fragmentos maiores migram menos que os menores. Segmentos de mesmo tamanho e do mesmo material devem ser colados sobrepostos, indicando que eles pararam na mesma posição do gel. Uma vez feito isso, compare os padrões de barras obtidos e diga qual dos dois suspeitos esteve na cena do crime e foi arranhado por Breno.

Testes

REGISTRE NO CADERNO

1. (Enem) Cinco casais alegavam ser os pais de um bebê. A confirmação da paternidade foi obtida pelo exame de DNA. O resultado do teste está esquematizado na figura, em que cada casal apresenta um padrão com duas bandas de DNA (faixas, uma para o suposto pai e duas para a suposta mãe), comparadas à do bebê.



Que casal pode ser considerado como pais biológicos do bebê?

a) 1
b) 2
x c) 3
d) 4
e) 5

2. (Enem) A Embrapa possui uma linhagem de soja transgênica resistente ao herbicida IMAZAPIR. A planta está passando por testes de segurança nutricional e ambiental, processo que exige cerca de três anos. Uma linhagem de soja transgênica requer a produção inicial de 200 plantas resistentes ao herbicida e destas são selecionadas as dez mais "estáveis", com maior capacidade de gerar descendentes também resistentes. Esses descendentes são submetidos a doses de herbicida três vezes superiores às aplicadas nas lavouras convencionais. Em seguida, as cinco melhores são separadas e apenas uma delas é levada a testes de segurança. Os riscos ambientais da soja transgênica são pequenos, já que ela não tem possibilidade de cruzamento com outras plantas e o perigo de polinização cruzada com outro tipo de soja é de apenas 1%.

A soja transgênica, segundo o texto, apresenta baixo risco ambiental porque

a) a resistência ao herbicida não é estável e assim não passa para as plantas-filhas.
b) as doses de herbicida aplicadas nas plantas são 3 vezes superiores às usuais.
x c) a capacidade da linhagem de cruzar com espécies selvagens é inexistente.
d) a linhagem passou por testes nutricionais e após três anos foi aprovada.
e) a linhagem obtida foi testada rigorosamente em relação a sua segurança.

3. (Enem) Do veneno de serpentes como a jararaca e a cascavel, pesquisadores brasileiros obtiveram um adesivo cirúrgico testado com sucesso em aplicações como colagem de pele, nervos, gengivas e na cicatrização de úlceras venosas, entre outras. A cola é baseada no mesmo princípio natural da coagulação do sangue. [...] Os produtos já disponíveis no mercado utilizam fibrinogênio e trombina bovina. Nessa nova formulação são utilizados fibrinogênio de búfalos e trombina de serpentes. A substituição da trombina bovina pela da cascavel mostrou, em testes, ser uma escolha altamente eficaz na cicatrização de tecidos.

ERENO, D. Veneno que cola.
In: *Pesquisa Fapesp*. n. 158, abr. 2009.

A principal vantagem deste novo produto biotecnológico é:

x a) estar isento de contaminação por vírus humanos e permitir uma coagulação segura, ou seja, a transformação de fibrinogênio em fibrina.
b) estimular o sistema imunológico a produzir anticorpos que irão transformar as moléculas de protrombina em trombina com a participação de íons cálcio.
c) evitar rejeições pelos pacientes que utilizam essa técnica e desta forma transformar eficientemente a trombina em protrombina, responsáveis pela coagulação.
d) aumentar a formação do tampão plaquetário uma vez que a trombina é uma enzima que transforma a fibrina em fibrinogênio que estimula a formação de plaquetas.
e) esterilizar os locais em que é aplicado graças à ação antibiótica da trombina e o aumento da síntese dos fatores de coagulação no fígado com a participação dos íons potássio.

4. (UFT-TO) Biotecnologia é a aplicação de conhecimentos da Biologia para a produção de novas técnicas, materiais e compostos de uso farmacêutico, médico, agrícola, entre outros de interesses econômicos, ecológicos e éticos. Sobre tecnologia de manipulação genética é CORRETO afirmar que:

a) A tecnologia de DNA recombinante baseia-se na troca de pedaços de genes entre organismos de mesma espécie, formando um ser recombinante.
b) A base da clonagem é a tecnologia de transplante de núcleo, onde o núcleo de uma célula diploide é implantada em uma célula reprodutora haploide nucleada da mesma espécie, produzindo uma cópia genética do outro indivíduo.
c) Enzimas de restrição são especializadas em cortar fragmentos de DNA em sítios aleatórios da molécula.
x d) A tecnologia de amplificação de DNA, ou PCR (Reação em Cadeia da Polimerase), fundamenta-se na produção de muitas cópias de uma região específica do DNA (região alvo).

5. (UFG-GO) Os avanços da Engenharia Genética têm permitido o conhecimento mais amplo dos cromossomos. Sobre este tema, analise os itens a seguir, indicando as respostas corretas:

x a) O mapeamento gênico de um indivíduo permite informar se ele é portador ou não de genes causadores de doenças.
b) O teste de paternidade com base no DNA deve ser realizado exclusivamente em indivíduos sem doenças sanguíneas, como a hemofilia.
c) O Projeto Genoma visa localizar, nos cromossomos humanos, todas as quebras provocadas pela radiação solar.
x d) O gene para produção de insulina no homem pode ser clonado em bactérias que passam a produzir esse hormônio.

UNIDADE 3

Evolução

"A essa preservação das variações favoráveis e rejeição das injuriosas eu chamo Seleção Natural."

(De Charles Darwin, *A origem das espécies*, 1859. Traduzido pelos autores.)



Bernard Castelein/Naturepl/Fotoarena

A camuflagem é exemplo de evolução por seleção natural. Ao mesmo tempo em que a camuflagem permite a aproximação furtiva no momento do ataque à presa, ela dificulta a localização do animal pelos seus próprios predadores. Fotografia de *Uroplatus phantasticus*, uma lagartixa predadora que ocorre na ilha de Madagascar e tem cerca de 10 cm de comprimento do corpo. Na fotografia, ela está de cabeça para baixo.

CAPÍTULO

10 Processos evolutivos

Luciano Candisani



Figura 10.1. A diversidade de vida é incrível e decorre de processos evolutivos. Cada espécie apresenta suas características e adaptações ao meio. Nesta fotografia, tirada em um rio no Pantanal, podemos ver algumas das adaptações que surgiram na evolução dos crocodilianos, no caso o jacaré. São animais predadores e entre suas presas estão os peixes. Note que o animal fica apenas com olhos e narinas fora da água e o restante da cabeça e do corpo dentro da água. Permanece assim por um bom tempo. Com esse comportamento de mínima exposição, fica protegido de outros predadores, consegue enxergar fora da água e realizar as trocas gasosas com o ar atmosférico. Apesar de estar com a boca aberta, não morre afogado, pois ele possui modificações anatômicas na boca, tendo uma válvula na base da língua que isola completamente a passagem do ar direto das narinas para as demais partes do sistema respiratório. Os jacarés medem cerca de 2 m de comprimento.

Pense nisso

- Os seres vivos são resultado de processos evolutivos. Saberia citar um desses processos? Explique sua resposta.
- Na fotografia acima mostramos um jacaré e vários peixes, todos na água. Os jacarés conseguem mergulhar e nadar impulsionados pela cauda por meio de movimentos ondulantes para um lado e outro. Os peixes, na sua grande maioria, nadam ondulando o corpo de modo semelhante ao do jacaré. Como explicar essas semelhanças? Elas ocorrem por serem esses animais derivados de um mesmo ancestral comum?

1. A vida em constante evolução

A **biodiversidade** (*bio* = vida) é resultado da evolução e, para entendê-la, temos de ter em mente que a vida e o ambiente físico estão em constante processo de interação e de mudança.

De maneira geral, quando se fala em biodiversidade, o que nos vem à mente é a variedade de espécies. Embora essa interpretação seja correta, o termo biodiversidade tem sido ampliado e também inclui a diversidade de genes em populações e a de ecossistemas.

Nesta unidade, nosso enfoque será nos processos relacionados com a evolução biológica, procurando entender como surge e se estabelece a diversidade dos seres vivos. A diversidade de espécies variou ao longo da história da Terra. Atualmente, estima-se que existam cerca de 1,7 milhão de espécies conhecidas, mas o número exato de espécies existentes ainda é desconhecido, estimando-se que esteja entre 5 milhões e 100 milhões.

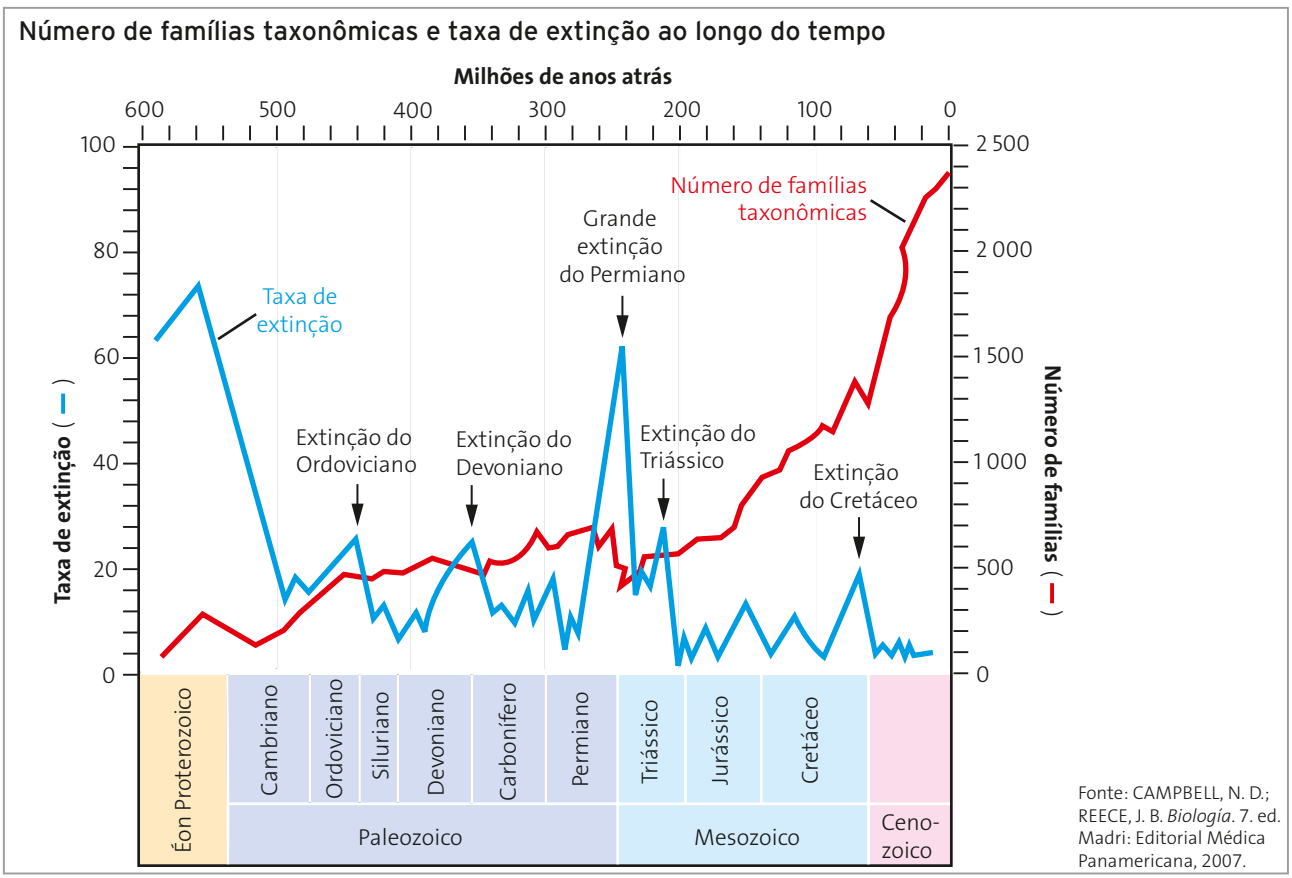
Entender a diversidade da vida passada e da atual sempre foi um desafio para os cientistas. Ao longo da história da vida na Terra, dois fenômenos têm atuado decisivamente sobre a biodiversidade: o surgimento e o desaparecimento de grupos de seres vivos.

A análise dos fósseis, que são vestígios de organismos que viveram em épocas remotas da Terra, indica que o número de espécies novas aumentou muito em determinados períodos do tempo geológico, assim como ocorreram eventos de extinção em massa. A extinção de espécies é um processo natural e frequente ao longo da história da vida. Houve períodos em que vários grupos de organismos distintos se extinguiram de forma rápida (considerando o tempo geológico) e praticamente concomitante, o que nos leva a pensar em uma causa comum para o desaparecimento. As evidências sugerem que esses grandes eventos de extinção foram causados por alterações climáticas drásticas por vezes associadas a quedas de meteoritos no planeta.

Estudos recentes indicam que, desde o início do século XX, estamos vivendo mais um evento de extinção em massa; há pesquisadores que o consideram o mais severo desde o Cretáceo, ocasião do desaparecimento dos dinossauros (exceto aves). As principais causas desse novo evento têm sido atribuídas a mudanças no ambiente relacionadas principalmente à interferência humana nos ecossistemas.

Na figura 10.2 estão resumidos os grandes eventos de extinção relatados com base na análise de fósseis.

BIS



Fonte: CAMPBELL, N. D.; REECE, J. B. *Biologia*. 7. ed. Madri: Editorial Médica Panamericana, 2007.

Figura 10.2. Número de famílias taxonômicas e os períodos de extinção em massa: o registro fóssil mostra um aumento da diversidade de organismos ao longo do tempo. As extinções em massa reduzem a diversidade, mas são seguidas de períodos de novo aumento da diversidade, provavelmente em função da disponibilidade de novos nichos ecológicos. A taxa de extinção é dada pela porcentagem estimada de famílias taxonômicas existentes que desapareceram em cada período geológico.

Para entender a diversidade de vida como fruto da evolução um longo e polêmico caminho foi percorrido. A aceitação das ideias evolutivas não foi fácil nem livre de disputas acirradas. Até hoje há correntes que contestam a evolução, pautando-se em explicações que eram as mais comuns até meados do século XIX. Essa forma de pensar defende a criação divina dos seres vivos, corrente chamada **criacionismo**, e que os seres vivos, uma vez criados, não mudam ao longo do tempo, falando-se em **fixismo**. Com base nesse modo de pensar, as espécies de seres vivos são caracterizadas por uma **essência** própria, imutável e universal, falando-se em **essencialismo**. Assim, as variações entre os indivíduos dentro de cada espécie são entendidas como acidentais ou imperfeições. Apesar da existência dessas interpretações ainda nos dias de hoje, as ideias evolutivas são as mais amplamente aceitas na comunidade científica e são a base dos estudos atuais na área.

Evolução é central na forma de se pensar hoje em Biologia, como bem colocado em 1973 pelo cientista ucraniano Theodosius Dobzhansky (1900-1975): "Nada em Biologia faz sentido a não ser sob a luz da Evolução".

Vamos analisar, neste capítulo, as principais evidências que suportam o conceito de evolução e as principais teorias evolutivas. Estudaremos também os processos de especiação, que se referem à formação de novas espécies.

2. Evidências da evolução

Entender a evolução dos seres vivos e suas relações de parentesco exige a análise de muitas evidências. Dentre elas, destacam-se os **fósseis**, as **homologias**, os **órgãos vestigiais**, os **dados moleculares** e a **embriologia comparada**. Vamos comentar um pouco sobre cada uma delas.

2.1. Fósseis

É considerado fóssil qualquer indício da presença de organismos que viveram em tempos remotos na Terra (Fig. 10.3).

Existem vários processos de **fossilização**. Um dos mais comuns é o de substituição da parte orgânica de estruturas rígidas do corpo por minerais do solo, falando-se em petrificação (Fig. 10.4). É o que acontece na fossilização de tecidos lenhosos das plantas e de esqueletos (Fig. 10.5).

Rodval Matias

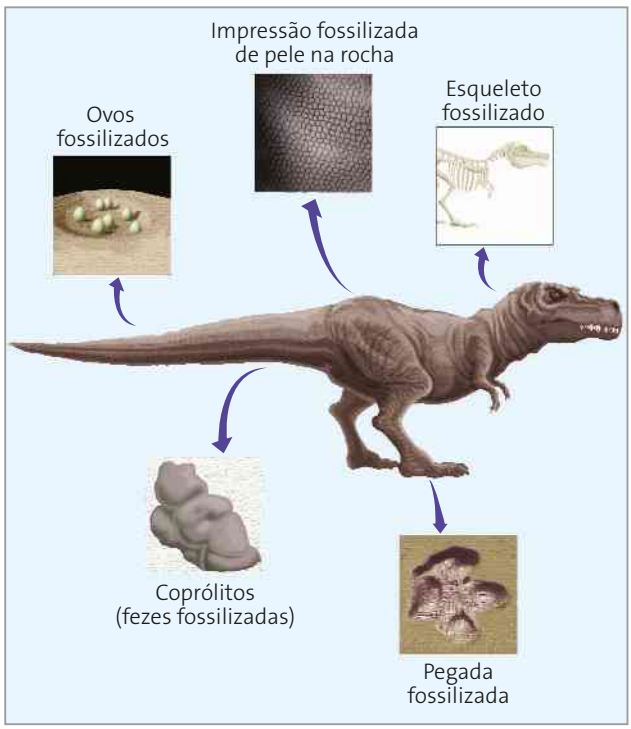


Figura 10.3. Esquema mostrando alguns indícios presentes em fósseis de dinossauros. (Elementos representados em diferentes escalas; cores fantasia.)

Maurício Simonetti/Pulsar Imagens



Figura 10.4. Fotografia de tronco de árvore petrificado. Podem ser encontrados em Teresina (PI) e em Santa Maria, Mata e São Pedro do Sul (RS). Em Mata, troncos enormes de árvores petrificados da era Mesozoica são abundantes. A sílica, constituinte químico da areia, foi substituindo moléculas do corpo da árvore, petrificando-a.

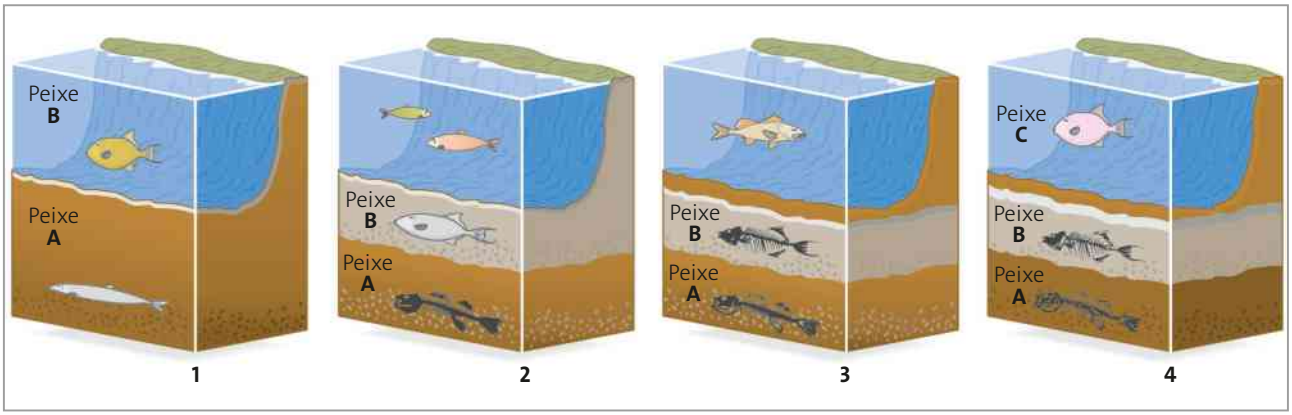


Figura 10.5. Fotografia de fóssil de peixe da espécie *Neoproscinetes penalvai*, encontrado na Chapada do Araripe (CE). Mede cerca de 35 cm de comprimento.

Quando um organismo morre, seu corpo fica depositado sobre o solo, no assoalho oceânico ou no leito dos rios, dependendo do seu hábitat, e sofre decomposição. Ao longo do tempo, pode ser encoberto por camadas de sedimento e sofrer fossilização. Sobre essas novas camadas, outros organismos podem passar pelo mesmo processo.

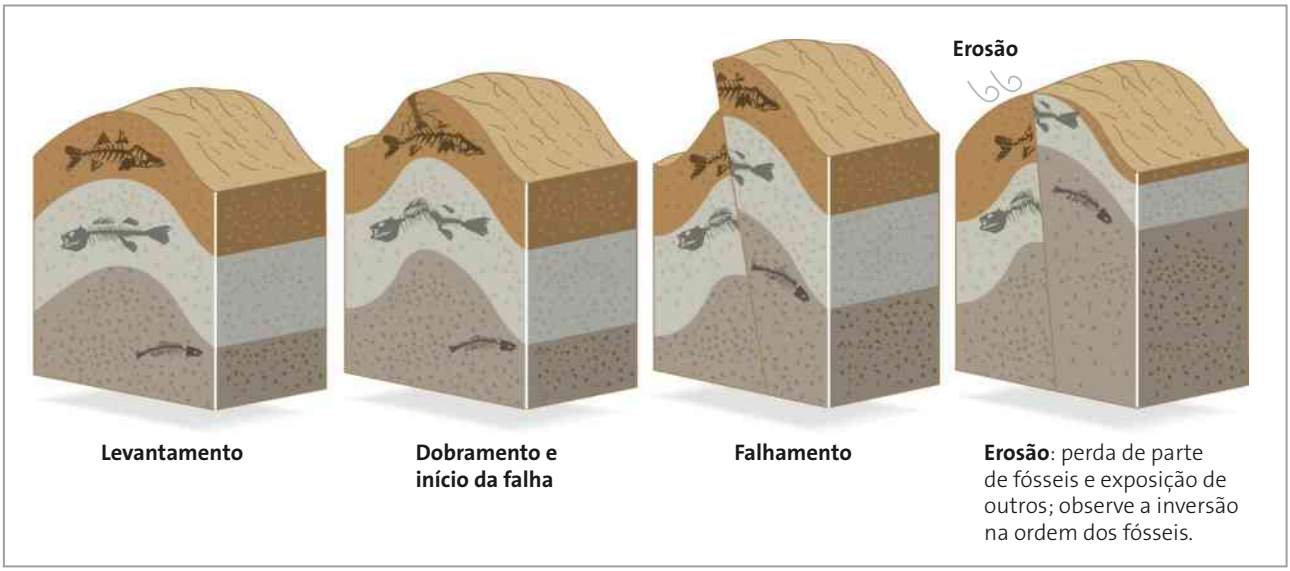
As camadas de sedimentos depositam-se umas sobre as outras. Com isso, em geral, as camadas mais inferiores são as que se formaram primeiro e são as mais antigas; os fósseis nelas encontrados correspondem a organismos que viveram em tempos mais remotos (Fig. 10.6).

Em função da movimentação da crosta terrestre, as camadas de sedimento podem sofrer dobramentos, quebras ou ser removidas pela ação erosiva dos ventos e da água. Algumas vezes, essas alterações na crosta causam a inversão das camadas de sedimento, de modo que as camadas e os fósseis mais antigos acabam ficando na parte superior, mascarando a interpretação (Fig. 10.7).



Studio Caparroz

Figura 10.6. Esquema ilustrativo mostrando a formação de fósseis de peixes. (Elementos representados em diferentes escalas; cores fantasia.) **1)** O peixe **A** morreu e foi soterrado pelos sedimentos do fundo do rio. **2)** O peixe **B** morre e é soterrado em uma camada de sedimentos superior à do peixe **A**. **3)** No processo de fossilização, os esqueletos dos peixes soterrados sofrem substituição por minerais. **4)** Ao longo de milhares de anos, novas camadas de sedimentos são depositadas sobre as camadas mais velhas, que vão se consolidando de modo a formar uma rocha sedimentar. Assim, é possível saber que o fóssil do peixe **A** é mais antigo que o fóssil do peixe **B**, podendo-se, ainda, corroborar essa informação pela datação das rochas.



Studio Caparroz

Figura 10.7. Esquema de parte da crosta terrestre em corte, mostrando como os movimentos podem alterar as camadas sedimentares e a erosão pode expor partes dos fósseis. (Elementos representados em diferentes escalas; cores fantasia.)

Todo o processo fica "registrado" em rochas sedimentares, que representam um "livro" que conta a história da vida na Terra. De maneira geral, esse "livro" não é completo e isso ocorre por diversas razões: não são todos os organismos que deixam registros fósseis; esses fósseis não são fáceis de ser encontrados e algumas folhas desse "livro" podem estar mal preservadas ou faltando.

Embora as partes duras do corpo dos organismos sejam as mais frequentemente conservadas nos processos de fossilização, existem casos em que a parte mole do corpo também é preservada. Entre os exemplos mais marcantes estão os mamutes encontrados congelados na Sibéria (Fig. 10.8). Também existem fósseis de insetos encontrados em **âmbar**, resina pegajosa eliminada por pinheiros e que sofre endurecimento, permitindo preservar o inseto ali contido com detalhes de sua estrutura (Fig. 10.9). Também são consideradas fósseis impressões deixadas por organismos que viveram em eras passadas, como pegadas de animais extintos e impressões de folhas (Fig. 10.10), de penas de aves extintas e da superfície da pele de dinossauros.



Tkachev Andrei/ITAR-TASS/Corbis/Latinstock

Figura 10.8. Fotografia de fóssil de filhote de mamute (1,5 m de comprimento) encontrado na Rússia. Estima-se que esse animal tenha vivido há cerca de 40 mil anos.



Layne Kennedy/Corbis/Latinstock

Figura 10.9. Fotografia de fóssil de formiga com asas embebida em âmbar. Estima-se que este exemplar tenha vivido há 35 milhões de anos. Mede cerca de 5 mm de comprimento.



Kevin Schafer/Corbis/LatinStock

Figura 10.10. Fotografia de fóssil de planta: impressão deixada sobre rocha sedimentar.

A importância do estudo dos fósseis para a evolução está na possibilidade de conhecermos organismos que viveram em épocas remotas da Terra e muitas vezes sob condições ambientais distintas das encontradas atualmente. Isso nos mostra que nosso planeta foi habitado por organismos diferentes dos atuais e que muitos deles têm semelhanças com espécies recentes, o que nos fornece indícios de parentesco evolutivo. Por isso, os fósseis são considerados importantes testemunhos da evolução.

Colocando em foco

COMO ESTIMAR A IDADE DOS FÓSSEIS

Para saber a idade das camadas que formam as rochas ou a idade dos fósseis que nelas se encontram, os paleontólogos (pesquisadores que estudam fósseis) empregam diversos métodos, dentre eles os baseados em elementos radiativos. Esses elementos sofrem um processo de decaimento espontâneo na natureza, dando origem a outros elementos. A porcentagem de decaimento é expressa em termos de meia-vida, que é o tempo necessário para que metade do teor inicial de um elemento se transforme em outro.

Os elementos radiativos iniciais, ou elementos pai, ao passarem pelo processo de decaimento, originam outros elementos, que são seus isótopos mais estáveis. Os isótopos de um átomo possuem o mesmo número de prótons, mas diferem no número de nêutrons. No processo de decaimento, portanto, há perda de nêutrons. Na datação mede-se a proporção entre elementos radiativos e seu isótopo mais estável.

As meias-vidas são, na maioria das vezes, muito curtas, correspondendo a frações que variam de segundos a alguns dias. Dentre os inúmeros isótopos radiativos existentes na natureza, poucos são os que têm meia-vida suficientemente longa para utilização em datação de materiais geológicos. No quadro ao lado (Fig. 10.11), estão resumidos alguns desses elementos e suas meias-vidas. Os números associados aos símbolos desses elementos correspondem ao número de massa (corresponde ao número de prótons mais o número de nêutrons).

Para datação de fósseis mais recentes, usa-se o elemento radiativo carbono 14 (^{14}C), por ter meia-vida de 5 730 anos apenas.

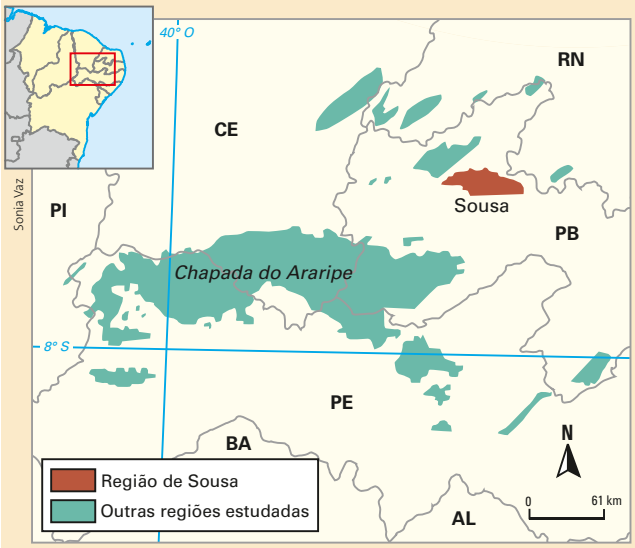
Elemento pai	Elemento filho	Meia-vida
^{14}C (Carbono 14)	^{12}C	5 730 anos
^{238}U (Urânio)	^{206}Pb (Chumbo)	4,5 bilhões de anos
^{235}U	^{207}Pb	733 milhões de anos
^{40}K (Potássio)	^{40}Ar (Argônio)	1,3 bilhão de anos

Figura 10.11. Quadro de alguns elementos radiativos e suas meias-vidas.

Colocando em foco

REGISTROS DO CRETÁCEO NO BRASIL

No sertão nordestino, em especial em Santana do Cariri, na base da Chapada do Araripe, no sul do Ceará e na região de Sousa, na Paraíba (Fig. 10.12), há muitos registros de fósseis do Cretáceo, inclusive de dinossauros.



Fonte do mapa: CARVALHO, I. S.; et al. Preservation of dinosaur tracks induced by microbial mats in the Sousa Basin (Lower Cretaceous), Brazil. *Cretaceous Research*, v. 44, 2013.

Figura 10.12. Mapa das regiões onde foram encontrados fósseis do Cretáceo. Destaque para as regiões da Chapada do Araripe (CE) e Sousa (PB).

A cidade de Santana do Cariri é conhecida como a capital cearense da paleontologia (Fig. 10.13). Nesse território afloram rochas do período Cretáceo que revelam fósseis em excelente estado de conservação, como esqueletos de animais intactos e até suas partes moles. Esse grau de preservação deve-se ao fato de os animais terem sido soterrados em um processo muito rápido, por meio da deposição de calcita, mineral que forma uma espécie de cimento em rochas sedimentares.

Para falar sobre a região de Sousa, apresentamos a seguir trechos de um artigo publicado na *Revista Pesquisa Fapesp*.

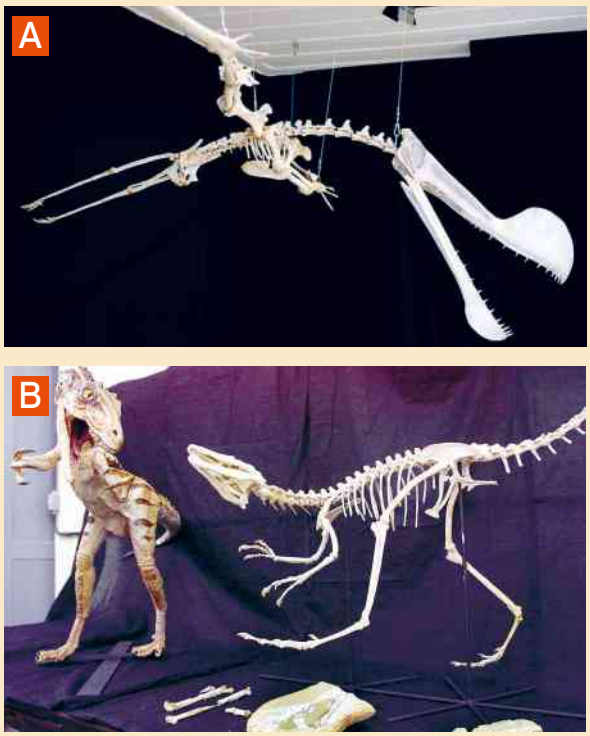


Figura 10.13. Destaques do Museu de Paleontologia da Universidade Regional do Cariri, sul do Ceará, que apresenta em seu acervo fósseis do período Cretáceo no mundo. Em **A**, réplica de réptil voador do grupo dos pterossauros. Essa espécie media cerca de 5 m de envergadura. Em **B**, réplica de esqueleto do dinossauro *Santanaraptor placidus*. Essa espécie media cerca de 1,5 m de comprimento.

Registros do Cretáceo

Para quem quiser deixar uma marca duradoura de sua existência na Terra, fica a dica: caminhe à beira de um lago, onde houver lama ou areia fina e molhada, coberta de limo. Centenas de dinossauros fizeram isso, e suas pegadas permanecem intactas [Fig. 10.14], gravadas nas rochas do sertão nordestino, no município de Sousa, interior da Paraíba, graças à ação das algas verdes e azuis do limo onde pisaram há mais de 100 milhões de anos.

[...]



Figura 10.14. Fotografia de pegadas de dinossauros em Sousa (PB). Na região, existem outras pegadas de dinossauros que viveram há cerca de 120 milhões de anos.

As rochas de Sousa se formaram a partir de sedimentos acumulados em um vale aberto no início da separação entre a América do Sul e a África, no começo do chamado período Cretáceo. Entre 142 milhões e 130 milhões de anos atrás, o vale abrigava rios e lagos, atraindo a fauna da região. Sua lama transformada em rocha registrou a passagem de quase 400 indivíduos — dinossauros, crocodilos, sapos e tartarugas. Também há marcas de ondulações produzidas por água corrente e até pequenos buracos criados por gotas de chuva.

Cenas do passado

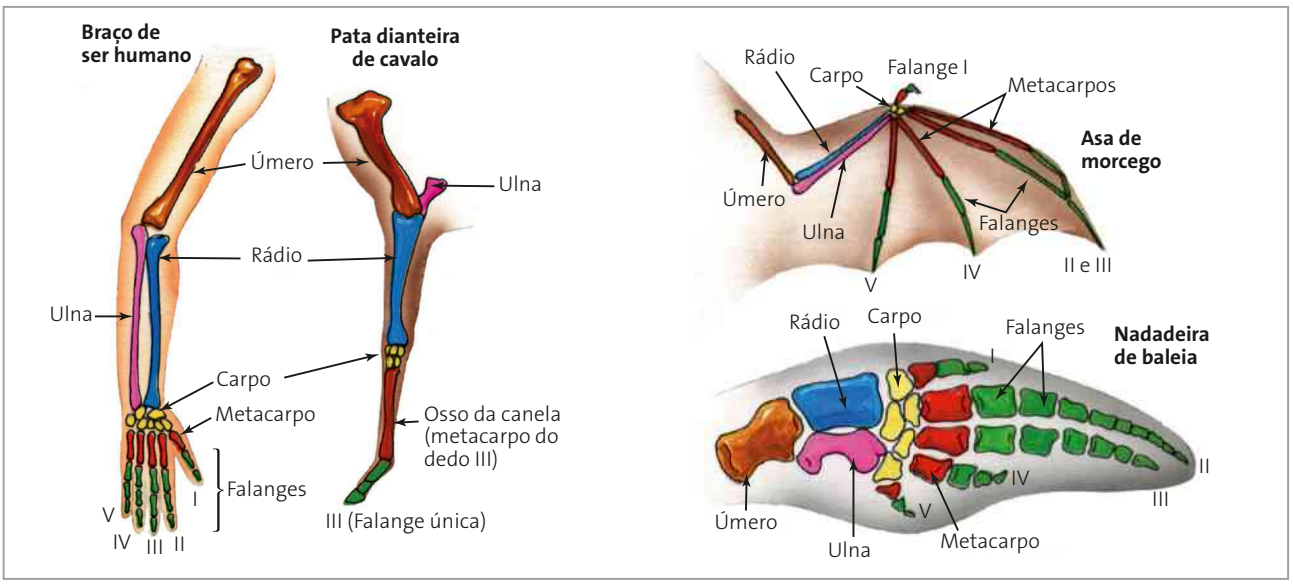
Não há, porém, ossadas fósseis em Sousa, ao contrário do que ocorre na bacia sedimentar vizinha do Araripe, no Ceará, local da descoberta de muitos dinossauros do Cretáceo. [...] O ambiente mais ácido de Sousa corroía os ossos, enquanto no Araripe enxurradas arrastavam e soterravam rapidamente as carcaças dos animais, mantendo os ossos em condições favoráveis à petrificação.

[...]"

ZOLNERKEVIC, I. *Revista Pesquisa Fapesp* 209, jul. 2013. Disponível em: <http://revistapesquisa.fapesp.br/2013/07/12/registros-do-cretaceo>. Acesso em: mar. 2016.

2.2. Homologia

Estruturas **homólogas** são aquelas que derivam de estruturas já existentes em um **ancestral comum exclusivo**, podendo ou não estar modificadas para exercer uma mesma função. São exemplos de estruturas homólogas entre si: os ossos dos braços dos seres humanos, dos membros anteriores dos cavalos, das asas dos morcegos e das nadadeiras das baleias (Fig. 10.15). Eles são homólogos porque derivam dos ossos dos membros anteriores presentes no grupo ancestral que deu origem aos mamíferos. Nesses casos, como essas estruturas não desempenham a mesma função nos organismos mencionados, fala-se em **divergência evolutiva**.



Ilustrações: Jurandir Ribeiro

Figura 10.15. Esquema de homologia entre os ossos dos membros anteriores dos mamíferos. (Elementos representados em diferentes escalas; cores fantasia.)

Existem, no entanto, estruturas homólogas que também estão adaptadas a uma mesma função. É o caso dos ossos das nadadeiras anteriores das baleias e dos golfinhos, ambos mamíferos com os membros anteriores modificados para a vida em ambiente aquático.

Nos estudos de relações de parentesco evolutivo, devem ser considerados nas comparações apenas caracteres homólogos.

Há, no entanto, caracteres que se assemelham simplesmente por exercerem a mesma função, mas não derivam de modificações de estruturas semelhantes, já existentes em um ancestral comum exclusivo. Estas são semelhantes apenas quanto à função e são chamadas estruturas **análogas**. Esse tipo de semelhança não é usado nos estudos que visam estabelecer relações de parentesco evolutivo.

São análogas, por exemplo, as asas das aves e as dos insetos: ambas desempenham a mesma função, que é o voo, mas não são derivadas das mesmas estruturas presentes em um ancestral comum exclusivo entre aves e insetos (Fig. 10.16).

Jurandir Ribeiro

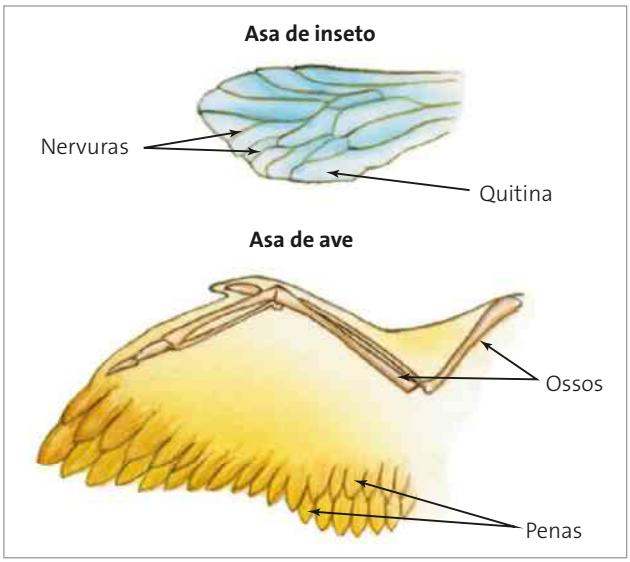


Figura 10.16. Esquema de analogia entre asa de inseto e de ave. (Elementos representados em diferentes escalas; cores fantasia.)

As estruturas análogas são fruto do que se chama **evolução convergente** (ou convergência evolutiva). Nesse processo a semelhança se deve apenas à adaptação a uma condição ecológica semelhante. A evolução dessas estruturas ocorre de forma independente em dois ou mais grupos de seres vivos que não possuem um ancestral comum mais recente e exclusivo.

2.3. Órgãos vestigiais

Órgãos vestigiais são aqueles que, em alguns organismos, são de tamanho reduzido ou atrofiado, mas que, em outros organismos, são maiores ou mais desenvolvidos. A importância evolutiva desses órgãos vestigiais é a indicação de parentesco evolutivo.

Exemplos bem conhecidos de órgãos vestigiais no ser humano são o **ceco** e o **apêndice vermiforme** (ou apêndice cecal).

Nos mamíferos roedores, o ceco é uma estrutura bem desenvolvida, onde o alimento parcialmente digerido é armazenado e a celulose, abundante nos vegetais ingeridos, é degradada pela ação de bactérias especializadas. Em alguns desses animais, como o coelho, o ceco apresenta uma extremidade final mais estreita denominada apêndice, que corresponde ao apêndice vermiforme (apêndice cecal) humano (Fig. 10.17). Esse apêndice, considerado anteriormente sem função, é o local onde há concentração de órgãos linfoides relacionados com a imunidade e também é o local onde se desenvolvem de modo protegido muitas bactérias intestinais envolvidas nos processos digestivos.

Osni de Oliveira

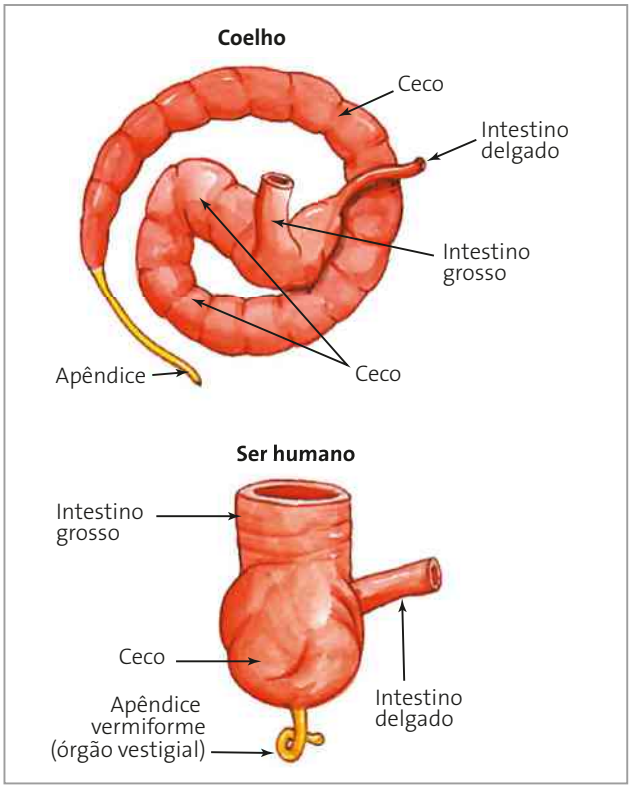


Figura 10.17. Esquema de segmentos do intestino de coelho e de ser humano. (Estruturas representadas na mesma proporção; cores fantasia.)

2.4. Evidências moleculares

Sabemos que todos os organismos com estrutura celular têm o DNA como material genético e que os genes são trechos dessas moléculas de DNA.

Sabemos também que os genes são transcritos em moléculas de RNA, que podem ser traduzidas em proteínas. Portanto, o DNA, o RNA e as proteínas são moléculas presentes em todos os seres vivos.

Assim, comparando-se as sequências de bases nitrogenadas do **DNA** ou do **RNA**, ou comparando-se as **proteínas** de diferentes espécies de seres vivos, podemos estabelecer o grau de proximidade evolutiva entre essas espécies. Isso significa que podemos estabelecer o grau de parentesco evolutivo entre elas.

Quanto maior for a semelhança nas sequências das bases nitrogenadas dos ácidos nucleicos, ou quanto maior a semelhança entre as proteínas dessas espécies, maior será a proximidade evolutiva entre elas.

2.5. Embriologia comparada

O estudo comparado da embriologia de diversos vertebrados mostra a grande semelhança de padrão de desenvolvimento inicial. À medida que o embrião se desenvolve, surgem características individualizantes e as semelhanças diminuem.

Quanto mais diferentes são os organismos, menor é a semelhança no desenvolvimento embrionário.

3. As teorias evolutivas

Entre as várias teorias evolutivas que surgiram, destacam-se a de **Lamarck**, a de **Darwin-Wallace** e a **teoria sintética da evolução**.

3.1. A teoria de Lamarck

O naturalista francês Jean-Baptiste Lamarck (1744-1829) foi o primeiro pesquisador a propor um sistema teórico completo para defender e explicar a evolução biológica pautando-se em fenômenos observáveis da natureza.

Adepto da geração espontânea de organismos simples, como muitos em sua época, ele não aceitava, no entanto, essa explicação para organismos complexos. Para esses casos, aceitava ideias evolutivas que já circulavam na época. Com base em seus estudos e nas discussões então vigentes, passou a propor explicações de como poderia ocorrer a evolução dos organismos mais complexos.

Lamarck publicou suas ideias pela primeira vez em 1801, tendo ampliado-as em 1809 na sua publicação *Philosophie Zoologique*, e subsequentemente em 1815, na introdução do seu *Historie Naturelle des Animaux sans Vertébres*. Nesses trabalhos, ele defende a ideia de que as espécies, incluindo a humana, são descendentes de outras espécies.

Seu trabalho de 1809 tem uma composição teórica ampla sobre a progressão dos seres vivos. Porém, apenas duas leis, dentro dessa rede teórica, acabaram recebendo um destaque maior. São elas:

- Desenvolvimento e atrofia de órgãos pelo uso e pelo desuso: o uso de determinadas partes do corpo faz com que elas se desenvolvam e o desuso faz com que elas se atrofiem.
- Herança dos caracteres adquiridos: as características que os indivíduos adquirem em sua vida são passadas aos descendentes. Ele não se preocupou em explicar como ocorre o processo de herança. Na época, os conhecimentos de genética eram rudimentares e ele simplesmente se deteve em dizer que há herança de caracteres adquiridos sem explicar como ocorre a herança.

Um dos exemplos mais clássicos dessas leis é a herança do pescoço da girafa. Reproduzimos aqui o trecho da obra de Lamarck em que isso é relatado:

"A girafa vive em lugares onde o solo é quase invariavelmente seco e sem capim. Obrigada a comer folhas e brotos no alto das árvores, ela é forçada, continuamente, a se esticar para cima. Esse hábito, mantido por longos períodos de tempo por todos os indivíduos da raça, resultou nas pernas anteriores mais longas que as posteriores e o pescoço tão alongado que a girafa pode levantar a cabeça a uma altura de 5 metros, sem tirar as pernas anteriores do solo."

Biologia, Parte I. São Paulo: Edart, 1970. p. 39.

Hoje se sabe, no entanto, que as girafas alimentam-se também de arbustos, e o longo pescoço parece se relacionar com a disputa "a pescoçadas" dos machos pelas fêmeas e também ao fato de propiciar que enxerguem seus predadores a distância, como uma torre de observação (Fig. 10.18).



Caters News Agency/Grosby Group

Figura 10.18. Dois machos de girafa em disputa por fêmea para acasalamento. Os machos atingem cerca de 5 m de altura.

Lamarck, no entanto, não se baseou somente nesse exemplo, mas em muitos outros. Um deles refere-se às aves aquáticas, que teriam se tornado pernaltas devido ao esforço que faziam para esticar as pernas e assim evitar molhar as penas durante a locomoção na água. A cada geração esse esforço produziria aves com pernas mais altas, que transmitiam essa característica à geração seguinte. Após várias gerações, teriam sido originadas as atuais aves pernaltas (Fig. 10.19).



Thinkstock/Getty Images

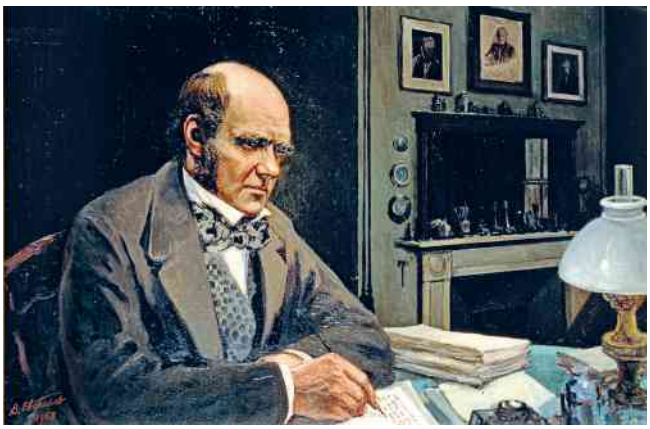
Figura 10.19. Fotografia de flamingos, aves pernaltas que medem cerca de 1 m de altura.

Somente muito mais tarde os cientistas puderam repensar a herança dos caracteres adquiridos. Uma pessoa que pratica atividade física, por exemplo, terá musculatura mais desenvolvida, mas essa condição não é transmitida aos seus descendentes. A não aceitação de algumas das ideias de Lamarck não deve fazer com que ele seja reconhecido como o cientista que errou. Lamarck é um dos mais importantes cientistas da história da Biologia graças às suas cuidadosas observações da natureza, que deixou registradas em muitos livros.

A epigenética vem trazendo explicações que tratam de herança de características adquiridas.

3.2. A teoria da seleção natural

Entre dezembro de 1831 e outubro de 1836, o naturalista inglês Charles Darwin (1809-1882) (Fig. 10.20) realizou uma viagem ao redor do mundo a bordo do navio *H. M. S. Beagle* (Fig. 10.21). Durante essa viagem, Darwin coletou muitos animais, plantas e fósseis de diferentes locais por onde o navio passou (Fig. 10.22). Com base em muitas observações da natureza, ele começou a contestar a imutabilidade das espécies.



Kent, Inglaterra/Erich Lessing/Album Art/Latinstock

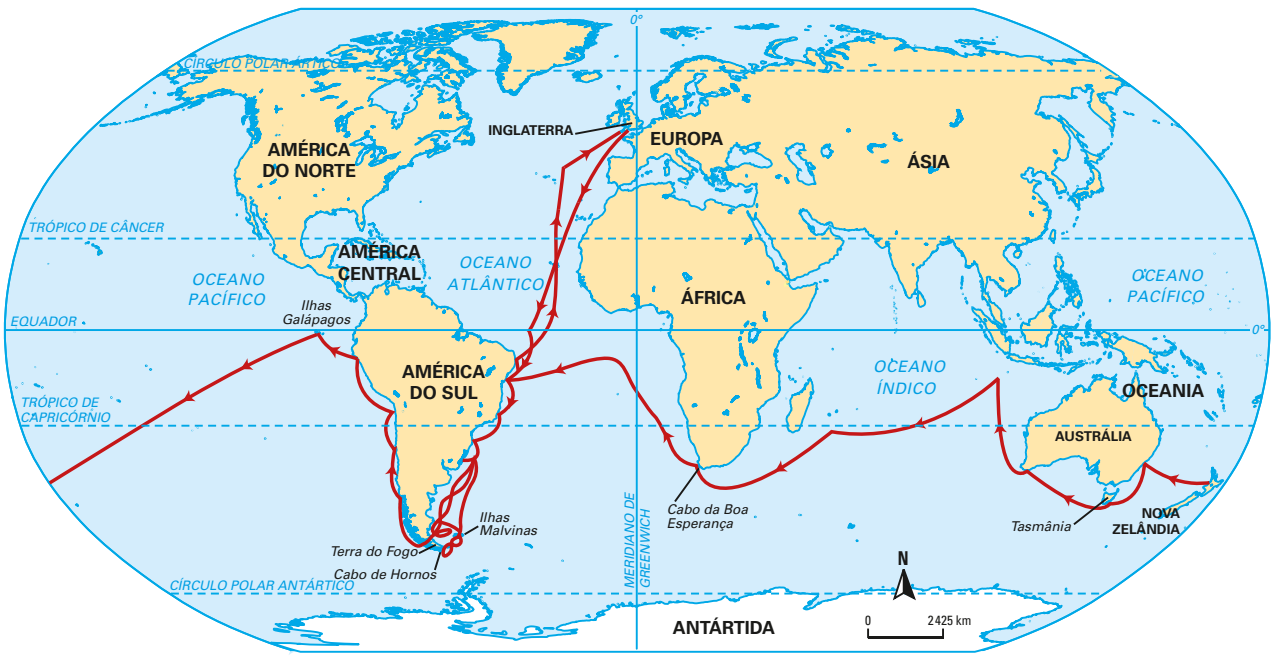
Figura 10.20. Gravura de Charles Darwin em seu gabinete de trabalho.



Coleção particular/SPL/Latinstock

Figura 10.21. Gravura do *H. M. S. Beagle*, onde Darwin fez sua viagem ao redor do mundo e colecionou muitas observações que utilizou para propor sua teoria sobre a evolução dos seres vivos.

ROTA PERCORRIDA POR DARWIN A BORDO DO *H. M. S. BEAGLE*



Sonia Vaz

Fonte: CAMPBELL, N. D.; REECE, J. B. *Biología*. 7. ed. Madri: Editorial Médica Panamericana, 2007.

Figura 10.22. Mapa com a rota do navio *H. M. S. Beagle* entre 1831 e 1836.

Nos 20 anos que se seguiram após seu retorno, Darwin trabalhou em muitos outros projetos de pesquisa e amadureceu suas ideias sobre evolução. Na mesma época, o naturalista inglês Alfred Russel Wallace (1823-1913) realizou no período de 1848 a 1850 uma viagem pelo Amazonas, acumulando valiosa coleção de organismos dessa região, que infelizmente foi perdida em um incêndio quando retornava à Inglaterra. Wallace sobreviveu a esse acidente e conseguiu salvar muitas de suas anotações, que se tornaram a base para a publicação de um livro. Depois, viajou pelo arquipélago malaio entre 1854 e 1862, retornando ao seu país, onde se dedicou a inúmeras pesquisas científicas e à publicação de muitos livros.

Quando Wallace estava no arquipélago malaio, escreveu uma carta a Darwin apresentando as ideias que vinha desenvolvendo a respeito de evolução das espécies por seleção natural. Ao ler a carta de Wallace, Darwin constatou a semelhança com ideias que ele também vinha desenvolvendo.

Desse modo, em 1858, Darwin e Wallace escreveram separadamente textos sobre evolução por seleção natural que foram apresentados à comunidade científica.

Em 1859, Darwin publicou o livro que começou a mudar a história da Biologia: *A origem das espécies por meio da seleção natural, ou a preservação das raças favorecidas na luta pela vida*.

Em seu livro, Darwin propunha algumas premissas (que serão discutidas mais adiante), e, dentre elas, duas ideias centrais:

- todos os organismos descendem, com modificações, de ancestrais comuns;
- a seleção natural atua sobre as variações individuais, favorecendo as mais aptas.

As ideias de Wallace foram publicadas posteriormente, no livro intitulado *Contribuições para a teoria da Seleção Natural*, de 1870. Suas ideias não eram idênticas às de Darwin, mas os dois princípios acima mencionados estavam presentes. Em função, principalmente, da publicação do livro *A origem das espécies*, a teoria da seleção natural ficou conhecida como sendo desenvolvida apenas por Darwin. No entanto, Wallace merece créditos na elaboração dessa teoria.

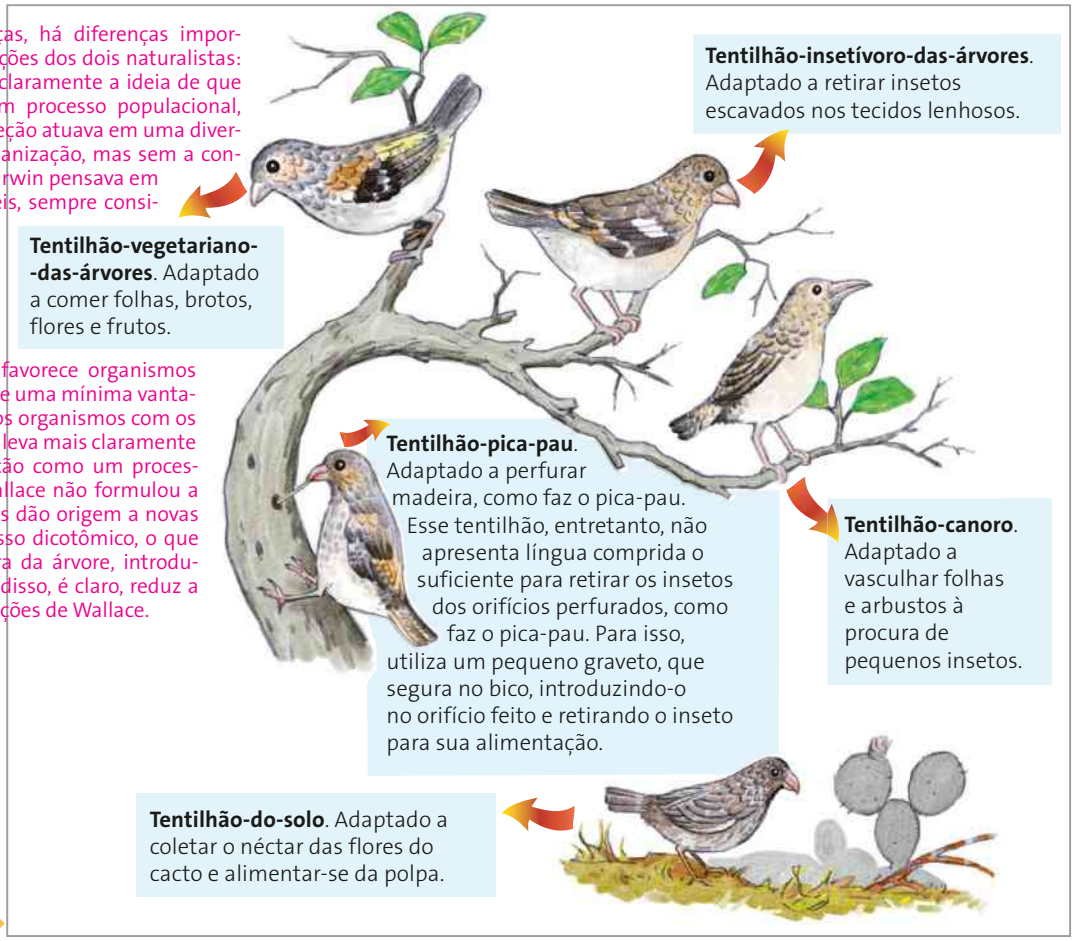
Um dos muitos elementos que contribuíram para as ideias de Darwin foi a fauna do arquipélago de Galápagos (do espanhol: *galápago* = jabuti), localizado no Oceano Pacífico, a cerca de 1 000 km do continente sul-americano e formado por um conjunto de ilhas vulcânicas. Darwin ficou impressionado com os jabutis gigantes (Fig. 10.23) e com as espécies de tentilhões (Fig. 10.24) que ocorrem nas diferentes ilhas.



Luciano Candisani

Figura 10.23. Fotografia de um jabuti gigante de Galápagos (Equador), na Ilha de Santa Cruz. Sua carapaça tem cerca de 80 cm de altura.

Apesar das semelhanças, há diferenças importantes entre as elaborações dos dois naturalistas: Wallace não formulou claramente a ideia de que a seleção natural é um processo populacional, considerando que a seleção atuava em uma diversidade de níveis de organização, mas sem a consistência com a qual Darwin pensava em seleção em outros níveis, sempre considerando a força da seleção ao nível dos organismos individuais; Wallace não estabeleceu a ideia de que a seleção é um processo criativo, que favorece organismos que tenham mesmo que uma mínima vantagem em relação a outros organismos com os quais competem, o que leva mais claramente a uma visão da evolução como um processo criativo; por fim, Wallace não formulou a ideia de que as espécies dão origem a novas espécies por um processo dicotômico, o que leva à famosa metáfora da árvore, introduzida por Darwin. Nada disso, é claro, reduz a importância das realizações de Wallace.



Rodval Matias

Figura 10.24. Representação artística de cinco das 13 espécies de tentilhões (pássaros da família Fringillidae) que ocorrem nas ilhas Galápagos. (Elementos representados em diferentes escalas. Cores fantasia.)

A semelhança entre essas espécies de tentilhões e a que vive no continente sul-americano levou Darwin a supor que indivíduos da população de tentilhões do continente teriam migrado, há muito tempo, para essas ilhas. Por seleção natural, teriam surgido populações adaptadas a diferentes modos de vida, dando origem às diferentes espécies.

Com base na análise de dados semelhantes a esses e de muitos outros, inclusive de fósseis, Darwin ficou convencido de que as espécies podem mudar ao longo do tempo, ou seja, evoluir, e começou a buscar explicações para esse processo.

O livro *Ensaio sobre o princípio da população*, do economista britânico Thomas Malthus (1766-1834), publicado em 1798, contribuiu para a formulação da teoria da seleção natural. Nesse ensaio, Malthus afirmava que a produção de alimentos cresce em escala aritmética, enquanto a população humana cresce em escala geométrica, o que é um dos fatores determinantes da fome e da competição por alimento. Se não ocorrerem fatores que impeçam esse crescimento populacional humano, não haverá comida suficiente para todos.

Ao ler esse ensaio em 1838, Darwin imaginou que isso deveria acontecer também com os demais seres vivos, e não somente com a espécie humana. Adaptando as ideias de Malthus, Darwin dizia que as populações têm maior capacidade de crescer por reprodução do que o meio tem de sustentar esse aumento no número de indivíduos; assim, muitos não conseguem sobreviver, pois não há os recursos necessários para todos. O crescimento populacional seria controlado, portanto, por limites impostos pelo meio. A falta de recursos disponíveis para todos levaria à competição, e os indivíduos com características mais vantajosas para determinado ambiente teriam maiores chances de sobreviver e de se reproduzir, passando as características vantajosas aos seus descendentes. Essa é a essência da teoria da seleção natural.

Assim, o ambiente é o agente que seleciona naturalmente aqueles indivíduos com características que lhes conferem maiores chances de sobrevivência e sucesso reprodutivo em uma dada condição ambiental.

Para reforçar sua teoria, Darwin baseou-se também nas diferentes raças de animais e variedades de plantas que surgem pelo processo de **seleção artificial**, isto é, feito pelo ser humano. Nesse caso, há a seleção de indivíduos, para a reprodução, que tenham características consideradas vantajosas para um determinado propósito humano, e que devem ser mantidas na prole (reprodução seletiva).

Por meio desse processo de seleção artificial, o ser humano consegue produzir, por exemplo, raças muito diferentes de cães (Fig. 10.25).



Thinkstock/Getty Images

Figura 10.25. Fotografia mostrando exemplos do resultado da seleção artificial nos animais: diferentes raças de cães.

Diversas variedades de plantas também foram e ainda são produzidas por seleção artificial, como acontece com repolho, couve-flor, couve-de-bruxelas e brócolis, todas derivadas de uma espécie selvagem, a *Brassica oleracea* (mostarda-selvagem) (Fig. 10.26). Os agricultores selecionaram diferentes características dessas plantas e realizaram cruzamentos seletivos.

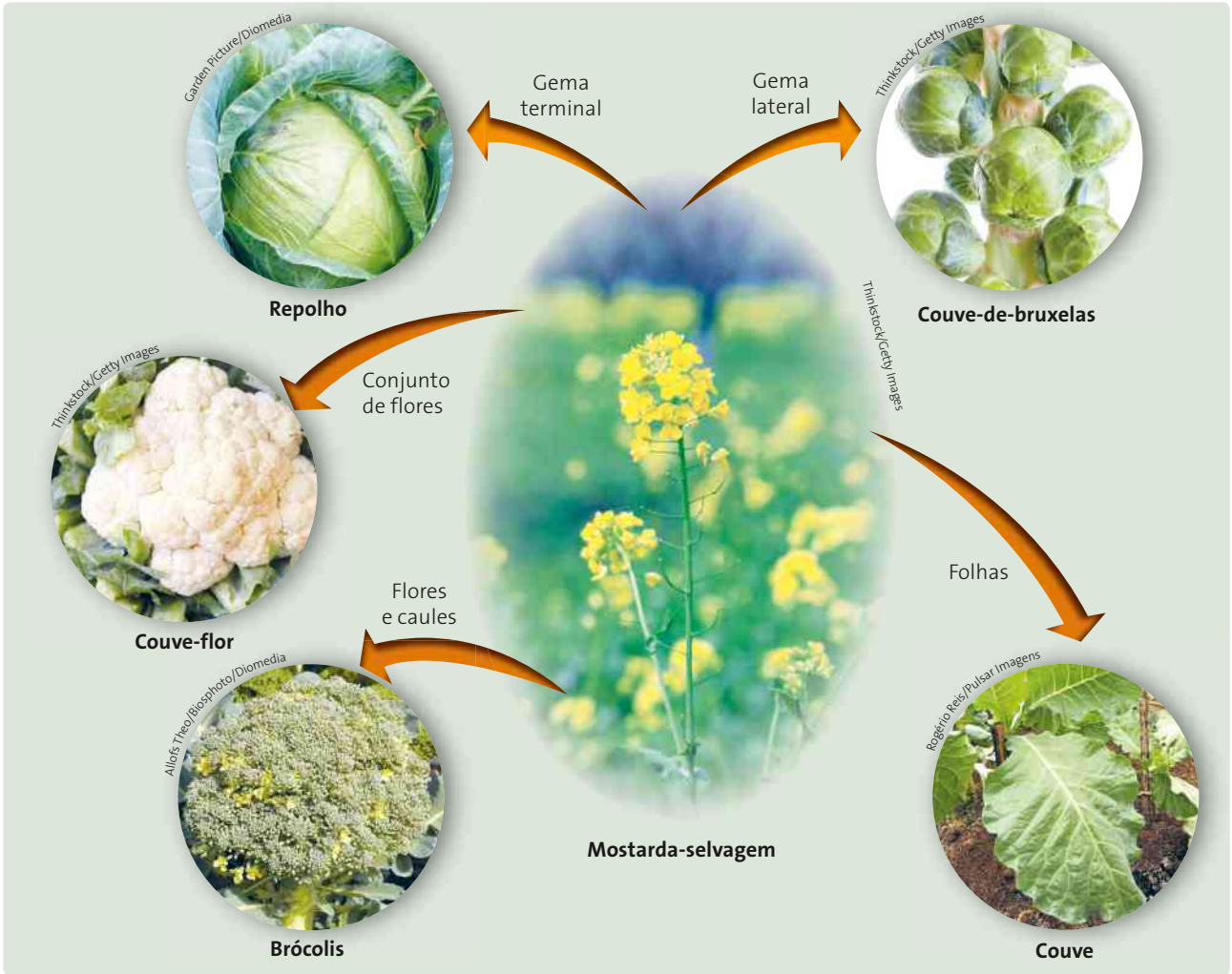


Figura 10.26. Fotografias mostrando exemplo de seleção artificial nas plantas. Estes vegetais têm um ancestral comum: a mostarda-selvagem (*Brassica oleracea*). Ao selecionar diferentes características da planta que se desejava acentuar, os criadores obtiveram as diferentes variações. (Imagens em diferentes escalas.)

Darwin dizia que o mesmo poderia ter acontecido na natureza e que o agente selecionador seria a própria natureza, que atua sem uma intenção. Na seleção artificial, por outro lado, há uma intenção, uma finalidade.

Dentro dessa perspectiva, Darwin evitou, em seus trabalhos publicados, utilizar o termo "evolução", para não ficar implícita a ideia de progresso ou aperfeiçoamento, referindo-se ao processo como "descendência com modificação". O resultado da evolução biológica não é a perfeição nem o progresso das espécies.

A seleção natural deve ser entendida como um mecanismo evolutivo e, como tal, não tem finalidade ou intenção. Deve-se evitar dizer que uma espécie "desenvolveu" uma adaptação ou que os organismos "tentam" ou "querem" se adaptar, o que seria um linguajar finalista, com um fim determinado.

Por outro lado, também, é comum se deparar com a ideia errônea de que a seleção natural é um processo aleatório, que ocorre totalmente ao acaso. A variabilidade genética de uma população é resultado de mecanismos aleatórios, como a mutação e a recombinação. Na seleção natural, porém, as variedades fenotípicas que são positivamente selecionadas são aquelas que aumentam a chance de sobrevivência e de sucesso reprodutivo, não sendo algo aleatório.

Surgem assim características adaptativas que são o resultado da seleção natural atuando ao longo de várias gerações.

Do mesmo modo que Lamarck e Wallace, Darwin também não conseguiu explicar corretamente como surgia a variação nem como ocorria a transmissão das características hereditárias ao longo das gerações. Os conhecimentos de genética eram rudimentares na época e, apesar de o trabalho de Mendel sobre as leis da herança ter sido divulgado em 1865, só passou a ser considerado importante na virada do século XX, duas décadas após a morte de Darwin.

Colocando em foco

SELEÇÃO SEXUAL

Em seu trabalho *A origem do homem e a seleção relacionada ao sexo*, publicado em 1871, Darwin aborda a seleção sexual. Enquanto a seleção natural leva a uma adaptação do organismo ao meio em que vive, aumentando sua chance de sobrevivência, a seleção sexual relaciona-se com a adaptação do organismo às suas necessidades de obter um parceiro, aumentando a chance de sucesso reprodutivo.

Em muitas espécies de vertebrados, inclusive entre os mamíferos, os machos lutam em disputa pela fêmea. Além disso, em muitos casos, as fêmeas ainda decidem se ficam ou não com o vencedor da batalha (Fig. 10.27). Ocorre, assim, uma seleção sexual em que os machos que apresentam características mais vantajosas para o combate tendem a ser positivamente selecionados e, com isso, passam essas características aos descendentes.



Paul Souders/Digital Vision/Getty Images

Figura 10.27. Fotografia, tirada no Quênia (África), de combate entre dois machos de gazela pela conquista de território e de fêmeas para o acasalamento. Medem cerca de 60 cm de altura.

Há também espécies em que a fêmea escolhe o macho de acordo com sua aparência. Em aves, geralmente os machos apresentam plumagem mais colorida e vistosa do que as fêmeas e se exibem para elas em elaborado ritual. Um exemplo clássico disso é o pavão (Fig. 10.28).

Uma pergunta que pode ser feita nesse momento é: se o maior número de penas na cauda do pavão relaciona-se com maior sucesso reprodutivo, por que não existem pavões com muito mais penas na cauda do que vemos atualmente? Pense nisso antes de continuar a leitura do texto.

A explicação passa pela compreensão de que a presença de uma cauda exagerada influencia negativamente a sobrevivência da ave, já que acarreta um dispêndio maior de energia e facilita sua captura por predadores. Nesse ponto, a seleção natural favorece os indivíduos com números não tão grandes de penas em suas caudas. É por isso que frequentemente se diz que a seleção sexual se contrapõe à seleção natural. O equilíbrio quanto ao fenótipo vem da compensação entre essas forças.

Outro exemplo de estratégia utilizada por aves na atração das fêmeas é o exibido pela fragata. De plumagem negra, o macho possui saco gular vermelho ("papo") que, no momento do acasalamento, se enche de ar (Fig. 10.29).



Steve Hopkin/Ardea/Diomedia

Figura 10.28. Fotografia de pavão e pavoa, em que se observa o dimorfismo sexual: o macho apresenta plumagem vistosa, que exibe para a fêmea no processo de corte. A fêmea mede cerca de 80 cm e o macho pode chegar a 2 m de comprimento.



Luciano Candisani

Figura 10.29. Fotografia de macho de fragata com o saco gular inflado sendo exibido para a fêmea. A imagem foi obtida em um ninhal no arquipélago dos Abrolhos, no sul da Bahia. A fragata pode medir 2 m de envergadura.

3.3. A teoria sintética da evolução

Com o redescobrimento, em 1900, dos trabalhos de Mendel com ervilhas e as discussões sobre mutações gênicas, surgidas na época, os adeptos da genética mendeliana passaram a propor que apenas as mutações seriam responsáveis pela evolução. A seleção natural, segundo essa interpretação, não teria participação nesse processo. Somente mais tarde, vários pesquisadores voltaram a dar importância à seleção natural e a relacionar as contribuições da genética, da paleontologia e da sistemática em uma nova teoria, que ficou conhecida como **teoria sintética da evolução**.

Desde a década de 1930 essa teoria vem ganhando força. Novas informações sobre DNA, biologia molecular, ecologia, biologia reprodutiva e muitos outros aspectos têm sido incorporadas à interpretação dos processos evolutivos.

Segundo a síntese evolutiva, os principais fatores que atuam em uma população são **mutação**, **recombinação genética** (permutação), **migração**, **seleção natural** e **deriva genética**.

Vamos analisar esses fatores, com ênfase na seleção natural e na deriva genética, pois os demais já foram mais detalhados anteriormente neste livro.

Mutações

Como já comentamos na unidade 2, as mutações são uma das fontes primárias de variabilidade. As mutações não ocorrem para adaptar o indivíduo ao ambiente: elas ocorrem ao acaso e, por seleção natural, tendem a ser mantidas quando adaptativas (seleção positiva) ou eliminadas em caso contrário (seleção negativa). Há também mutações gênicas que são neutras. Podem ocorrer em células somáticas ou em células germinativas; neste último caso, as mutações são de fundamental importância para a evolução, pois são transmitidas aos descendentes.

Permutações e reprodução sexuada

Esses dois processos aumentam a variabilidade genética nas populações.

Durante a gametogênese, a célula germinativa diploide sofre meiose, produzindo quatro gametas – células haploides que contêm um cromossomo de cada par de homólogos. Como se sabe, os cromossomos segregam-se independentemente, o que possibilita grande número de combinações entre eles, dando origem a vários tipos de gametas. O número de tipos diferentes de gametas produzidos por um indivíduo diploide é dado por 2^n, onde **n** = lote haploide de cromossomos.

Na espécie humana, em que **n** = 23 (23 pares de cromossomos homólogos), o número de gametas diferentes produzidos por um indivíduo é $2^{23} = 8\,388\,608$, número válido tanto para o homem quanto para a mulher. O número de encontros possíveis entre esses gametas na fecundação é $(8\,388\,608)^2$, cujo valor aproximado é de 70 trilhões de zigotos possíveis. Dessa forma, a probabilidade de dois irmãos gerados de zigotos distintos serem iguais é praticamente nula.

Todas as considerações feitas até agora não incluíram a ocorrência de permutação, que é a troca de segmentos entre cromossomos homólogos na meiose (não confundir com translocação, que é a troca de segmentos entre cromossomos **não** homólogos). Assim, a variabilidade genotípica aumenta, pois, pela permutação, podem-se estabelecer novas combinações entre os genes e há aumento também do número de gametas diferentes.

Uma vez formados os gametas, podem ocorrer:

- **fecundação cruzada**: união entre gametas de indivíduos diferentes, mas da mesma espécie;
- **autofecundação**: união entre gametas masculinos e femininos produzidos pelo mesmo indivíduo.

Populações de indivíduos que apresentam fecundação cruzada têm maiores possibilidades de aumentar a variabilidade genética sem adição de genes novos por mutação gênica ou imigração.

O aumento da variabilidade genética é vantajoso, pois aumenta a chance de sobrevivência da população em caso de modificações no meio. Até mesmo em hermafroditas foram selecionados, ao longo de sua evolução, vários mecanismos que dificultam a autofecundação e favorecem a fecundação cruzada, possibilitando, desse modo, aumento na variabilidade. Por recombinação, a variabilidade genética de uma população pode aumentar sem adição de genes novos, produzidos por mutação ou por imigração de indivíduos de outras populações.

Migração

A migração corresponde aos processos de entrada (imigração) ou saída (emigração) de indivíduos de uma população, geralmente associada à busca por melhores condições de vida.

Na imigração, a chegada de novos indivíduos pode introduzir novos genes na população, o que aumenta sua variabilidade genética. Por outro lado, na emigração, com a saída de indivíduos, pode haver redução da variabilidade genética da população.

Populações grandes que estão sofrendo o processo de migração geralmente não apresentam alterações significativas nas frequências de alelos. Já em populações

pequenas, a migração pode alterar significativamente essas frequências.

A migração permite que se estabeleça fluxo gênico entre populações distintas, diminuindo as diferenças genéticas entre elas.

Seleção natural

Já discutimos neste capítulo os princípios gerais da seleção natural e, aqui, vamos apenas acrescentar mais algumas considerações e exemplos. A seleção natural atua sobre os fenótipos, que resultam da interação entre genótipos e meio.

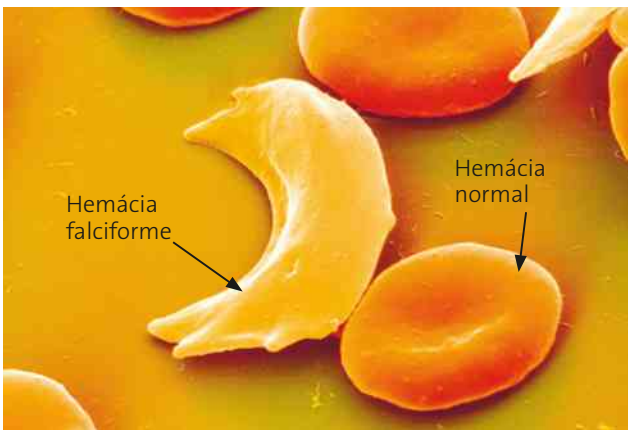
O ambiente não representa um sistema estável, nem ao longo do tempo, nem ao longo do espaço, o que propicia diferentes pressões seletivas na população. Isso evita a eliminação de determinados fenótipos que em um ambiente constante e estável não seriam mantidos. Dessa forma, a variabilidade genética sofre menor redução. Dependendo do ambiente, por exemplo, pode ser que sejam mantidas na população até mesmo características fenotípicas que normalmente seriam eliminadas por serem pouco adaptativas. Um exemplo na espécie humana é a doença chamada **anemia falciforme** ou **siclemia**.

Essa doença é causada por um alelo que condiciona a formação de moléculas anormais de hemoglobina com pouca capacidade de transporte de oxigênio. As hemácias que as contêm adquirem o formato de foice. Por essa razão são chamadas hemácias **falciformes** (Fig. 10.30).

Os indivíduos heterozigóticos apresentam tanto hemácias e hemoglobinas normais como hemácias falciformes. Apesar de ligeiramente anêmicos, sobrevivem, embora com menor viabilidade em relação aos homozigotos normais.

Em condições ambientais normais, a anemia falciforme sofre forte efeito seletivo negativo, ocorrendo com baixa frequência nas populações. Observou-se, no entanto, que em extensas regiões da África, onde há grande incidência de malária, os casos mais brandos dessa anemia são mais frequentes que em outras regiões.

Essa alta frequência deve-se à vantagem adquirida pelos indivíduos heterozigóticos para anemia falciforme, pois essa condição os torna mais resistentes à malária. O parasita que causa essa doença depende das hemácias para completar o ciclo. Nas hemácias falciformes, o parasita não completa o ciclo. Os indivíduos homozigóticos que não possuem anemia falciforme correm alto risco de morte por malária, enquanto os indivíduos homozigóticos para a anomalia têm mais chances de morrer de anemia. Os heterozigóticos, por outro lado, apresentam, sob essas condições ambientais, vantagem adaptativa, propiciando a alta taxa de um alelo letal na população.



SPL/Latinstock

Figura 10.30. Micrografia eletrônica de varredura de hemácias normais (medem cerca de 7 μm de diâmetro) e falciformes. Imagem colorida artificialmente.

Colocando em foco

EXEMPLOS DE SELEÇÃO NATURAL

Resistência a antibióticos ou a inseticidas

A resistência de bactérias a antibióticos e de insetos a inseticidas tem aumentado muito nos últimos anos, havendo sempre a necessidade de se desenvolver novos antibióticos e novos inseticidas.

Tomemos como exemplo a resistência a antibióticos. Para isso, imaginemos inicialmente a existência de bactérias adaptadas a determinada condição ambiental. Se introduzirmos nesse ambiente certa quantidade de antibiótico, haverá grande mortalidade de bactérias, mas algumas, que já apresentavam mutações que lhes conferem resistência a essa substância, sobreviverão. Estas, por sua vez, ao se reproduzirem, originarão indivíduos com características distribuídas em torno de outro tipo médio.

Se esses indivíduos forem submetidos a doses mais altas desse mesmo antibiótico, novamente haverá alta mortalidade e sobreviverão apenas os que já tiverem condições genéticas para resistir a doses mais altas do remédio. Repetindo-se o procedimento, será possível obter populações formadas por um grande número de indivíduos resistentes ao antibiótico em questão, podendo ocorrer um deslocamento da média das características no sentido da maior resistência a determinada substância.

Coloração de advertência e mimetismo

Alguns animais produzem ou acumulam substâncias químicas nocivas e apresentam cores vistosas, característica chamada **coloração de advertência**, sinalizando que eles não devem ser ingeridos. Quando um predador tenta se alimentar de um desses organismos, aprende a não mais comer outro semelhante.

Um exemplo é a borboleta-monarca, que tem coloração laranja e preta, sendo um animal facilmente visível no ambiente. Essa espécie de borboleta produz substâncias que a tornam não palatável aos seus predadores. Eles aprendem a associar o padrão de coloração ao sabor desagradável e evitam capturar essas borboletas. Borboletas com esse padrão, inclusive de outra espécie, têm, portanto, maior chance de sobrevivência e, consequentemente, de deixar descendentes, que herdarão esse fenótipo.

Existem casos de animais e de plantas de sabor agradável (palatáveis) para quem deles se alimenta que se assemelham a outras espécies não palatáveis, o que confunde seus predadores. É o que ocorre com a borboleta-vice-rei, palatável a pássaros, que se assemelha à borboleta-monarca, não palatável. Esses casos são chamados **mimetismo** (Fig. 10.31).

Thinkstock/Getty Images



Fabio Colombini



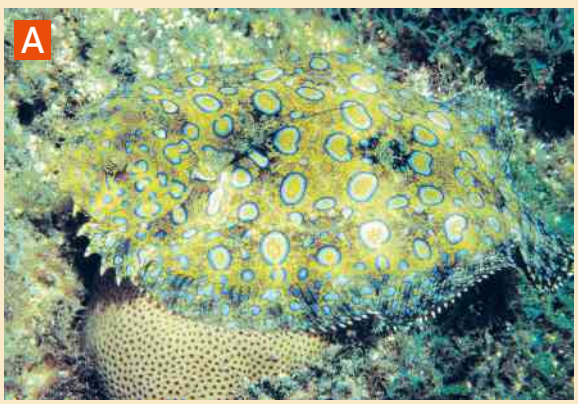
Figura 10.31. Fotografia de borboleta-vice-rei (**A**): exemplo de mimetismo em relação à borboleta-monarca (**B**). Medem cerca de 4 cm de comprimento.

Camuflagem

A ação da seleção natural também é verificada no estabelecimento de características que tornam os organismos semelhantes a outros componentes do ambiente, de modo que passam despercebidos de seus predadores, ou estes de suas presas.

É o caso de certos animais que são menos predados, pois a coloração e/ou a forma do corpo os torna imperceptíveis no meio (Fig. 10.32). Por outro lado, certos predadores também podem apresentar cor semelhante à do meio, de modo que a presa não percebe sua presença e é mais facilmente capturada. Esses casos são chamados **camuflagem**.

Luciano Candisani



Luciano Candisani

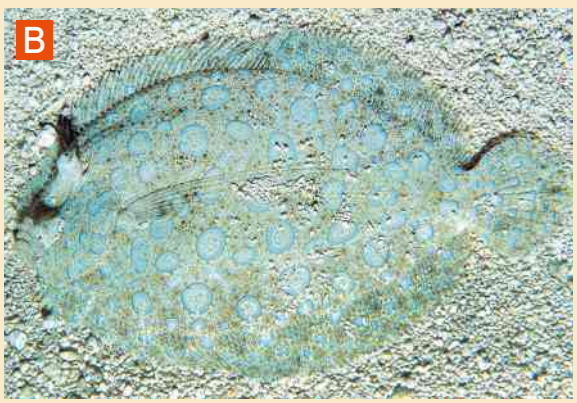


Figura 10.32. Linguado fotografado no Atol das Rocas (RN), a cerca de 3 m de profundidade. Esse peixe possui dois olhos do mesmo lado do corpo, uma adaptação do animal ao hábito bentônico. Ele vive sobre o substrato ou enterrado nele e tem grande capacidade de mudar de cor em função do ambiente. Essas duas fotografias foram tiradas em dois momentos: quando o animal estava sobre rochas recobertas por algas e corais (**A**) e quando passou para o fundo arenoso (**B**). A mudança de cor é rápida e propicia excelente camuflagem, que o deixa praticamente imperceptível. Com isso, esses animais são menos predados, o que aumenta a chance de sobrevivência e reprodução e, consequentemente, a manutenção da habilidade de camuflagem na população. Medem cerca de 40 cm de comprimento.

Deriva genética

A deriva genética corresponde a processos aleatórios que reduzem a variabilidade genética de uma população sem relação com maior ou menor adaptabilidade dos indivíduos. Um exemplo de deriva genética é a modificação da composição genética de uma população em função de queimadas; em decorrência delas, são eliminados aleatoriamente indivíduos da população, e os que ficam não são necessariamente os mais capazes de sobreviver e ter sucesso reprodutivo.

Em populações pequenas, os efeitos da deriva sobre a variabilidade genética são mais evidentes, pois, em algumas gerações, certas variações podem sumir e outras podem aumentar de frequência.

Ao contrário da seleção natural, que é um processo não aleatório de seleção de indivíduos com características vantajosas a uma dada condição ambiental, a deriva genética é um processo totalmente ao acaso.

A redução de uma população inicial a uma ou mais populações pequenas é chamada **efeito gargalo** (*bottleneck*, do inglês), uma forma de deriva genética. A variabilidade genética da ou das populações resultantes desse processo muito provavelmente não será a mesma da população original. Vamos considerar, por exemplo, apenas um par de alelos em uma população inicial grande, os alelos **A** e **a**, e que cada alelo ocorra em igual porcentagem: 50% cada um. Essa população, por algum fator ambiental ao acaso, é dividida em três populações menores, como mostra a figura 10.33. Nessas três populações resultantes, há diferenças nas proporções entre os referidos alelos, mostrando que um evento ao acaso, sem relação com maior ou menor vantagem adaptativa ao meio, afetou a porcentagem relativa entre os alelos em dois dos casos.

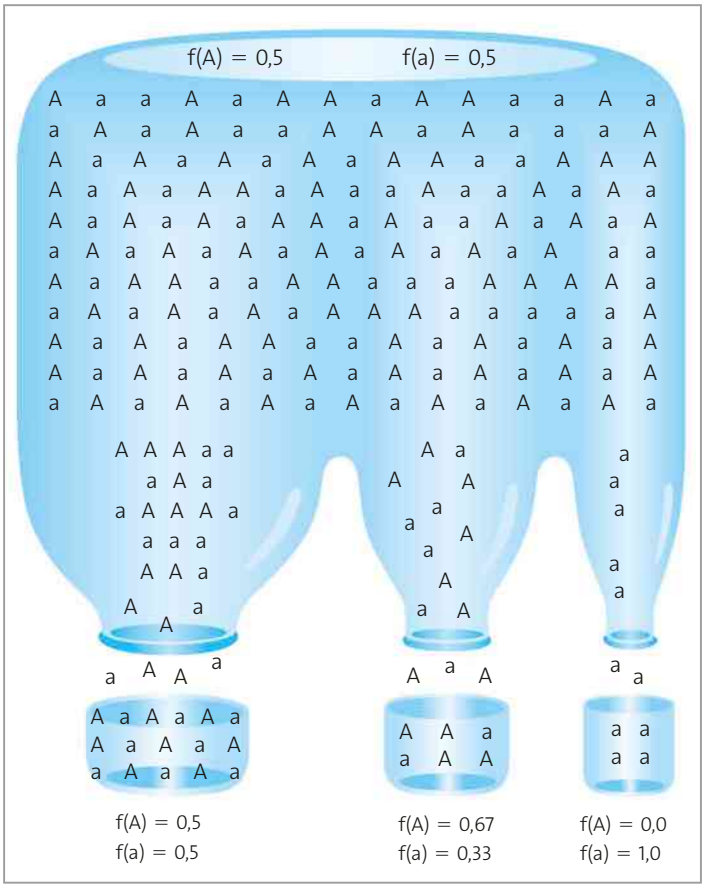


Figura 10.33. Esquema de efeito gargalo.

Outro caso particular de deriva genética é o **princípio do fundador**, que se refere ao estabelecimento de uma nova população formada por poucos indivíduos que emigram de uma população original. Esses indivíduos serão portadores de pequena fração da variabilidade genética da população de origem e/ou de uma amostra não aleatória dos genes da população original. Novos alelos poderão surgir por mutação ou por uma nova onda imigratória. Essa pequena população sofrerá os efeitos da seleção natural, podendo dar origem a uma nova espécie.

O estabelecimento de populações pelo princípio do fundador é uma das maneiras mais comuns de dispersão de espécies animais, além do já citado processo de origem de novas espécies.

Tema para discussão

REGISTRE NO CADERNO

Evolução das baleias

As baleias são cetáceos, mamíferos que passam a vida inteira no mar. Elas derivam de mamíferos ancestrais que viviam em terra e pertencentes ao grupo dos *Artiodactyla*, no qual estão classificados os atuais bovinos. As evidências dessa ancestralidade se pautam em fósseis semelhantes a baleias, mas com pequenas pernas, insuficientes para suportar o peso do animal.

Algumas perguntas que podem ser feitas sobre a evolução das baleias são: Qual pressão seletiva teria fixado mudanças – em seus ancestrais, adaptados à vida na terra – que teriam tornado as baleias capazes de viver no mar? Como isso aconteceu?

A resposta para a primeira pergunta parece estar ligada à busca de alimento, mais abundante no mar. A resposta para a segunda pergunta é mais complexa.

A baleia possui várias modificações ao hábito aquático, como os membros transformados em nadadeiras. Além disso, há o deslocamento das narinas para o topo da cabeça, de modo a ficarem acima da linha d'água quando a baleia emerge; modificação essa que facilita as trocas gasosas sem que o animal, de respiração aérea, tenha que sair da água. Essas narinas contam ainda com um mecanismo que permite mantê-las fechadas quando o animal mergulha. Assim, quando vão à superfície, as baleias abrem as narinas, expiram, inspiram e fecham as narinas novamente, antes de mergulharem.

Essa adaptação, assim como as outras, demorou milhões de anos para ocorrer e envolveu mutações aleatórias e seleção natural. Por conta de mutações, devem ter surgido indivíduos com as narinas mais deslocadas para cima da cabeça. Como essa modificação facilitava a troca gasosa em ambiente aquático, os animais que a apresentavam tinham maior chance de viver e de se reproduzir, passando essa característica aos descendentes. Gerações sucessivas, com mutações adicionais que deixavam as narinas ainda mais deslocadas para o topo da cabeça, foram selecionadas, chegando à posição atual que as narinas ocupam na cabeça das baleias.

Biosphoto/AFP



Fotografia de baleia-jubarte na Península Antártica. Embora o animal pareça jogar água pelas narinas, localizadas no topo da cabeça, na verdade o que ocorre é a condensação da água pelo calor gerado pelo ar que sai dos pulmões. Mede cerca de 15 m de comprimento.

Professor(a), veja nas Orientações didáticas os comentários e as respostas das questões dissertativas.

1. Além dos cetáceos, outros animais aquáticos descendem de ancestrais terrestres que retornaram para o ambiente aquático. Vamos considerar aqui mais dois exemplos: o peixe-boi, um mamífero do grupo dos sirênios, e o jacaré, um réptil do grupo dos crocodilianos. É possível notar que a posição das narinas e a posição dos olhos, acima da linha da água, são adaptações desses animais à vida no ambiente aquático. Nesse caso, podemos falar de convergência ou divergência evolutiva? Justifique sua resposta.

Photo Researchers/Mark Bowler/Diomedia



Fotografia de peixe-boi-da-amazônia (chega a medir 3 m de comprimento).

Fabio Colombini



Fotografia de jacaré-do-pantanal (chega a medir 3 m de comprimento).

Professor(a), veja nas Orientações didáticas os comentários e as respostas das questões dissertativas.

2. Em grupo, façam uma pesquisa sobre as adaptações de baleias (e de outros animais aquáticos com ancestrais terrestres) para a vida no ambiente aquático, com foco nas adaptações relacionadas às trocas gasosas. Troquem ideias e elaborem, sob a orientação do(a) professor(a), uma síntese sobre esse tema. Aproveitem para esclarecer que baleias e outros mamíferos aquáticos não são peixes.
3. Em grupo, elaborem um artigo com o título "Encontrado fóssil de ancestral terrestre das baleias", como se vocês fossem jornalistas escrevendo uma matéria para um jornal voltado para um público leigo. Divulguem esse texto para a comunidade extraescolar, utilizando *sites*, *blogs*, redes sociais ou outros meios.

Retomando

Agora que você conhece melhor um pouco da história das ideias sobre a origem da biodiversidade, assim como a teoria aceita atualmente, retome suas respostas às questões da seção **Pense nisso** e reescreva-as. Qual é a importância do acaso para a evolução? A seleção natural é aleatória?

Ampliando e integrando conhecimentos

REGISTRE NO CADERNO

Atividade 1 Uma carta para Darwin

Habilidades do Enem: H13, H15, H28.

Muitos anos após a morte de Darwin, grande quantidade de evidências corroborou a ideia de evolução por seleção natural. Darwin, no entanto, não conseguiu explicar corretamente como as características eram transmitidas através das gerações. Embora existam evidências de que Darwin teve acesso ao conteúdo do trabalho de Mendel, não o levou em consideração. O trabalho de Mendel só teve sua importância reconhecida quase 20 anos após a morte de Darwin e foi apenas a partir da década de 1920 que se percebeu que o mendelismo fornece bases para a teoria de Darwin.

Escreva uma carta para Charles Darwin explicando a ele como suas ideias sobre seleção natural e evolução têm sido corroboradas pelas investigações atuais da Biologia. Relate o surgimento da teoria sintética da evolução e use as seguintes palavras: **fóssil**, **seleção natural**, **proteína**, **DNA**, **RNA**, **mutação gênica**, **recombinação genética**, **gene**, **alelo**.

Atividade 2 Discutindo afirmações

Habilidades do Enem: H13, H14, H15, H16, H28.

Discuta as afirmações a seguir, tomando por base os conceitos trabalhados neste capítulo:

a) Charles Darwin foi o primeiro cientista a desenvolver a teoria da evolução.

b) Os seres vivos adaptam-se ao ambiente em que vivem.

c) Os biólogos atualmente acreditam na teoria da evolução.

d) Não é possível ver o processo de evolução acontecendo.

e) A ideia de evolução biológica é apoiada em evidências.

f) As modificações evolutivas não são necessariamente "boas" ou "melhores".

Atividade 3 Convergência e divergência evolutiva Habilidades do Enem: H14, H15, H17, H28.

Analise as duas situações a seguir e escreva qual delas se refere a um exemplo de convergência evolutiva e qual se refere a um exemplo de divergência evolutiva, justificando sua resposta.

a) De um grupo ancestral comum podem surgir espécies que, apesar de aparentadas, apresentam diferenças marcantes e, à primeira vista, podem não parecer relacionadas. São exemplos a baleia e o hipopótamo – a baleia evoluiu de um grupo ancestral de mamíferos terrestres e, desse mesmo grupo ancestral, teve origem o hipopótamo, que habita os rios e arredores da savana africana.

b) Existem organismos que não apresentam parentesco evolutivo próximo e se assemelham por viverem em ambientes semelhantes. Um exemplo é o caso da cecília e da cobra-de-duas-cabeças ou anfisbena. A cecília é um anfíbio e, como todo anfíbio, não possui escamas em sua pele; ela tem hábito subterrâneo, não possui patas e apresenta corpo alongado, com dobramentos na sua pele que formam anéis ao longo do corpo. A anfisbena é um réptil também de hábito subterrâneo, corpo alongado e sem membros, porém sua pele é recoberta de escamas pequenas. Os dois animais, devido à grande semelhança, são frequentemente confundidos e ambos são popularmente chamados de "cobra-cega".



Fotografia de cecília: um anfíbio (mede cerca de 30 cm de comprimento).



Fotografia de cobra-de-duas-cabeças: um réptil (mede cerca de 30 cm de comprimento).

Fotografias: Felipe F. Curcio

Atividade 4 Darwin e a Geologia Habilidades do Enem: H3, H16.

Darwin, em sua formação, estudou Geologia e, além da obra de Thomas Malthus sobre o crescimento das populações, a obra do geólogo inglês Charles Lyell chamada *Princípios de Geologia* foi muito importante para os estudos de Darwin. Lyell era contemporâneo de Darwin e defendia as ideias de James Hutton, outro geólogo, sobre a formação do relevo da Terra. Hutton afirmava que o atual relevo resultava da ação contínua de forças, levando à formação lenta de vulcões, cordilheiras, oceanos e vales. Sua teoria se chocava com a teoria até então mais aceita: a de que o relevo havia se formado apenas a partir de grandes catástrofes, como dilúvios ou terremotos. Charles Lyell complementou as ideias de Hutton, selecionando mais evidências de um processo lento e gradual que moldaria a superfície terrestre.

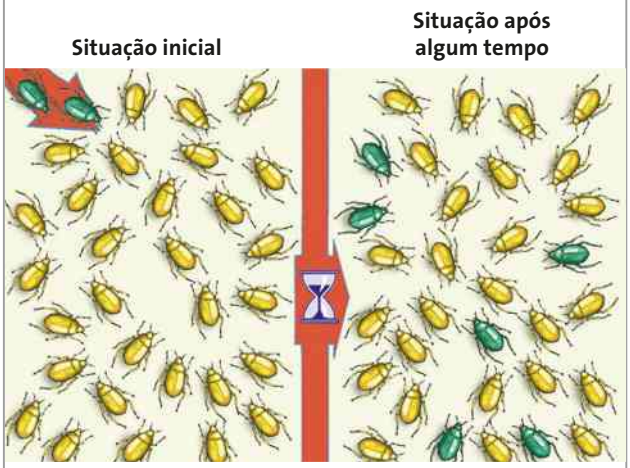
De que forma o livro de Lyell deve ter inspirado o trabalho de Darwin? Justifique sua resposta.

Atividade 5 Migração e seleção natural Habilidades do Enem: H14, H15, H17, H28.

Vamos considerar uma espécie fictícia de besouros que apresenta duas variedades fenotípicas para cor do corpo: a cor verde relaciona-se com o alelo **D**, e a cor dourada, com o alelo **d**. A cor está relacionada, portanto, a um par de alelos (**D**/**d**) com dominância completa.

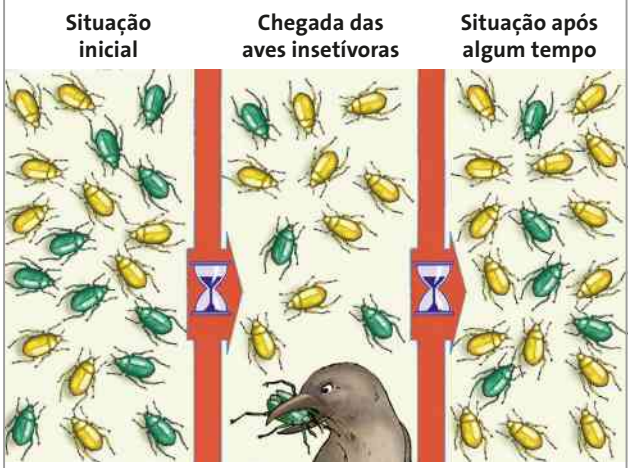
A seguir estão representadas duas situações em que as populações sofreram modificação na frequência de indivíduos verdes e dourados após um período de tempo. Analise cada situação, identificando qual pode ser o principal fator evolutivo que explicaria cada caso (lembre-se de que o exercício é uma simplificação; na natureza, os fatores evolutivos atuam simultaneamente sobre uma mesma população).

Situação A



População inicial de besouros dourados em um bosque, não isolada de outras populações. Dois indivíduos verdes chegam a essa população e, após um período de tempo, 10% dela são compostas de besouros verdes.

Situação B



Ilustrações: Jurandir Ribeiro

População inicial que apresenta besouros dourados e verdes, em proporções semelhantes, na clareira de uma floresta cujo solo era marrom-amarelado. A clareira passou a ser frequentada por pássaros insetívoros. Após um período de tempo, a população de besouros passou a apresentar 75% de indivíduos dourados.

Testes

REGISTRE NO CADERNO

1. (Enem) As cobras estão entre os animais peçonhentos que mais causam acidentes no Brasil, principalmente na área rural. As cascavéis (*Crotalus*), apesar de extremamente venenosas, são cobras que, em relação a outras espécies, causam poucos acidentes a humanos. Isso se deve ao ruído de seu "chocalho", que faz com que suas vítimas percebam sua presença e as evitem. Esses animais só atacam os seres humanos para sua defesa e se alimentam de pequenos roedores e aves. Apesar disso, elas têm sido caçadas continuamente, por serem facilmente detectadas. Ultimamente os cientistas observaram que essas cobras têm ficado mais silenciosas, o que passa a ser um problema, pois, se as pessoas não as percebem, aumentam os riscos de acidentes. A explicação darwinista para o fato de a cascavel estar ficando mais silenciosa é que:

a) a necessidade de não ser descoberta e morta mudou seu comportamento.

b) as alterações no seu código genético surgiram para aperfeiçoá-la.

c) as mutações sucessivas foram acontecendo para que ela pudesse adaptar-se.

X d) as variedades mais silenciosas foram selecionadas positivamente.

e) as variedades sofreram mutações para se adaptarem à presença de seres humanos.

2. (UFMA) Sejam as afirmativas abaixo sobre o processo evolutivo.

I. A existência de fósseis foi um dos fatos que causou dificuldade para a teoria de Darwin na evolução.

II. O fato de seres vivos apresentarem semelhanças morfológicas e no modo de vida pode indicar a ocorrência de convergência adaptativa.

III. A teoria evolutiva afirma que os seres vivos se modificam através dos tempos.

IV. As recentes análises moleculares de espécies diferentes são provas contrárias à teoria evolutiva.

Indique a opção correta.

a) Somente I é verdadeira.

b) Somente III é verdadeira.

c) Apenas III e IV são verdadeiras.

X d) Apenas II e III são verdadeiras.

e) Apenas I e II são verdadeiras.

3. (UFJF-MG) Em relação às evidências da evolução biológica, é correto afirmar que:

a) um órgão vestigial, como o apêndice vermiforme no homem, não é evidência da evolução, porque é uma estrutura atrofiada e sem função aparente.

x b) a pata dianteira de um cavalo e a asa de um morcego constituem evidência da evolução, porque são estruturas homólogas, apesar de o cavalo ter perdido os dedos, enquanto no morcego estes não só foram mantidos como alongados.

c) a asa de uma ave e o élitro (asa dura) de um besouro podem ser considerados como evidência da evolução, porque são estruturas análogas, que possuem origem embriológica diferente.

d) os fósseis constituem uma evidência da evolução, porque mostram que os organismos atuais são mais especializados e mais adaptados que os extintos.

e) a embriogênese é uma evidência da evolução, porque mostra que uma célula-ovo evolui para mórula, blástula, gástrula e embrião, que, finalmente, evolui para o indivíduo adulto.

4. (Unicamp-SP) 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.

x d) a perda de pigmentação e a perda de visão nesses animais são características adaptativas selecionadas pelo ambiente escuro das cavernas.

5. (Fuvest-SP) O conhecimento sobre a origem da variabilidade entre os indivíduos, sobre os mecanismos de herança dessa variabilidade e sobre o comportamento dos genes nas populações foi incorporado à teoria da evolução biológica por seleção natural de Charles Darwin.

Diante disso, considere as seguintes afirmativas:

I. A seleção natural leva ao aumento da frequência populacional das mutações vantajosas num dado ambiente; caso o ambiente mude, essas mesmas mutações podem tornar seus portadores menos adaptados e, assim, diminuir de frequência.

II. A seleção natural é um processo que direciona a adaptação dos indivíduos ao ambiente, atuando sobre a variabilidade populacional gerada de modo casual.

III. A mutação é a causa primária da variabilidade entre os indivíduos, dando origem a material genético novo e ocorrendo sem objetivo adaptativo.

Está correto o que se afirma em:

x a) I, II e III.
b) I e III, apenas.
c) I e II, apenas.
d) I, apenas.
e) III, apenas.

6. (Fuvest-SP) Na irradiação adaptativa, espécies de mesma origem evolutiva se diferenciam de acordo com os ambientes em que vivem, adquirindo características bastante diversas. Já na convergência adaptativa, organismos de origens diferentes, que vivem no mesmo tipo de ambiente há muito tempo, acabam por se parecer.

Observe as seguintes afirmações.

I. Baleias são mamíferos e tubarões são peixes. Ambos apresentam corpo adaptado à natação.

II. Algumas espécies de pássaros que habitam as Ilhas Galápagos provavelmente possuem um ancestral comum. No entanto, apresentam bicos muito distintos, adaptados a certos tipos de alimentos.

III. Muitas plantas que vivem no deserto, independentemente de sua origem, possuem caules carnosos e tecidos que armazenam água.

Irradiação e convergência adaptativas são exemplificadas pelas afirmações acima, conforme indicado em:

		Irradiação	Convergência
	a)	I	II e III
x	b)	II	I e III
	c)	III	I e II
	d)	I e II	III
	e)	I e III	II

CAPÍTULO

11

Genética de populações e especiação

Luciano Candisani



Figura 11.1. A Mata Atlântica, bioma muito fragmentado pela ação humana, é o local em que vivem as quatro espécies de micos-leões. Cada espécie ocupa apenas uma região, ficando, assim, separadas geograficamente. Os poucos micos-leões de cada espécie vivem em pequenos grupos e passam a maior parte do tempo em árvores, como mostra a fotografia acima, dos micos-leões-dourados (*Leontopithecus rosalia*) nos arredores da reserva biológica do Poço das Antas (RJ). A fragmentação do território separa as populações e reduz o número de indivíduos em cada uma delas, levando à homogeneização genética. No caso desses macacos, exemplares de zoológicos do mundo têm sido trazidos para aumentar a variabilidade genética da população e também para recompor o número de indivíduos necessários a uma população viável. O mico-leão-dourado mede até cerca de 60 cm.

Pense nisso

- Por que existe tendência de homogeneização genética dos indivíduos em populações pequenas? Por que essa tendência pode colocar em risco de extinção uma espécie? Por que isso não ocorre em populações grandes?
- Por que é importante que uma população tenha um número viável de indivíduos quando se pensa em sua preservação? O que significa "um número viável"?
- Qual é a importância evolutiva do aumento da variabilidade genética das populações?

1. Introdução

No capítulo anterior vimos que a unidade evolutiva é a população e que existem vários fatores evolutivos responsáveis por alterações nas frequências gênicas da população. Os principais fatores evolutivos considerados pela teoria sintética da evolução são: **mutação**, **permutação**, **migrações**, **seleção natural** e **deriva genética**.

Você verá que a Matemática desempenha papel importante no estudo de Genética de Populações. Vamos aprender a calcular as frequências alélicas e genotípicas das populações e depois analisar uma das maneiras pelas quais ocorre o processo de especiação.

2. Frequências alélicas e frequências genotípicas

A composição genética de uma população pode ser conhecida calculando-se as frequências de alelos e as frequências de genótipos nessa população.

Vamos determinar, como exemplo, a frequência relativa alélica e a genotípica de uma população que apresenta as seguintes características:

Genótipos	Nº de indivíduos
AA	3 600
Aa	6 000
aa	2 400
Total	**12 000**

A frequência dos alelos **A** ou **a** nessa população pode ser calculada do seguinte modo:

$$\text{Frequência de um alelo} = \frac{\text{nº total desse alelo}}{\text{nº total de alelos para aquele loco}}$$

O número total de alelos **A** é calculado assim:

3 600 indivíduos **AA** $\rightarrow$ nº de alelos **A** = 7 200

6 000 indivíduos **Aa** $\rightarrow$ nº de alelos **A** = 6 000

Total de alelos **A** = 13 200

O número total de alelos na população para esse loco (ou *locus*) é 24 000, pois são 12 000 indivíduos diploides, cada um com dois alelos para o loco em questão. A frequência relativa do alelo **A** é dada por:

$$f(A) = \frac{\text{nº total de alelos } \mathbf{A}}{\text{nº total de alelos para esse loco}} = \frac{13\,200}{24\,000} = 0{,}55$$

$f(A) = 55\%$ ou $f(A) = 0{,}55$

Para calcular a frequência de **a**, pode-se proceder do mesmo modo ou então utilizar a fórmula que estabelece a relação entre alelos:

$$f(A) + f(a) = 1$$

$$f(a) = 1 - 0{,}55$$

$$f(a) = 0{,}45$$

$$f(a) = 45\%$$

Nessa população, as frequências dos alelos **A** e **a** são, portanto, respectivamente:

$f(A) = 55\%$
$f(a) = 45\%$

A frequência genotípica nesse caso pode ser calculada do seguinte modo:

$$\text{Frequência genotípica} = \frac{\text{nº de indivíduos com determinado genótipo}}{\text{nº de indivíduos da população}}$$

As frequências dos genótipos **AA**, **Aa** e **aa** nessa população são, respectivamente:

$$\mathbf{AA} = \frac{3\,600}{12\,000} = 0{,}30 \rightarrow (30\%)$$

$$\mathbf{Aa} = \frac{6\,000}{12\,000} = 0{,}50 \rightarrow (50\%)$$

$$\mathbf{aa} = \frac{2\,400}{12\,000} = 0{,}20 \rightarrow (20\%)$$

3. Teorema de Hardy-Weinberg

Formulado em 1908 de forma independente pelos cientistas Godfrey Harold Hardy (1877-1947) e Wilhelm Weinberg (1862-1937), esse teorema pode ser enunciado do seguinte modo:

> Em uma população infinitamente grande, em que os cruzamentos ocorrem ao acaso e sobre a qual não há atuação de fatores evolutivos, as frequências alélicas e genotípicas permanecem constantes ao longo das gerações.

Esse teorema, então, só é válido para populações:

- infinitamente grandes;
- com cruzamentos ao acaso (**panmítica**; do grego: *pâs* = todos; *míksis* = mistura);
- isentas de fatores evolutivos, como mutação, seleção natural, migrações e deriva.

Uma população assim caracterizada encontra-se em equilíbrio genético, isto é, as frequências alélicas e genotípicas se mantêm constantes.

A importância do teorema de Hardy-Weinberg para as populações naturais está no fato de ele estabelecer um modelo para o comportamento dos genes. Desse modo, é possível estimar frequências alélicas e genotípicas ao longo das gerações e compará-las com as obtidas na prática. Se os valores observados são significativamente diferentes dos valores esperados, pode-se concluir que fatores evolutivos estão atuando sobre essa população e que ela está evoluindo. Se os valores não diferirem significativamente, pode-se concluir que a população está em equilíbrio e que, portanto, não está evoluindo.

Para demonstrar esse teorema, vamos supor uma população com as características por ele pressupostas. Nessa população, chamaremos de **p** a frequência de gametas portadores do alelo **A** e de **q** a frequência de gametas portadores do alelo **a**.

Os genótipos possíveis são **AA**, **Aa** e **aa** e as frequências genotípicas em cada geração serão:

- **AA**: a probabilidade de um óvulo portador do alelo **A** ser fecundado por um espermatozoide portador do alelo **A**, ou vice-versa, é:
  $p \times p = p^2$
- **aa**: a probabilidade de um óvulo portador do alelo **a** ser fecundado por um espermatozoide portador do alelo **a**, ou vice-versa, é:
  $q \times q = q^2$
- **Aa**: a probabilidade de um óvulo portador do alelo **A** ser fecundado por um espermatozoide portador do alelo **a** é:
  $p \times q = pq$
- **Aa**: a probabilidade de um óvulo portador do alelo **a** ser fecundado por um espermatozoide portador do alelo **A** é:
  $q \times p = qp$

Essa relação pode ser representada do seguinte modo:

AA	2Aa	aa
↓	↓	↓
p^2	2pq	q^2

Hardy e Weinberg compreenderam que esse resultado nada mais era que o desenvolvimento do binômio $(a + b)$ elevado à segunda potência:

$$(a + b)^2 = a^2 + 2ab + b^2$$

Chamando de **p** e **q** as frequências de cada alelo e sabendo que $p + q = 1$, obtém-se a fórmula que expressa o conjunto de genótipos para um par de alelos:

$p + q = 1$

	p	**q**
p	p^2	pq
q	pq	q^2

$\rightarrow p + q = 1$

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

Como:

$$p + q = 1 \Rightarrow q = 1 - p$$

Essa fórmula pode ser escrita dos seguintes modos:

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

ou

$$p^2 + 2p(1 - p) + (1 - p)^2 = 1$$

Colocando em foco

O TEOREMA DE HARDY-WEINBERG E A FENILCETONÚRIA

A equação de Hardy-Weinberg pode ser usada por geneticistas e médicos para entender características em uma população, por exemplo, estimando a porcentagem de pessoas que possa ter um alelo para alguma doença hereditária, como a fenilcetonúria. Essa doença ocorre em, aproximada-

mente, 1 entre 10 000 pessoas. Ela resulta de uma homizogose de um alelo recessivo que, se não tratada, pode afetar o desenvolvimento neurológico da pessoa.

Para aplicar o teorema de Hardy-Weinberg em um estudo de ocorrência de fenilcetonúria em uma determinada população, é necessário que a população esteja em equilíbrio genético (a população deve ser grande, com cruzamentos ao acaso, sem sofrer mutações e seleção natural e que não haja migrações nem deriva genética).

Se, de fato, essa população estiver em equilíbro genético, a frequência de indivíduos na população nascidos com fenilcetonúria corresponderá ao q^2 (frequência de homozigotos) na equação de Hardy-Weinberg.

Sabendo que existe uma ocorrência de fenilcetonúria por 10 000 nascimentos ($q^2 = 1/10\,000$), então a frequência do alelo recessivo para a fenilcetonúria nessa população é:

$$q^2 = 1/10000 = 0{,}0001$$
$$q = \sqrt{0{,}0001} = 0{,}01$$

A frequência do alelo dominante na população é:

$$p = 1 - q = 1 - 0{,}01 = 0{,}99$$

Portanto, a frequência de indivíduos com alelos heterozigotos para a doença é:

$$2\,pq = 2 \times 0{,}99 \times 0{,}01 = 0{,}0198$$

Ou seja, a frequência de pessoas nessa população em equilíbro genético que não manifestam a fenilcetonúria, mas possuem o alelo e podem passar aos descendentes é de, aproximadamente, 2%.

Se a população estiver em equilíbrio, a frequência se manterá constante ao longo das gerações. Se, no entanto, verificarmos que os valores obtidos na prática são significativamente diferentes dos esperados pela fórmula aplicada com base no teorema de Hardy-Weinberg, a população não se encontra em equilíbrio genético e, portanto, está evoluindo. Para saber se um valor é significativamente diferente do valor esperado, aplica-se um teste estatístico, que não será tratado neste livro.

4. Especiação

A formação de novas espécies é chamada **especiação**. Nas teorias de evolução desde Darwin, em 1859, até 1972, propunha-se basicamente que a especiação fosse um evento lento e gradual que ocorre pelo acúmulo de pequenas mudanças ao longo do tempo, falando-se em **gradualismo**.

Em 1972, dois cientistas estadunidenses, Stephen Jay Gould (1941-2002) e Niles Eldredge (1943-), propuseram a teoria do **equilíbrio pontuado**, uma nova maneira de entender a especiação. Eles se perguntavam por que não conseguiam encontrar no registro fóssil as mudanças graduais nos organismos que sempre se acreditou que ocorressem na evolução. Em vez disso, encontravam súbitas aparições de espécies fósseis (súbitas em termos geológicos, embora fossem lentas na escala de tempo da vida humana), seguidas de longos períodos sem que esses organismos sofressem mudanças.

Os biólogos tradicionalmente atribuíam essas dificuldades em encontrar formas intermediárias ao fato de os registros fósseis serem incompletos e falhos. Jay Gould e Eldredge contestaram essa visão e propuseram que tanto a aparição repentina de várias espécies quanto os longos períodos sem mudanças nos organismos são reais e não decorrentes de falhas nos registros fósseis.

Segundo esses cientistas, há períodos de milhões de anos em que as espécies não sofrem alterações substanciais, mas, de repente, surgem novas espécies que se diversificam rapidamente em escala geológica. Seguindo a esse período de rápida especiação, há outro período de equilíbrio. Isso originaria as pontuações de mudanças rápidas em um cenário de equilíbrio constante, daí o nome da teoria.

A teoria do equilíbrio pontuado, apesar de bem aceita, tem ainda explicações que geram grandes polêmicas nos meios acadêmicos.

Vamos analisar agora alguns dos mecanismos relacionados com a especiação apenas em organismos que apresentam reprodução sexuada.

Podemos distinguir dois tipos principais de processos que podem levar à formação de novas espécies: a especiação alopátrica, ou geográfica, e a especiação simpátrica.

4.1. Especiação alopátrica ou geográfica

Especiação alopátrica (do grego: *allos* = outro; *patrã* = = pátria) ou **especiação geográfica**: ocorre quando uma barreira geográfica separa uma população inicial em duas (Fig. 11.2). As barreiras geográficas podem surgir em decorrência de eventos geológicos como terremotos, formação de montanhas etc.

Conceitograf

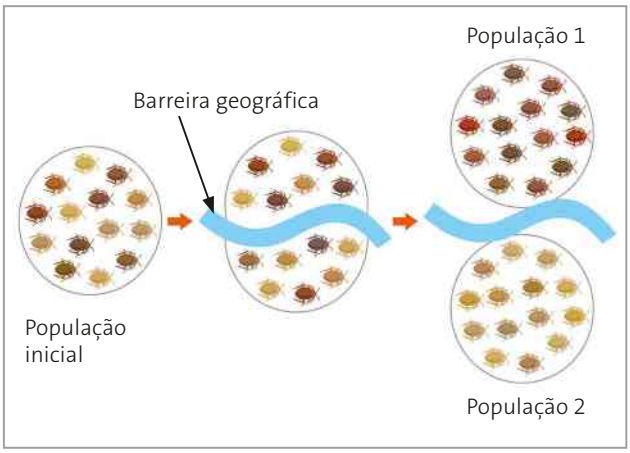


Figura 11.2. Exemplo de especiação em que houve a formação de uma barreira geográfica impedindo o fluxo gênico entre indivíduos de uma mesma população inicial. (Cores fantasia.)

Essas alterações podem determinar o surgimento de faixas de território em que a permanência dos indivíduos da população inicial torna-se impossível, separando essa população em duas ou mais. Quando isso ocorre, essas faixas desfavoráveis são denominadas **barreiras ecológicas** ou **barreiras geográficas**. Quando as barreiras são muito grandes e as áreas de sobrevivência são relativamente muito pequenas, estas recebem o nome de **refúgios**.

As barreiras ecológicas impedem a troca de genes entre os indivíduos das populações por elas separadas. Dessa maneira, novos alelos surgidos em uma das populações não são transmitidos para a outra. Além disso, dificilmente as condições do ambiente nas áreas separadas pela barreira são exatamente as mesmas, o que determina diferentes pressões seletivas.

As populações assim separadas vão acumulando diferenças ao longo do tempo, podendo chegar a se isolar reprodutivamente. Quando isso acontece, considera-se que essas populações pertencem a espécies distintas.

As barreiras ecológicas não são necessariamente permanentes. Em determinado momento essas barreiras podem deixar de existir. Nesse caso, as populações que estavam separadas entrarão novamente em contato.

Dependendo do grau de diferenciação atingido durante o período de separação, podem resultar desse novo contato as seguintes alternativas:

- as diferenças acumuladas foram suficientes para impedir o cruzamento entre os indivíduos das populações por causa do desenvolvimento de mecanismos de isolamento reprodutivo; assim, cada uma das populações é considerada uma **espécie distinta**;
- as diferenças acumuladas não foram suficientes para impedir o cruzamento entre os indivíduos das populações, pois não foram estabelecidos mecanismos de isolamento reprodutivo. Havendo fluxo gênico entre essas populações, elas não são consideradas espécies diferentes.

Pesquisadores brasileiros vêm registrando vários casos de especiação por isolamento geográfico no Brasil. As fotografias a seguir referem-se a duas espécies de lagartos que vivem em margens diferentes do rio São Francisco. Há muitos anos esse rio desaguava em um lago, mas cerca de 12 mil anos atrás esse lago deixou de existir por conta do surgimento de um caminho para o mar. Quando isso ocorreu, uma população de lagartos que vivia na região ficou separada pelo novo curso do rio. Ao longo do tempo, essas populações assim separadas deram origem às atuais espécies: *Tropidurus amathites* (Fig. 11.3), na margem direita do rio, e *Tropidurus divaricatus* (Fig. 11.4), na margem esquerda. Essas espécies apresentam ecologia praticamente idêntica e têm aproximadamente o mesmo tamanho: cerca de 15 cm de comprimento.



Miguel T. U. Rodrigues

Figura 11.3. Fotografia de *Tropidurus amathites*. Mede cerca de 30 cm de comprimento.



Felipe F. Curcio

Figura 11.4. Fotografia de *Tropidurus divaricatus*. Mede cerca de 30 cm de comprimento.

4.2. Especiação simpátrica

A **especiação simpátrica** (do grego: *sym* = junto) ocorre sem haver o isolamento geográfico. Em uma mesma população podem surgir mutações gênicas e modificações no comportamento que podem levar ao isolamento reprodutivo, formando novas espécies (Fig. 11.5).

Conceitograf

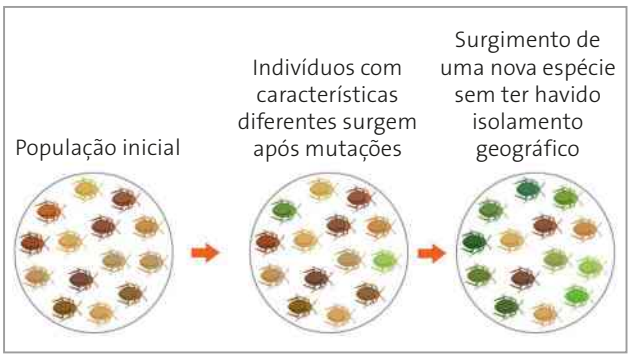


Figura 11.5. Exemplo de especiação simpátrica. Nesta população inicial hipotética, mutações deram origem a indivíduos de cor esverdeada que passaram a ter comportamento seletivo na escolha de parceiros para acasalamento; com o tempo, esses indivíduos formaram uma nova espécie, mesmo sem ter ocorrido isolamento geográfico. (Cores fantasia.)

Muitas espécies de plantas foram originadas por um tipo de mutação ou aberração cromossômica chamada **poliploidia**, que pode ocorrer por autopoliploidia ou alopoliploidia.

A **autopoliploidia** ocorre quando há acréscimo de cromossomos da própria espécie. Isso pode acontecer por meio de mitoses anômalas na primeira divisão do zigoto ou de meiose anômala na formação dos gametas, originando gametas diploides. Estes, se forem fecundados por gametas haploides ou por gametas resultantes de meioses anômalas, portanto diploides, darão origem a indivíduos triploides ou tetraploides, respectivamente.

Os autopoliploides com número ímpar de lotes de cromossomos são geralmente estéreis, por problemas de emparelhamento na meiose, enquanto os autopoliploides com número par em geral são férteis. Os autopoliploides de plantas normalmente apresentam fenótipos mais desenvolvidos que os indivíduos diploides, como ocorre, por exemplo, com os tetraploides da batata, do café e do amendoim, que são maiores que os diploides.

A **alopoliploidia** ocorre pela fecundação entre gametas de espécies diferentes, originando **híbridos** geralmente estéreis por causa de problemas de emparelhamento na meiose. Entretanto, ocasionalmente o zigoto híbrido assim formado pode apresentar uma mitose anômala, em que o número de cromossomos é duplicado sem ocorrer divisão celular. Com isso, cada cromossomo terá um homólogo originado de sua autoduplicação, e o indivíduo formado deixará de ser estéril.

Em 1928, o geneticista russo Georgii Dmitrievich Karpechenko (1899-1941) obteve uma nova espécie de planta pelo cruzamento de rabanete com repolho, buscando obter um híbrido que tivesse raízes de rabanete e folhas de repolho. No entanto, o híbrido obtido apresentava raiz de repolho e folhas de rabanete, além de ser estéril. Já alguns híbridos produziram células reprodutoras sem redução meiótica. A fecundação entre esses gametas originou uma nova espécie, fértil e isolada reprodutivamente, tanto do repolho como do rabanete (observe a figura 11.6, onde estão representados lotes cromossômicos em diversas situações ou estágios).

Osni de Oliveira

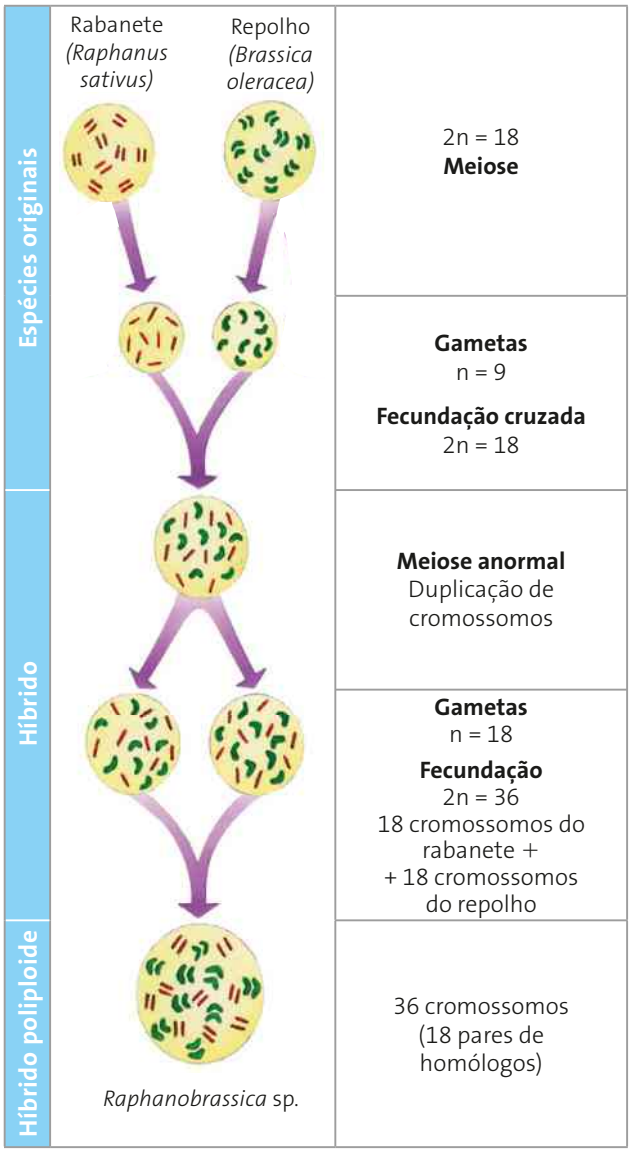


Figura 11.6. Esquema da formação de híbrido poliploide resultante do cruzamento entre rabanete e repolho. (Cores fantasia.)

A poliploidia em animais é rara, no entanto pode ocorrer em anfíbios, em répteis e em indivíduos de espécies com reprodução partenogenética (desenvolvimento do óvulo não fecundado). Nos demais animais, a condição poliploide é altamente desvantajosa, responsável por problemas de esterilidade e por deficiências em órgãos internos.

5. Os mecanismos de isolamento reprodutivo

Populações reprodutivamente isoladas passarão a ter histórias evolutivas próprias e independentes de outras populações. Não havendo troca de genes, todos os fatores evolutivos que atuam sobre populações de uma espécie terão uma resposta própria.

Os mecanismos de isolamento reprodutivo não se referem apenas à esterilidade. Duas espécies podem viver na mesma área geográfica e não se cruzarem por fatores comportamentais, que impedem o fluxo gênico, não havendo relação com a esterilidade.

Um exemplo disso ocorre com duas espécies de patos de água doce, *Anas platyrhynchos* e *Anas acuta*, as quais, apesar de nidificarem lado a lado, não trocam genes, pois respondem a estímulos sensoriais diferentes. A cópula entre machos e fêmeas de uma espécie é desencadeada por certos estímulos sensoriais que não têm efeito sobre os machos e as fêmeas da outra espécie; com isso, é muito raro haver cópula entre os indivíduos dessas espécies. No entanto, se essas duas espécies forem criadas em cativeiro, poderão se reproduzir originando descendentes férteis. Nesse caso, o fator de isolamento reprodutivo não é a esterilidade, mas sim o fator comportamental.

Os mecanismos de isolamento reprodutivo podem ser classificados do seguinte modo:

- **Mecanismos pré-zigóticos**: impedem a fecundação. São eles:
  - **isolamento estacional**: diferenças nas épocas reprodutivas;
  - **isolamento de hábitat ou ecológico**: ocupação diferencial de hábitats;
  - **isolamento etológico**: o termo etológico refere-se a padrões de comportamento, o que é importante no caso dos animais, pois envolve a produção e a recepção de estímulos que levam machos e fêmeas à reprodução. Esses estímulos são típicos para cada espécie. Um exemplo desse tipo de incompatibilidade comportamental levando ao isolamento reprodutivo são os sinais luminosos, emitidos por vaga-lumes machos, cuja variação depende da espécie. A fêmea só responde ao sinal emitido pelo macho de sua própria espécie. Esses sinais variam na frequência, na duração da emissão e na cor (desde branco, azulado, esverdeado, amarelo, laranja até vermelho). Outro exemplo dessa incompatibilidade comportamental ocorre nos sapos: o coaxar dos machos é específico, pois atrai apenas fêmeas de sua espécie;
  - **isolamento mecânico**: diferenças nos órgãos reprodutores, impedindo a cópula;
  - **mortalidade gamética**: fenômenos fisiológicos que impedem a sobrevivência de gametas masculinos de uma espécie no sistema genital feminino de outra espécie.
- **Mecanismos pós-zigóticos**: relacionados ao que ocorre com o zigoto híbrido e o indivíduo que pode vir a ser formado a partir dele. São eles:
  - **mortalidade do zigoto**: se ocorrer fecundação entre gametas de espécies diferentes, o zigoto poderá ser pouco viável, morrendo devido ao desenvolvimento embrionário irregular;
  - **inviabilidade do híbrido**: indivíduos resultantes do cruzamento entre seres de duas espécies são chamados híbridos interespecíficos. Embora possam ser férteis, são inviáveis por serem menos eficientes na obtenção de recursos e no sucesso reprodutivo;
  - **esterilidade do híbrido**: a esterilidade do híbrido pode ocorrer pela presença de gônadas anormais ou problemas decorrentes de meiose anômala. Esse é o caso da mula (fêmea) ou burro (macho) (Fig. 11.7), híbridos estéreis resultantes do cruzamento entre o jumento (*Equus asinus*, também chamado asno ou jegue) e a égua (*Equus caballus*). Quando ocorre o cruzamento entre o cavalo e a jumenta, nasce o híbrido estéril bardoto (macho) ou bardota (fêmea). Embora a maioria dos híbridos seja estéril, há registros raros de mulas e burros férteis.

Casos de tartarugas híbridas e férteis têm sido registrados desde 2006 no litoral nordeste do Brasil, em uma frequência mais alta do que em qualquer outro local do mundo (cerca de 40% das fêmeas que desovam nas praias). O cruzamento está ocorrendo entre as espécies *Caretta caretta* (tartaruga-cabeçuda) e *Lepidochelys olivacea* (tartaruga-oliva), e parece estar restrito ao litoral norte da Bahia e, em menor escala, ao sul de Sergipe. A causa da hibridação parece ser a redução das populações de adultos. Com isso, o cruzamento entre espécies distintas que copulam na mesma área pode ocorrer.



Jupiter Unlimited/Image Plus



BSIP/Diomedia



Maurício Simonetti/Pulsar Imagens

Figura 11.7. O cruzamento entre um jumento (**A**: *Equus asinus*, mede cerca de 1,5 m de altura) e uma égua (**B**: *Equus caballus*, mede cerca de 1,8 m de altura) resulta em um burro ou uma mula (**C**, mede cerca de 1,6 m de altura), um híbrido geralmente estéril.

Professor(a), veja nas Orientações didáticas a sugestão de atividade extra sobre cruzamento entre espécies distintas.

Tema para discussão

REGISTRE NO CADERNO

A jararaca da ilha da Queimada Grande

A ilha da Queimada Grande está situada a cerca de 30 km da costa sul de São Paulo, nas vizinhanças de Itanhaém e Peruíbe. A maior parte dos seus 430 mil m² é coberta pela Mata Atlântica, mas há gramíneas em algumas áreas alteradas pelo homem. No passado, havia moradores na ilha para manter funcionando um farol de sinalização marítima, mas o farol atual é automático.

[...]

A origem da jararaca-ilhoa

No continente, a espécie mais aparentada à jararaca-ilhoa é a jararaca comum, *Bothrops jararaca*, habitante da Mata Atlântica. [...]

Um modelo para explicar a diferenciação entre a jararaca-ilhoa e a do continente é a especiação alopátrica. Segundo esse modelo, duas populações separadas por alguma barreira geográfica podem sofrer diferenciação ao longo do tempo, tornando-se espécies distintas. Um cenário desse tipo pode ter dado origem à jararaca-ilhoa. O nível do mar sofreu oscilações no período Quaternário, criando em vários momentos passagens secas entre a ilha e o continente. Possivelmente, em um desses momentos havia apenas uma espécie ancestral de jararaca. Com a elevação do nível do mar, uma população teria ficado isolada na ilha, diferenciando-se da jararaca-ilhoa, e a população restante teria originado a espécie do continente. [...]

Estudos sobre a variação do nível do mar indicam que o último contato da ilha com o continente ocorreu há cerca de 11 mil anos. [...]

É consenso que certas características da jararaca-ilhoa, como seu veneno e seus hábitos, teriam surgido como resposta adaptativa às condições ambientais da ilha. [...]

Os hábitos diferentes da espécie

A ilha da Queimada Grande apresenta uma das maiores densidades populacionais de serpentes conhecidas no mundo. Não há estimativas precisas da população total de jararacas-ilhoas, mas alguns cálculos indicam um número entre 2 mil e 4 mil. A densidade da espécie na ilha é tão grande que em apenas um dia é possível encontrar até 60 dessas serpentes. No continente, em contraste, estudos realizados na Mata Atlântica nos últimos 15 anos encontraram no máximo três jararacas comuns por dia. A superpopulação de jararacas-ilhoas na ilha da Queimada Grande pode decorrer da quase ausência de predadores de serpentes e da grande disponibilidade de alimento.

Em várias espécies de jararacas do continente, incluindo a comum (*B. jararaca*), os indivíduos jovens têm hábitos arborícolas, mas os adultos são quase exclusivamente terrestres. Já os adultos da jararaca-ilhoa são com frequência encontrados sobre árvores e arbustos, mas também utilizam o chão da mata. [...] A jararaca-ilhoa é diurna. [...] Ao contrário da maioria das jararacas do continente, cujos adultos se alimentam principalmente de roedores, a dieta de adultos da jararaca-ilhoa é baseada em pássaros.

[...]

Além da mudança parcial do chão para as árvores, outra característica da jararaca-ilhoa parece decorrer da especialização alimentar: a ação do veneno, cinco vezes mais potente para matar uma ave que o da jararaca comum. [...] Ao picar um roedor, a jararaca comum solta-o de imediato,

pois uma mordida do animal poderia feri-la gravemente. Depois, ela acompanha a trilha de cheiro até achar a presa, já imobilizada pelo veneno. A jararaca-ilhoa, ao contrário, retém na boca a ave capturada até o veneno matá-la. Se fosse solta, a ave voaria até que o veneno fizesse efeito e, assim, não deixaria trilha de cheiro no chão. [...]

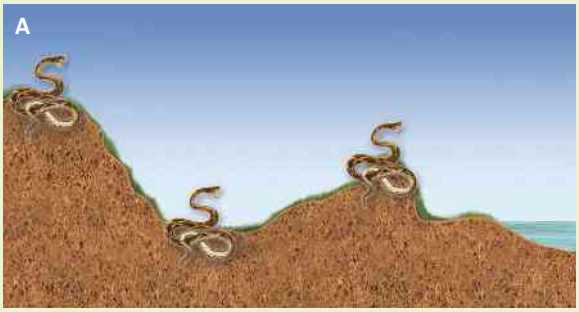
[...] Embora sua densidade populacional seja grande, um incêndio que atingisse a ilha inteira poderia eliminar todos os indivíduos. [...] A jararaca-ilhoa também faz parte das listas oficiais de espécies da fauna ameaçada de extinção do estado de São Paulo e do Brasil.

MARQUES, O. A. V.; MARTINS, M.; SAZIMA, I. A jararaca da ilha da Queimada Grande. *Ciência Hoje*, 31, 186, 2002.

O texto trata da origem da jararaca-ilhoa por especiação alopátrica, que é uma das formas comuns de especiação.

Conforme estudamos anteriormente, há outros tipos de especiação, como a simpátrica, em que dois grupos de indivíduos de uma mesma população divergem dentro da mesma área geográfica. Um exemplo desse tipo de especiação ocorreu com rãs que vivem nos Estados Unidos da América.

Comum nas plantas, mas rara nos animais, a poliploidia apresenta maiores taxas de ocorrência nos anfíbios em relação a outros vertebrados. A espécie tetraploide *Hyla versicolor* (2n = 48) resultou de mutações por poliploidia em populações de rã-cinzenta-americana, *Hyla shrysocelis* (2n = 24). Os indivíduos dessas duas espécies apenas se distinguem, no campo, pelas vocalizações e, no laboratório, pelos cariótipos.



Estúdio Caparroz

Espécie ancestral com ampla distribuição. (Cores fantasia.)



Elevação do nível do mar, que funciona como uma barreira, isolando as duas populações. (Cores fantasia.)



Ao longo do tempo ocorrem diferenciações da espécie ancestral nos dois ambientes, originando duas espécies distintas. (Cores fantasia.)

Professor(a), veja nas Orientações didáticas os comentários e as respostas das questões dissertativas.

1. Com base nas informações apresentadas no texto e no capítulo, elaborem, em grupo, uma apresentação para explicar de forma comparativa a especiação alopátrica e a simpátrica. Vocês podem usar cartazes, apresentação de *slides*, *blogs* ou outros meios.
2. Ao contrário das suas parentes no continente, as jararacas-ilhoa são arborícolas e têm hábitos diurnos. Discuta com os colegas e procure elaborar uma explicação para essa diferença.

Retomando

Como você viu, a Matemática é extremamente importante para conciliarmos nossos conhecimentos de Genética e Evolução. Agora que você conhece um pouco mais esse assunto, retome suas respostas às questões da seção **Pense nisso** e reescreva-as. Quais são as dificuldades de se aplicar o teorema de Hardy-Weinberg? Quais são os fatores evolutivos considerados na teoria sintética da evolução?

Ampliando e integrando conhecimentos

REGISTRE NO CADERNO

Professor(a), veja nas Orientações didáticas os comentários e as respostas das questões dissertativas.

Atividade 1 **Calculando frequências alélicas e genotípicas** Habilidades do Enem: H13, H15, H17.

a) Considere que em uma pequena população foram observados os seguintes genótipos:

Genótipo	Número
AA	40
Aa	45
aa	50

- Calcule as frequências genotípicas e alélicas nessa população.
- Calcule a proporção de indivíduos heterozigóticos esperada na próxima geração. A população está em equilíbrio genético?

b) Uma das formas de daltonismo em humanos está associada a um alelo recessivo ligado ao sexo, sendo muito mais frequente em homens do que em mulheres. Supondo que em uma determinada população 10% dos homens sejam daltônicos, responda:

- Considerando que os casamentos ocorram ao acaso, qual é a frequência do alelo X^d nessa população? Indique seus cálculos.
- Qual seria a proporção esperada de mulheres daltônicas nessa população? Indique seus cálculos.
- Qual seria a proporção esperada de mulheres com visão normal para cores que podem gerar filhos daltônicos nessa população? Indique seus cálculos.

Testes

REGISTRE NO CADERNO

1. (Enem) Não é de hoje que o homem cria, artificialmente, variedade de peixes por meio da hibridação. Esta é uma técnica muito usada pelos cientistas e pelos piscicultores porque os híbridos resultantes, em geral, apresentam maior valor comercial do que a média de ambas as espécies parentais, além de reduzir a sobrepesca no ambiente natural.

Terra da Gente, ano 4, n. 47, mar. 2008 (adaptado).

Sem controle, esses animais podem invadir rios e lagos naturais, se reproduzir e:

a) originar uma nova espécie poliploide.
X b) substituir geneticamente a espécie natural.
c) ocupar o primeiro nível trófico no hábitat aquático.
d) impedir a integração biológica entre as espécies parentais.
e) produzir descendentes com o código genético modificado.

2. (UFGO) Os fatos biológicos a seguir se referem ao processo de formação de novas espécies (especiação):

I. Para que ocorra a especiação é necessário que grupos de indivíduos pertencentes à mesma população original separem-se e deixem de se cruzar.

II. Mutações ao acaso do material genético, ao longo do tempo, promovem o aumento da variabilidade, permitem a continuidade da atuação da seleção natural e o consequente aparecimento de novas espécies.

III. Barreiras mecânicas, diferenças comportamentais no processo de acasalamento, amadurecimento sexual em épocas diferentes, inviabilidade e/ou esterilidade do híbrido ou da geração F_2 são mecanismos que levam ao isolamento reprodutivo e, consequentemente, à formação de novas espécies.

Está correto o que se afirma em:

a) I, apenas.
b) II, apenas.
c) I e II, apenas.
d) II e III, apenas.
X e) I, II e III.

3. (UFPI) Imagine a seguinte situação: pesquisadores descobriram uma população de aves marinhas isolada numa ilha, estimada em 1 000 indivíduos, e perceberam que 360 eram homozigotos AA, 480 heterozigotos Aa e 160 homozigotos aa. Também concluíram que todos os tipos possíveis de cruzamento estavam ocorrendo, embora fatores evolutivos como mutação ou seleção não tenham sido registrados. Mediante essas informações, indique a alternativa correta.

a) O total de alelos nessa população é igual a 20 000.
b) A frequência de indivíduos AA é igual a 0,4 ou 40%.
x c) A população encontra-se em equilíbrio gênico, seguindo o princípio de Hardy-Weinberg.
d) A frequência de indivíduos aa é também igual a 0,4 ou 40%.
e) A frequência de indivíduos Aa é igual a 0,24 ou 24%.

4. (UFMA) Em zoológicos já foi possível obter descendentes férteis de algumas espécies que, na natureza, não se cruzariam, por exemplo, leão e tigre. Em relação a esse caso, ou seja, do tigre e do leão, qual o mecanismo de isolamento reprodutivo que impede que espécies se cruzem na natureza?

a) Isolamento por esterilidade do híbrido.
b) Isolamento morfológico.
x c) Isolamento por hábitat.
d) Isolamento por inviabilidade gamética.
e) Isolamento cromossômico.

5. (UFMS) Nas populações africanas que vivem em áreas hiperendêmicas do *Plasmodium falciparum*, que provoca um tipo de malária muitas vezes fatal, o gene para hemoglobina **S** pode atingir frequências muito altas.

Nessas condições ambientais, apesar de os homozigotos Hb^S Hb^S exibirem uma forma de anemia muito grave (anemia falciforme) e frequentemente letal, os indivíduos heterozigotos Hb^A Hb^S (com traço siclêmico ou falcêmico) têm taxa de sobrevivência maior que os indivíduos normais (Hb^A Hb^A), que são muito mais suscetíveis à doença causada pelo plasmódio.

Levando em conta essas informações, indique a(s) alternativa(s) correta(s).

x (01) Se um determinado gene mutante conferir aos seus portadores valor adaptativo maior que seus alelos mais antigos, a sua frequência tende a aumentar na população.
(02) Ainda que o valor adaptativo de um determinado genótipo dependa do efeito seletivo exercido pelo ambiente, nas regiões onde a malária está ausente, como na América do Norte, a vantagem adaptativa do heterozigoto não se perde.
x (04) Se as populações africanas onde os alelos Hb^S estão presentes não fossem mais expostas à malária, seria esperado um declínio na frequência desses alelos, embora às custas funestas da morte de crianças homozigotas afetadas.
x (08) O desenvolvimento de um medicamento acessível a todos os indivíduos, que torne inócua a hemoglobina **S**, poderá eliminar a vantagem seletiva do gene Hb^A em relação a Hb^S, em uma área livre de malária, possibilitando que os dois alelos sejam encontrados nas populações.
x (16) Com o desenvolvimento qualitativo dos métodos de tratamento das doenças humanas, numerosos defeitos genéticos que provocavam morte precoce ou limitavam as possibilidades matrimoniais dos indivíduos puderam ser corrigidos.
x (32) Se aceitarmos que a permanência de um mutante, em uma determinada população, depende da intensidade de seleção à qual ele está sujeito, sua persistência média, isto é, o número médio de gerações que permanecerá na população será diretamente proporcional ao seu coeficiente seletivo.

Dê como resposta a soma dos valores das proposições corretas. Resposta: 61 (01+04+08+16+32)

6. (Ufes) Um par de genes determina resistência a um fungo que ataca a cana-de-açúcar e os indivíduos suscetíveis (aa) apresentam frequência de 0,25. Em uma população que está em equilíbrio de Hardy-Weinberg, a frequência de heterozigotos será:

a) 15%. x c) 50%. e) 100%.
b) 25%. d) 75%.

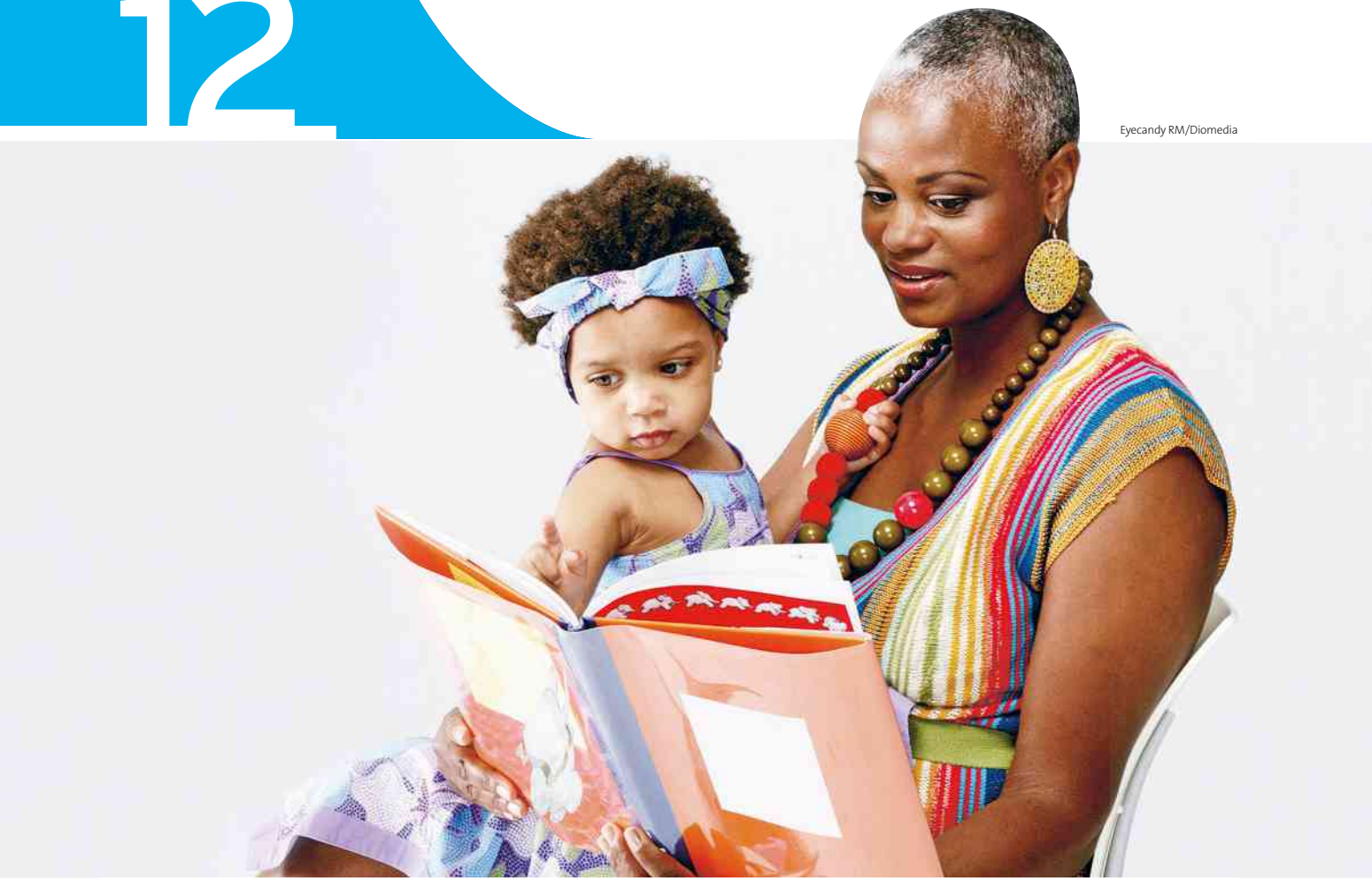
7. (UFPE) G. H. Hardy e W. Weinberg postularam que, em uma população, sob condições especiais, as frequências dos alelos, e de cada genótipo, permanecem constantes, geração após geração. Para que isso ocorra, segundo os referidos autores, é necessário que:

V (▨) não haja pressão de seleção natural, uma vez que esta tende a selecionar determinados alelos em detrimento de outros, que podem desaparecer.
V (▨) não ocorram fluxos migratórios, os quais acarretam troca de alelos entre populações diferentes.
V (▨) os cruzamentos, nas populações, ocorram ao acaso; ou seja, as populações sejam panmíticas.
F (▨) os novos alelos, que surjam por mutação, se incorporem rapidamente ao estoque gênico.
F (▨) nas populações demasiado pequenas, os cruzamentos sejam ao acaso, a partir de seu estabelecimento.

CAPÍTULO

12

Evolução humana



Eyecandy RM/Diomedia

Figura 12.1. A essência da cultura humana é a propagação do conhecimento acumulado ao longo das gerações, como simboliza esta fotografia. Ao pensarmos no processo de evolução que deu origem à nossa espécie, é importante lembrar uma frase de Charles Darwin: "as espécies que sobrevivem não são as mais fortes ou mais inteligentes, e sim as que se adaptam melhor às mudanças".

Pense nisso

- A fotografia acima simboliza um dos aspectos da cultura do ser humano: a transmissão do conhecimento. De que modo a imagem mostra essa transmissão? Qual(is) outra(s) forma(s) de transmissão do conhecimento você poderia citar?
- A transmissão do conhecimento foi um dos fatores que levou o ser humano a acumular informações que propiciaram aprimorar suas ferramentas, moradias, técnicas de obtenção de alimentos etc. No entanto, com esse aprimoramento, alguns problemas são criados. Em sua opinião, quais podem ser esses problemas? Como solucioná-los?
- De que modo podemos obter informações a respeito da origem da espécie humana?
- Provavelmente, você já ouviu falar que a espécie humana veio do macaco. Qual é sua opinião a respeito dessa afirmação?

1. Introdução

Ao classificarmos os seres vivos, estamos procurando conhecer sua **história evolutiva**. Isso não é diferente para a espécie humana.

A espécie humana pertence ao grupo dos vertebrados, classe dos mamíferos. Os vários grupos de mamíferos evoluíram em linhagens diferentes, originando várias ordens. A linhagem evolutiva que deu origem ao ser humano apareceu há cerca de 15 milhões de anos, quando surgiram certas características em alguns mamíferos permitindo-lhes subir em árvores. Esses mamíferos são classificados no grupo dos primatas e apresentam as seguintes características:

- polegar disposto em ângulo de 90° em relação aos demais dedos, permitindo a esses animais segurarem objetos e agarrarem-se firmemente aos galhos das árvores;
- grande mobilidade dos membros posteriores e anteriores em relação ao tronco, conferindo ampla variedade de movimentos, o que possibilitou aos primatas pular de galho em galho (Fig. 12.2);
- visão tridimensional, que lhes proporcionou a noção de profundidade, fundamental para a vida nas árvores, pois um erro de percepção pode provocar uma queda e até mesmo a morte;
- comportamento social com intenso cuidado com a prole, principalmente nos seus primeiros anos de vida.

André Seale/Pulsar Imagens



Figura 12.2. Fotografia de muriqui-do-norte. Observe a firmeza com que se seguram nos galhos e a mobilidade dos membros anteriores e posteriores. Medem cerca de 80 cm de comprimento, da cabeça à ponta da cauda.

A complexidade do comportamento social que surgiu no grupo dos primatas foi um importante fator em sua evolução, pois se relaciona com o desenvolvimento do encéfalo.

Os primatas podem ser classificados em dois grandes grupos:

- **Prossímios**: geralmente de pequeno porte, com hábito noturno. Há duas linhagens principais:
  - **lemuriformes**: representados pelos lêmures (Fig. 12.3), que vivem nas ilhas de Madagascar e Comores, e pelos lorises, que habitam certas regiões da África e da Ásia.
  - **tarsiformes**: representados pelos társios (Fig. 12.4).
- **Antropoides**: representados pelos macacos e pelos seres humanos. São os primatas com encéfalo mais desenvolvido. Entre os antropoides atuais, diferenciam-se três linhas evolutivas:
  - **macacos do Novo Mundo**: representados por saguis, micos e macacos-prego;
  - **macacos do Velho Mundo**: representados pelos babuínos, macacos *Rhesus* e mandris;

Thinkstock/Getty Images



Figura 12.3. Fotografia de lêmure. Típicos da ilha de Madagascar, os lêmures são ágeis saltadores e, em geral, onívoros. Medem cerca de 40 cm de comprimento, sem considerar a cauda.

Thinkstock/Getty Images



Figura 12.4. Fotografia de társio. Vive em Sumatra, Bornéu, Célebes e nas Filipinas. É um animal de hábitos noturnos e alimenta-se principalmente de insetos. Mede cerca de 35 cm de comprimento, sem considerar a cauda.

— **hominoides**, representados pelo gibão (Fig. 12.5), gorila (Fig. 12.6), chimpanzé, orangotango e pelo ser humano.



Keren Su/Corbis/Latinstock

Figura 12.5. Fotografia de gibão. Os gibões vivem nas florestas do sudeste da Ásia e são muito mais ágeis nas árvores do que no solo. Medem entre 45 cm e 90 cm.



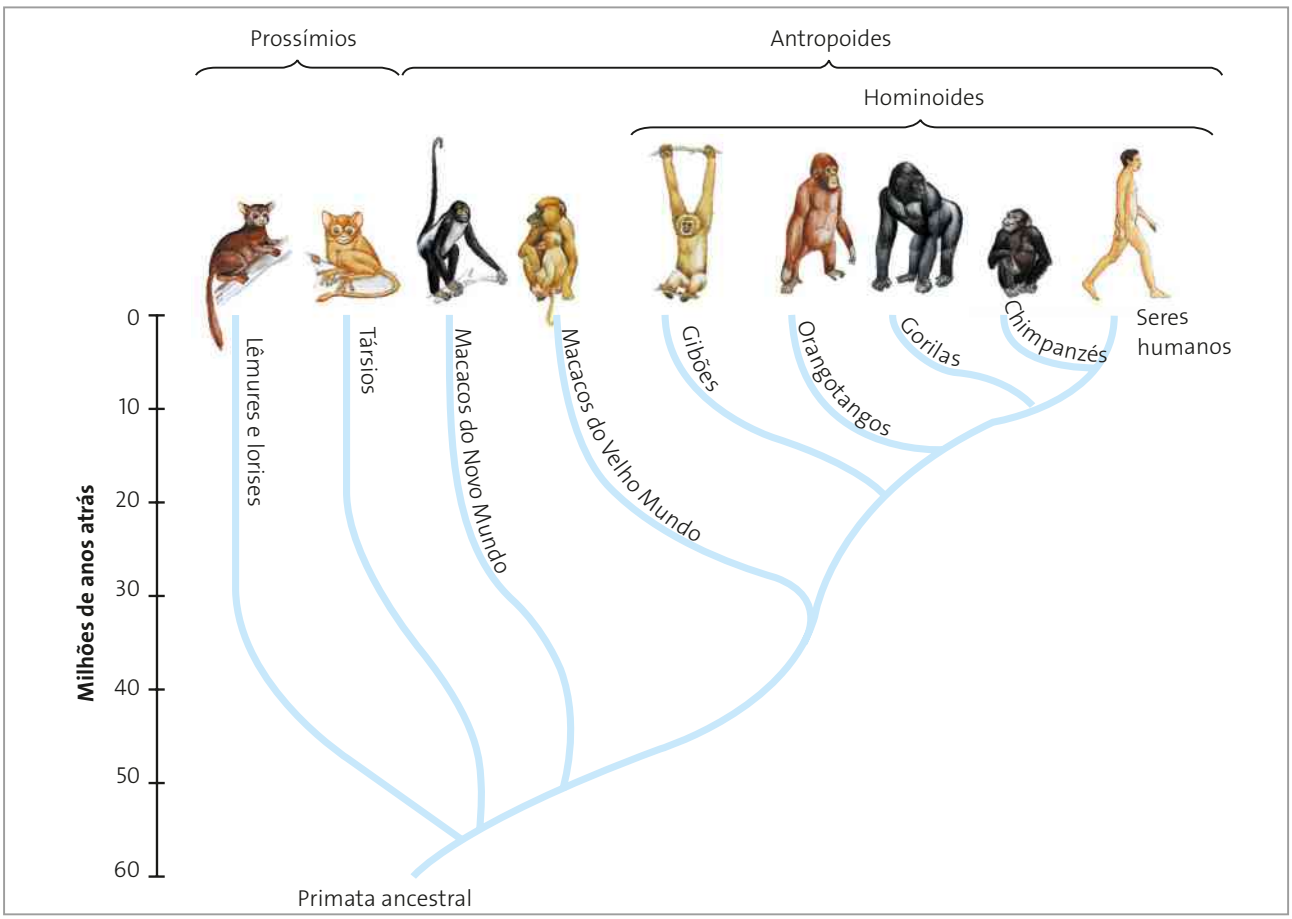
Thinkstock/Getty Images

Figura 12.6. Fotografia de gorilas. Os gorilas vivem na África Central. O adulto pode ter cerca de 180 kg.

O cladograma representado na figura 12.7 resume a hipótese mais aceita de relações filogenéticas entre os primatas atuais.

Essa hipótese propõe que os ancestrais dos humanos diferenciaram-se dos que deram origem aos chimpanzés há cerca de 7 milhões de anos. Essa filogenia baseia-se em um vasto conjunto de evidências, entre elas dados moleculares. Chimpanzés e seres humanos, por exemplo, apresentam 98,5% de semelhança genética.

Vamos analisar, então, a evolução do ser humano a partir do momento em que essa diferenciação começou a ocorrer.



Osni de Oliveira

Figura 12.7. Cladograma simplificado mostrando as relações evolutivas entre os primatas. (Elementos representados em diferentes escalas; cores fantasia.)

2. A linhagem da espécie humana

Os primeiros representantes da linhagem da espécie humana foram primatas que começaram a apresentar a **postura ereta**, deslocando-se apenas com os membros posteriores (bípedes), e apoiados sobre os pés. Os membros anteriores e as mãos ficaram livres, o que propiciou a execução de outras funções, não mais relacionadas ao deslocamento. Além disso, os membros inferiores tornaram-se proporcionalmente mais longos que os superiores (Fig. 12.8).

Osni de Oliveira

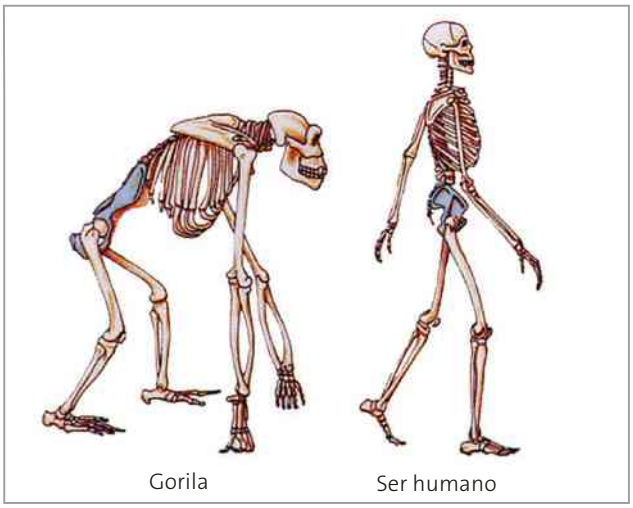


Figura 12.8. Esquema comparando os esqueletos do gorila e do ser humano, em vista lateral. Observe as adaptações do esqueleto humano à postura ereta ou bípede. (Elementos representados na mesma escala; cores fantasia.)

Outra característica dessa linhagem foi o aumento da **massa encefálica**, acompanhado do aumento de volume do crânio. A face do ser humano é mais achatada que a dos demais antropoides, e os tipos de dente e sua disposição também são diferentes: nos humanos os dentes se dispõem em **U** e os caninos são reduzidos; enquanto nos demais antropoides os dentes se dispõem formando um retângulo e os caninos são bem desenvolvidos. As alterações na dentição permitiram que a linhagem da espécie humana explorasse maior variedade de alimentos (Fig. 12.9).

Estudos mostraram que os primeiros ancestrais da espécie humana surgiram na África entre 7 e 6 milhões de anos atrás. Esse dado pauta-se no fóssil encontrado no Chade e denominado *Sahelanthropus tchadensis*. O próximo fóssil mais antigo foi encontrado no Quênia e data de 6 a 5 milhões de anos atrás e foi denominado *Orrorin tugenensis*. Outro fóssil, o *Ardipithecus ramidus*, foi encontrado na Etiópia e data de 5,6 a 4,3 milhões de anos atrás. Esses fósseis destituíram a espécie *Australopithecus afarensis* até então considerada a ancestral mais antiga dessa linhagem.

	Humanos	Gorilas
Crânio		
Encéfalo		
Arcada dentária	 Canino. Arcada dentária em forma de **U**	 Canino. Arcada dentária retangular

Osni de Oliveira

Fonte: PITMAN, S. D. *Early man*. Disponível em: <http://www.naturalselection.0catch.com/Files/Early%20Man.html>. Acesso em: maio 2016.

Figura 12.9. Tabela comparativa das características de humanos e de gorilas: crânio, volume do encéfalo e arcada dentária. (Elementos representados em diferentes escalas; Cores fantasia.)

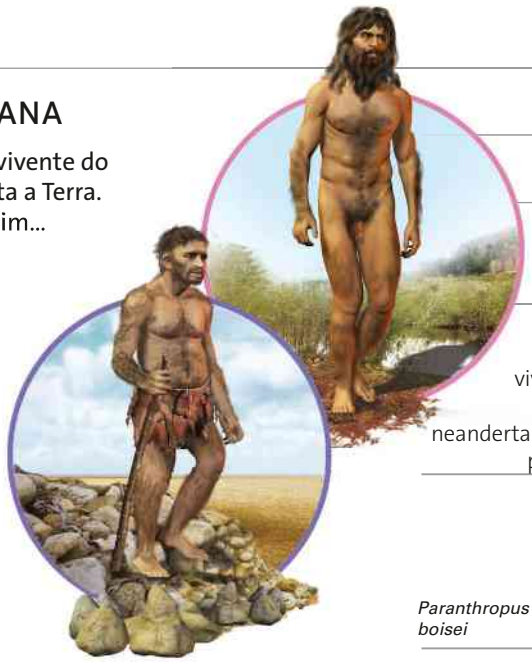
Existem poucas informações a respeito desses ancestrais mais antigos, mas sobre a espécie fóssil *Australopithecus afarensis* há maior quantidade de dados. Fósseis dessa espécie foram encontrados em muitas localidades do leste da África e datados entre 3,9 e 2,9 milhões de anos atrás. Os indivíduos tinham baixa estatura; os machos mediam cerca de 1,50 m e as fêmeas, 1,10 m. Tinham entre 30 e 45 kg e o crânio apresentava pequeno volume (cerca de 380 cm^3 a 450 cm^3, não muito maior do que o de um chimpanzé, cujo volume varia de 300 cm^3 a 400 cm^3). Supõe-se que essa espécie se alimentava basicamente de frutos e folhas. O fóssil mais famoso e completo dessa espécie recebeu o nome popular de Lucy e foi encontrado na África.

Se pudéssemos voltar à África na época entre 3 e 2 milhões de anos atrás, encontraríamos várias espécies da linhagem dos humanos provavelmente dividindo o mesmo hábitat. Essas espécies podem ser classificadas em dois grupos: o dos **australopitecíneos**, com cérebro pequeno, pré-molares e molares grandes e bipedalismo facultativo, e o do gênero ***Homo***, cujos representantes possuíam cérebro maior, dentes pré-molares e molares menores e bipedalismo preferencial. Algumas espécies de australopitecíneos coexistiram com as primeiras espécies do gênero *Homo* (Fig. 12.10).

Ilustrações: Lígia Duque

EVOLUÇÃO HUMANA

Somos a única espécie vivente do gênero *Homo* que habita a Terra. Mas não foi sempre assim...

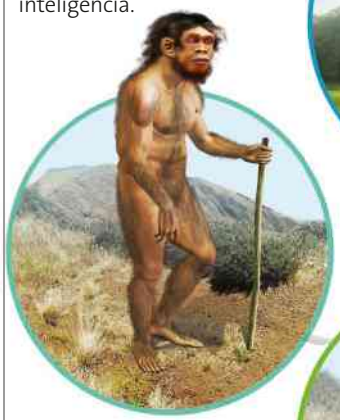


Homo sapiens
Única espécie vivente do gênero, sobressaiu aos neandertais e dispersou-se por todo o globo.

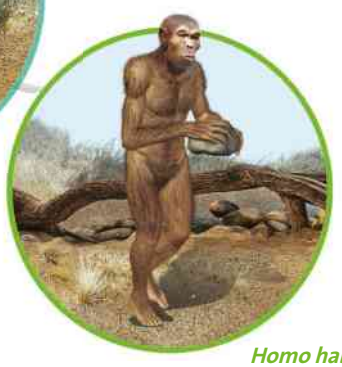
Homo neanderthalensis
Proporção corporal compacta e com membros curtos facilitava a retenção de calor, possibilitando-lhe viver em regiões frias.



Homo heidelbergensis
Primeiro a ter cérebro maior sem que houvesse aumento do corpo, indicando maior inteligência.



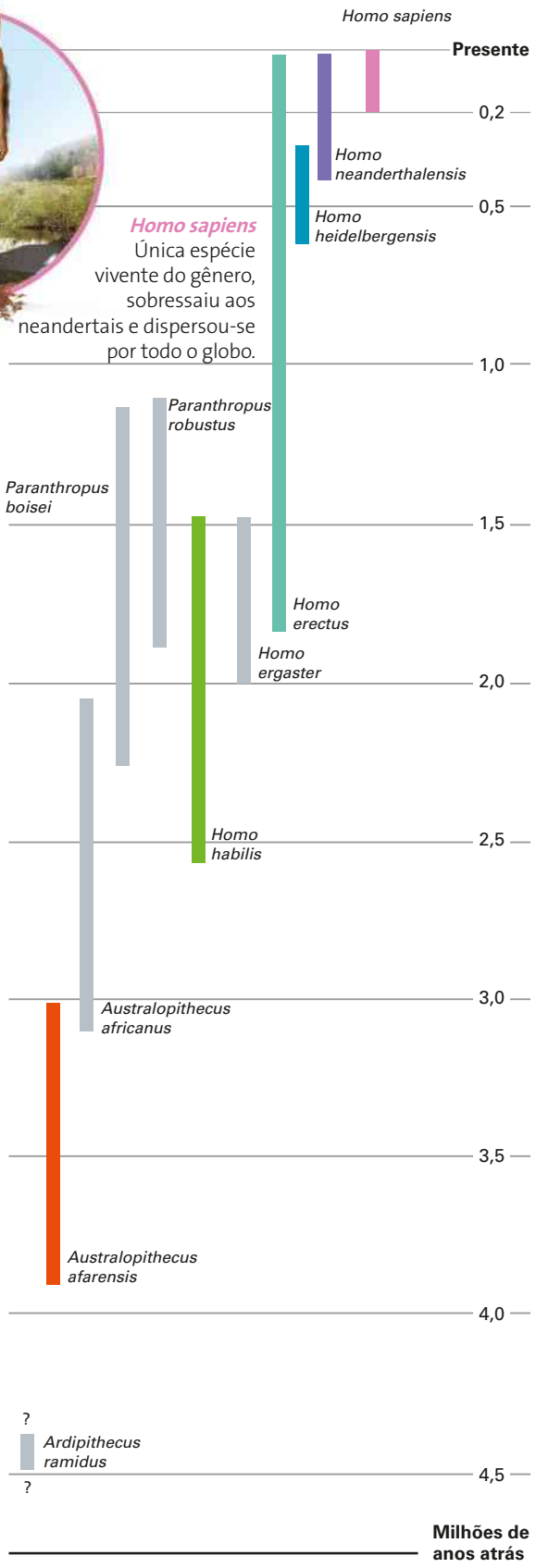
Homo erectus
Apesar do esqueleto robusto, já apresentava crânio com tamanho mais próximo ao do homem moderno.



Homo habilis
Confeccionava e utilizava ferramentas. A estrutura do crânio é compatível com o desenvolvimento de fala rudimentar.



Australopithecus afarensis
Bípede, mas ainda com esqueleto e músculos adaptados à escalada.



Fonte: Smithsonian Institute – National Museum of Natural History. Disponível em: <http://www.humanorigins.si.edu/evidence/human-fossils/species>. Acesso em: maio 2016.

Figura 12.10. Linha do tempo contendo alguns dos ancestrais conhecidos da linhagem humana. À esquerda, ilustrações e descrições de alguns desses ancestrais. (Cores fantasia.)

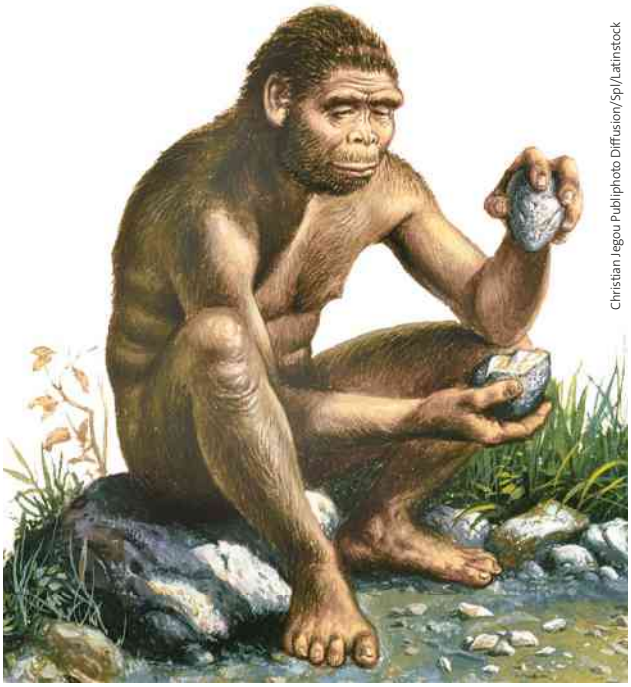
2.1. O gênero *Homo*

Há evidências que apoiam a hipótese de que a transição entre australopitecíneos e representantes do gênero *Homo* tenha sido acompanhada de aumento do crânio, redução da robustez dos maxilares e dos dentes molares e pré-molares e preferência pela postura bípede.

A evolução do gênero *Homo* ocorreu na África e está associada ao resfriamento climático da Terra há cerca de 2,5 milhões de anos. Várias são as propostas que procuram explicar essa evolução. Vamos comentar uma delas.

Descobertas de fósseis têm mostrado que o gênero *Homo* deve ter surgido há 2,6 milhões de anos. A primeira espécie recebeu o nome *Homo habilis*, pois há indícios de que os indivíduos tinham mais habilidade com as mãos do que os australopitecíneos. Nessa espécie, o volume craniano era maior, apresentando cerca de 600 cm^3 a 700 cm^3.

O *Homo habilis* conseguia fazer alguns instrumentos rudimentares a partir de pedras (Fig. 12.11).



Christian Jegou Publiphoto Diffusion/Sp/Latinstock

Figura 12.11. Reconstituição artística de *Homo habilis* em seu hábitat natural, produzindo um instrumento de pedra.

Recomendamos o acesso ao seguinte *link*, que contém uma série filmada com um importante arqueólogo brasileiro, Dr. Walter Neves, disponível em: <http://pre.univesp.br/a-origem-do-homem-americano#.Vuck4X0rLIV> (acesso em: mar. 2016).

Colocando em foco

O USO DE FERRAMENTAS POR PRIMATAS

Para falar sobre esse assunto, escolhemos trechos de um artigo publicado na *Revista Pesquisa Fapesp* de junho de 2012.

[...]

Os macacos-prego e caiararas existem na América Central, na Amazônia inteira, no cerrado, na caatinga e em toda a mata atlântica, chegando até a Argentina. Nessa extensão variam muito em forma, cor, tamanho, preferências alimentares e comportamento. São primatas marcantes, com um sistema social complexo e capazes de usar ferramentas, uma habilidade rara. Mesmo diante da grande variação entre espécies, até recentemente os especialistas classificavam macacos-prego e caiararas no mesmo gênero, *Cebus*, e boa parte deles respondia nos registros científicos pelo nome *Cebus apella*. Nos últimos 10 anos, a classificação desses primatas vem passando por uma revolução, com base no trabalho de pesquisadores brasileiros e de fora. [...] [Foram propostos] dois subgêneros: *Cebus* para os caiararas, mais esguios, distribuídos da Amazônia para o norte, e *Sapajus* para os macacos-prego, mais robustos e muitas vezes caracterizados por um topete na cabeça, espalhados da Amazônia para o sul. [...]

[...] Por meio de amplas análises genéticas, [...] ficou demonstrado que *Cebus* e *Sapajus* são diferentes a ponto de serem considerados gêneros distintos embora de tamanho parecido, ambos com pouco mais de 2 quilogramas.

[...] "Os macacos do Parque Nacional da Serra da Capivara têm um instrumental muito mais variado que os de Gilbués", [...] dois locais no Piauí. Em Gilbués, os cocos da piaçava, do catulé e do catuli chegam a ser bastante grandes e difíceis de quebrar. Nada que desanime os *Sapajus libidinosus*, o macaco-prego-amarelo: eles usam pedras de até 3 quilogramas (praticamente o próprio peso), que erguem e abatem sobre o coco apoiado numa pedra plana (Fig. 12.12). "As fêmeas às vezes precisam saltar com a pedra e usar a força da queda para conseguir quebrar os cocos", diz o pesquisador [Tiago Falótico, do Instituto de Psicologia da USP].





Fotografias: Luciano Candisani

Figura 12.12. No sul do Piauí, um jovem macaco-prego macho (de 50 cm de altura) usa uma pedra como ferramenta para quebrar as cascas duras dos coquinhos coletados por ele em uma palmeira próxima. Uma superfície dura é usada como bigorna, enquanto a pedra menor funciona como martelo.

Mas a criatividade para por aí em Gilbués, enquanto os grupos da Serra da Capivara, que não têm cocos para quebrar (mas abrem castanhas de caju a pedradas), usam o mesmo tipo de ferramenta para cavar o solo arenoso em busca de raízes e de aranhas que vivem em ninhos subterrâneos. Além disso, são também exímios na confecção e no uso de varetas para tirar mel de colmeias e desentocar mamangavas e outros insetos de ocos em troncos de árvores. Eles também usam varas compridas para expulsar lagartos de frestas nos paredões de pedra avermelhados que se erguem até 50 metros acima do solo. "A diferença de comportamento entre grupos da mesma espécie em ambiente similar indica que eles podem ter tradições transmitidas por aprendizagem social" [...].

[...]

Outro tipo de ferramenta, muito diferente, é o hábito de esfregar produtos diversos, como frutos ou insetos, na pelagem. Até recentemente esse costume tinha sido observado muito mais em *Cebus* do que em *Sapajus*. [...]

De maneira geral, [...] *Cebus* têm uma tendência maior do que seus primos a esfregar no pelo quase tudo que encontram, com uma preferência por material vegetal, como frutos cítricos e folhas. O comportamento é mais raro em *Sapajus*, que, sobretudo na mata atlântica, restringem o uso a insetos. A escolha de material para besuntar-se não deixa de ter uma influência ecológica – o que estiver disponível –, mas uma diferença intrínseca entre os dois gêneros é decisiva. [...]

Os macacos-prego da mata atlântica têm uma preferência marcada por formigas [...]. Principalmente na estação seca, quando há mais carrapatos, os primatas pegam punhados de formigas e esfregam meticulosamente pelo corpo. "Elas liberam ácido fórmico, que tem ação repelente para carrapatos" [...].

[...] [Foi observado o] mesmo comportamento no Piauí, onde os macacos também esfregam pio-lhos-de-cobra, fonte de benzoquinona, um repelente contra pernilongos.

[...]

GUIMARÃES, M. Ramificações ancestrais. *Revista Pesquisa Fapesp*, 196, jun. de 2012. Disponível em: <http://revistapesquisa.fapesp.br/2012/06/14/ramificacoes-ancestrais>. Acesso em: mar. 2016.

Entre 2 milhões e 1,4 milhão de anos, viveu na África a espécie *Homo ergaster*, que tem classificação dificultada pela sua semelhança com outra espécie, *Homo erectus*. Esta última foi originalmente descrita como *Pithecanthropus erectus* e popularmente chamada de **homem de Java** ou de Pequim. Parece ter surgido no leste africano há 1,8 milhão de anos e coexistiu com duas espécies que também viveram na África: *Paranthropus robustus*, que viveu entre 1,8 milhão e 1,2 milhão de anos atrás, e *P. boisei*, que viveu entre 2,3 milhões e 1,2 milhão de anos atrás (essas espécies eram antigamente consideradas pertencentes ao gênero *Australopithecus*).

O *Homo erectus* se dispersou para a Ásia e depois provavelmente para a Europa. Dados recentes indicam que indivíduos dessa espécie viveram até cerca de 143 mil anos atrás, ou seja, coexistiram com a nossa espécie (*Homo sapiens*) e com os neandertais (*Homo neanderthalensis*).

O *Homo erectus* chegava a 1,8 m de altura, e sua massa era de cerca de 65 kg, valores próximos aos da nossa espécie. Seus ossos, no entanto, eram mais densos, indicando uma musculatura mais robusta, e o volume cerebral era de 775 cm^3 a 1 100 cm^3. Foi o primeiro hominíneo a apresentar nariz com as narinas voltadas para baixo. Reteve, porém, várias características primitivas, como maxila projetada para frente da face, queixo muito reduzido e testa plana e proeminente. Dados obtidos a partir de sua dentição indicam que eles provavelmente já usavam o fogo para cozinhar alimentos.

Outra espécie de hominíneo, *Homo heidelbergensis*, viveu na África e na Europa entre 700 mil e 200 mil anos atrás e, provavelmente, foi ancestral dos neandertais.

Os primeiros fósseis de **neandertais** foram encontrados no vale Neander, na Alemanha. Posteriormente, a descoberta de outros fósseis sugeriu que essa espécie tenha surgido há cerca de 400 mil anos na Europa, onde viveu. Eram hominíneos musculosos, com tórax largo, membros curtos, testa curta, queixo pequeno. Tinham volume cerebral médio de 1 400 cm^3, maior, portanto, que o da espécie humana, que é de 1 350 cm^3.

Suas características mostravam adaptações para a vida nas condições frias da Idade do Gelo na Europa. Eram nômades, caçadores e formavam grupos sociais bem organizados. São os **homens das cavernas** das lendas populares, pois usavam cavernas como abrigo. Usavam também o fogo para se aquecer e para descongelar e cozer alimentos. Fabricavam instrumentos de pedra bem elaborados, que utilizavam para caçar principalmente mamutes, bisões, raposas do Ártico e lemingues. A pele dos animais era utilizada para fazer roupas e abrigos (Fig. 12.13).

Os neandertais foram os primeiros hominíneos a enterrar seus mortos, provavelmente realizando rituais.



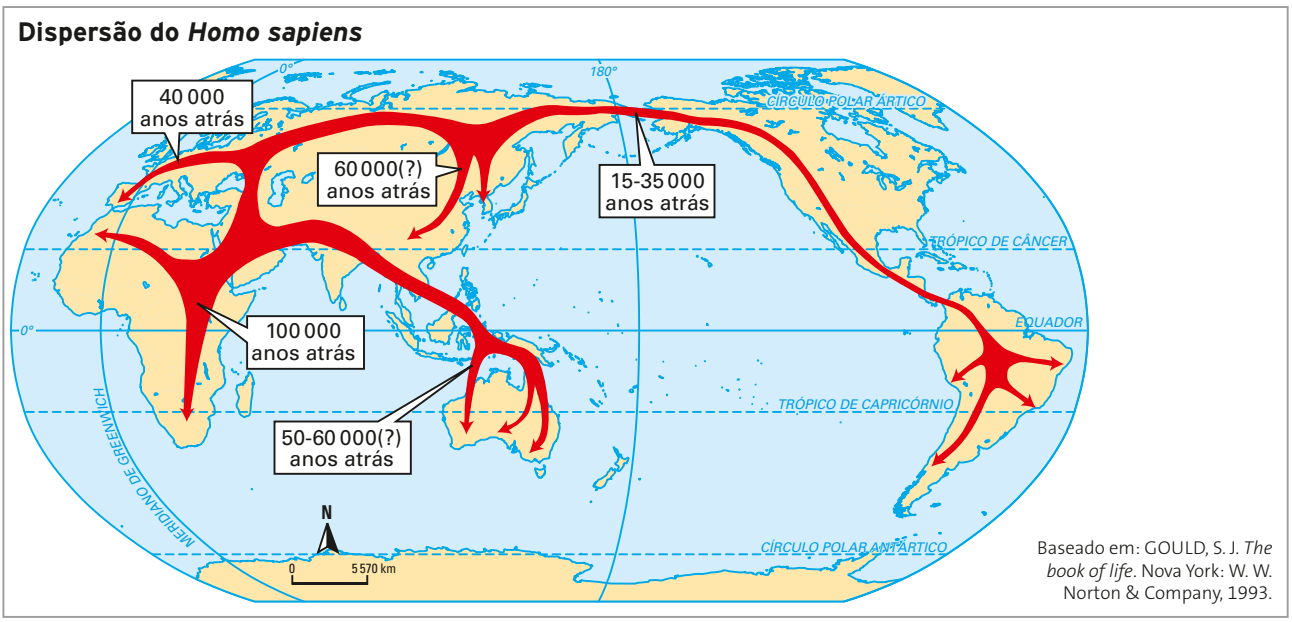
Christian Jegou Publiphoto Diffusion/Spl/Latinstock

Figura 12.13. Reconstituição artística de *Homo neanderthalensis*, os chamados homens das cavernas.

Indícios recentes sugerem que a extinção dessa espécie ocorreu há aproximadamente 40 mil anos.

As primeiras evidências de indivíduos que poderiam ser considerados *Homo sapiens* foram obtidas na África e indicam que nossa espécie surgiu entre 150 e 200 mil anos atrás.

Desde a nossa origem até cerca de 45 mil anos atrás, o comportamento humano assemelhava-se ao dos neandertais. Depois disso, há registros do surgimento de comportamentos mais criativos e investigativos. Somente após essa revolução nossa espécie começou a se expandir, migrando e ocupando outros territórios. Da África foi para a Europa e a Ásia; alguns cruzaram os mares e chegaram à Austrália, enquanto outros caminharam por terra na ligação da Ásia com o Alasca, que hoje corresponde ao estreito de Bering. Dessa forma, entraram no Alasca e de lá expandiram-se para as Américas, como mostra o mapa (Fig. 12.14).



Sônia Vaz

Figura 12.14. Mapa mostrando as prováveis rotas migratórias do *Homo sapiens* desde sua origem na África, entre 150 e 200 mil anos atrás.

Provavelmente, a grande dispersão do *Homo sapiens* foi induzida pelo aumento no número de indivíduos das populações, levando-os a procurar novos territórios para a caça. A capacidade dessa espécie de se adaptar ao meio sempre foi muito grande: onde o clima era hostil, eles elaboravam roupas e construíam abrigos. Além disso, desenvolviam artefatos que os ajudavam em diversas atividades nas quais apenas a força das mãos não seria suficiente.

A extinção dos neandertais parece estar ligada à ocupação da Europa pelo homem moderno. Esses hominíneos ficaram conhecidos como **homens de Cro-Magnon**, região da França onde os primeiros fósseis foram encontrados. Os dados sugerem que os homens de Cro-Magnon competiram com os neandertais, o que pode ter sido uma das causas da extinção destes na Europa. Porém, essa extinção parece não ter sido provocada por luta entre os dois grupos, mas por um choque de culturas em que o homem de Cro-Magnon, com características mais vantajosas, acabou prevalecendo.

Os cro-magnons eram mais altos que os neandertais: os homens tinham cerca de 1,80 m e 70 kg, e as mulheres, 1,70 m e 55 kg, apresentando pernas longas. Apesar de serem tão musculosos quanto os neandertais, os cro-magnons tinham esqueleto mais leve, eram mais ágeis, apresentavam comportamento social mais complexo, linguagem, simbologias.

Eles construíam ferramentas muito mais elaboradas. Produziam arte, como esculturas, modelos em argila e as famosas pinturas nas cavernas. Faziam também ornamentos, como braceletes e colares. Outros materiais, além da pedra e da madeira, foram explorados pelos cro-magnons para fazer objetos. Passaram a utilizar ossos e marfim para fazer estatuetas, botões, agulhas e outros objetos, até mesmo flautas e apitos, que devem ter sido os primeiros instrumentos musicais (Fig. 12.15).

A evolução de *Homo sapiens* caracterizou-se pelo aumento da capacidade de invenção e da criatividade e pelo desenvolvimento da linguagem simbólica, da organização social e da cultura, entre muitos outros aspectos.



Christian Jegou Publiphoto Diffusion/SPL/Latinstock

Figura 12.15. Reconstituição artística dos primeiros *Homo sapiens* em seu hábitat natural.

Colocando em foco

E NO PRINCÍPIO... ERA O MACACO!

Esse é o título de um artigo escrito por um dos mais importantes pesquisadores brasileiros em evolução humana, o Dr. Walter A. Neves. Aqui, alguns trechos foram reproduzidos. Recomendamos a leitura do texto completo, disponível no endereço eletrônico citado ao final do artigo.

[...]

A partir da década de 1970, ficou bastante claro para nós que, tendo em vista as características físicas e comportamentais do *Homo sapiens* e de seus parentes mais próximos ainda existentes, os grandes símios da África, sobretudo o chimpanzé, nossa saga evolutiva descortinou-se na seguinte sequência (imaginando como ancestral um animal muito similar ao chimpanzé de hoje): fixação da bipedia, fabricação de ferramentas de pedra, consumo expressivo de proteína animal, desenvolvimento de cérebro grande e complexo, fixação da capacidade de significação no cérebro, revolução criativa e tecnológica, ocupação de todo o planeta.

[...]

Imaginemos um grupo de bípedes vivendo em florestas cada vez mais minguantes, cercadas por savanas em expansão. Obviamente que com a redução progressiva das florestas, nas quais os frutos eram a fonte calórica principal, a competição entre esses hominíneos foi se acirrando cada vez mais. Como em qualquer população biológica há muita variação tanto física como comportamental, alguns indivíduos mais ousados podem ter começado a adentrar as savanas em busca de novos recursos alimentares, mediante incursões curtas. Se entre esses variantes (ou mutantes, como as pessoas em geral gostam de dizer) houvesse alguns que também tivessem uma capacidade manual mais refinada do que a média e que conseguia lascar de forma controlada, produzindo lascas cortantes, certamente esses indivíduos teriam tido mais facilidade para explorar o "filé-mignon" emergente nas savanas: as carniças.

Tendo em vista o acesso diferencial desses indivíduos a uma nova fonte de alimento rica em nutrientes, esses certamente passaram a deixar mais descendentes que seus competidores, espalhando na população, nas gerações seguintes, suas características, que podem ter sido acentuadas com o tempo, pelas mesmas razões. Quando uma nova característica física ou comportamental atinge alta frequência ou frequência total em uma população, diz-se que o traço foi então fixado por seleção natural.

[...]

O cotidiano dos primeiros *Homo* estava inquestionavelmente associado às savanas, paisagens abertas, com árvores muito espaçadas entre si. Nessa configuração espacial, subir em árvores como estratégia de fuga já não deveria trazer um diferencial de sobrevivência tão importante para os primeiros *Homo*, quanto era para seus antecessores que viviam basicamente em florestas ou bosques.

Encontrar carniças primárias devia, entretanto, envolver caminhadas extensas pelo interior das savanas, à procura das melhores oportunidades. Nesse contexto, a fixação de braços mais curtos e de pernas mais longas certamente seria favorecida pela seleção natural, se essas variantes já existissem, ainda que modestamente, nas populações que pioneiramente tentaram explorar os recursos alimentares nas paisagens abertas, recém-generalizadas no continente africano.

[...]

Nenhum hominíneo anterior ao *Homo sapiens* utilizou osso, dente ou chifre como matéria-prima para a fabricação de artefatos. Nem tampouco imprimiu qualquer tipo de estilo pessoal ou grupal nas ferramentas de pedra que fabricaram, independentemente de seu domínio técnico. O mais sofisticado *kit* de ferramenta de nossos predecessores mais brilhantes, os neandertais, nunca ultrapassou a casa de vinte instrumentos especializados.

[...]

Alguns especialistas acreditam que a significação e nossa criatividade ilimitada derivam da fixação em nossa mente de um novo módulo, que passou a integrar os módulos mentais anteriormente fixados pela seleção natural, como os de inteligência naturalista, inteligência social e inteligência tecnológica. Outros creem apenas que caíram as barreiras entre os módulos especializados, permitindo grande fluidez entre eles. Tal fluidez teria feito aflorar, como propriedade emergente em sistemas complexos, significação e criatividade ilimitadas.

Nosso maior sistema simbólico é a fala articulada, a capacidade de ter uma língua repartida com nossos pares grupais pela qual coisas, sentimentos, tempos, ações e intenções podem ser expressos de maneira fluida, com grande precisão e de maneira extremamente sintética. Mesmo que já apresentássemos antes todos os elementos necessários para produzir sons na mesma escala que podemos hoje, a fala articulada só apareceu de fato após a implantação em nossa mente, pela seleção natural, da capacidade de significação. Em outras palavras, somente após podermos associar sons específicos a entidades reais ou abstratas de forma compartilhada, intersubjetivamente.

[...]

A revolução do significado, ou a revolução criativa do Paleolítico Superior, como é conhecida, deu-se apenas por volta de 45 mil anos atrás. Por isso, dizemos hoje que o homem moderno é produto de duas etapas evolutivas conjugadas: primeiro, apareceu o homem anatomicamente moderno (leia-se, esqueletalmente moderno), por volta de 200 mil anos, para, apenas por volta de 45 mil anos, surgir o homem comportamentalmente moderno. E foi apenas após a revolução criativa do Paleolítico Superior que o *Homo sapiens* deixou a África de maneira retumbante, tendo substituído rapidamente, em todo o planeta, eventuais hominíneos arcaicos ainda existentes, entre eles os célebres neandertais da Europa e do Oriente Médio, que por isso se extinguiram por volta de 29 mil anos atrás.

[...]

Somos, assim, a única criatura no planeta dotada de pensamento simbólico. Essa é, na verdade, nossa única "singularidade" não repartida com o resto do reino animal, ou pelo menos com parte dele.

[...]

Fonte: NEVES, Walter A. In: Revista *Estudos Avançados*, n. 20 (58), 2006.
Disponível em:<www.scielo.br/pdf/ea/v20n58/21.pdf>. Acesso em: mar. 2016.

Antes de finalizar este capítulo, vamos reproduzir um trecho adaptado do *Livro da vida*, de Stephen Jay Gould (1941-2002):

"A humanidade ofereceu um novo campo de ação para a evolução. Nosso poder não termina quando morremos, mas sobrevive em nossa arte, ciência e tecnologia. A seleção natural não pode reduzir o conhecimento eliminando os indivíduos que o possuem. Conhecimentos que promovem a vida e que a destroem, o melhor e o pior do que sabemos, ficam registrados para sempre. Nós conseguimos encolher o mundo a algumas horas de voo, anexar terras, destruir ou dominar outras espécies, alterar a atmosfera e os oceanos. Nossos planos e decisões vão além de nós e quanto mais abrangentes eles forem, mais difícil reparar os danos."

Colocando em foco

ARARA-AZUL – AS PESQUISAS PARA SALVAR DA EXTINÇÃO A MAIOR ESPÉCIE DE ARARA

Para ilustrar trechos do que destacamos do livro de Stephen Jay Gould, em especial no que tange à nossa responsabilidade quanto aos planos e às decisões, leia o texto a seguir e reflita a respeito do assunto.

A arara-azul do Pantanal (*Anodorhynchus hyacinthinus*), o maior representante da família dos psitacídeos, que agrupa também os papagaios e as maritacas, esteve muito perto de desaparecer para sempre da natureza.

Com 1 metro de comprimento e uma bela plumagem azul, os indivíduos dessa espécie sempre foram cobiçados por criadores ilegais de animais silvestres espalhados pelo mundo inteiro. Só na década de 1980 cerca de 10 mil araras-azuis foram contrabandeadas para o exterior, e sua população ficou reduzida a apenas 3 mil animais, distribuídos entre o Pantanal mato-grossense, a Amazônia e uma região na confluência dos estados do Maranhão, Piauí, Goiás, Tocantins e Bahia. Além disso, pouco se sabia sobre a biologia da espécie e seu hábitat vinha sendo sistematicamente ocupado para agricultura e pecuária. O sumiço definitivo da espécie parecia uma questão de tempo. E seria, não fossem os trabalhos do Projeto Arara-azul, iniciado em 1980 pela bióloga Neiva Guedes, com o objetivo de tentar evitar a extinção desse animal (Fig. 12.16). Hoje, graças à atuação do projeto, o número de araras já passa de 3 mil só no Pantanal sul. A captura ilegal para comércio tornou-se rara e boa parte do ciclo de vida e dos hábitos desse animal já foram esclarecidos.

Para chegar a esses resultados animadores, a bióloga vem enfrentando uma árdua rotina de trabalhos de campo. Todos os anos ela vai ao Pantanal durante o período de reprodução da espécie, que se estende entre julho e março. Monitora cerca de 420 ninhos cadastrados em uma área de 350 mil hectares.

Luciano Candisani



Figura 12.16. Fotografia da bióloga Neiva Guedes segurando um filhote de arara-azul recém-tirado de seu ninho.

As araras-azuis são rigorosas na escolha do local para a instalação do ninho (Fig. 12.17). Cerca de 95% de seus ninhos são construídos em cavidades naturais existentes em troncos de manduvi (*Sterculia apetala*), uma árvore alta típica do Pantanal. A única maneira de alcançá-los para estudar é escalando a árvore com equipamento de alpinismo. Dezenas de ninhos precisam ser vistoriados diariamente para que todos sejam acompanhados durante os meses da reprodução.



Luciano Candisani

Figura 12.17. Fotografia de filhote de arara-azul no ninho. Pode medir até 1 m de comprimento (o adulto).

Em um ninho típico, contendo um ou dois filhotes, o trabalho consiste em tirar todas as medidas das crias, pesá-las, analisar seu estado de saúde e a presença de parasitas. Os ovos presentes em ninhos ameaçados por predadores são retirados para eclodirem em segurança no laboratório. Esse cuidado especial com cada nova geração de araras visa aumentar as chances de os filhotes atingirem a fase adulta.

Uma das primeiras constatações da bióloga foi a falta de ninhos disponíveis para as araras. O desmatamento e as queimadas diminuíram muito a oferta de manduvis para a construção de ninhos, e os poucos disponíveis ainda são disputados com outras aves, como o tucano e o urubu. Para tentar contornar esse problema, Neiva desenvolveu ninhos artificiais de madeira, que são instalados no alto das árvores. A iniciativa deu resultado, e as araras passaram a frequentar sistematicamente os novos ninhos.

No Pantanal, onde a captura e a caça de animais já perdeu força, a luta dos pesquisadores está voltada agora à preservação do hábitat. Isso porque as araras-azuis são muito seletivas para comer. Sua dieta é composta basicamente de castanhas de palmeiras conhecidas por acuri (*Scheelea phalerata*) e bocaiuva (*Acrocomia aculeata*). O formato curvo e pontudo do bico dessa arara permite a perfeita retirada da polpa nutritiva das castanhas. Para garantir o aumento da oferta de alimento para essas aves, a bióloga vem contando com o apoio de muitos fazendeiros da região, que hoje se orgulham de ter bandos de araras voando por suas propriedades. Além de não permitirem mais a captura em suas fazendas, esses fazendeiros plantam e preservam o manduvi e as palmeiras. Essa mudança de comportamento é resultado de um trabalho de educação ambiental desenvolvido junto com a parte científica. Entre a escalada de uma árvore e outra, Neiva aproveita para desenvolver a educação ambiental dos moradores da região, propagando suas ideias preservacionistas.

Texto de Luciano Candisani,
escrito especialmente para este livro.

Tema para discussão

REGISTRE NO CADERNO

Raças humanas não existem como entidades biológicas, diz geneticista

Se é inegável concluir que o racismo ainda existe – e tem força – a ideia de que a espécie humana pode ser dividida em raças está cada vez mais obsoleta.

Desde o final da Segunda Guerra Mundial, depois do nazismo, começaram a ser promovidos estudos que discutiam a ideia de raça na biologia e nas ciências sociais.

A inexistência das raças biológicas ganhou força com as recentes pesquisas genéticas. Os geneticistas descobriram que a constituição genética de todos os indivíduos é semelhante o suficiente para que a pequena porcentagem de genes que se distinguem (que inclui a aparência física, a cor da pele etc.) não justifique a classificação da sociedade em raças. [...]

No Brasil, Sergio Pena, da Universidade Federal de Minas Gerais, em conjunto com uma série de pesquisadores, publicou dezenas de artigos científicos na área. "Nossos estudos revelaram que, em nosso país, a cor avaliada pela aparência das pessoas tem uma correlação fraca com o grau de ancestralidade africana estimado geneticamente. Em outras palavras, no Brasil, a nível individual, a cor, como socialmente percebida, tem pouca relevância biológica. Importantemente, cada brasileiro tem uma proporção individual única de ancestralidade ameríndia, europeia e africana", diz Pena.

Para ele, a noção de raças humanas "é tóxica": "[...] o conceito de raça é vazio e perigoso. Vazio, porque sabemos que 'raças humanas' não existem como entidades biológicas. Perigoso, porque o conceito de 'raça' tem sido usado para justificar discriminação, exploração e atrocidades", diz.

[...]



Campanha Infância Sem Racismo/UNICEF

Cartaz de campanha enaltecendo a igualdade entre as pessoas, ainda que sejamos diferentes fisicamente.

Professor(a), veja nas Orientações didáticas os comentários e as respostas das questões dissertativas.

"O problema é descontextualizar esses processos científicos do cenário histórico que os está produzindo. Eu compreendo racismo como um fenômeno social e não biológico. As raças não existem, mas a mentalidade relativa às raças foi reproduzida socialmente", concorda Gevanilda Santos, autora de *Racismo no Brasil*, entre outros livros sobre o tema.

[...]

Para os geneticistas, a conclusão de que a raça não está nos nossos genes pode ser mais uma ferramenta no combate ao racismo, já que corrige o erro histórico dos cientistas do passado.

Spinelli, K.C. Raças humanas não existem como entidades biológicas, diz geneticista. *UOL Notícias* – Ciência e Saúde. Publicado em: fev. 2013. Disponível em: <http://noticias.uol.com.br/ciencia/ultimas-noticias/redacao/2013/02/05/racas-humanas-nao-existem-como-entidades-biologicas-diz-geneticista.htm>. Acesso em: mar. 2016.

1. Discuta com os colegas a respeito das seguintes questões: Você já presenciou alguma situação em que houve racismo? Como ocorre a discriminação racial na nossa sociedade?
2. Reunidos em grupos, façam uma lista de situações em que o racismo se manifesta no ambiente escolar. Em seguida, proponham ações que visam combater a discriminação racial na escola e fora dela.

Retomando

Como você viu, a espécie humana possui uma história evolutiva complexa. Embora estudos tenham feito importantes revelações sobre nosso passado, muitas dúvidas ainda persistem. Retome suas respostas às questões da seção **Pense nisso** e reescreva-as. Na sua opinião, que características do *Homo sapiens* proporcionaram seu sucesso na ocupação do planeta? Justifique sua resposta e discuta-a com seus colegas.

Ampliando e integrando conhecimentos

REGISTRE NO CADERNO

Atividade 1 O homem descende do macaco?

Habilidades do Enem: H3, H15, H16, H17.

O biólogo Stephen Jay Gould (1941-2002) foi um crítico ferrenho das interpretações distorcidas sobre o processo de evolução por seleção natural, apontando imagens e ícones que nos remetem a uma falsa ideia de evolução. Segundo esse autor, quando o assunto é evolução humana, a distorção pode ser ainda maior, pois o *Homo sapiens* é apresentado como o ápice do desenvolvimento.



David Gifford/Science Photo Library/Latinstock

Representação dos estágios da evolução humana como um processo linear e ascendente em que o ser humano estaria no ápice.

S. J. Gould, selecionando figuras desse tipo em peças publicitárias, encontrou uma imagem similar à que apresentamos aqui, mas na qual o último ser representado na sequência de hominíneos era um homem branco, de terno e gravata, carregando seu computador portátil. Para o autor, essa ideia é ainda mais perigosa, pois passa a mensagem de que o ápice da evolução (sinônimo de perfeição) é o homem ocidental que vive nas grandes cidades.

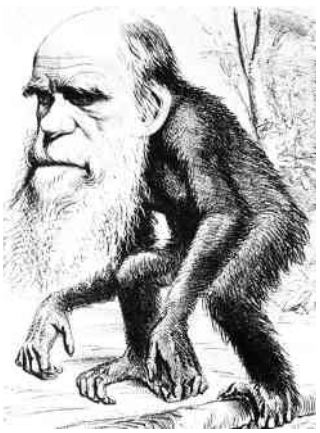
a) Comente a imagem encontrada por S. J. Gould. Qual é a sua opinião sobre o significado da representação do homem branco ocidental, de terno e gravata, carregando seu computador portátil, como o último estágio de uma "sequência evolutiva" humana? Qual devia ser o pensamento do autor dessa imagem ao produzi-la? O que ele devia valorizar? Qual devia ser seu objetivo ao apresentar uma imagem nesse formato?

b) Analise o que se vê na figura que apresentamos nesta atividade, o que tratamos no texto e as figuras do capítulo (como a da página 272). Do ponto de vista científico, você julga aceitável mostrar os diversos estágios evolutivos, representados por diferentes fósseis e vestígios humanos, se sucedendo, um após o outro, numa sequência evolutiva originada em um ancestral semelhante ao macaco? Justifique sua resposta.

Atividade 2 A polêmica de Darwin Habilidades do Enem: H3, H15, H19, H28.

Na ocasião da publicação de suas obras sobre a origem das espécies por seleção natural, Charles Darwin não foi bem compreendido por muitos cientistas e pela sociedade em geral, especialmente em relação à evolução humana. Em 1871, ano de lançamento de outra obra de Darwin, *A descendência do homem* (*Descent of Man*), foram publicadas diversas caricaturas de Darwin como um macaco, como a que está reproduzida ao lado.

Redija um texto em defesa de Darwin que esclareça a relação evolutiva entre macacos e seres humanos de acordo com as hipóteses atuais. Após a redação inicial, corrija o texto explorando seus conhecimentos de Língua Portuguesa.



Coleção particular/Sammlung Rauch/Science Photo Library/Latinstock

Reprodução de caricatura de Charles Darwin.

Atividade 3 Os dinossauros e os hominíneos Habilidade do Enem: H17.

Em muitos desenhos animados, como o dos *Flintstones*, e em vários filmes, como *Jurassic Park*, a imaginação humana coloca homens e dinossauros vivendo juntos. Em termos geológicos, qual é o tempo aproximado que separa a extinção dos dinossauros e o surgimento dos hominíneos?

Atividade 4 A seleção natural e a espécie humana Habilidades do Enem: H19, H28.

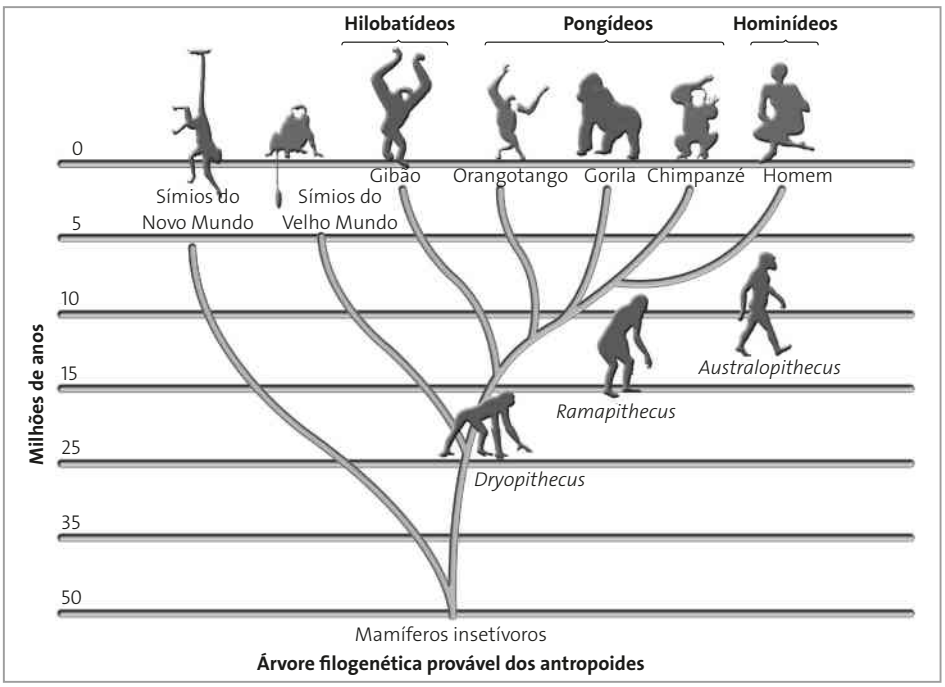
Existe muita discussão sobre a possibilidade de a espécie humana sofrer os efeitos da seleção natural atualmente. Além de modificar o meio, o ser humano produziu avanços na Medicina que têm mantido mutações gênicas que causam doenças e que, por seleção natural, teriam sido eliminadas. O desenvolvimento da seleção artificial e da engenharia genética — como a manipulação do genoma de algumas espécies (inclusive da humana), a produção de transgênicos e a clonagem — mostra que o ser humano pode mudar tanto o rumo de sua própria evolução como o da de outras espécies. Reflita sobre a seguinte questão: O ser humano atual realmente não sofre os efeitos da seleção natural ou tudo o que ele é capaz de fazer resulta da própria seleção natural, que selecionou os humanos com maior capacidade de alterar o meio? Discuta com seus colegas sobre isso e registre suas ideias, justificando-as.

Testes

REGISTRE NO CADERNO

Acompanhe a seguinte situação para responder aos testes de **1** a **3**.

O assunto na aula de Biologia era a evolução do Homem. Foi apresentada aos estudantes uma árvore filogenética, igual à mostrada na ilustração, que relacionava primatas atuais e seus ancestrais.



Árvore filogenética provável dos antropoides

1. (Enem) Após observar o material fornecido pelo professor, os alunos emitiram várias opiniões, a saber:

I. Os macacos antropoides (orangotango, gorila, chimpanzé e gibão) surgiram na Terra mais ou menos contemporaneamente ao Homem.

II. Alguns homens primitivos, hoje extintos, descendem dos macacos antropoides.

III. Na história evolutiva, os homens e os macacos antropoides tiveram um ancestral comum.

IV. Não existe relação de parentesco genético entre macacos antropoides e homens.

Analisando a árvore filogenética, você pode concluir que:

a) todas as afirmativas estão corretas.
x b) apenas as afirmativas I e III estão corretas.
c) apenas as afirmativas II e IV estão corretas.
d) apenas a afirmativa II está correta.
e) apenas a afirmativa IV está correta.

2. (Enem) Foram feitas comparações entre DNA e proteínas da espécie humana com DNA e proteínas de diversos primatas.

Observando a árvore filogenética, você espera que os dados bioquímicos tenham apontado, entre os primatas atuais, como nosso parente mais próximo o:

a) *Australopithecus*.
x b) chimpanzé.
c) *Ramapithecus*.
d) gorila.
e) orangotango.

3. (Enem) Se fosse possível a uma máquina do tempo percorrer a evolução dos primatas em sentido contrário, aproximadamente quantos milhões de anos precisaríamos retroceder, de acordo com a árvore filogenética apresentada, para encontrar o ancestral comum do homem e dos macacos antropoides (gibão, orangotango, gorila e chimpanzé)?

a) 5
x c) 15
e) 60
b) 10
d) 30

4. (Ufes) Ao longo do processo evolutivo do homem, várias mudanças adaptativas ocorreram. As afirmativas a seguir se referem a algumas delas. Indique a **incorreta**:

a) A adoção da postura ereta e o aperfeiçoamento das mãos possibilitaram o uso regular de instrumentos para obtenção de alimentos.

b) As modificações nos dentes, na arcada dentária e nos hábitos alimentares contribuíram para o aumento da capacidade de adaptação.

x c) A postura bípede foi decorrente de um aumento do cérebro e da inteligência, acompanhado de alterações no esqueleto.

d) As alterações no ritmo do desenvolvimento dos humanos resultaram na necessidade de um período mais prolongado de cuidados maternais.

e) O aumento da capacidade craniana e o desenvolvimento dos centros da inteligência propiciam um aumento na capacidade de comunicação e de comportamento comunitário organizado.

5. (Fuvest-SP) Pesquisadores descobriram na Etiópia fósseis que parecem ser do mais antigo ancestral da humanidade. Como a idade desses fósseis foi estimada entre 5,2 e 5,8 milhões de anos, pode-se dizer que esses nossos ancestrais viveram:

a) em época anterior ao aparecimento dos anfíbios e dos dinossauros.

b) na mesma época que os dinossauros e antes do aparecimento dos anfíbios.

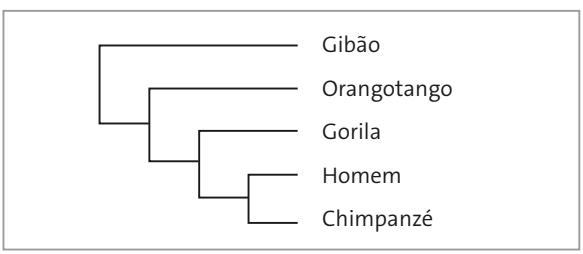
c) na mesma época que os dinossauros e após o aparecimento dos anfíbios.

d) em época posterior ao desaparecimento dos dinossauros, mas antes do surgimento dos anfíbios.

x e) em época posterior ao surgimento dos anfíbios e ao desaparecimento dos dinossauros.

6. (UFMS) A figura a seguir mostra uma das possíveis hipóteses sobre a filogenia dos primatas com origem no Velho Mundo, um grupo chamado *Cercopithecidae*. Baseando-se nessa filogenia, assinale a alternativa correta.

BIS



a) O homem surgiu antes dos outros primatas na história evolutiva do grupo.

x b) O gorila é mais próximo, filogeneticamente, do homem e do chimpanzé do que do orangotango e do gibão.

c) O chimpanzé é mais próximo, filogeneticamente, do gorila do que do homem.

d) O homem e o gorila deveriam ser incluídos em grupo taxonômico separado dos outros primatas.

e) Não é possível saber se o orangotango é mais próximo filogeneticamente do gibão ou dos outros primatas.

7. (Unesp-SP) Há cerca de 40 000 anos, duas espécies do gênero *Homo* conviveram na área que hoje corresponde à Europa: *H. sapiens* e *H. neanderthalensis*. Há cerca de 30 000 anos, os neandertais se extinguiram, e tornamo-nos a única espécie do gênero.

No início de 2010, pesquisadores alemães anunciaram que, a partir de DNA extraído de ossos fossilizados, foi possível sequenciar cerca de 60% do genoma do neandertal. Ao comparar essas sequências com as sequências de populações modernas do *H. sapiens*, os pesquisadores concluíram que de 1 a 4% do genoma dos europeus e asiáticos é constituído por DNA de neandertais. Contudo, no genoma de populações africanas, não há traços de DNA neandertal.

Isto significa que:

a) os *H. sapiens*, que teriam migrado da Europa e Ásia para a África, lá chegando, entrecruzaram com os *H. neanderthalensis*.

x b) os *H. sapiens*, que teriam migrado da África para a Europa, lá chegando, entrecruzaram com os *H. neanderthalensis*.

c) o *H. sapiens* e o *H. neanderthalensis* não têm um ancestral em comum.

d) a origem do *H. sapiens* foi na Europa, e não na África, como se pensava.

e) a espécie *H. sapiens* surgiu independentemente na África, na Ásia e na Europa.

8. (UFC-CE) Descobertas recentes na medicina e na saúde pública, se aplicadas consistentemente, terão algum impacto no curso da evolução humana. Qualquer resistência às doenças infecciosas (de caráter hereditário), como o sarampo e a difteria, conferiria vantagem seletiva a uma família.

Assinale a alternativa que mostra, corretamente, os efeitos da imunização em massa sobre a frequência da resistência ou susceptibilidade inata às doenças.

a) A frequência dos alelos que conferem resistência inata às doenças seria aumentada.

x b) Os genótipos que produzem pouca ou nenhuma resistência se tornariam comuns.

c) A longo prazo, mais pessoas se tornariam independentes de procedimentos médicos.

d) A longo prazo, haveria adaptação genética a resistência a muitas doenças.

e) Não haveria alteração alguma na frequência desses alelos.

Sugestões de consulta

Livros

100 animais ameaçados de extinção no Brasil – E o que você pode fazer para evitar, de Savio Freire Bruno, Ediouro, 2008.
40 contribuições pessoais para a sustentabilidade, de Genebaldo Freire Dias, Global, 2005.
Água – Origem, uso e preservação, de Samuel Murgel Branco, Moderna, 2003.
Animais aquáticos potencialmente perigosos do Brasil – Guia médico e biológico, de Vidal Haddad Júnior, Roca, 2008.
As cartas de Charles Darwin: uma seleta, de Frederick Burkhardt (ed.), Unesp, 2000.
A ciência através dos tempos, de Attico Chassot, Moderna, 2001.
A conservação das florestas tropicais, de Sueli Angelo Furlan e João Carlos Nucci, Atual, 2004.
A goleada de Darwin, de Sandro Souza, Record, 2009.
A maravilhosa aventura da vida, de Clara Pinto Correia, Presença, 2009.
A terceira margem, de Ignacy Sachs, Companhia das Letras, 2009.
A última floresta – A Amazônia na era da globalização, de Mark London e Brian Kelly, Martins Fontes, 2007.
Bioquímica do corpo humano – As bases moleculares do metabolismo, de Fernando de Valencia, Unesp, 2014.
Charles Darwin, a revolução da revolução, de Rebecca Stefoff, Companhia das Letras, 2007.
Clima e meio ambiente, de José Bueno Conti, Atual, 2005.
Darwin a bordo do Beagle, de Richard Keynes, Jorge Zahar, 2004.
Darwin e a evolução explicada aos nossos netos, de Pascal Picq, Unesp, 2015.
Dicionário básico de Biologia, de Octacílio Lessa, Ciência Moderna, 2007.
DNA: o segredo da vida, de James D. Watson e Andrew Berry, Companhia das Letras, 2005.
Do nicho ao lixo – Ambiente, sociedade e educação, de Francisco C. Scarlato e Joel Arnaldo Pontin, Atual, 2009.
Ecoguia – Guia ecológico de A a Z, da Fundação Nicolas Hulot, Landy, 2008.
Ecologia e cidadania, de Carlos Minc, Moderna, 2005.
Era verde? Ecossistemas brasileiros ameaçados, de Zysman Neiman, Atual, 2005.
Evolução: o sentido da Biologia, de Diogo Meyer e Charbel Niño El-Hani, Unesp, 2005.
Genes, povos e línguas, de Luigi Luca Cavalli-Sforza, Companhia das Letras, 2003.
Humanidade sem raças?, de Sérgio D. J. Pena, Publifolha, 2008.
Identidade genética e exame de DNA, de Roseli Borin Ramadan Ahmad, Jurua, 2009.
Infinitas formas de grande beleza, de Sean B. Carroll, Jorge Zahar, 2006.
Isto é Biologia – A Ciência do mundo vivo, de Ernest Mayr, Companhia das Letras, 2008.
Lixo, problema nosso de cada dia, de Suzana Facchini Granato e Neide Simões de Mattos, Saraiva, 2005.
Nossa escolha – Um plano para solucionar a crise climática, de Al Gore, Amarilys, 2009.
Os detetives do DNA, de Anna Meyer, Record, 2008.
O gene egoísta, de Richard Dawkins, Itatiaia, 2001.
O guia completo dos dinossauros do Brasil, de Luiz Anelli, Peirópolis, 2010.
O incrível mundo dos fungos, de Gisela Ramos Terçarioli, Unesp, 2010.
O que é vida?, de Lynn Margulis e Dorion Sagan, Jorge Zahar, 2002.
Para gostar de ler – A história da Biologia, de Robson Fernandes de Farias, Átomo, 2009.
Planeta Terra em perigo, de Elizabeth Kolbert, Globo, 2008.
Polegares e lágrimas e outras peculiaridades que nos tornam humanos, de Chip Walter, Record, 2009.
Seca no Nordeste – Desafios e soluções, de Edith Oliveira de Menezes, Atual, 2005.
Serpentes do Cerrado, de Otavio Marques e André Eterovic, Holos, 2015.
Terra: ontem e hoje – O planeta e as marcas deixadas pelo homem, de Fred Pearce, Larousse, 2008.
Uma introdução aos invertebrados, de Janet Moore, Santos, 2003.
Vivendo no Cerrado... e aprendendo com ele, de Marcelo Ximenes Aguiar Bizerril, Saraiva, 2005.

Sites

(Acessos em: maio de 2016.)

Arqueologia
<http://www.itaucultural.org.br/projetos/arqueologia>
Biotecnologia
<http://www.biotecnologia.com.br/>
<http://www.suframa.gov.br/cba>
Centros e museus de ciência no Brasil
<http://www.museudavida.fiocruz.br/media/Guia_2009_completo.pdf>
Charles Darwin
<http://portaldoprofessor.mec.gov.br/storage/materiais/0000012180.pdf>
<http://www.darwinbrasil.com.br/>
Ciências
<http://www.unesp.br/revista>
<http://www.scienceblogs.com.br>
Clonagem
<http://www.invivo.fiocruz.br/cgi/cgilua.exe/sys/start.htm?infoid=5&sid=9>
Embriologia humana
<http://www.famema.br/disc/material/introducaodesenvembrionario.pdf>
Evolução
<http://www.ib.usp.br/evosite>
<http://www.revistapesquisa.fapesp.br/2012/05/11/walter-neves-o-pai-de-luzia>
Genética
<http://www.geneticanaescola.com.br>
<http://objetoseducacionais2.mec.gov.br/handle/mec/2313> (Primeira Lei de Mendel)
<http://objetoseducacionais2.mec.gov.br/handle/mec/2314> (Segunda Lei de Mendel)
<http://www.genoma.ib.usp.br/?page_id=62>
<http://genetica.ufcspa.edu.br/seminarios%20textos/Klinefelter.pdf>
<http://genetica.ufcspa.edu.br/seminarios%20textos/Edwards.pdf>
<http://www.fsdown.org.br>
Histologia humana
<http://www.ufgd.edu.br/editora/cadernos-academicos/histologia-humana-roteiro-de-aulas-praticas/at_download/pdflivro>
<http://depto.icb.ufmg.br/dmor/hem/atlas_histologico.html>
Projeto Homem Virtual – Medicina USP
<http://www.projetohomemvirtual.com.br>
Reprodução humana
<http://reproducaohumana.sites.unifesp.br/site/>
Sangue
<http://www.ib.usp.br/microgene/files/biblioteca-21-PDF.pdf>
<http://www.invivo.fiocruz.br/cgi/cgilua.exe/sys/start.htm?infoid=1381&sid=8>
<http://www.prosangue.sp.gov.br/artigos/estudantes>
Saúde humana
<http://www.greenpeace.org/brasil/PageFiles/4904/pops_impactosaude.pdf>
Sistema endócrino
<http://biologia.ifsc.usp.br/bio2/apostila/apost-fisiol-parte6.pdf>
<http://educacao.uol.com.br/disciplinas/biologia/sistema-endocrino-regulacao-e-controle-das-funcoes-do-corpo.htm>
Sistema respiratório
<http://bvsms.saude.gov.br/bvs/publicacoes/doencas_respiratorias_cronicas.pdf>

Gabarito

Respostas para as questões da seção **Testes**.

Unidade 1 – A espécie humana

Capítulo 1 – Reprodução e desenvolvimento embrionário humano

1. A
2. C
3. B
4. 40 (08 + 32)
5. A
6. D

Capítulo 2 – Estrutura e função dos tecidos humanos

1. A
2. 50 (02 + 16 + 32)
3. D
4. D
5. D

Capítulo 3 – Sistemas digestório, respiratório, cardiovascular e imunitário

1. B
2. C
3. B
4. D

Capítulo 4 – Sistemas urinário, nervoso e endócrino

1. C
2. A
3. A
4. A

Unidade 2 – Genética

Capítulo 5 – A Genética e os genes

1. C
2. D
3. D
4. C
5. D
6. B
7. E
8. E
9. E

Capítulo 6 – A herança de uma característica

1. B
2. E
3. C
4. E
5. B
6. B
7. C
8. B

Capítulo 7 – A herança simultânea de duas ou mais características

1. B
2. E
3. V, F, V, F e V
4. A
5. B

Capítulo 8 – Outros mecanismos de herança

1. D
2. E
3. F, V, V, V e V
4. F, V, F, V e V
5. V, V, V, V e F
6. D
7. 03 (01 + 02)

Capítulo 9 – Biotecnologia

1. C
2. C
3. A
4. D
5. A e D

Unidade 3 – Evolução

Capítulo 10 – Processos evolutivos

1. D
2. D
3. B
4. D
5. A
6. B

Capítulo 11 – Genética de populações e especiação

1. B
2. E
3. C
4. C
5. 61 (01 + 04 + 08 + 16 + 32)
6. C
7. V, V, V, F e F

Capítulo 12 – Evolução humana

1. B
2. B
3. C
4. C
5. E
6. B
7. B
8. B

MANUAL DO PROFESSOR
Orientações didáticas

Apresentação

Em todos os setores da atividade humana, o conhecimento cresce em ritmo acelerado. Tentar acompanhar esse crescimento deve ser, para todos, um procedimento diário, com leitura de jornais, revistas e livros, e com consultas a endereços eletrônicos como os de universidades e instituições governamentais. Mais do que conhecer os grandes avanços do saber, é preciso compreender o significado deles. Na área biológica, por exemplo, cada vez mais são desenvolvidas formas de melhorar a qualidade do ambiente, aumentar a oferta de alimentos, aprimorar as condições de saúde das pessoas e entender os mecanismos que regem a vida. Por esse motivo, podemos afirmar que os conhecimentos biológicos estão assumindo grande importância na formação de todos, havendo necessidade crescente de serem conhecidos por pessoas das mais diversas áreas de atuação.

Para os estudantes do Ensino Médio, esses conhecimentos também são fundamentais, visto que eles seguirão destinos pessoais e profissionais diversificados. Assim, nesta obra, procuramos fazer com que o estudante retome o que já sabe sobre os temas em que vai se aprofundar e, ao longo de seus estudos, aprimore esses saberes, preparando-se para compreender os avanços científicos que certamente virão e para se posicionar de modo mais consistente diante deles.

Nesta obra, as informações e as atividades propostas foram inseridas de forma a proporcionar o desenvolvimento da cidadania e a reflexão do educando, permitindo que ele se perceba como um elemento integrante da natureza. Além disso, os conteúdos estão articulados de modo a favorecer que o estudante entenda a Biologia como um todo. Ao longo desta coleção, tivemos a preocupação de enfatizar a estreita relação entre o conteúdo teórico e a vida prática dos educandos e de manter a consistência conceitual necessária, possibilitando a eles compreender os temas abordados em Biologia. Porém, é você, professor(a), quem deverá adaptar a profundidade na abordagem dos conteúdos aos objetivos que pretende alcançar.

Na elaboração desta obra, contamos com a colaboração de muitas pessoas, a quem somos extremamente gratos.

Esperamos que nosso esforço em oferecer a você, prezado(a) colega, um bom material de apoio atenda às suas expectativas, colabore com seu trabalho em sala de aula e contribua para a formação de pessoas críticas e conscientes. Esperamos também que os educandos tenham nesta obra um material de estudo motivador.

Bom trabalho e conte sempre conosco.

Os autores

Sumário

1. A proposta desta obra 292

1.1. Princípios gerais 292

1.2. Estrutura e abordagem metodológica 293

2. O processo de avaliação do educando 299

3. O educador e sua relação com o educando 301

4. Uso das tecnologias de informação e comunicação (TIC) no ensino 302

4.1. Propostas de trabalho com tecnologia 302

5. Cinema no ensino de Biologia 306

6. Explorando museus e outros espaços culturais 309

7. Legislação sobre coleta, manutenção e uso de material biológico 309

8. Documentos norteadores do Ensino Médio e suas relações com esta obra 310

9. Referências bibliográficas 312

10. Comentários por capítulo 314

Unidade 1 – **A espécie humana** 314

Capítulo 1 – Reprodução e desenvolvimento embrionário humano 314

Capítulo 2 – Estrutura e função dos tecidos humanos 319

Capítulo 3 – Sistemas digestório, respiratório, cardiovascular e imunitário 324

Capítulo 4 – Sistemas urinário, nervoso e endócrino 329

Unidade 2 – **Genética** 334

Capítulo 5 – A Genética e os genes 334

Capítulo 6 – A herança de uma característica 336

Capítulo 7 – Herança simultânea de duas ou mais características 340

Capítulo 8 – Outros mecanismos de herança 343

Capítulo 9 – Biotecnologia 348

Unidade 3 – **Evolução** 351

Capítulo 10 – Processos evolutivos 351

Capítulo 11 – Genética de populações e especiação 355

Capítulo 12 – Evolução humana 357

11. Sugestões de atividades extras para o volume 3 359

12. Indagação científica 374

13. Bibliografia 382

1. A proposta desta obra

1.1. Princípios gerais

O Ensino Médio é a etapa final da educação básica e tem como objetivo principal formar o educando para a vida, qualificando-o para a cidadania e capacitando-o para o aprendizado permanente, em eventual prosseguimento dos estudos ou diretamente no mundo do trabalho.

Estar formado para a vida significa:

- saber informar-se, comunicar-se, argumentar, compreender e agir;
- enfrentar problemas de diferentes naturezas;
- participar socialmente, de forma prática e solidária;
- ser capaz de elaborar críticas ou propostas;
- adquirir atitude de permanente aprendizado.

Visando propiciar o desenvolvimento desses objetivos, os assuntos abordados, sempre com linguagem clara e objetiva, com texto ricamente ilustrado, são acompanhados de atividades que possibilitam a retomada, a reflexão e a ampla participação dos estudantes.

Além disso, os temas e assuntos trabalhados fornecem instrumentos para uma melhor atuação diante de situações do dia a dia e da futura vida profissional e pessoal. Esta obra não objetiva apenas o desenvolvimento de saberes que poderão ser exigidos nos exames de ingresso nas diferentes universidades, mas, sobretudo, procura valorizar os pressupostos do Enem, estimulando o desenvolvimento de competências e habilidades. Como **competência** entende-se a capacidade de agir eficazmente em determinado tipo de situação, apoiando-se em conhecimentos. As competências não são os conhecimentos, mas elas mobilizam, utilizam e integram os conhecimentos. Elas possibilitam dominar e fazer uso das linguagens, construir e aplicar conceitos, selecionar, organizar, interpretar dados, relacionar informações, elaborar propostas etc. Como **habilidades** entende-se o saber fazer, como, por exemplo, a habilidade de redigir um texto, de compor uma tabela, de realizar um experimento controlado etc.

Assim, para elaborarmos esta obra, consideramos que:

- educar é saber ouvir, respeitar, observar, proporcionar novas experiências, orientar e abrir espaço para a interação e a socialização;
- devemos colaborar com a formação de um estudante ativo, crítico, responsável por suas ações e decisões e com ampla visão de mundo, oferecendo-lhe condições para que possa ler e decodificar informações apresentadas pela mídia e situar-se no mundo atual;
- precisamos estimular o educando a desenvolver o conhecimento que já possui, somando a ele os conteúdos de Biologia, em especial, e esclarecendo como esses conteúdos se interconectam com os de outras áreas;
- o diálogo entre os educandos e entre eles e o educador deve ter como objetivo o desenvolvimento e o aprimoramento da capacidade de comunicação;
- o estudante precisa desenvolver conhecimentos que lhe possibilitem posicionar-se como interlocutor em debates sobre assuntos diversos;
- ao longo do processo de aprendizagem, o educador deve valorizar os saberes que o educando já possui não só da Biologia como também de outras áreas do conhecimento, mas também deve levá-lo a rever esses saberes pela perspectiva das Ciências da Natureza e suas Tecnologias, o que pode ser um estímulo para que avance na busca de novos desafios;
- a aprendizagem da Biologia deve possibilitar que o estudante faça a distinção entre um fato e a interpretação dele. Isso lhe permitirá perceber conclusões falhas sobre os fenômenos relacionados à vida em diversas situações cotidianas, por estarem pautadas apenas em observações, e não em sua análise efetiva;
- o educando é agente do próprio saber, o qual, na medida em que é socialmente construído, faz sentido para ele, por estar em comunhão com sua realidade, e pode fornecer-lhe respostas a indagações pessoais, servindo de base para a construção da identidade e da cidadania;
- na aquisição de conhecimento, é importante a aprendizagem significativa (Ausubel, Novak e Hanesian, 1980), pois ela possibilita que o estudante estabeleça relações entre o que já sabe (os chamados conhecimentos prévios presentes em sua estrutura cognitiva[1]) e os conceitos a serem aprendidos;
- o ensino deve estimular a curiosidade, articular conhecimentos com competências e desenvolver o gosto pela cultura.

De acordo com as considerações anteriores, apresentamos ideias fundamentais para que o educando possa compreender que:

- o conhecimento científico é produto da cultura humana e, como tal, não pode ser considerado como verdade absoluta, ou seja, acabado, pois está em constante desenvolvimento;
- o conhecimento científico não é baseado em opiniões pessoais, mas na lógica e na experimentação resultantes de reflexões e conclusões de muitos pesquisadores ao longo dos tempos;

1. Para Ausubel, Novak e Hanesian (1980), a estrutura cognitiva representa "o conteúdo total de ideias de um certo indivíduo e sua organização; ou o conteúdo e organização de suas ideias em uma área particular de conhecimentos". Para Moreira (1999), a estrutura cognitiva é uma rede complexa de conceitos, os quais se encontram organizados segundo uma hierarquia conceitual: há conceitos maiores, entendidos como "mais gerais", aos quais se relacionam conceitos mais específicos.

- o desenvolvimento tecnológico surgiu da união entre a Ciência e a técnica;
- para construir determinados saberes, é necessário consultar diferentes fontes de informação e utilizar diversos recursos tecnológicos;
- não é o simples acúmulo de conhecimentos que leva à evolução do pensamento científico, mas o confronto entre ideias, por vezes contraditórias;
- as novas tecnologias têm exigido indivíduos cada vez mais atualizados e integrados ao processo de transformação da realidade;
- muitos dos conceitos científicos e até mesmo suas nomenclaturas tornaram-se tão frequentes nos meios de comunicação, na vida profissional e no convívio doméstico que já podem ser considerados integrados à linguagem cotidiana;
- para contribuir com a transformação da sociedade e poder torná-la mais justa e igualitária, é necessário entender e acompanhar o avanço tecnológico;
- para ampliar direitos e conquistas sociais ao longo da vida, não se deve ficar à margem dos saberes científicos;
- a consciência crítica é construída diariamente, e não herdada de outros.

Antes de apresentarmos a estrutura da obra, é preciso que você leve em conta uma questão importante referente ao significado do livro didático como um recurso a ser utilizado em sala de aula.

Você, professor(a), é quem mais conhece sua realidade educacional e, por isso, é quem dispõe de elementos essenciais para elaborar um projeto de ensino que atenda às necessidades educacionais específicas dos estudantes. O modo como a obra encontra-se estruturada, com textos e atividades diversificados, reflete nossa preocupação em oferecer um conjunto de elementos com os quais você possa dialogar, orientando os educandos no desenvolvimento de ideias, apresentando exemplos do que está sendo discutido e propondo reflexões sobre os conhecimentos científicos. Cabe a você utilizar e adaptar a obra de acordo com seu fazer pedagógico, até mesmo buscando outras fontes de informação que complementem as discussões sugeridas, como artigos e reportagens envolvendo Ciência.

Segundo Zabala (1998), na prática de sala de aula é importante que o ensino considere situações próximas à realidade do educando e à complexidade intrínseca a ela, suscitando a discussão acerca de problemas envolvidos e que possam ser convenientemente tratados didaticamente.

Ao longo deste Manual, sugerimos possibilidades de interlocução com os educandos com base no que a obra oferece. Esperamos que nossa parceria contribua para o atendimento às necessidades educacionais dos estudantes.

Por fim, destacamos que a obra procurou apresentar o caráter de contínua construção da Ciência, com conhecimentos inacabados e com possibilidade de questionamentos. Além disso, nesta obra, valorizou-se o respeito à vida, procurando-se sensibilizar os educandos quanto a questões éticas envolvendo a integridade de toda e qualquer forma de vida.

Para Sacristán (1991), os materiais didáticos podem estimular e dirigir os processos de ensino e aprendizagem. Segundo ele, os materiais não apenas transmitem informações, favorecendo o desenvolvimento de conceitos, mas também podem aumentar o interesse dos estudantes. Nesse sentido, incentivamos nesta obra a discussão de temas que são atuais e/ou presentes no cotidiano deles.

Antes de passarmos ao próximo item, julgamos importante comentar que, até o momento da finalização desta obra, ainda se encontrava em discussão a Base Nacional Curricular Comum, cuja proposta de reestruturação da escola básica e unificação dos currículos inclui o Ensino Médio. Assim, pautamos nosso trabalho nos documentos oficiais até então existentes, em nossa experiência com esse nível de escolaridade e nas inúmeras manifestações e sugestões que temos recebido de professores do Brasil todo.

1.2. Estrutura e abordagem metodológica

A sequência de assuntos no ensino de Biologia é sempre alvo de debates e várias opções são possíveis. Seja qual for a sequência adotada, porém, ela será considerada adequada se propiciar o estabelecimento de elos entre um tema e outro, de modo a evidenciar aos educandos uma visão da Biologia como um todo integrado. Ao longo desta obra, buscamos integrar os diversos temas de modo que os educandos possam relacioná-los e, assim, perceber que os conhecimentos não são desconectados e cindidos dentro da própria Biologia ou entre a Biologia e outras áreas do saber.

Nesta coleção, composta de um volume para cada ano do Ensino Médio, optamos por organizar a sequência de temas para cada volume de modo a atender às necessidades do maior número possível de professores em todo o Brasil. Buscamos também aproximá-la, com certas adaptações, de algumas das propostas para o ensino de Biologia debatidas nos últimos anos.

Assim, em nossa obra, partimos, no volume 1, de uma visão geral da vida no planeta. Os estudantes têm a oportunidade de analisar as interações entre as comunidades biológicas e os fatores físicos e químicos que compõem os ecossistemas; as relações dessas comunidades entre si; os ciclos biogeoquímicos essenciais à manutenção da vida; as consequências da intervenção humana nos diferentes ambientes; a responsabilidade compartilhada e o uso sustentável da biodiversidade.

Iniciamos, portanto, com ecologia. A seguir, consideramos interessante partir desse cenário atual para levar os estudantes a questionar o dinamismo do nosso

planeta e a história evolutiva da vida. Estimula-se os estudantes a pensar: Será que a Terra sempre foi assim como a conhecemos hoje? Passamos, então, ao estudo da origem da Terra e da vida, de modo a evidenciar os aspectos dinâmicos dos fatores abióticos e bióticos ao longo do tempo. Ao se fazer essa análise, ingressamos na origem e na evolução da unidade da vida: a célula.

A abordagem evolutiva e ecológica é valorizada não só nesse momento, mas em todas as demais seções. Evolução e ecologia são áreas da biologia intimamente ligadas e constituem eixos em torno dos quais os conceitos devem ser trabalhados. O estudo da célula, nesse volume, é apresentado sob o ponto de vista evolutivo e funcional.

O volume 2 trata da diversidade da vida. Na abordagem desse tema, optamos pelo enfoque evolutivo, trazendo logo no início noções de evolução e de sistemática filogenética, para podermos avançar nos diferentes grupos de seres vivos com esse mesmo enfoque.

No volume 3, trazemos o estudo da espécie humana, da evolução e da genética. Cabe ressaltar que o tema evolução, embora aprofundado no volume 3, é abordado tanto no volume 1 quanto no 2, não ficando assim restrito apenas ao último ano do Ensino Médio.

Passamos, a seguir, à descrição de como se organizam as unidades e os capítulos dos volumes, aliando a essa descrição a fundamentação teórica e metodológica que embasou cada uma de nossas escolhas. Consideramos que, desse modo, tornamos mais clara a função de cada um dos componentes da obra.

Abertura de unidade

Os objetivos pedagógicos das aberturas de unidade estão pautados no que Moreira (1999) considera uma das condições importantes para que ocorra a aprendizagem significativa: a predisposição dos estudantes para aprender, o que depende de um esforço deliberado, cognitivo e afetivo.

Nessa perspectiva, na abertura de cada unidade, incluímos uma frase motivadora de algum cientista ou de outra personalidade, relacionada ao tema que será visto. Sugerimos que você a leia com os estudantes para sensibilizá-los sobre o assunto da unidade. Nossa preocupação nesse momento é despertar neles a sensibilidade, a afetividade e o interesse pelo que será abordado. Há também uma fotografia representativa acompanhada de legenda, que, em certos casos, foi escrita de forma mais poética, ou literária.

Em seguida, ainda dentro das perspectivas afetiva e cognitiva, sugerimos que você questione os estudantes acerca de que informações esperam encontrar na unidade e se estas poderiam responder a suas eventuais indagações, conferindo novos significados a elas. Sugerimos que, com a sua mediação como educador(a), a discussão seja ampliada com a classe. É muito importante que todas as considerações levantadas pelos educandos sejam valorizadas, de modo que se estabeleça um vínculo afetivo real, não só com o conteúdo, mas também entre você e a turma, e entre cada um deles.

Além de Moreira (1999), Ausubel, Novak e Hanesian (1980) também consideraram que no desenvolvimento dos processos de aprendizagem há a influência de fatores afetivos, entendidos como determinantes subjetivos e interpessoais da aprendizagem. Essa mesma importância foi destacada por Novak (1981) quando afirmou:

> Aprendizagem cognitiva é acompanhada de experiência emocional; por esta razão, o desenvolvimento afetivo será uma concomitante da aprendizagem cognitiva. A experiência emocional tenderá a ser mais produtiva quando a instrução for planejada para otimizar a aprendizagem cognitiva e, consequentemente, um positivo desenvolvimento afetivo é maior quando estão presentes condições que favorecem o crescimento cognitivo.

Outro ponto que nos levou à elaboração das aberturas de unidade dessa maneira foi a intenção de despertar a motivação do educando. Ausubel, Novak e Hanesian (1980) propõem que um fator que favorece a aquisição de novas aprendizagens é a motivação para aprender. Para esses autores, a motivação pode energizar aspectos da aprendizagem do estudante, aumentando seu esforço, atenção e prontidão para aprender. Assim, há uma relação de causa e efeito recíproca entre motivação e aprendizagem: ora a motivação pode ser catalisadora da aprendizagem, ora a aprendizagem pode ser catalisadora da motivação.

Capítulo

Cada capítulo é organizado com página de abertura, texto e atividades.

A ***página de abertura*** tem dois objetivos principais:

O primeiro refere-se à *fotografia* e à respectiva *legenda,* que são apresentadas em destaque logo abaixo do título do capítulo. Com a apresentação desse conjunto fotografia-legenda, nossa intenção é desenvolver a motivação para aprender, além de permitir a relação dos educandos com o saber. Ainda em continuidade com o que foi apontado para a abertura da unidade, esse saber pretende-se imbuído de sensibilidade e afetividade, criados por meio da observação de imagens. Sugerimos que, antes de ler a legenda da imagem, peça aos estudantes que observem a fotografia e tentem extrair dela uma mensagem, ou seja, o que a imagem "diz" a eles. Assim, esse primeiro objetivo busca retomar, capítulo a capítulo, tudo o que já discutimos para a abertura de unidade de modo a deixar sempre viva a motivação e a afetividade.

O segundo objetivo refere-se à seção seguinte das páginas de abertura – ***Pense nisso*** –, em que são feitos questionamentos para sensibilização do educando e resgate de seus conhecimentos prévios. Essa seção está pautada em um dos pressupostos teóricos da aprendizagem significativa, a valorização dos conhecimentos prévios dos educandos, que pode ser traduzida da seguinte forma:

antes de cada assunto, deve-se resgatar o que a turma traz de bagagem em sua estrutura cognitiva.

Segundo Ausubel, Novak e Hanesian (1980), a aprendizagem significativa de novas informações ocorre na medida em que estas se relacionam a um ou mais conceitos específicos presentes na estrutura cognitiva do indivíduo. Esses conceitos específicos já se encontram na estrutura cognitiva do educando antes mesmo do processo de aprendizagem e servem de pontos de ligação, ou seja, de ancoragem às novas informações a serem aprendidas. Assim, tais conceitos, que se apresentam consolidados na estrutura cognitiva do estudante, são capazes de orientar o desenvolvimento de novas informações a serem aprendidas. Esse é o motivo pelo qual se admite que a aprendizagem significativa não é um processo arbitrário à estrutura cognitiva do educando. Logo, para ocorrer uma aprendizagem significativa, é preciso considerar os conhecimentos prévios do estudante. Conforme argumentam Ausubel, Novak e Hanesian (1980), o fator isolado mais importante que influencia a aprendizagem é aquilo que o educando já sabe. Assim, recomendamos que você parta dos conhecimentos prévios do educando para o desenvolvimento do capítulo.

É importante considerar que as questões formuladas na seção ***Pense nisso*** são apenas algumas sugestões para iniciar esse trabalho. Estimulamos você a propor outras, de acordo com suas necessidades e as da turma com que está trabalhando. Em suma, retome os conhecimentos prévios dos educandos e propicie discussões que os levem a refletir sobre suas concepções ao longo do processo de aprendizagem; isso lhes possibilitará identificar se elas apresentam algum equívoco conceitual.

Durante o trabalho com essa seção, propicie aos educandos a exposição oral ou escrita das respostas aos questionamentos, de forma a realizar um trabalho integrado e a estimular a comunicação e o relacionamento cordial entre todos. Nesse momento, deve-se valorizar o compartilhamento de saberes por meio de trocas de informações, relatos, discussões e exemplos a respeito do assunto proposto. Em busca desse objetivo, recorra a situações pedagógicas que possam despertar nos educandos o desejo de expor aos colegas e a você seus conhecimentos prévios. Esse compartilhar de conhecimentos possibilita a eles atribuir sentido aos conteúdos propostos no capítulo. Nesse momento é importante considerar que os estudantes do Ensino Médio trazem consigo um conjunto de saberes a respeito da natureza e de seus componentes, e de valores biológicos e não biológicos adquiridos com base em seus estudos no Ensino Fundamental e em experiências vividas em seu contexto sociocultural. Valorizar seus interesses e suas curiosidades é fundamental na construção dos conhecimentos científicos.

Na seção ***Pense nisso***, questione e estimule, não ofereça respostas. No decorrer do desenvolvimento do tema do capítulo, explore os conhecimentos prévios dos educandos que foram levantados, a fim de que percebam eventuais incoerências. Essa constatação exigirá a necessidade de desenvolver ideias relacionadas aos conceitos, havendo, assim, o estabelecimento de novas relações cognitivas dos estudantes com seus conhecimentos prévios.

Após a seção ***Pense nisso***, inicia-se o texto do capítulo, que pode conter dois tipos de boxe, ou quadro, e alguns textos destacados, de ampliação de conteúdo. O número e a frequência de cada um desses tipos de boxe varia nos diferentes capítulos.

Os boxes denominados ***Despertando ideias*** propõem realização ou interpretação de experimentos que possam levantar questionamentos sobre o assunto que será tratado posteriormente a eles, abrindo espaço para discussão, ou mesmo prover percepções concretas sobre as quais os educandos poderão alicerçar novos conceitos mais abstratos e formais.

Os boxes ***Colocando em foco*** propõem uma abordagem transversal dos temas do capítulo, tratando de assuntos relacionados à qualidade de vida e da saúde das pessoas, vida em sociedade e à sustentabilidade do planeta, à utilização ética de seres vivos para benefício da sociedade humana, à história das ciências e como cientistas, ao longo dos anos, colaboraram e colaboram para o desenvolvimento da sociedade, entre outros. Os textos desses boxes pretendem aproximar ainda mais a Biologia do cotidiano do estudante e envolvê-lo em situações que despertem a afetividade e a cognição. Sempre que necessário, esses textos são comentados, neste Manual, nos comentários gerais ao capítulo.

Além dos boxes, o texto é ilustrado por imagens, como fotografias, esquemas, tabelas ou quadros, mapas, infográficos e gráficos, compondo com a parte escrita um todo indissociável. De acordo com Bruzzo (2004), as imagens incluídas nos livros apresentam diversos conteúdos que podem substituir páginas de texto. Com base no potencial informativo das imagens, pode-se também usá-las como modelos para elaboração de esquemas no quadro e para conduzir as discussões durante as aulas.

Novamente, recomendamos a importância de se partir dos conhecimentos prévios dos educandos para o desenvolvimento do teor do capítulo.

Para cada um dos educandos, os conhecimentos prévios, também chamados *subsunçores*, vão se relacionar às informações a serem aprendidas, podendo, em cada situação, ocorrer um ou mais dos seguintes tipos de aprendizagem significativa: subordinada, superordenada e combinatória (Moreira, 1999).

Na aprendizagem significativa subordinada (figura 1), os subsunçores são mais amplos que a nova informação a ser aprendida e os estudantes acabam por englobá-la ou incorporá-la. Fala-se que o subsunçor é mais inclusivo, ou seja, mais abrangente que a nova informação. Representando por **A** o subsunçor mais inclusivo e por **a** a nova informação menos inclusiva, **A** assimila **a** e ambos se

modificam com a interação, formando um novo subsunçor **A'a'**. Em síntese, ocorre uma subordinação de **A** à estrutura cognitiva do estudante.

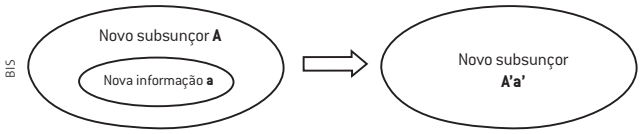


Figura 1. Diagrama representando como se relacionam os subsunçores com as novas informações no processo de aprendizagem significativa subordinada.

Para Moreira (1999), grande parte da aprendizagem significativa é do tipo subordinada.

A aprendizagem significativa superordenada ocorre quando os subsunçores são menos abrangentes, ou seja, menos inclusivos que a nova informação ou conceito a ser aprendido (figura 2). Essa situação é oposta à aprendizagem subordinada, em que os subsunçores são mais abrangentes que as novas informações, englobando-os. Na aprendizagem superordenada, por serem os subsunçores menos abrangentes que o novo conceito, não são eles que englobam a nova informação, mas a nova informação é que engloba os subsunçores. Supondo que **A** seja a nova informação mais abrangente que os subsunçores $\mathbf{a^1}$, $\mathbf{a^2}$ e $\mathbf{a^3}$, na aprendizagem superordenada, **A** engloba esses subsunçores, que, por serem parte de **A**, passam a representar especificações dele.

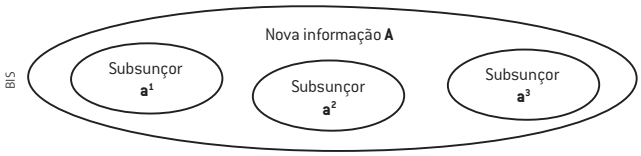


Figura 2. Diagrama representando como se relacionam os subsunçores com as novas informações no processo de aprendizagem significativa superordenada.

A aprendizagem significativa combinatória ocorre quando uma nova informação não se relaciona a conceitos subsunçores mais abrangentes, como acontece no caso da aprendizagem subordinada, nem menos abrangentes, como ocorre no caso da aprendizagem superordenada. A nova informação será igualmente abrangente a um ou mais conceitos que já existem na estrutura cognitiva do educando. Nesse caso, a nova informação passa a estabelecer com os subsunçores uma nova associação combinatória. Sendo a nova informação representada por **A**, ela vai se combinar com o subsunçor **B**, ou com outros, como **C** e **D**, igualmente amplos, existentes na estrutura cognitiva do educando (figura 3).

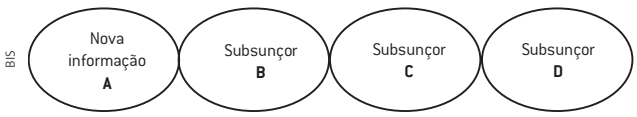


Figura 3. Diagrama representando como se relacionam os subsunçores com as novas informações no processo de aprendizagem significativa combinatória.

Na aprendizagem significativa, seja subordinada, superordenada ou combinatória, cada novo conceito que foi incorporado à estrutura cognitiva do educando passa por processos de diferenciação e de interação com outros conceitos subsunçores. Assim, o que é aprendido significativamente se integra à rede conceitual do educando, dando a ela maior complexidade e detalhamento.

Além dos processos de interação e diferenciação entre novos conceitos e subsunçores, na aprendizagem significativa ocorre a *reconciliação integrativa*. Esse processo consiste na reorganização dos conceitos incorporados, os quais passam então a adquirir novos significados. Retomam-se os conceitos mais inclusivos da estrutura cognitiva dos educandos, buscando-se, via exemplos, novos significados para esses conceitos. Nesta obra, esses pontos foram considerados, visto que em diversos momentos se faz a contextualização dos diferentes assuntos.

Segundo Ausubel, Novak e Hanesian (1980), levando-se em conta a forma como os conteúdos são apresentados ao estudante, a aprendizagem significativa pode ser receptiva ou por descoberta.

Em situações em que se apresentam ao educando os conteúdos a serem aprendidos em sua forma final ou bem próxima dela, observa-se a aprendizagem significativa por recepção. É importante ressaltar que a ocorrência de aprendizagem receptiva não impede o educando de atingir uma aprendizagem significativa. Nesse caso, uma vez que haja acesso aos conteúdos em sua forma final, o educando deve trilhar caminhos por onde seja possível estabelecer relações substantivas entre os subsunçores e as novas informações. A aprendizagem receptiva não deve ser confundida com aprendizagem passiva, sem participação ativa do estudante.

A aprendizagem por descoberta desenvolve-se em situações nas quais o educando deve descobrir gradativamente os conteúdos a serem aprendidos. Para isso, recomenda-se que sejam propostas situações desafiadoras nas quais os questionamentos são usados como estratégia para que os educandos se coloquem e, aos poucos, cheguem aos objetivos de aprendizagem.

Esta obra permite trabalhar com os educandos a aprendizagem das duas formas: a aprendizagem por recepção e a por descoberta. Você pode optar por usar essas duas formas de apresentação do conteúdo dependendo do tema do capítulo, que pode ser mais propício para uma dessas maneiras de trabalhar. Neste Manual, na parte referente a cada um dos volumes desta coleção, apresentamos algumas sugestões de atividades extras para você desenvolver em sala tomando como exemplo alguns dos temas abordados. Reforçamos, mais uma vez, que são apenas algumas sugestões e estimulamos que você faça a devida adequação às suas necessidades.

Ao final do texto principal do capítulo, há quatro seções de atividades com objetivos educacionais especificados a seguir.

Na seção ***Tema para discussão***, foram selecionados textos com diferentes peculiaridades e objetivos: ampliar a visão do estudante sobre os assuntos relacionados ao capítulo, aproximar ainda mais o tema do capítulo ao cotidiano, propor questões formativas e despertá-lo para o exercício da cidadania. Sugerimos que sejam exploradas todas as potencialidades de cada um dos textos e das propostas de atividades que a ele se seguem. Entre essas atividades estão pesquisas, debates, redação de textos de divulgação, montagem de diagramas e modelagem (especialmente com massa de modelar), produção de *blogs* e discussões em fóruns, difusão do conhecimento para a comunidade onde vive.

Na seção ***Retomando***, cada estudante é convidado a retomar as respostas que deu às questões da seção ***Pense nisso***, com o objetivo de que ele verifique se relacionou novos conceitos aos conhecimentos prévios. Recomendamos que você amplie a seção ***Retomando***, incorporando o que foi levantado no início do capítulo por toda a classe, e outras questões que você tenha proposto.

Na seção ***Ampliando e integrando conhecimentos***, as atividades são diversificadas e contextualizadas, visando desenvolver diferentes habilidades e competências, além de integrar os conhecimentos com outras áreas do saber. Nessa seção, tomou-se também por referência a matriz de habilidades do novo ***Exame Nacional do Ensino Médio*** (***Enem***). No Livro do Estudante, próximo ao título de cada atividade dessa seção, você também encontrará, em cor-de-rosa, as habilidades do Enem relacionadas a ela. Essa seção propõe poucas questões, mas que, como regra geral, exigem maior dedicação dos estudantes. Elas não são questões que apenas cobram o que já foi discutido no capítulo, mas que ampliam e integram os conhecimentos, desafiando o educando a ir além do que estudou.

Para cada uma das atividades propostas na seção ***Ampliando e integrando conhecimentos*** há, neste Manual, duas subseções:

- *Sobre a estratégia*: além de apresentar informações complementares e fontes alternativas, descrevemos e/ou sugerimos maneiras de abordar as atividades.
- *O que se espera*: são as sugestões de respostas válidas.

As seções ***Tema para discussão*** e ***Ampliando e integrando conhecimentos*** propiciam que cada educando aprenda com os demais algumas maneiras de ser e de compreender o mundo, o que representa uma colaboração para a construção de uma sociedade democrática e pluralista.

A última seção de atividades é a de ***Testes*** de diversos vestibulares e do Enem, que visa possibilitar ao estudante o contato com diferentes tipos de questões. Responder a uma questão de vestibular representa mais uma importante situação de aprendizagem e avaliação. Cabe observar que os objetivos do Enem mudaram ao longo do tempo: ele foi criado em 1998 para avaliar o estudante e a educação básica; sofreu a primeira modificação em 2006 e outra em 2009, abrindo a possibilidade de uso do resultado do Enem para ingresso nas universidades.

A estruturação de todo o capítulo, desde a página de abertura até o final da seção de testes, teve como preocupação, além do trabalho com a aprendizagem significativa, as diferentes dimensões da aprendizagem conforme descrito por Zabala (1998), que considera que em toda aprendizagem há conteúdos de diferentes naturezas que são desenvolvidos pelos educandos. Trata-se dos chamados *conteúdos de aprendizagem*. A abordagem de Zabala quanto aos conteúdos constitui uma proposta de analisar o processo de aprendizagem em três dimensões distintas: a aprendizagem de conteúdos conceituais, procedimentais e atitudinais.

Ao propor a tipificação dos conteúdos, Zabala busca um aprofundamento em cada dimensão do pensamento e do comportamento humanos, com o intuito de realizar uma análise mais apurada da aprendizagem.

É preciso salientar que, para Zabala, a aprendizagem não pode ser compreendida de forma segmentada, com os conteúdos conceituais, procedimentais e atitudinais compartimentalizados. A aprendizagem de um conteúdo implica a aprendizagem de outros conteúdos a ele relacionados.

A aprendizagem de um dado conceito implica uma elaboração pessoal de compreensão de seu significado, objetivo mais específico da seção ***Retomando***.

Os conteúdos procedimentais abrangem regras, técnicas, métodos, habilidades, estratégias e procedimentos, os quais representam o "saber fazer".

O fazer deve ser progressivo, de etapa em etapa, aprendendo-se cada ação necessária à tarefa como um todo. Além disso, o fazer deve ser acompanhado de uma reflexão crítica sobre o que o educando pensa, buscando melhorar cada vez mais suas ações. A aprendizagem de um modo de executar uma tarefa possibilita a aprendizagem de outras maneiras de realizar essa mesma tarefa. Os conteúdos procedimentais devem ser aplicados em situações distintas, permitindo que os educandos os exercitem em diversas ocasiões.

Os conteúdos atitudinais estão relacionados a valores, atitudes e normas.

Valores referem-se a princípios éticos a partir dos quais os indivíduos emitem um juízo sobre as condutas.

Atitudes são tendências das pessoas para atuarem de certo modo. Representam a forma como cada pessoa realiza sua conduta de acordo com valores determinados. As atitudes reflexivas envolvem consciência por parte das pessoas quanto aos valores que as regem. As atitudes intuitivas não apresentam esse nível de consciência. Zabala (1998) considera que uma pessoa aprende uma atitude quando pensa, sente e atua de uma forma mais ou menos constante diante de um objeto de conhecimento concreto.

Normas são padrões ou regras de comportamento impostas a todos os indivíduos pertencentes a um grupo social. Indicam o que é permitido fazer ou não em um grupo. A aprendizagem de uma norma pode ocorrer mediante a aceitação de que não é preciso compreender os motivos que a levam a ser cumprida; ou, então, devido à

aceitação de uma norma como regra básica de funcionamento de uma coletividade.

Além da aprendizagem de novos conteúdos conceituais, os principais objetivos da seção ***Tema para discussão*** são as aprendizagens de conteúdos procedimentais e atitudinais, dentro das perspectivas aqui mencionadas.

Ao almejarmos o desenvolvimento de um estudante participativo, tanto nas aulas como na sociedade, devemos assegurar que sejam executados procedimentos que também precisam ser internalizados. Nossas sugestões de atividades visam, portanto, atender a objetivos como **redigir um texto; ler uma imagem; buscar informações; falar em público usando argumentação; seguir orientações; estabelecer relações; ler e analisar gráficos, tabelas e esquemas; produzir desenhos e emitir opinião**. Cada educando apresenta características, habilidades e necessidades de aprendizagem únicas que o tornam um sujeito com características particulares. Assim, o desafio do ensino está em considerar o ritmo de aprendizagem de cada um e acomodá-lo ao ritmo de aprendizagem da turma. Isso é possível nas situações pedagógicas coletivas, caso do ***Tema para discussão***, da seção ***Ampliando e integrando conhecimentos*** e das seções iniciais da abertura da unidade e da página inicial do capítulo. Também dentro dessa perspectiva, incentivamos que você considere esses aspectos ao lidar com o conteúdo do capítulo em si. A organização coletiva dos conceitos é fundamental para favorecer a construção de uma sociedade democrática.

Novak (1981) afirma que, entre outros fatores que influenciam a resposta emocional, estão as oportunidades para associação humana, que, como já citamos, são reforçadas em vários momentos na presente obra. Segundo Novak, as fontes mais ricas de experiência emocional resultam de associações humanas positivas, as quais fortalecem a confiança pessoal e oferecem apoio emocional para outros desafios.

Para Novak, os seres humanos pensam, sentem e atuam (fazem), e propostas educacionais deveriam buscar formas de melhorar as maneiras pelas quais os seres pensam, sentem e atuam. Ações realizadas em contextos de aprendizagem possibilitariam, assim, trocar significados (pensar) e sentimentos entre educando e educador.

Moreira (1999) afirma que, para identificar evidências da ocorrência da aprendizagem significativa, os aprendizes devem responder a questões que envolvam soluções de problemas, sendo-lhes novas no sentido de exigirem a máxima transformação do conhecimento trabalhado no processo de aprendizagem. Até mesmo a apresentação de testes familiares ao estudante, com um enunciado diferente do original, ou a apresentação deles em outro contexto seriam válidas.

A adoção dessas medidas possibilita descartar a simulação da aprendizagem significativa. Nesse sentido, há vários momentos nos capítulos em que essas situações são estimuladas, o que também acontece nas seções ***Despertando ideias***, ***Ampliando e integrando conhecimentos*** e ***Testes***.

As atividades propostas na obra são complementadas por outras descritas ao final deste Manual. Nosso objetivo, com isso, é apresentar algumas diferentes maneiras de atuar, atendendo a diversas etapas da aprendizagem, assim como colaborar para que sejam atingidos seus objetivos pedagógicos e aqueles expressados pela escola.

Consideramos que, se os conteúdos de Biologia, mesmo os mais complexos, tiverem um significado para os estudantes, essa aproximação se fará de maneira mais convidativa, pois, ao desafiá-los com estratégias diversificadas e contextualizadas, estamos instigando-os a buscar o conhecimento de forma prazerosa e aproximando-os do conhecimento científico.

Cabe só a você, educador(a), escolher a estratégia mais direcionada aos seus objetivos.

Sabemos que uma única estratégia de ensino, por mais sucesso que tenhamos ao usá-la, tem pouca chance de garantir, sozinha, o aprendizado. Assim, julgamos que o processo ensinar/aprender por meio de aulas expositivas, mesmo que dialogadas, pode desempenhar (e desempenha) muito bem sua função em determinados momentos, mas, da mesma forma que outras estratégias, isso não garante por si só a aprendizagem. Há a necessidade de compreendermos os limites de cada uma delas quanto aos objetivos que podem atingir, usando-as a favor do nosso trabalho e no momento mais apropriado. Além disso, ao empregarmos estratégias diferenciadas, também estamos possibilitando aos educandos desenvolver habilidades que não poderiam ser produzidas em uma aula teórica.

A vontade de saber é inerente ao ser humano; contudo, ninguém aprende o que não compreende. Assim como você, ao planejar seu currículo, não queremos que os estudantes apenas memorizem mecanicamente os conceitos.

Percebemos que a construção de um conceito se faz por meio de etapas e que a garantia da aprendizagem não está condicionada a uma única atividade. Devemos empregar estratégias adequadas no momento de avaliarmos o processo de aprendizagem por meio das produções dos educandos, sejam elas um gráfico, o registro de um comando, a resposta a uma questão, o comentário a respeito de uma notícia de jornal ou de uma imagem, ou a opinião dada na aula. Uma atividade pode atender a uma ou mais dessas etapas, bem como costuma haver diferentes atividades que podem atingir o objetivo de cada etapa.

Acreditamos que investir tempo em atividades diferenciadas no processo de aprender/ensinar é uma maneira de ganhar no produto final.

Propomos que você adapte as estratégias didáticas constantes não apenas no livro como também as que são sugeridas ao final deste Manual e que desenvolva outras de acordo com suas necessidades.

2. O processo de avaliação do educando

A Lei de Diretrizes e Bases da Educação Nacional (LDB, Lei Nº 9.394/1996) estabelece que a avaliação deve ser contínua e priorizar a qualidade e o processo da aprendizagem, proporcionando a verificação do desempenho do educando ao longo de todo o ano, e não apenas em uma prova ou em um trabalho. Essa forma de avaliar é chamada de *avaliação formativa* e não tem como pressuposto a punição ou a premiação. Ela considera que cada educando possui um modo de aprender e faz isso em um ritmo próprio, e propõe que o professor diversifique as estratégias de avaliação para que possa acompanhar e avaliar o processo de aprendizagem do estudante.

Existem diversos instrumentos para analisar o desempenho dos educandos. Independentemente do que for utilizado, você, professor(a), deve ter em mente que a avaliação tem de provocar neles uma reflexão quanto a suas propostas de ensino e, se for o caso, repensá-las, de forma que efetivamente possam oferecer ao educando as condições essenciais para que este desenvolva a aprendizagem.

A avaliação mais tradicional – chamada somativa ou classificatória – geralmente é realizada ao final de um tópico do conteúdo e tem como objetivo principal definir uma nota ou estabelecer um conceito, ou seja, dizer se os estudantes aprenderam ou não, e ordená-los segundo seu desempenho, dos que obtiveram notas mais baixas até os que obtiveram notas mais elevadas.

Restringir a avaliação a exames pontuais com atribuição de notas e calcular a média dos resultados não possibilita apreender a qualidade do aprendizado. A nota é apenas uma representação simplificada de um momento do processo de aprendizagem, que muitas vezes não mostra o crescimento do estudante em relação a si próprio e aos objetivos propostos. A avaliação escolar só faz sentido se tiver o intuito de buscar caminhos para o aprendizado e não deve ser usada como punição, mas como um instrumento que auxilie o estudante em seu desenvolvimento.

A avaliação pode ser feita por meio de várias estratégias. Ao escolher entre uma ou outra, é importante que o educador explicite a forma de avaliação proposta, para que o educando entenda os objetivos que se pretende atingir e saiba quais pontos estão sendo mais valorizados em um dado momento do processo educacional.

Alguns passos para uma avaliação global do educando podem ser resumidos da seguinte forma:

- avaliação inicial ou diagnóstica – é o resgate do conhecimento prévio dos estudantes sobre o tema; uma forma de conduzi-la é pedir a eles que se manifestem sobre o que sabem a respeito do assunto a ser abordado; isso pode ser feito a cada aula ou no momento em que um novo assunto é comentado, como é proposto na seção ***Pense nisso***; a participação do educando nessa fase de levantamento deve ser levada em conta na avaliação final, mas a informação que ele traz do senso comum não deve ser medida para nota; ela serve apenas para informar a você, professor(a), de que ponto o educando partiu e quanto avançou após a sistematização do conhecimento, objetivo maior da seção ***Retomando***, que recomendamos a você ampliar de acordo com suas necessidades;
- avaliação processual ou reguladora – é o conjunto de aferições feitas no decorrer do processo de ensino e aprendizagem; esse trabalho serve tanto para mostrar ao educador se determinada estratégia didática está dando resultados como para o educando se balizar em seu processo de aprendizado; o conjunto de aferições deve contemplar diferentes instrumentos. No caso de você, professor(a), não ficar satisfeito(a) com os resultados alcançados, há possibilidade de modificar seus métodos. Ao tratar as diferentes seções apresentadas nesta obra, em especial nas seções ***Despertando ideias***, ***Tema para discussão*** e ***Ampliando e integrando conhecimentos***, você poderá fazer uso dessa forma de avaliação ao analisar a participação dos estudantes;
- avaliação integradora – momento em que o educador estabelece o conceito final de cada educando com base em tudo o que observou e anotou durante o processo educacional.

Para um mesmo período de avaliação, você, educador(a), pode selecionar algumas estratégias e mesclar as informações de maneira a ter uma avaliação mais consistente sobre a aprendizagem de cada educando.

Esta obra foi organizada de forma a colaborar como parte do processo de avaliação do educando. Anteriormente foram destacadas algumas seções que podem ser empregadas na avaliação. A seguir, sugerimos outros momentos.

1. Avaliação da participação do educando em sala de aula – nesse caso, pode-se considerar o interesse na aula, manifestado sob a forma de respostas às perguntas que o educador faz, entrega das atividades extraclasse solicitadas e postura adequada e respeitosa diante dele e dos colegas.
2. Trabalhos individuais de pesquisa – ao solicitar uma pesquisa, não se deve simplesmente passar o tema para o educando; é importante que ele seja acompanhado na realização desse processo; no primeiro momento ou na primeira atividade de pesquisa pedida, o educando deve

ser orientado sobre como pode encontrar a informação, em que fontes buscá-la e como procurá-la; esse procedimento é de extrema valia para a formação do educando, pois, diante da grande quantidade de informações hoje disponíveis e da velocidade com que surgem, será uma ferramenta útil para a vida toda. A pesquisa pode ser apresentada sob forma de texto, devendo o educando ser orientado nos passos a serem seguidos para sua elaboração, bem como na metodologia de citação das referências bibliográficas. Além do trabalho escrito, é interessante propor uma apresentação oral, como um seminário, por exemplo, sempre orientando o educando quanto à técnica de apresentação sugerida.

3. Trabalhos em grupo – a avaliação, nesses casos, pode ser feita considerando-se diferentes aspectos, como a qualidade do trabalho em si, a autoavaliação do educando quanto à sua atuação no grupo e a avaliação de cada membro do grupo em relação à atuação de cada colega.
4. Autoavaliação – pode-se pedir aos educandos que façam relatórios individuais contando o que já sabiam a respeito do assunto, como participaram das tarefas, o que aprenderam e as dificuldades encontradas. Para isso, é fundamental orientar os educandos sobre como proceder, dando clareza a essa proposta de avaliação e propiciando a reflexão sobre o desenvolvimento individual ao longo do processo de aprendizagem de determinado tema. As conclusões da autoavaliação podem servir tanto para desencadear ações individuais como para redefinir os rumos de um projeto coletivo. Esse processo pode ir além da análise do domínio de conteúdos e conceitos e mostrar como está a relação entre os colegas e dos educandos com o educador, como está a evolução do aprendizado de cada um e como cada um dos educandos aprende. Além de ser mais um instrumento para melhorar o trabalho docente, a autoavaliação é uma maneira de promover a autonomia do educando. Para que isso realmente aconteça, ele deve dizer o que sabe e o que não sabe sem medo de ser punido.

Além de todas as maneiras de avaliar, você, professor(a), pode aplicar mais um instrumento, que é a prova. Ao elaborá-la, é de suma importância incluir diferentes tipos de questões (dissertativas, testes de múltipla escolha, entre outras).

Ao trabalhar com cada um dos temas desta coleção, sugerimos que você faça uma avaliação integradora, estabelecendo o conceito final com base em tudo o que se observou e se anotou durante determinado período, além de outros instrumentos de avaliação que considere necessários.

Terminada a avaliação integradora, com a observação diária e multidimensional e o uso de instrumentos diversificados (não somente provas), passa-se à fase da atribuição de conceitos. O ideal é que esses conceitos sejam acompanhados de uma avaliação escrita dos processos envolvidos na aprendizagem do educando, visto que essas informações dizem muito mais que a nota ou o conceito final.

Enquanto o educando é avaliado, ele expõe sua capacidade de raciocinar e criar histórias, seu modo de entender e de viver. Por isso, todas as atividades que forem pedidas ao educando devem ser avaliadas e devolvidas a ele com os respectivos comentários, que devem ser feitos de maneira construtiva, sempre respeitando o ritmo do estudante. Essa forma multidimensional de avaliação propicia a aprendizagem, pois o educador passa a observar o educando sob diferentes aspectos, identificando necessidades, e não problemas de aprendizagem, de maneira que o educando se sente incluído no grupo e motivado a vencer os desafios. Em hipótese alguma se deve estigmatizar o educando como se fosse alguém com hábitos e ideias imutáveis, incapaz de se rever e modificar. Deve-se tentar entender por que ele se comporta de determinada forma diante de uma situação. Rotular o educando não contribui para seu crescimento como ser humano (pode, aliás, ter péssimas consequências).

Por último, não podemos perder de vista que o resultado da avaliação interessa a quatro públicos:

- ao educando, entendido como sujeito ativo no processo educacional e que, como tal, precisa saber como aprende, podendo assim empenhar-se na superação de suas dificuldades de aprendizagem;
- aos responsáveis pelo educando e por parte significativa dos estímulos que recebe;
- ao educador, que precisa constantemente avaliar a própria prática;
- à equipe docente, que deve garantir continuidade e coerência no percurso escolar do educando.

Por uma questão de coerência com o que foi aqui exposto, a divulgação da avaliação escolar deve ser entregue ao próprio estudante, evitando-se a exposição de notas em murais, o que pode estimular a rotulagem dos educandos, prejudicando a superação de suas dificuldades de aprendizagem.

3. O educador e sua relação com o educando

Ao longo de sua obra, Paulo Freire criticou os modelos educacionais tradicionais de ensino por entender que neles falta um caráter transformador da realidade humana e social.

Nas palavras de Freire (1970), nos modelos tradicionais, o educador deposita informações nos educandos como se fosse uma educação bancária. Dessa forma, o ser humano é estimulado a ser mero espectador do mundo, com tendência a permanecer como é: o sujeito não se indaga, não busca respostas nem cria novas maneiras de "se fazer no mundo, com o mundo e com os outros".

Em suma, na educação bancária o educador acredita ser o dono do saber e empossa-se como o sujeito do processo educativo.

O que, então, Freire (1970) propõe é uma educação problematizadora e libertadora.

O caráter da educação problematizadora é autenticamente reflexivo, com um constante ato de desvelamento da realidade. Há uma busca pela emersão das consciências que pode resultar na inserção crítica dos seres humanos na realidade.

O modelo de educação transformadora defende a ideia de que o ser humano "está sendo", pois é inconcluso, isto é, inacabado por natureza (Freire, 1996).

Na proposta problematizadora, a educação não se restringe a um ato de narrar, depositar, transferir conhecimentos e valores aos educandos. Trata-se de um processo cognoscente em que os sujeitos – tanto educando como educador – encaram o objeto cognoscível (o saber) como um meio para lutarem pela transformação da realidade, o que implica também a transformação de si mesmos.

Freire (1970) defende que na educação libertadora não haveria a verticalidade na relação entre educador e educandos, chegando a afirmar que ninguém educa ninguém, mas são os seres humanos que se educam. Uma possível interpretação dessa ideia seria a de que o educador, cujo saber foi adquirido em sua formação como especialista de determinada área de uma disciplina escolar, procura ensinar os educandos, o que não equivale a educar. O ato de educar envolve uma dimensão mais ampla que ensinar conteúdos conceituais específicos: consiste, como já dito, em valorizar o outro em um contínuo exercício de "se fazer no mundo, com o mundo e com os outros".

Como, então, na educação problematizadora é possível que os universos de saberes de educador e educandos sejam compartilhados, em uma troca de experiências?

A resposta está no tipo de relação entre educador e educando, que deve ser baseada no diálogo, acerca do qual Freire (1970) faz as considerações a seguir:

> O diálogo, como encontro dos homens para a tarefa comum de saber agir, se rompe, se seus polos (ou um deles) perdem a humildade.
>
> Como posso dialogar, se alieno a ignorância, isto é, se a vejo sempre no outro, nunca em mim?
>
> [...]
>
> Como posso dialogar, se me sinto participante de um "gueto" de homens puros, donos da verdade e do saber, para quem todos os que estão fora são "essa gente", ou são "nativos inferiores"?
>
> [...]
>
> Como posso dialogar, se me fecho à contribuição dos outros, que jamais reconheço, e até me sinto ofendido com ela?

O diálogo não significa apenas a comunicação entre duas pessoas, mas sim o amplo intercâmbio de discursos, em que as pessoas sabem ouvir e refletir sobre a argumentação dos diferentes interlocutores. O professor deve estimular o estudante para que tome consciência de seus potenciais e reconheça neles o meio de conseguir a transformação de sua realidade. O educador deve adequar seu fazer pedagógico para favorecer a aprendizagem do educando, levando em conta também a singularidade deste.

Qualquer educando, dessa maneira, tem condições de utilizar os próprios recursos para realizar as atividades. E é nesse ponto que o educando pode tomar consciência de suas potencialidades para a execução das tarefas. Além disso, caso tenham se revelado novas potencialidades, mas o educando não as tenha percebido, o educador atento pode apontá-las, tornando-o consciente delas.

Quanto à afirmação de que é preciso estimular a postura ativa do educando, presente no discurso freiriano, é possível estabelecer um paralelo com Ausubel, Novak e Hanesian (1980). Para esses autores, na lógica da aprendizagem ativa, cabe ao educando a maior responsabilidade por sua realização e, ao professor, a posição de apresentar as ideias mais significativas possíveis. O educador deve orientar os educandos no processo de aprendizagem, mas a organização das ideias é tarefa do educando, pois é ele quem deverá ter a capacidade de torná-las significativas em sua estrutura cognitiva particular.

Ao longo dos capítulos desta obra, muitos são os momentos em que essa interação é estimulada, como já explicado anteriormente nesse Manual.

4. Uso das tecnologias de informação e comunicação (TIC) no ensino

As transformações tecnológicas vivenciadas a partir da Segunda Guerra Mundial foram e ainda são grandes vetores de transformação da sociedade. Desde as pesquisas em saúde até aquelas que permitiram a conquista do espaço, o progresso tecnológico vem modificando rapidamente o modo de vida e a maneira como as pessoas compreendem o mundo e se relacionam com ele.

Dentro desse processo, merece especial destaque a revolução proporcionada pelo avanço nas tecnologias de informação e comunicação (TIC). O advento dos computadores e, posteriormente, da internet possibilitou que o conhecimento humano fosse compartilhado com velocidade e alcance jamais experimentados. As TIC, dessa maneira, são uma força que acelera todo o processo de evolução tecnológica, por permitir a disseminação de conhecimento em todas as áreas – uma verdadeira revolução da revolução.

A escola não ficou de fora dessas transformações. O gradual acesso ao uso do computador, e suas variações (*tablets* e *smartphones*), levou a um aumento na diversidade de maneiras de utilização dessas ferramentas pelos professores, garantindo o desenvolvimento de novas propostas e abordagens. Atualmente, o cenário no Brasil se caracteriza pela grande disponibilidade de computadores com acesso à internet nas escolas. A demanda pelo uso dessas tecnologias na escola é cada vez mais evidente.

Embora o acesso às TIC esteja cada vez maior nas escolas, a simples presença dessas tecnologias não garante resultados satisfatórios na melhoria da relação de ensino-aprendizagem e no desenvolvimento do currículo (Costa e Viseu, 2007).

O uso das TIC na educação é um tema em constante debate, com novas propostas surgindo com relativa velocidade. Sendo assim, é bastante proveitoso manter-se atualizado(a). A seguir, indicamos *sites* que ajudarão você nessa tarefa (acessos em: mar. 2016):

- <http://www.porvir.org>
- <http://www.educacaoetecnologia.org.br>

4.1. Propostas de trabalho com tecnologia

A seguir, apresentamos alguns recursos que podem enriquecer as aulas e estimular a turma a produzir e divulgar conhecimento. As principais vantagens do uso desses recursos não se limitam ao ensino de Biologia. Portanto, recomendamos que você considere a possibilidade de adotá-los em conjunto com seus colegas de outras disciplinas. Esse tipo de trabalho irá reforçar a importância da proposta e certamente poderá beneficiar a todos.

Além dessas propostas, recomendamos que aproveite as inúmeras atividades disponibilizadas no *site* <http://objetoseducacionais2.mec.gov.br> (acesso em: mar. 2016).

Blogs

A palavra *blog* vem da expressão em inglês *web log*, algo como "diário na rede". Os *blogs* surgiram como uma versão *online* dos diários pessoais, com uma importante diferença: diferentemente dos diários pessoais escritos a mão, os *blogs* podem ser lidos por praticamente qualquer pessoa. No final da década de 1990, os *blogs* se popularizaram bastante, principalmente entre adolescentes. Entre os motivos que levaram a esse fenômeno, podemos destacar dois: (1) é possível criar *blogs* gratuitamente, bastando fazer o cadastro em algum *site* que ofereça esse serviço de hospedagem; (2) a criação de um *blog* não exige conhecimentos técnicos, pois os serviços de hospedagem fornecem ferramentas de publicação que tornam a criação e a atualização dos *blogs* tão simples quanto a edição de um texto no computador.

Com o tempo, os *blogs* perderam o caráter pessoal e ganharam enfoques temáticos, prestando-se à publicação de relatos de viagens e eventos, de técnicas de *hobbies* (modelismo, artesanato), de Ciências, de criações artísticas (textos literários e poéticos, fotografias, vídeos, escultura e modelagem etc.), além de terem se configurado como uma poderosa ferramenta do jornalismo opinativo, livre do filtro dos editores dos grandes jornais.

Entre as principais características de um *blog*, podemos citar: as publicações (também chamadas postagens ou *posts*) são dispostas em ordem cronológica inversa, isto é, as publicações mais recentes aparecem no topo da página; as mais antigas, na parte de baixo. Essas publicações podem ser compostas de textos, fotografias, vídeos ou diversos outros recursos, que vão de animações interativas a *links* para outros *sites*. Outra característica importante é a interatividade: os leitores do *blog* podem deixar comentários, que, mediante aprovação do autor, ficam visíveis para os demais e podem ser comentados por ele e por outros leitores. Essa propriedade é particularmente relevante quando pensamos no uso dos *blogs* para educação, como explicamos a seguir.

Em geral, cada *post* de um *blog* tem a própria caixa de comentários. Isso permite uma dinâmica de trabalho interessante com os educandos, pois esse recurso pode ser utilizado para promover debates extraclasse. A caixa

de comentários funciona como um fórum de discussão, onde os estudantes interagem entre si, aprofundando e expandindo seu conhecimento sobre o tópico original. Essa forma de debate tem algumas diferenças cruciais em relação ao debate em sala de aula; portanto, é importante definir com os estudantes algumas regras sobre como utilizar esse recurso. Algumas sugestões:

1. definir regras de "etiqueta virtual" – embora o debate não seja presencial, a educação e o respeito devem permear a troca de ideias, por mais que haja discordância entre os argumentos apresentados;
2. limitar o número de palavras em cada comentário – como não há um mediador para o debate, não é difícil os comentadores se estenderem demasiadamente em seus textos. Caso muitos estudantes façam o mesmo, a tendência é que a leitura dos comentários se torne cansativa e desestimulante. Oriente-os a escrever comentários claros e objetivos, não ultrapassando 100 a 200 palavras, por exemplo. É importante ler os comentários dos demais colegas antes de publicar o seu próprio, pois existe a possibilidade de alguém já ter feito a pergunta ou crítica pensada;
3. evitar comentários que não digam respeito ao tema da postagem – não é incomum ver a discussão na caixa de comentários afastar-se do tema inicial. É importante orientar os educandos para que fiquem atentos a isso e restrinjam a discussão aos aspectos ligados ao tema da postagem em questão.

A utilização de um *blog* na disciplina de Biologia pode se dar de diversas formas. Por exemplo: a turma pode ser dividida em grupos, que permanecerão os mesmos durante todo o ano. Cada grupo fica responsável por manter o próprio *blog*, que deve ser atualizado de acordo com a demanda da disciplina (em atividades nas quais os estudantes devem produzir um relatório, por exemplo). A cada nova atualização, todos os grupos devem ler e comentar o trabalho dos outros. Caso os leitores levantem dúvidas, o grupo autor do *post* deve se prontificar a respondê-las.

Outra possibilidade de trabalho é criar um único *blog* para a turma. Nesse caso, os educandos são divididos em grupos, que revezam entre si a responsabilidade de mantê-lo atualizado conforme a demanda da disciplina. A cada nova postagem, os demais grupos devem ler e deixar comentários com eventuais críticas ou dúvidas acerca do que foi publicado, de maneira a promover uma discussão sobre o tema.

Ao longo deste livro, notadamente na seção ***Tema para discussão***, propomos atividades em que os educandos produzirão algum tipo de material de divulgação. Essas atividades oferecem boas oportunidades de uso dessa tecnologia. No entanto, não é preciso limitar as postagens apenas a atividades específicas; se julgar conveniente, estipule cotas mínimas de publicações que cada grupo deverá realizar por conta própria, sobre temas relacionados à disciplina.

A manutenção de um *blog* coloca os educandos no papel de produtores e divulgadores de conhecimento, o que se alinha com o que se espera do Ensino Médio. Estudos recentes sugerem que essa atividade melhora a produção de texto por parte dos educandos (Wang, 2008) e facilita o contato deles com pessoas interessadas em temas correlacionados ao do seu *blog* (Gaudeul e Peroni, 2010). Além disso, o *blog* permite que o conhecimento adquirido seja divulgado para além dos limites da escola, o que pode dar origem a oportunidades de engajamento fora do "mundo virtual".

A experiência com o *blog* como ferramenta educacional pode ser enriquecida se for estendida a outras disciplinas. Considere a possibilidade de conversar com seus colegas de outras disciplinas sobre a adoção conjunta desse recurso, o que pode ser encarado como um projeto multidisciplinar.

Ao escolher onde hospedar o *blog*, procure por serviços que não permitam a publicação de conteúdo inadequado, como pornografia ou temas que façam apologia às drogas ou posturas racistas. A seguir, fornecemos algumas opções gratuitas que atendem a esses requisitos. Todas elas disponibilizam instruções simples para a criação e manutenção do *blog* (acessos em: mar. 2016):

- Wordpress – <https://br.wordpress.com>
- Blogger – <http://www.blogger.com.br>
- Wix – <http://pt.wix.com/>
- XPG – <http://www.xpg.uol.com.br>
- Simple site – <https://www.simplesite.com/>
- Tumblr – <http://www.tumblr.com/>
- Edublogs (focado em educação; em inglês) – <http://edublogs.org>

Redes sociais

As redes sociais da internet são serviços *online* que têm como objetivo a construção de relações sociais entre pessoas que compartilham interesses ou se conhecem na "vida real". Cada usuário constrói um perfil no qual se identifica, descreve algumas de suas características e interesses e se conecta ao perfil de outras pessoas. A maioria dos *sites* de redes sociais fornece mecanismos para facilitar a comunicação entre as pessoas, como mensagens instantâneas, bate-papos utilizando áudio e vídeo, entre outros. Uma característica importante da maioria das redes sociais é que um usuário pode publicar conteúdo (textos, imagens, vídeos, notícias etc.) que poderá ser visualizado (e, eventualmente, ter sua divulgação ampliada) pelas pessoas com as quais ele está conectado. Por exemplo, um usuário pode publicar um vídeo de uma banda de que gosta; esse vídeo estará visível para seus amigos, que poderão, por sua vez, compartilhar o mesmo vídeo, ampliando ainda mais a divulgação. Assim, os conteúdos publicados nas redes sociais podem ser espalhados para muitos usuários rapidamente. Esse é um dos motivos para se alertar os estudantes acerca da ética e da melhor forma de utilizar essas ferramentas.

Há diversas formas de utilizar as redes sociais com fins educacionais. Uma boa maneira de iniciar esse trabalho é informar-se sobre as redes sociais mais populares entre os estudantes. Das opções apresentadas por eles, procure identificar qual atenderá melhor a suas expectativas e proponha que o trabalho seja realizado nela. Evite utilizar mais de uma rede social, pois isso pode segregar as discussões ou duplicar desnecessariamente o esforço exigido.

Um dos aspectos interessantes que podem ser explorados com a participação em redes é o ingresso em grupos temáticos, dos quais fazem parte especialistas e leigos interessados em assuntos específicos, como a agricultura orgânica, por exemplo; ou apenas seguir o perfil de profissionais ou instituições que permitem acompanhar seus trabalhos e pesquisas em tempo real, como serviços de meteorologia, observatórios astronômicos e instituições ligadas à saúde. Há ainda a possibilidade de entrar em contato direto por meio das redes sociais com instituições, profissionais e pesquisadores, propondo-lhes perguntas; por exemplo, pelo *Twitter*, uma das redes mais populares.

Aqui, assim como mencionamos para o *blog*, é importante criar regras para a utilização da rede social nas tarefas escolares, de modo a tirar o máximo proveito desse recurso.

À semelhança dos *blogs*, cada publicação em uma rede social pode ter seu equivalente a uma "caixa de comentários", na qual outros usuários podem comentar o que foi publicado. Consequentemente, esse recurso pode ser utilizado para promover discussões entre os estudantes, com as vantagens que já foram comentadas aqui.

Tenha em mente que, ao contrário dos *blogs*, as redes sociais geralmente não são adequadas para a publicação de textos longos; os formatos de conteúdo mais adequados são textos curtos, imagens, vídeos ou áudios. Dessa forma, esse recurso pode ser utilizado para a divulgação de cartazes feitos pelos estudantes, entrevistas (em vídeo ou áudio), entre outros. Caso a turma faça uso de *blogs*, as redes sociais podem ser um recurso auxiliar, utilizado para divulgar resenhas e *links* para as publicações no *blog*.

Esse grande poder de divulgação que as redes sociais fornecem será especialmente útil para as atividades que contam com a participação da comunidade extraescolar. Ao longo do livro, sugerimos diversas situações que envolvem a criação de campanhas de conscientização, na qual os estudantes atuarão como transmissores do conhecimento. Nesses casos, o uso das redes sociais poderá tornar mais amplo o alcance dessa comunicação. Lembre-se, no entanto, de que essa forma de divulgação não é substituta integral para a comunicação presencial (ou "na vida real"). Analise cada caso e decida com os educandos em quais situações utilizar a divulgação virtual, a presencial ou ambas.

A maioria dos serviços de rede social permite que se criem grupos. Assim, pode ser criado um grupo da turma, no qual os educandos discutirão sobre tópicos da disciplina e se manterão informados sobre novidades da disciplina. Você pode, por exemplo, utilizar esse espaço para compartilhar materiais complementares às aulas, como vídeos, aplicativos e *softwares*, notícias, indicação de *sites*, material de referência para *download* etc.

As vantagens e a praticidade do uso desse recurso abrangem também a interação entre os educadores responsáveis pelas diversas disciplinas. Projetos e atividades interdisciplinares podem se tornar bastante simples de executar com o auxílio das redes sociais em conjunto com seus colegas de outras disciplinas, a coordenação e a direção escolar, trazendo benefícios a todos.

Apresentação multimídia

Programas de apresentação multimídia são ferramentas populares entre palestrantes e professores. Esses *softwares* permitem que sejam criadas apresentações gráficas de *slides*, similares aos dispositivos, porém com recursos complementares, como áudio, vídeo e interatividade. O uso dessas ferramentas é comum em diversos segmentos do mercado de trabalho, o que torna seu aprendizado especialmente interessante a estudantes do Ensino Médio.

Existem diversas opções gratuitas de programas para criação de apresentações dinâmicas e criativas (acessos em mar. 2016):

- Libre Office – <http://pt-br.libreoffice.org/>
- Open Office – <http://www.openoffice.org/pt-br/>
- Google Presentations – <https://docs.google.com/presentation/>
- Prezi (para educandos e educadores) – <http://prezi.com/pricing/edu/>
- PowToon – <https://www.powtoon.com/>

Na escola, o uso dessas ferramentas pode se dar de diferentes maneiras. Caso existam condições para isso, você pode utilizar em suas aulas, por exemplo, imagens e vídeos para exemplificar determinados conceitos. O Portal do Professor, do MEC (<http://portaldoprofessor.mec.gov.br>; acesso em: mar. 2016), oferece grande diversidade de materiais para essa finalidade. Muitos já estão prontos para o uso, mas você pode alterá-los, se necessário, para que se adaptem melhor às suas necessidades.

Caso a escola disponha de projetor multimídia, os programas de apresentação multimídia podem ser utilizados pelos estudantes na elaboração de apresentações para a turma (ou para outra audiência, como as demais turmas ou mesmo a comunidade extraescolar). Situações em que essa possibilidade poderá ser explorada são apresentadas ao longo da obra, geralmente na seção ***Tema para discussão***. Para audiências menores, o projetor pode ser dispensado e a apresentação pode ser feita na tela do computador.

Além das apresentações multimídia propriamente ditas, esses *softwares* também permitem a criação de materiais como pôsteres, cartazes e folhetos. Esses materiais podem ser direcionados para posterior impressão ou para visualização apenas no computador. Neste último caso, a divulgação do material criado pode ser feita nos *blogs* ou nas redes sociais, como já comentamos.

Fotografias, áudios e vídeos

Todos os recursos mencionados até aqui exploram a possibilidade de utilização de fotografias, áudios e vídeos. Esses materiais podem ser obtidos de diferentes maneiras; resumidamente, eles podem ser produzidos pela turma ou obtidos de outras fontes, como a internet.

A produção de fotografias, áudios e vídeos pelos estudantes tem grande utilidade na documentação de experimentos e entrevistas, por exemplo, mas também pode ser utilizada em campanhas direcionadas para outras turmas ou para a comunidade extraescolar. Ao longo do livro, são apresentadas atividades que permitem esse tipo de abordagem; analise-as e discuta sua execução com os estudantes, ponderando vantagens e desvantagens dessas mídias em cada caso.

Fotografias, áudios e vídeos podem ser produzidos com câmeras fotográficas digitais ou mesmo aparelhos celulares que contêm esses recursos. Esse tipo de equipamento vem se tornando cada vez mais popular e é bastante provável que alguns de seus educandos os possuam e saibam utilizá-los. Converse com a turma sobre a possibilidade de uso desses recursos, mas encaminhe a conversa com cuidado para não gerar constrangimento entre aqueles que não possuam ou não saibam utilizar tais equipamentos. Essa é uma boa oportunidade para que haja interação e troca de conhecimento entre os estudantes.

Na grande maioria das situações, esses materiais podem ser utilizados "crus", isto é, sem edição. Alterações mais simples, como o corte de arquivos de áudio ou vídeo, geralmente podem ser feitas na própria câmera ou no celular. Em alguns casos, no entanto, é interessante fazer pequenas edições nesses arquivos, como clarear fotografias ou vídeos que ficaram escuros ou eliminar o ruído de fundo em gravações de áudio. Para isso, existe uma infinidade de *softwares* de edição de imagens, áudios ou vídeos, tanto pagos como gratuitos. Alternativamente, alguns *sites* que hospedam vídeos fornecem ferramentas para esses ajustes. Muitas redes sociais e serviços de hospedagem de imagens também permitem pequenas edições em imagens. É possível que alguns de seus educandos conheçam soluções alternativas; converse com eles sobre isso e explore as possibilidades mais interessantes.

Assim como os textos podem ser disponibilizados na internet por meio dos *blogs*, os arquivos de áudio podem ser transmitidos na forma de *podcasts*. Os *podcasts* têm a vantagem de poderem ser ouvidos a qualquer hora, numa espécie de rádio virtual.

Os *podcasts* podem ser criados usando ferramentas específicas, como o PodOmatic, um programa que pode ser baixado no computador e que possibilita aos usuários criar e publicar os próprios *podcasts*.

A seguir, selecionamos algumas opções gratuitas de programas de edição de imagens, animações, gráficos, áudio e vídeo e de bancos de imagens (acessos em: mar. 2016).

Edição de imagens:

- GIMP – <http://www.gimp.org>
- Photoshop Express – <http://www.photoshop.com/products/photoshopexpress>
- Paint – é um editor de imagens bastante simples, mas que atende bem à maioria das necessidades básicas. Já vem instalado em computadores com sistema operacional Windows.
- Stripgenerator – ferramenta para criação de histórias em quadrinhos – <http://stripgenerator.com/>
- Toondoo – ferramenta para criação de histórias em quadrinhos, com personagens, balões e cenários – <http://www.toondoo.com/>
- Easel.ly – ferramenta para criação de infográficos – <http://www.easel.ly/>
- Fotor – ferramenta simples para edição de imagens – <http://www.fotor.com/>

Serviços de hospedagem de imagens:

- Flickr – <http://www.flickr.com.br>
- Picasa – <http://www.picasa.com>

Bancos de fotografias e trechos de vídeos grátis:

- Wikimedia Commons – <http://commons.wikimedia.org/>
- Freeimages – <http://www.freeimages.com/>
- Archive.org – <https://archive.org/>
- Openclipart.org – <https://openclipart.org/>
- IStockPhotos – <http://portuguesbrasileiro.istockphoto.com/>
- Dreamstime – <http://www.dreamstime.com/free-photos>
- Fotolia – <https://br.fotolia.com>
- Creative Commons do Vimeo – <https://vimeo.com/creativecommons>

Edição de vídeo:

- Windows Movie Maker – <http://windows.microsoft.com/pt-BR/windows/downloads/get-movie-maker>
- Avidemux – <http://fixounet.free.fr/avidemux>
- Animoto – <https://animoto.com/>

Serviços de hospedagem de vídeos:

- YouTube – <http://www.youtube.com.br>
- Vimeo – <http://www.vimeo.com>

Edição de áudio:

- Audacity – <http://audacity.sourceforge.net>
- Free Audio Editor – <http://www.free-audio-editor.com/>
- Slice Audio file Splitter – <http://slice-audio-file-splitter.soft32.com/>
- ExpStudio – <http://www.expstudio.com>

5. Cinema no ensino de Biologia

A exibição de filmes para enriquecer o trabalho em sala de aula é extremamente estimulante para os educandos.

De acordo com Napolitano (2009), levar o cinema para a sala de aula "é ajudar a escola a reencontrar a cultura ao mesmo tempo cotidiana e elevada, pois o cinema é o campo no qual a estética, o lazer, a ideologia e os valores sociais mais amplos são sintetizados numa mesma obra de arte".

Para tirar o maior proveito possível desse recurso, porém, é necessário que você, professor(a), faça um bom planejamento de cada passo dessa atividade; do contrário, ela poderá ser encarada como mero divertimento, sem maior relevância para o estudo. Não é imprescindível que você tenha profundos conhecimentos cinematográficos, mas recomendamos que, antes da exibição, você assista ao filme e busque informar-se sobre o contexto estético e cultural em que ele se insere.

Assistir previamente ao filme também é uma forma de se antecipar a cenas que possam representar algum constrangimento para a turma. Avalie com cuidado a pertinência de expor os estudantes a tais cenas; nossa recomendação é que você não as exclua, mas sim utilize-as como ponto de partida para uma discussão crítica. É importante estar atento(a) para as eventuais situações que o filme apresenta que possam entrar em conflito com os conhecimentos trabalhados em sala de aula. Consideramos que até mesmo essas inconsistências ou equívocos podem servir de estímulo para as discussões da turma, seja sobre aspectos científicos, seja sobre aspectos éticos, sociais, econômicos e culturais.

Como sugestão, propomos que selecione trechos dos filmes com interesse mais próximo ao que pretende discutir, para que possa caber no tempo da aula. A exibição do filme na íntegra pode ser uma opção, mas isso implicará extrapolar o tempo da aula. Nesse caso, é importante que você planeje as sessões dentro de um cronograma ou, caso a escola tenha condições e os estudantes também, os filmes poderão ser exibidos em momentos de atividades extraclasse. Sejam trechos do filme ou o filme na íntegra, na medida do possível, envolva os professores de disciplinas que poderão também tirar proveito do recurso de modo interdisciplinar, como História, Geografia, Língua Portuguesa, Arte e outras.

A seguir, apresentamos nossas sugestões de filmes que podem ser trabalhados em suas aulas de Biologia, de acordo com a pertinência ao longo dos três anos do Ensino Médio.

***A Marcha dos Pinguins* (*La marche de l'empereur*). 2005.** **Direção:** Luc Jacquet **Duração:** 80 min. **Gênero:** Documentário	O documentário, do biólogo Luc Jacquet, acompanha por um ano os hábitos reprodutivos das espécies de pinguins-imperadores. Cerca de 7.000 pinguins atravessam 100 km da Antártica para realizar o acasalamento. Os machos chegam ao local de nidificação e se exibem para atrair as fêmeas e, cerca de 2 meses após o acasalamento, elas colocam apenas um ovo. Os machos são responsáveis pela incubação que dura cerca de 2 meses. Quando o ovo eclode, as fêmeas retornam para cuidar da proteção e alimentação dos filhotes. **Conceitos que podem ser discutidos em sala de aula:** Ecologia; conservação; endemismo; acasalamento; nidificação; cuidado parental.
***Avatar* (*Avatar*). 2009.** **Direção:** James Cameron **Duração:** 162 min. **Gênero:** Ação / Aventura / Ficção científica	Renascido em sua forma de avatar, o personagem Jake Sully, um ex-fuzileiro confinado a uma cadeira de rodas, consegue voltar a andar. Ele recebe a missão de se infiltrar na comunidade de Pandora e ajudar na extração de um precioso minério, o unobtanium, que pode ser a chave para solucionar a crise energética na Terra. A atmosfera de Pandora é tóxica e somente através do Programa Avatar os humanos conseguem sobreviver no lugar, sendo, para isso, conectados a um avatar, um corpo biológico controlado a distância. Os avatares são híbridos geneticamente, produzidos de DNA humano e DNA dos nativos de Pandora, os Na'vi. A missão de Jake é interrompida quando ele, ferido, é levado e acolhido pelo clã dos Neytiri e aprende a se tornar um deles, participando desse mundo alienígena. Pandora foi criada como um ecossistema real e seus habitantes são organizados em uma sociedade onde os conceitos de energia e religião são sagrados. Pandora tem sua própria "Força", que ganha aqui uma leitura interessante sobre a manutenção dos ecossistemas e de seus organismos no equilíbrio do lugar. Todas as criaturas, plantas, animais e os habitantes de Pandora entram na batalha épica para defender seu mundo das empresas de mineração que desejam extrair o raro minério unobtanium. **Conceitos que podem ser discutidos em sala de aula:** Ecossistemas; interações entre os organismos; equilíbrio do ecossistema.

***Criação* (*Creation*). 2009.** **Direção:** Jon Amiel **Duração:** 108 min. **Gênero:** Drama / Biografia	O filme é uma história biográfica do naturalista inglês Charles Darwin, autor da obra *A origem das espécies*. No filme, Darwin tenta equilibrar a relação com uma religiosa esposa e a dúvida sobre publicar seu livro sobre a teoria evolutiva. Após a viagem com o navio Beagle, enquanto escrevia sua obra, sua filha Anne adoece e morre. O filme apresenta alguns trechos do roteiro do Beagle e também grandes nomes da Biologia, como Thomas Huxley e Joseph Hooker. **Conceitos que podem ser discutidos em sala de aula:** Teoria da evolução; descobertas de Darwin; viagem do Beagle.
***GATTACA* – Experiência Genética (*GATTACA*). 1997.** **Direção:** Andrew Niccol **Duração:** 106 min. **Gênero:** Ficção científica / Drama / Romance	O nome do filme, *GATTACA*, é formado pelas letras das bases de nucleotídeos que compõem a molécula de DNA: guanina, adenina, citosina e timina, ou seja, G, A, C e T, e parte do pressuposto de que o código genético já foi decifrado. Nesse contexto, a ficção científica questiona o esforço individual em uma sociedade onde o sucesso e o fracasso são determinados no momento da concepção e os seres humanos são escolhidos geneticamente em laboratórios. O *status* social é, então, determinado pelo DNA. As pessoas concebidas biologicamente são consideradas "inferiores" e Vincent Freeman, um primogênito, nascido do amor de seus pais, é um deles. Ele deseja, desde pequeno, ser astronauta, mas apresenta predisposições genéticas a problemas cardíacos, o que não lhe permite nada melhor do que um emprego de faxineiro. Vincent, escondendo sua identidade genética verdadeira, consegue, porém, um lugar de destaque em uma grande empresa. Tudo segue perfeitamente, até que o assassinato de seu chefe põe sua condição em risco. **Conceitos que podem ser discutidos em sala de aula**: Predisposição genética; organismos geneticamente modificados; a molécula de DNA; ética.
***O dia depois de amanhã* (*The Day After Tomorrow*). 2004.** **Direção:** Roland Emmerich **Duração:** 124 min. **Gênero:** Ficção científica	O filme retrata uma sucessão de eventos em que a Terra sofre alterações climáticas que modificam drástica e rapidamente a vida da humanidade. Com o derretimento de geleiras polares, reflexo do aquecimento global, o hemisfério Norte se resfria cada vez mais e passa por uma nova era glacial. Milhões de pessoas morrem, enquanto outros milhões de sobreviventes rumam para o sul. Um paleoclimatologista, Jack Hall, que havia tentado alertar as autoridades sobre os eventos iminentes, sem ser ouvido, segue o caminho inverso e parte para Nova York, pois acredita que o filho, Sam, ainda esteja vivo. **Conceitos que podem ser discutidos em sala de aula:** Causas e consequências das mudanças climáticas; ação humana sobre o ambiente; relação entre a queima de combustíveis fósseis e o aquecimento global. Discuta em classe os exageros retratados no filme, como forma de extrair o máximo de tensão do espectador por meio dos efeitos especiais. Procure explorar, também, uma frase dita em um dos diálogos, sobre a qual pode ser proposta uma reflexão: "Tudo depende da capacidade de aprendermos com os nossos erros".
***Perdido em Marte* (*The Martian*). 2015.** **Direção:** Ridley Scott **Duração:** 141 min. **Gênero:** Ficção científica	Uma equipe de seis astronautas, em uma missão em Marte, bate em retirada em sua nave fugindo de uma tempestade de areia e pedras. Um dos tripulantes, porém, o botânico Mark Watney, é dado como morto e deixado sozinho no planeta. Ao recobrar a consciência, ele passa a lutar pela sobrevivência, ainda que em condições totalmente adversas: está milhões de quilômetros distante da Terra, em um planeta cuja atmosfera não é respirável. Enquanto isso, uma missão da Terra é enviada ao planeta a fim de tentar resgatá-lo. Um ponto de interesse do filme é acompanhar as estratégias por ele utilizadas para sobreviver a condições tão inóspitas, como, por exemplo, utilizar as próprias fezes como adubo para plantar batatas em uma estufa. **Conceitos que podem ser discutidos em sala de aula:** As características da Terra que fazem dela um planeta ideal para a vida como a conhecemos é um dos temas que podem ser desenvolvidos, além de aspectos relacionados ao cultivo de plantas em condições inóspitas. O roteiro do filme oferece também uma boa oportunidade de discutir questões de ética e de solidariedade entre as pessoas.

***Procurando Nemo* (*Finding Nemo*). 2003.** **Direção:** Andrew Stanton e Lee Unkrich **Duração:** 100 min. **Gênero:** Animação / Comédia / Aventura	O início do filme mostra muito bem a territorialidade dos peixes-palhaços e também o investimento parental dessas espécies. Marlin é um peixe-palhaço que mora em uma anêmona. Após o rapto de seu único filho, Nemo, ele se aventura em mar aberto para resgatá-lo. Nemo é levado para um aquário em Sidney, Austrália. Em sua busca, Marlin encontra diversos animais marinhos como tubarões, águas-vivas, tartarugas, peixes da zona abissal, uma baleia e Dory, uma "peixinha" da família Acanthuridae, que sofre de perda de memória recente. O professor Ray, apesar de ser uma raia do sexo masculino, não tem o clásper, um órgão reprodutor masculino, representado. O clásper é um órgão presente em machos raias e tubarões. **Conceitos que podem ser discutidos em sala de aula**: Territorialidade, característica comum aos peixes que compartilham seu hábitat com anêmonas; características reprodutivas dos peixes; diversidade de animais e subdivisões do ambiente marinho; conservação; diversidade de animais invertebrados (Poríferos, Cnidários, Equinodermos); diversidade de animais vertebrados marinhos (peixes que habitam o recife de coral; peixes da zona abissal; peixes ósseos e cartilaginosos; répteis e mamíferos marinhos e aves; sistema respiratório dos peixes; sistema respiratório e digestório de Cetáceos (baleias); correntes marítimas.
***Repo men* (*Repo men*). 2010.** **Direção:** Miguel Sapochnik **Duração:** 111 min. **Gênero:** Ação / Ficção **Atenção:** a classificação indicativa desse filme é de 18 anos. Recomendamos que você o veja previamente e avalie a pertinência de exibi-lo para seus educandos.	Em um futuro próximo, a sociedade utiliza com frequência os serviços de uma empresa chamada The Union, que fornece a seus clientes sofisticados e caros órgãos mecânicos. Caso o comprador não honre a dívida, a empresa envia em seu encalço os "coletores", que têm por função recolher de volta o órgão que lhe foi vendido, seja ele qual for. Remy é um dos melhores coletores da empresa, até o dia em que sofre um ataque cardíaco durante um de seus serviços. Ele é, então, submetido a uma cirurgia, na qual lhe é transplantado um dos corações fabricados pela The Union. Entretanto, em consequência do ocorrido, Remy não pode mais continuar exercendo seu trabalho. Sem ter como pagar a dívida, ele se une ao colega Jake para escapar à perseguição da empresa onde trabalhou. **Conceitos que podem ser discutidos em sala de aula:** Alguns aspectos sobre anatomia e fisiologia humanas, além de questões éticas relacionadas a transplante de órgãos e à mercantilização da ciência, poderão ser abordados.
***Uma prova de amor* (*My Sister's Keeper*). 2009.** **Direção:** Nick Cassavetes **Duração:** 109 min. **Gênero:** Drama	Anna tem treze anos de idade e, desde que nasceu, foi submetida a inúmeras consultas médicas, cirurgias e transfusões para que sua irmã mais velha, Kate, pudesse, de alguma forma, lutar contra a leucemia que a atingiu ainda na infância. Na verdade, Anna foi concebida para que sua medula óssea prolongasse os anos de vida de Kate. Anna jamais contestou o papel a ela atribuído, porém, como todo adolescente, ela está começando a questionar quem realmente é e depara com o fato de que, diferentemente dos outros adolescentes, sempre teve sua vida pautada pelas necessidades da irmã. É quando, então, Anna toma uma decisão impensável para a maioria, uma atitude que irá abalar sua família: ela decide lutar na justiça pelo direito de decidir sobre o próprio corpo. **Conceitos que podem ser discutidos em sala de aula:** Poderão ser tratados conteúdos de genética; aspectos relacionados a planejamento familiar; ética; saúde (quais as características da doença da irmã mais velha?).
***Uma verdade inconveniente* (*An Inconvenient Truth*). 2006.** **Direção:** Davis Guggenheim **Duração:** 100 min. **Gênero:** Documentário	*Uma verdade inconveniente* documenta a jornada internacional de alerta sobre o aquecimento global feita por Al Gore após sua derrota nas eleições de 2000 para George W. Bush. O diretor Davis Guggenheim tece a ciência do aquecimento global com a história pessoal de Gore e seu empenho ao longo da vida para reverter os efeitos da mudança climática global. Antigo defensor do meio ambiente, Gore apresenta uma gama de fatos e informações de uma forma convincente. O documentário reúne inúmeras apresentações que Gore exibiu durante sua carreira política sobre destruição do meio ambiente, principalmente devido ao aumento das concentrações de dióxido de carbono na atmosfera. Fatos como o derretimento das calotas polares, aumento nos níveis dos oceanos e mudanças climáticas drásticas como furacões, enchentes e secas são mostrados de uma forma consistente no documentário. Recursos audiovisuais como gráficos, com mapas de estatísticas atmosféricas, fotografias da Patagônia, do Kilimanjaro, dos Alpes e da Antártida, entre outros locais, são utilizados para revelar o impacto produzido pelo ser humano durante anos no meio ambiente. **Conceitos que podem ser discutidos em sala de aula:** Causas e consequências do aquecimento global; medidas mitigadoras para o aquecimento global. Podem-se, nesse momento, levar opiniões distintas sobre as causas do aquecimento global e promover uma discussão em sala.

6. Explorando museus e outros espaços culturais

Os chamados espaços não formais de educação correspondem a quaisquer espaços que não a escola em que seja possível desenvolver atividades educativas (Marandino *et al.*, 2009; Mergulhão, 1998). Tais espaços favorecem o desenvolvimento de habilidades e procedimentos de investigação científica, além de colaborarem para uma educação crítica, voltada para o letramento científico do indivíduo (Santos, 2007). Um dos objetivos do uso desses espaços é, por exemplo, promover um processo de ensino-aprendizagem de Ciências da Natureza inserido em seu contexto histórico, social, cultural e ambiental.

Espaços como museus, centros de ciências, jardins zoológicos e jardins botânicos são importantes centros de divulgação e ensino de Ciências. Eles utilizam principalmente a interatividade para despertar a curiosidade e disseminar o conhecimento científico. São excelentes para se desenvolverem atividades interdisciplinares.

Assim, recomendamos que, se possível, você e colegas de outras disciplinas promovam visitas a esses espaços em sua região. Para realizar esse tipo de atividade, é interessante uma visita prévia ao local e a elaboração de um roteiro com algumas perguntas a que os estudantes devem responder durante ou após a visita. Prepare os estudantes para a visita, deixando claros os objetivos educacionais, e depois retome com eles o que viram, analisaram e registraram.

Para saber de que espaços não formais de educação sua região dispõe, consulte, por exemplo, a publicação *Centros e Museus de Ciência no Brasil*, uma iniciativa da Associação Brasileira de Centros e Museus de Ciência (ABCMC), da Casa da Ciência da UFRJ e do Museu da Vida/Fiocruz, com o apoio do Ministério da Ciência e Tecnologia. Para obter a publicação integral, em sua edição de 2015, visite o *site*: <http://www.mcti.gov.br/publicacoes>. Acesso em: mar. 2016.

7. Legislação sobre coleta, manutenção e uso de material biológico

Consideramos importante que você, professor(a) de Biologia, tenha mais informações sobre algumas restrições ao uso de animais e outros materiais biológicos em ensino e pesquisa. O material biológico, na Instrução Normativa Nº 154/2007, é definido como organismos ou partes desses e engloba material botânico, fúngico ou microbiológico, além dos animais.

Destacamos aqui alguns *sites*, acessados em março de 2016, nos quais se podem encontrar essas informações, mas recomendamos que fique atento(a) a mudanças. Entre em contato com o Conselho Federal de Biologia ou o Conselho Estadual de sua região para orientação em caso de dúvidas.

- <http://www.icmbio.gov.br/portal/images/stories/servicos/manual.pdf>
- <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2007-2010/2008/Lei/L11794.htm>
- <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2007-2010/2008/Msg/VEP-761-08.htm>
- <http://www.mct.gov.br/index.php/content/view/310553.html>
- <http://www.ibama.gov.br>
- <http://www.icmbio.gov.br/sisbio/images/stories/instrucoes_normativas/IN_154_coleta.pdf>
- <http://www.icmbio.gov.br/sisbio/duvidasfrequentes/20-coleta-de-material-botanicofungico-ou-microbiologico.html>
- <http://www.icmbio.gov.br/sisbio/duvidas-frequentes/32-vegetais-hidrobios.html>
- <http://www.cfbio.gov.br/resolucoes-cfbio/145-resolucao-no-301-de-8-de-dezembro-de-2012>

8. Documentos norteadores do Ensino Médio e suas relações com esta obra

Desde a década de 1990, o Ministério da Educação e Cultura (MEC) vem publicando documentos e propondo diretrizes de forma a auxiliar o(a) professor(a) de todos os segmentos da educação básica (Educação Infantil, Ensino Fundamental e Ensino Médio) em seu trabalho na sala de aula.

Um exemplo dessas propostas são os Parâmetros Curriculares Nacionais (PCN), elaborados no período de 1995 a 1999, com sugestões de conteúdos que incluem conhecimentos, procedimentos e atitudes. Ao lado dos componentes curriculares, os PCN propõem também *temas transversais* (saúde, ecologia, orientação sexual, ética e convívio social, pluralidade cultural e outros). Embora esses documentos não tenham caráter normativo ou obrigatório, são uma referência para o trabalho do educador, assim como também foram uma das referências utilizadas na elaboração desta obra. Você os encontra facilmente no Portal do MEC (<http://portal.mec.gov.br>; acesso em: maio 2016).

Outro documento basilar no desenvolvimento de nossa coleção são as Diretrizes Curriculares Nacionais para o Ensino Médio, atualizadas segundo o Parecer CNE/CEB Nº 5/2011, que assim justifica tal atualização:

> A elaboração de novas Diretrizes Curriculares Nacionais para o Ensino Médio se faz necessária, também, em virtude das novas exigências educacionais decorrentes da aceleração da produção de conhecimentos, da ampliação do acesso às informações, da criação de novos meios de comunicação, das alterações do mundo do trabalho, e das mudanças de interesse dos adolescentes e jovens, sujeitos dessa etapa educacional.
>
> Nos dias atuais, a inquietação das "juventudes" que buscam a escola e o trabalho resulta mais evidente do que no passado. O aprendizado dos conhecimentos escolares tem significados diferentes conforme a realidade do estudante. Vários movimentos sinalizam no sentido de que a escola precisa ser repensada para responder aos desafios colocados pelos jovens.

Ainda do referido parecer, transcrevemos os trechos a seguir, como exemplos dos princípios que nortearam a elaboração desta obra:

> Para que se conquiste a inclusão social, a educação escolar deve fundamentar-se na ética e nos valores da liberdade, justiça social, pluralidade, solidariedade e sustentabilidade, cuja finalidade é o pleno desenvolvimento de seus sujeitos, nas dimensões individual e social de cidadãos conscientes de seus direitos e deveres, compromissados com a transformação social. Diante dessa concepção de educação, a escola é uma organização temporal, que deve ser menos rígida, segmentada e uniforme, a fim de que os estudantes, indistintamente, possam adequar seus tempos de aprendizagens de modo menos homogêneo e idealizado.
>
> [...]
>
> O desenvolvimento científico e tecnológico acelerado impõe à escola um novo posicionamento de vivência e convivência com os conhecimentos capaz de acompanhar sua produção acelerada. A apropriação de conhecimentos científicos se efetiva por práticas experimentais, com contextualização que relacione os conhecimentos com a vida, em oposição a metodologias pouco ou nada ativas e sem significado para os estudantes. Estas metodologias estabelecem relação expositiva e transmissivista que não coloca os estudantes em situação de vida real, de fazer, de elaborar. Por outro lado, tecnologias da informação e comunicação modificaram e continuam modificando o comportamento das pessoas e essas mudanças devem ser incorporadas e processadas pela escola para evitar uma nova forma de exclusão, a digital.
>
> [...] privilegiar a dimensão cognitiva não pode secundarizar outras dimensões da formação, como, por exemplo, as dimensões física, social e afetiva. Desse modo, pensar uma educação escolar capaz de realizar a educação em sua plenitude implica refletir sobre as práticas pedagógicas já consolidadas e problematizá-las no sentido de produzir a incorporação das múltiplas dimensões de realização do humano como uma das grandes finalidades da escolarização básica.

Recomendamos a você, educador(a), a leitura e análise na íntegra tanto do Parecer CNE/CEB Nº 5/2011 como da Resolução CNE/CEB Nº 2/2012, que dispõe sobre as Diretrizes Curriculares Nacionais para o Ensino Médio. Ambos os documentos, além dos demais que norteiam o Ensino Básico, estão compilados na publicação *Diretrizes Curriculares Nacionais da Educação Básica* (2013), disponível no seguinte endereço eletrônico (acesso em mar. 2016):

- <http://portal.mec.gov.br/index.php?option=com_docman&view=download&alias=15547-diretrizes-curiculares-nacionais-2013-pdf-1&Itemid=30192>

Na elaboração da presente obra, levamos em consideração também os pressupostos do Enem, que passou a ter importância como uma das formas de seleção unificada nos processos seletivos das universidades públicas federais, algumas estaduais e particulares, com as propostas de democratizar as oportunidades de acesso às vagas de ensi-

no superior, possibilitar a mobilidade acadêmica e induzir a reestruturação dos currículos do Ensino Médio. Valorizamos os eixos cognitivos, as competências e as habilidades de acordo com a Matriz de Referência do Enem 2009, mas é na seção ***Ampliando e integrando conhecimentos*** que esses aspectos ficam mais destacados e especificados: em cada uma das atividades dessa seção, são identificadas, para você, educador(a), as habilidades que estão sendo prioritariamente trabalhadas naquele momento.

Reproduzimos aqui os trechos de interesse para o presente material e que constam da Matriz de Referência para o Enem 2009.

Eixos cognitivos (comuns a todas as áreas de conhecimento)

I. **Dominar linguagens (DL)**: dominar a norma culta da Língua Portuguesa e fazer uso das linguagens matemática, artística e científica e das línguas espanhola e inglesa.

II. **Compreender fenômenos (CF)**: construir e aplicar conceitos das várias áreas do conhecimento para a compreensão de fenômenos naturais, de processos histórico-geográficos, da produção tecnológica e das manifestações artísticas.

III. **Enfrentar situações-problema (SP)**: selecionar, organizar, relacionar, interpretar dados e informações representados de diferentes formas, para tomar decisões e enfrentar situações-problema.

IV. **Construir argumentação (CA)**: relacionar informações, representadas em diferentes formas, e conhecimentos disponíveis em situações concretas, para construir argumentação consistente.

V. **Elaborar propostas (EP)**: recorrer aos conhecimentos desenvolvidos na escola para elaboração de propostas de intervenção solidária na realidade, respeitando os valores humanos e considerando a diversidade sociocultural.

Matriz de referência de Ciências da Natureza e suas Tecnologias

Competência de área 1 – Compreender as Ciências Naturais e as tecnologias a elas associadas como construções humanas, percebendo seus papéis nos processos de produção e no desenvolvimento econômico e social da humanidade.

H1 Reconhecer características ou propriedades de fenômenos ondulatórios ou oscilatórios, relacionando-os a seus usos em diferentes contextos.

H2 Associar a solução de problemas de comunicação, transporte, saúde ou outro, com o correspondente desenvolvimento científico e tecnológico.

H3 Confrontar interpretações científicas com interpretações baseadas no senso comum, ao longo do tempo ou em diferentes culturas.

H4 Avaliar propostas de intervenção no ambiente, considerando a qualidade da vida humana ou medidas de conservação, recuperação ou utilização sustentável da biodiversidade.

Competência de área 2 – Identificar a presença e aplicar as tecnologias associadas às Ciências Naturais em diferentes contextos.

H5 Dimensionar circuitos ou dispositivos elétricos de uso cotidiano.

H6 Relacionar informações para compreender manuais de instalação ou utilização de aparelhos, ou sistemas tecnológicos de uso comum.

H7 Selecionar testes de controle, parâmetros ou critérios para a comparação de materiais e produtos, tendo em vista a defesa do consumidor, a saúde do trabalhador ou a qualidade de vida.

Competência de área 3 – Associar intervenções que resultam em degradação ou conservação ambiental a processos produtivos e sociais e a instrumentos ou ações científico-tecnológicos.

H8 Identificar etapas em processos de obtenção, transformação, utilização ou reciclagem de recursos naturais, energéticos ou matérias-primas, considerando processos biológicos, químicos ou físicos neles envolvidos.

H9 Compreender a importância dos ciclos biogeoquímicos ou do fluxo de energia para a vida, ou da ação de agentes ou fenômenos que podem causar alterações nesses processos.

H10 Analisar perturbações ambientais, identificando fontes, transporte e/ou destino dos poluentes ou prevendo efeitos em sistemas naturais, produtivos ou sociais.

H11 Reconhecer benefícios, limitações e aspectos éticos da biotecnologia, considerando estruturas e processos biológicos envolvidos em produtos biotecnológicos.

H12 Avaliar impactos em ambientes naturais decorrentes de atividades sociais ou econômicas, considerando interesses contraditórios.

Competência de área 4 – Compreender interações entre organismos e ambiente, em particular aquelas relacionadas à saúde humana, relacionando conhecimentos científicos, aspectos culturais e características individuais.

H13 Reconhecer mecanismos de transmissão da vida, prevendo ou explicando a manifestação de características dos seres vivos.

H14 Identificar padrões em fenômenos e processos vitais dos organismos, como manutenção do equilíbrio interno, defesa, relações com o ambiente, sexualidade, entre outros.

H15 Interpretar modelos e experimentos para explicar fenômenos ou processos biológicos em qualquer nível de organização dos sistemas biológicos.

H16 Compreender o papel da evolução na produção de padrões, processos biológicos ou na organização taxonômica dos seres vivos.

Competência de área 5 – Entender métodos e procedimentos próprios das Ciências Naturais e aplicá-los em diferentes contextos.

H17 Relacionar informações apresentadas em diferentes formas de linguagem e representação usadas nas ciências físicas, químicas ou biológicas, como texto discursivo, gráficos, tabelas, relações matemáticas ou linguagem simbólica.

H18 Relacionar propriedades físicas, químicas ou biológicas de produtos, sistemas ou procedimentos tecnológicos às finalidades a que se destinam.

H19 Avaliar métodos, processos ou procedimentos das Ciências Naturais que contribuam para diagnosticar ou solucionar problemas de ordem social, econômica ou ambiental.

Competência de área 6 – Apropriar-se de conhecimentos da Física para, em situações-problema, interpretar, avaliar ou planejar intervenções científico-tecnológicas.

H20 Caracterizar causas ou efeitos dos movimentos de partículas, substâncias, objetos ou corpos celestes.

H21 Utilizar leis físicas e/ou químicas para interpretar processos naturais ou tecnológicos inseridos no contexto da termodinâmica e/ou do eletromagnetismo.

H22 Compreender fenômenos decorrentes da interação entre a radiação e a matéria em suas manifestações em processos naturais ou tecnológicos ou em suas implicações biológicas, sociais, econômicas ou ambientais.

H23 Avaliar possibilidades de geração, uso ou transformação de energia em ambientes específicos, considerando implicações éticas, ambientais, sociais e/ou econômicas.

Competência de área 7 – Apropriar-se de conhecimentos da Química para, em situações-problema, interpretar, avaliar ou planejar intervenções científico-tecnológicas.

H24 Utilizar códigos e nomenclatura da Química para caracterizar materiais, substâncias ou transformações químicas.

H25 Caracterizar materiais ou substâncias, identificando etapas, rendimentos ou implicações biológicas, sociais, econômicas ou ambientais de sua obtenção ou produção.

H26 Avaliar implicações sociais, ambientais e/ou econômicas na produção ou no consumo de recursos energéticos ou minerais, identificando transformações químicas ou de energia envolvidas nesses processos.

H27 Avaliar propostas de intervenção no meio ambiente aplicando conhecimentos químicos, observando riscos ou benefícios.

Competência de área 8 – Apropriar-se de conhecimentos da Biologia para, em situações-problema, interpretar, avaliar ou planejar intervenções científico -tecnológicas.

H28 Associar características adaptativas dos organismos com seu modo de vida ou com seus limites de distribuição em diferentes ambientes, em especial em ambientes brasileiros.

H29 Interpretar experimentos ou técnicas que utilizam seres vivos, analisando implicações para o ambiente, a saúde, a produção de alimentos, matérias-primas ou produtos industriais.

H30 Avaliar propostas de alcance individual ou coletivo, identificando aquelas que visam à preservação e à implementação da saúde individual, coletiva ou do ambiente.

9. Referências bibliográficas

ALMEIDA, M. E. B. Tecnologias na educação: dos caminhos trilhados aos atuais desafios. *BolemA – Boletim de Educação Matemática*, Rio Claro, 29(21), 2008.

_____. Currículo, tecnologia e cultura digital: espaços e tempos de web currículo. *Revista e-curriculum*, São Paulo, v. 7, n. 1, abr. 2011.

_____. Transformações no trabalho e na formação docente na educação a distância on-line. *Em Aberto,* Brasília, v. 23, n. 84, p. 67-77, nov. 2010.

ARROYO, M. G. *Currículo, território em disputa.* Petrópolis, Rio de Janeiro: Vozes, 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15437: *informação e documentação*: pôsteres técnicos e científicos: apresentação. Rio de Janeiro, 2006.

AUSUBEL, D. P.; NOVAK, J. D.; HANESIAN, H. *Psicologia educacional*. Rio de Janeiro: Interamericana, 1980.

BRASIL. Comitê Gestor da Internet no Brasil. *TIC Educação 2010*. São Paulo: 2011. 448 p.

BRUZZO, C. Biologia: educação e imagens. In: *Educação e Sociedade*, vol. 25, n. 89, Campinas, set.-dez./2004.

COSTA, F. A. & VISEU, S. Formação-acção-reflexão: um modelo de preparação de professores para a integração curricular das TIC. In: COSTA, F. A.; PERALTA, H.; VISEU, S. (Orgs.) *As TIC na educação em Portugal*: concepções e práticas. Porto: Porto Editora, 2007.

FESTER, A. C. R. Para que todos tenham voz (educação pela ética e dignidade do ser humano). In: PONTUSCHKA, N. N. (Org.). *Ousadia no diálogo*. 4. ed. São Paulo: Edições Loyola, 2002.

FREIRE, P. *Pedagogia da autonomia*: saberes necessários à prática educativa. 7. ed. São Paulo: Paz e Terra, 1996.

_____. *Pedagogia do oprimido*. 46. ed. São Paulo: Paz e Terra, 1970.

GAUDEUL, A.; PERONI, C. Reciprocal attention and norm of reciprocity in blogging networks. In: *Economics Bulletin*, 30 (3): 2230-2248, 2010.

KRASILCHIK, M. *Prática de ensino de Biologia*. São Paulo: Harbra, 1986.

_____. *O professor e o currículo das ciências*. São Paulo: E.P.U., 1986.

KRASILCHIK, M.; RAW, I.; MENUCCI, L. *A Biologia e o homem*. São Paulo: EDUSP, 2001.

MARANDINO, M.; SELLES, S. E.; FERREIRA, M. S. *Ensino de Biologia*: histórias e práticas em diferentes espaços educativos. Cortez: São Paulo. 2009.

MEC, SEB. *Orientações curriculares para o ensino de Biologia*. MEC, 2006.

MERGULHÃO, M. C. *Zoológico*: uma sala de aula viva. São Paulo: Faculdade de Educação da USP. Dissertação, Mestrado em Educação. 1998. 144 p.

MOREIRA, M. A. *Aprendizagem significativa*. Brasília: Editora da UnB, 1999.

NAPOLITANO, M. *Como usar o cinema na sala de aula*. 4. ed. São Paulo: Contexto, 2009.

NOVAK, J. D. *Uma teoria de educação*. São Paulo: Pioneira, 1981.

SACRISTÁN, G. Consciência e ação sobre a prática como libertação profissional dos professores. In: NÓVOA, A. (Coord.) *Profissão professor*. Lisboa: Porto Editora, 1991.

SIMON, S.; ERDURAN, S.; OSBORNE, J. Learning to teach argumentation: research and development in the Science classroom. *International Journal of Science Education*. n. 28, p. 235-260, 2006.

VYGOTSKY, L. S. *A formação social da mente*. 6. ed. São Paulo: Martins Fontes, 1999.

_____. *O desenvolvimento psicológico na infância*. São Paulo: Martins Fontes, 1998.

WANG, H. Exploring Educational Use of Blogs in U.S. Education. In: *China Education Review 5* (10): 35, 2008.

WANG, W. K. S. The restructuring of legal education along functional lines. In: *Journal of Contemporary Legal Issues*, vol. 17, 2008.

ZABALA, A. *A prática educativa*. Porto Alegre: Artmed, 1998.

10. Comentários por capítulo

UNIDADE 1

A espécie humana

CAPÍTULO 1

Reprodução e desenvolvimento embrionário humano

Este capítulo deve ser trabalhado com sensibilidade e especial atenção. O diálogo entre você, professor(a), e seus educandos é muito valioso, pois eles podem levantar e resolver dúvidas a respeito de assuntos delicados que, muitas vezes, não são discutidos na casa deles. É importante estimular debates sobre a grande responsabilidade envolvida na possibilidade de ter um filho.

Sugerimos que aproveite a fotografia de abertura deste capítulo para conversar com os estudantes sobre a importância do carinho, amor e respeito como valores familiares e sociais fundamentais para a convivência harmônica. Estamos trabalhando, assim, com valores éticos e de cidadania. Sugerimos, também, que seja discutida a gravidez na adolescência, tema muito próximo da realidade deles e que aprofundaremos na seção ***Tema para discussão.***

Poderá haver estudantes que já conheçam alguns dos assuntos tratados no capítulo, tendo nesse momento a oportunidade de rever conceitos, verificar incoerências e erros de interpretação. Conduza a discussão dos temas do capítulo com naturalidade, pois alguns estudantes podem se sentir constrangidos ao discuti-los. É fundamental propor e mediar discussões, no sentido de torná-las eficientes e construtivas. Temas sobre sexualidade, em especial, devem ser abordados com tranquilidade e sem preconceitos. Você pode incrementar esse tema propondo debates sobre o controle de natalidade de acordo com os princípios culturais das populações de diferentes países, sempre chamando a atenção quanto ao respeito que se deve ter à individualidade e à escolha de cada um.

O capítulo relaciona-se aos temas tratados no último capítulo do volume 1: divisão celular e reprodução. Caso considere necessário, retome esses assuntos com os estudantes. Partindo dessa visão geral, particularizaremos o que ocorre com a espécie humana.

Iniciamos o estudo da reprodução humana abordando a gametogênese. Você pode pedir aos estudantes que analisem os esquemas sobre espermatogênese e ovulogênese e fazer as perguntas a seguir:

a) *Na espermatogênese humana, quantas moléculas de DNA estão presentes no núcleo de cada espermatogônia, de cada espermatócito secundário, de cada espermátide e de cada espermatozoide?*
Resposta: espermatogônia = 46; espermatócito secundário = 23; espermátide = 23; espermatozoide = 23.

b) *Na ovulogênese humana, quantas moléculas de DNA estão presentes no núcleo de cada ovogônia, de cada ovócito primário e de cada ovócito secundário em metáfase?*
Resposta: ovogônia = 46; ovócito I = 46; ovócito II = 23.

c) *Quantos espermatozides são produzidos por uma espermatogônia e por uma espermátide?*
Resposta: quatro e um, respectivamente.

d) *Quantos óvulos são produzidos por uma ovogônia e por um ovócito primário?*
Resposta: um, em ambos os casos.

Depois da gametogênese, iniciamos o estudo dos sistemas genitais masculino e feminino, comentamos alguns métodos contraceptivos e as principais doenças sexualmente transmissíveis (DSTs). Os estudantes devem ser conscientizados sobre as DSTs e os métodos de prevenção e tratamento.

Dando continuidade à reprodução, passamos a abordar a embriologia humana, procurando enfocar o processo em si, os aspectos éticos sobre gravidez e o uso e a manipulação de células-tronco.

As principais referências empregadas na elaboração deste capítulo foram:

- GILBERT, S. F. *Developmental biology*. 10. ed. Massachusetts: Sinauer Associates, 2013.
- MOORE, K. L.; PERSAUD, T. V. N. *Embriologia básica*. 8. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2013.

Além dos assuntos já propostos no livro, consideramos interessante tratar também sobre reprodução assistida, valorizando aspectos da tecnologia ligados à reprodução humana.

Leitura: Técnicas de reprodução assistida

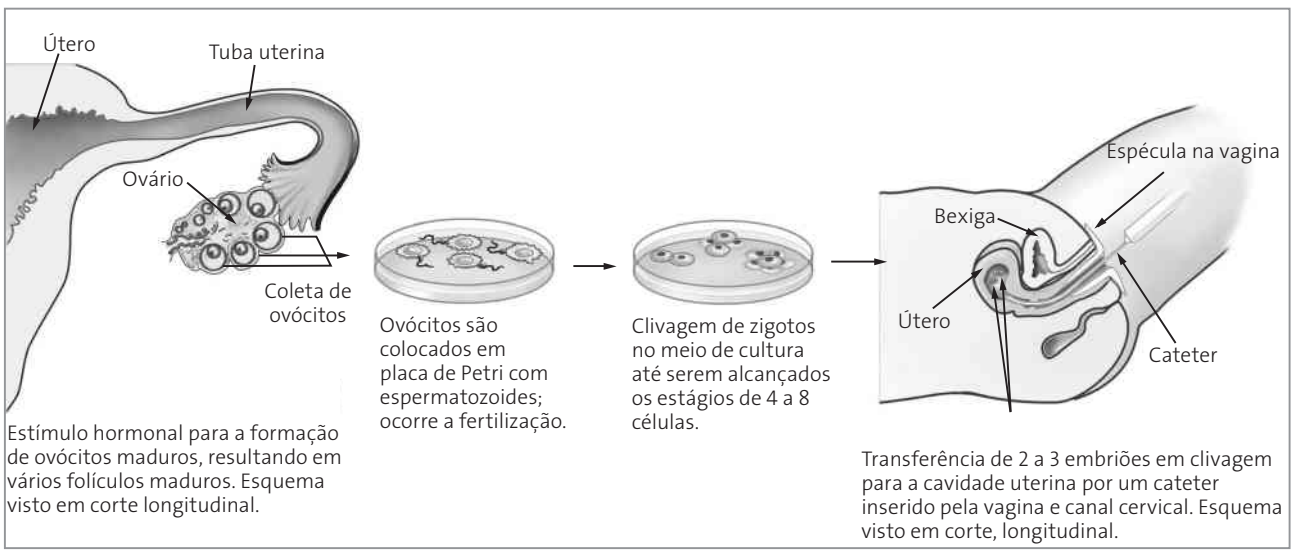
Quando um casal não consegue ter filhos, é importante buscar orientação médica sobre o que pode ser feito. Duas das técnicas possíveis são a inseminação artificial e a fertilização *in vitro*.

No primeiro caso, o sêmen é coletado geralmente em clínicas de fertilidade e introduzido no útero na época da ovulação, por meio de métodos especiais.

O sêmen pode ser armazenado congelado em nitrogênio líquido por até alguns anos, mantendo-se viável após o descongelamento. Homens que sofrerão cirurgias que possam deixá-los estéreis, ou que têm câncer de testículo e vão iniciar tratamento para combater a doença, geralmente recorrem a esse processo de armazenamento de esperma.

Na fertilização *in vitro*, a mulher faz um tratamento que estimula a ovulação e, na data prevista para a liberação de ovócitos II, essas células são coletadas por um procedimento especial e colocadas em meios de cultura. Os espermatozoides são depositados no mesmo meio de cultura, visando à fecundação. Vários zigotos são formados e iniciam a divisão celular. Depois de cerca de 72 horas, o embrião atinge o estágio adequado para o implante no útero materno. Geralmente implanta-se mais de um embrião, para aumentar a chance de a gravidez ocorrer. Em função disso, a fertilização *in vitro* aumenta a probabilidade do nascimento de gêmeos, trigêmeos ou mais.

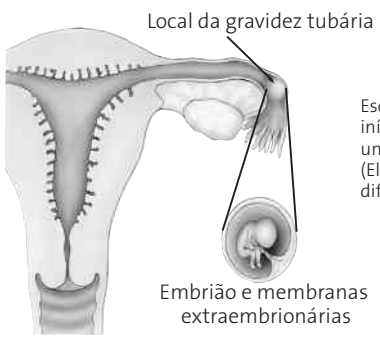
Aqui temos um interessante exemplo de conhecimentos da Biologia para o desenvolvimento de tecnologia avançada e sua aplicação.



Osni de Oliveira

Esquema do processo de fertilização *in vitro*. (Elementos representados em diferentes escalas.)
Referência: Moore, K. L.; Persaud, T. V. N. *Embriologia básica*. 5. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2000. p. 36.

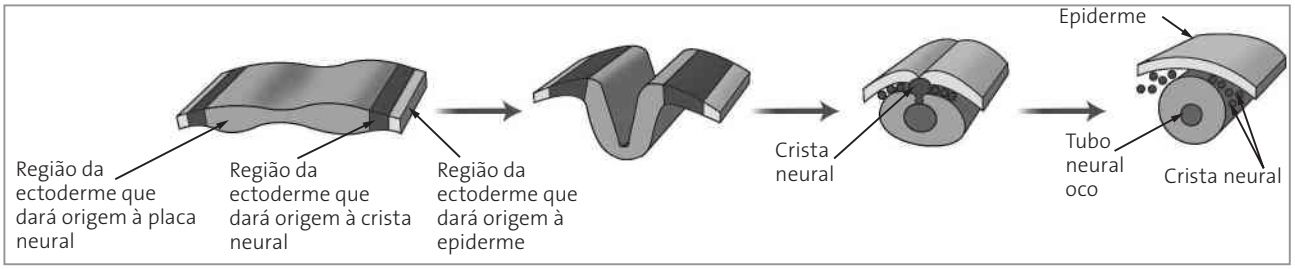
Outro item que pode ser tratado é gravidez tubária. Em alguns casos, a liberação do blastocisto de dentro da zona pelúcida ocorre na tuba uterina e ele se adere à parede dessa estrutura, provocando o que se chama **gravidez tubária**, um dos casos de **gravidez ectópica** (fora de lugar). Essa é uma condição perigosa, pois pode provocar hemorragias internas, havendo necessidade de intervenção cirúrgica o mais breve possível.



Jurandi Ribeiro

Esquema representando o início de uma gravidez tubária, um tipo de gravidez ectópica. (Elementos representados em diferentes escalas.)

Caso considere adequado, comente com os educandos que atualmente tem sido bem corroborada a importância de um evento embriológico exclusivo dos vertebrados, e que, portanto, também ocorre com a espécie humana: a formação da crista neural. Durante o processo de fechamento do tubo neural, células da ectoderme se destacam formando a crista neural. Essas células ficam dispostas ao lado do tubo neural e têm a capacidade de migrar pelo corpo, dando origem a diversos tipos celulares, como células do sistema nervoso periférico, das cartilagens faciais, da dentina dos dentes, da medula da adrenal e as células pigmentares da pele de todo o corpo. Considera-se hoje que o passo definitivo na origem dos vertebrados tenha sido a evolução das células da crista neural. Nenhum outro grupo animal as possui e alguns zoólogos têm proposto que a crista neural poderia representar um quarto folheto germinativo. Os vertebrados seriam, assim, os únicos animais tetrablásticos.



Esquemas da região dorsal do embrião de vertebrado com destaque apenas para a formação da crista neural e do tubo neural. (Elementos representados em diferentes escalas.)
Referência: GILBERT, S. F. *Developmental biology*. 6. ed. Massachusetts: Sinauer Associates, 2000. p. 381.

No texto "Alguns dos principais métodos anticoncepcionais" (p. 18), sugerimos que o assunto seja estudado de forma clara e objetiva. Oriente os estudantes a se questionarem sobre a importância de fazer uso dos métodos contraceptivos durante as relações sexuais para evitar a transmissão de DSTs e uma gravidez indesejada. Mesmo no caso de o casal desejar ter um filho, ressalte a importância de a gravidez ser bem planejada, considerando os recursos dos quais o casal dispõe para receber e criar uma criança. Esse tema poderá ser resgatado mais adiante, ao discutir gravidez na adolescência.

O conceito de células-tronco embrionárias é tratado no texto "Células-tronco" (p. 26) e enfatiza que células realmente totipotentes só aparecem nos estágios mais precoces do desenvolvimento embrionário. Células-tronco pluri e multipotentes têm alguma restrição quanto aos tipos celulares que podem originar, aparecendo mais ou menos tardiamente ao longo da ontogênese. Alguns autores preferem considerar o zigoto e os quatro primeiros blastômeros como os únicos exemplos de células totipotentes propriamente ditas, não as incluindo na categoria das células-tronco, que, de modo mais restrito, abrangeriam apenas as células pluripotentes (grande capacidade de diferenciação) e multipotentes (capacidade mais reduzida), conforme especificado em: <http://stemcells.nih.gov/info/faqs.asp> (em inglês; acesso em: abr. 2016). Trata-se, todavia, de uma questão de nomenclatura.

Mais detalhes sobre células totipotentes, pluripotentes e multipotentes são encontrados no texto disponível em:

<http://stemcells.nih.gov/staticresources/info/basics/SCprimer2009.pdf> (em inglês; acesso em: abr. 2016).

Ao falarmos sobre o desenvolvimento embrionário humano, além do interesse que o tema já desperta nos estudantes, esse é um dos momentos propícios do curso para se levantar a questão do uso das células-tronco embrionárias em pesquisas, que envolvem questões relacionadas à ética e à cidadania. É importante o conhecimento do assunto até mesmo para poder julgar e opinar sobre políticas de uso desse tipo de células. Se possível, seria interessante pedir uma pesquisa sobre o assunto e promover um debate em sala de aula.

O texto "Por que amamentar?" (p. 33) pretende destacar que, para garantir o desenvolvimento saudável e o bem-estar de um recém-nascido, a amamentação é fundamental. Até os seis meses de idade, o bebê deve receber aleitamento materno exclusivo, e é recomendado por grande parte dos médicos pediatras que os bebês sejam amamentados até pelo menos os 2 anos de idade. A partir daí, a continuidade da amamentação dependerá da mãe e da criança.

Mais informações a respeito da importância da amamentação podem ser encontradas em:

<http://www.redeblh.fiocruz.br/media/cartilhas mam.pdf>. Acesso em: maio 2016.

Discuta com os estudantes casos de mulheres que, por razões diversas, mesmo querendo amamentar, não conseguem ou não podem. Levante como argumento que, nesses casos, amamentar com mamadeira pode e deve continuar a ser um ato de amor. É um momento de fortalecimento dos vínculos entre mãe e filho, repleto de carinho.

Para as mães que não conseguem amamentar, o apoio e a compreensão das pessoas à sua volta são fundamentais. Assim, outra discussão que poderia ser levantada por você é a questão da proibição e/ou inibição da amamentação em lugares públicos. É comum que se criem situações constrangedoras quando uma mulher amamenta em público, pois outras pessoas sentem-se desconfortáveis com a situação. Se houver a oportunidade, levante as opiniões dos estudantes sobre esse assunto, incentivando-os a sempre promover o respeito pelo espaço alheio e considerar a importância da amamentação para o desenvolvimento saudável de bebês.

Indicamos a seguir o portal e-Aulas, da Universidade de São Paulo. Nele, use o mecanismo de busca para encontrar vídeos relacionados ao tema da reprodução humana, tanto para atualização dos

conhecimentos quanto para mostrá-los aos estudantes. Sugerimos, por exemplo, o vídeo "Reprodução assistida", disponível em: <http://www.eaulas.usp.br/portal/video.action?idItem=2001>; acesso em: abr. 2016.

Orientações sobre o boxe *Despertando ideias*

p. 15 – Construindo modelos das células reprodutivas humanas

Nessa atividade prática pretende-se trabalhar noções de proporção e escala usando um tema biológico, os gametas, e construir modelos. O estudante deverá aplicar a habilidade de transpor imagens em 2D para 3D. Essa habilidade é fundamental não só para melhor compreensão da embriologia como também da Biologia como um todo. Por ser uma representação relativamente simples, ela se torna ideal para ampliar a discussão sobre construção de modelos em escala e traz a oportunidade para fazer relações com as disciplinas de Matemática e Arte.

Respostas esperadas:

1. Esperamos que os estudantes apresentem modelos ampliados em 500 vezes o tamanho real das células, respeitando as proporções que se pode depreender das figuras do livro e informações dadas em suas legendas.

2. O óvulo é uma célula grande (proporcionalmente às demais) e imóvel, enquanto o espermatozoide é uma célula pequena e móvel. A identificação de qual seja o sexo de um ser vivo passa por aí: o macho é aquele que produz gametas móveis e pequenos em relação aos da fêmea.

3. O espermatozoide é uma célula especializada na locomoção, que ocorre por ação do longo flagelo; a célula é pequena e transporta no núcleo o material genético, além de permitir sua entrada no ovócito II. O óvulo contém o material nutritivo necessário para suprir o embrião em suas primeiras divisões celulares, daí ser uma célula bem maior que o espermatozoide; não apresenta estruturas de locomoção.

Orientações e sugestões de resposta das atividades

p. 34 – *Tema para discussão*

Gravidez na adolescência

Sendo a gravidez na adolescência um assunto altamente relevante para os estudantes dessa faixa etária, sugerimos que os estimule a trabalhar com as informações do texto de modo a serem sensibilizados sobre o tema. Falar de gravidez na adolescência permite tocar em questões de ética e cidadania.

Procure abordar o assunto enfatizando o aspecto social do tema e evitando visões estigmatizantes e preconceituosas. Você poderá levantar com os estudantes a questão da decisão de ter um filho na adolescência: até que ponto essa decisão é, de fato, uma escolha? Em muitos casos, principalmente nas classes menos favorecidas social e economicamente, pode se tratar de uma falta de opções e da necessidade de se enxergar como um indivíduo ativo na sociedade. Explore também a principal consequência de uma gravidez precoce – o abandono escolar – e de que maneira isso afeta a vida de um indivíduo.

É possível ampliar a discussão com os estudantes, relacionando gravidez na adolescência com métodos anticoncepcionais e doenças sexualmente transmissíveis. Peça a eles que discutam medidas que representam cuidados com o próprio corpo e promovam a saúde sexual e reprodutiva dos indivíduos.

Finalmente, você, professor(a), pode conduzir uma reflexão sobre a sexualização precoce e fatores culturais e sociais que o(a) estimulam.

Sugerimos que as atividades propostas sejam exploradas em conjunto com as disciplinas de Língua Portuguesa, Filosofia e Sociologia.

No item 1, incentivamos uma discussão em grupo. Em um segundo momento, você pode propor um debate entre os grupos, o que é muito saudável e permite que os estudantes avaliem a diversidade de pontos de vista sobre as questões discutidas.

Já no item 2, a discussão é encaminhada para uma questão que envolve os papéis e responsabilidades do homem e da mulher na sociedade. Uma outra questão relacionada a esse assunto também pode ser discutida – o aborto. Todos sabemos o quanto esse ponto é polêmico. Ao lidar com argumentos, é importante distinguir *aborto* em si do *aborto ilegal*. O primeiro caso é bem mais abrangente que o segundo, mas pôr em discussão o que é o aborto ilegal e quais as possíveis consequências desse procedimento pode ser uma atitude mais interessante do que discutir a interrupção da gestação de modo mais geral.

Daí por diante, as questões procuram envolver os estudantes em um contexto social, estimulando sua atuação na educação de seus pares, como agentes da transmissão de conhecimento na comunidade.

Não só agora, mas também em muitos outros momentos ao longo do curso, vamos estimular a utilização de mídias digitais e veículos de divulgação na internet. Todos estamos conscientes da crescente importância das redes sociais como veículos de expressão livre, manifestação e pressão, acessíveis a uma ampla parte da sociedade.

Sobre a gravidez na adolescência, sugerimos os seguintes *sites*:

• Primeira infância e gravidez na adolescência. Rede Nacional da Primeira Infância — Instituto da Infância (IFAN). Disponível em: <http://primeirainfancia.org.br/wp-content/uploads/2015/01/Cartilha-Gravidez-Adol-FINAL-HD.pdf>.

• Diretrizes Nacionais para a Atenção Integral à Saúde de Adolescentes e Jovens na Promoção, Proteção e Recuperação da Saúde. Ministério da Saúde. Disponível em: <http://bvsms.saude.gov.br/bvs/publicacoes/diretrizes_nacionais_atencao_saude_adolescentes_jovens_promocao_saude.pdf>.

Acessos em: abr. 2016.

p. 35 – *Ampliando e integrando conhecimentos*

Atividade 1: Temperatura corporal e ovulação

Sobre a estratégia:

Como o número de casos de gravidez precoce ainda é elevado, achamos relevante discutir com detalhes os mecanismos relacionados com a fertilidade feminina para que, a partir deles, os jovens estejam mais conscientes para tomar suas decisões.

O método mais fácil e menos dispendioso para detectar a ovulação é a mulher registrar sua temperatura corporal basal (TCB). No texto desta atividade, descrevemos a técnica usada para determinar esse valor. A curva térmica basal é considerada monofásica quando não apresenta variação térmica, característica quase sempre de ciclos anovulatórios; e é bifásica, quando o aspecto mostra duas fases distintas (tal como na figura da atividade). Consideram-se como variação térmica alterações próximas ou acima de 0,3 °C.

É importante alertar os estudantes de que, embora seja barata e não invasiva, a curva de temperatura basal não é ideal como indicador seguro da ovulação. Um estudo descrito na revista *LAES & HAES* (ano 23, n. 138, ago.-set. 2002) revelou que, entre 12% e 20% de casos de padrão térmico monofásico, os ciclos menstruais correspondentes foram ovulatórios, ou seja, tiveram ovulação normal. De qualquer modo, o acompanhamento diário da temperatura corporal (medida metodicamente) é interessante para avaliar a regularidade da ovulação e associá-la ao método anticoncepcional da "tabelinha". Os dois métodos, no entanto, têm falhas e não são os mais indicados para se evitar uma gravidez.

O que se espera:

a) Se o primeiro dia do ciclo foi 12 de abril, no ciclo da atividade a ovulação ocorreu 14 dias depois, ou seja, no dia 26 de abril. Contando três dias de margem para antes e para depois dessa data, temos o período entre 23 e 29 de abril como sendo o período fértil em que a probabilidade de gravidez é alta.

b) Via de regra, o aumento da temperatura basal caracteriza o momento da ovulação. Se a curva térmica é monofásica, isso pode indicar que a ovulação não ocorreu, o que pode acontecer com mulheres de idade mais avançada. Um problema na tuba uterina não deve se refletir na forma monofásica, já que a ovulação terá ocorrido normalmente. É importante lembrar que o padrão monofásico não é um indicativo seguro de não ovulação, mas apenas uma sugestão para se fazer exames mais adequados.

Atividade 2: Ácido fólico e normalidade do desenvolvimento do embrião

Sobre a estratégia:

O ácido fólico (folato, na forma iônica) é uma vitamina hidrossolúvel do complexo B (também é conhecido como vitamina B_9) que pode se acumular no fígado, constituindo uma reserva.

O ácido fólico está presente em alimentos como folhas verdes (espinafre, por exemplo) e grãos (cereais). Alguns desses flocos de cereais vendidos nos supererercados podem prover a dose diária necessária de ácido fólico, que fica entre 400 e 600 microgramas por dia para as mulheres, pouco antes ou no início da gravidez. Como é frequente a dieta normal não trazer mais que 200 microgramas por dia dessa vitamina, pode ser conveniente a complementação com indicação médica.

O ácido fólico é importante na formação de hemácias e na síntese de DNA. A manutenção de boa disponibilidade dessa vitamina evita malformações do sistema nervoso central, incluindo a anencefalia e a *spina bifida*; esta última decorrente do não fechamento do tubo neural na fase de neurulação e com sérias consequências para o bebê.

Você pode sugerir aos estudantes que façam uma pesquisa na internet por *spina bifida* para que acessem imagens mostrando as consequências do não fechamento do tubo neural.

Informações complementares podem ser encontradas em:

• <http://www.nacersano.org/acido_folico/9316_9723.asp> (em espanhol);

• <http://www.nlm.nih.gov/medlineplus/ency/article/002408.htm> (em inglês).

Acessos em: abr. 2016.

O que se espera:

Uma vez no sangue da mãe, o ácido fólico chega à placenta. Através dos tecidos placentários, transfere-se para o sangue do feto e participa de sua formação.

CAPÍTULO 2

Estrutura e função dos tecidos humanos

Alguns termos empregados diferem daqueles comumente usados, já que esta coleção obedece à nomenclatura presente no *Tratado de anatomia sistêmica aplicada*, de L. J. A. Di Dio (São Paulo: Atheneu, 2002. 2 v.), que traz a terminologia anatômica universal, lançada oficialmente em 1997 pelo Comitê da Terminologia Anatômica da Federação Internacional de Associações de Anatomistas. Os capítulos referentes à histologia basearam-se principalmente em *Histologia básica*, de L. C. Junqueira e J. Carneiro (12. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2013). Neste último livro, os autores deixam claro que não consideram sangue e linfa como tipos de tecido conjuntivo, uma vez que a substância intercelular desses líquidos corpóreos não tem relação com a matriz dos diferentes tipos de tecido conjuntivo. Essa informação deve ser passada aos estudantes com cautela, visto que essa abordagem não é a corriqueira.

Ao falarmos de sangue e linfa, optamos por nos restringir aos aspectos mais básicos desses fluidos corpóreos, deixando para tratar da participação deles nos sistemas de defesa do corpo humano quando forem abordados os demais sistemas do corpo.

Muitos dos dados fornecidos nesse capítulo foram obtidos em diversas fontes e em livros de histologia, em especial dos autores Junqueira e Carneiro, já citados anteriormente. Obras como *Bioquímica básica*, de A. Marzzoco e B. B. Torres (4ª ed., Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2015), também auxiliaram na busca de informações relacionadas ao metabolismo.

Antes de iniciar o estudo da histologia, recorde com os estudantes os procedimentos de preparação de materiais para análise ao microscópio de luz, no volume 1 desta coleção. Isso é importante, pois muito do que é discutido nessa parte de histologia depende de cortes histológicos e há necessidade de entendimento de como um corte é obtido e de sua orientação (se transversal, longitudinal, mediana etc.).

Nesse capítulo, a histologia é desenvolvida de forma objetiva, procurando sempre contextualizar a função dos tecidos e relacioná-la à saúde humana. A histologia pode se tornar um tema muito árido se não fizermos isso, assim é importante que esse tema faça sentido aos estudantes.

Caso considere procedente, proponha uma atividade para a classe toda, conforme descrito a seguir.

A classe deve ser dividida em grupos de 3 a 4 estudantes, e cada grupo deve pesquisar características gerais de um dos tipos de tecido humano com base no texto do capítulo e em outras fontes de consulta. Além disso, cada grupo deve pesquisar uma peculiaridade do tecido escolhido, relacioná-la à saúde humana e a uma das perguntas da seção ***Pense nisso***. Em dia a ser definido por você, cada grupo deve planejar uma apresentação oral de 5 minutos para a classe. Oriente os demais estudantes a registrar durante a apresentação de cada grupo as questões e dúvidas que tiverem. Ao final de cada apresentação, as dúvidas devem ser discutidas com o grupo que está apresentando, sempre sob sua coordenação e orientação.

Dessa forma, pretendemos convidar os estudantes a participar de forma ativa, pesquisando sobre os tecidos e relacionando-os com a saúde humana. Além disso, pedimos apresentações orais, que contribuem de forma clara e objetiva para a organização do conteúdo e auxiliam no desenvolvimento de habilidades de expressão dos estudantes. Depois de todas as apresentações concluídas, monte com a turma um quadro com as características de cada tipo de tecido, esclarecendo dúvidas que possam ter ficado pendentes. Em seguida, escolha fotografias de cortes histológicos e mostre-as a todos, pedindo que digam quais características reconhecem nas imagens e se é possível identificar o tecido. Explore cada imagem retomando o que foi discutido nas apresentações e no momento de elaboração do quadro.

Além disso, sugerimos mais algumas contribuições para seu trabalho visando tornar a histologia ainda mais próxima do estudante e procurando estabelecer áreas de interdisciplinaridade.

Quando tratar dos tecidos conjuntivos e suas fibras, sugerimos que associe episódios históricos ligados às Grandes Navegações dos séculos XV e XVI, época em que era comum ocorrer entre os marinheiros o escorbuto, doença que se caracteriza pela degeneração de tecidos conjuntivos.

Leitura: O que o escorbuto tem a ver com as fibras do tecido conjuntivo?

Na época das Grandes Navegações dos séculos XV e XVI era comum ocorrer entre os marinheiros uma doença chamada escorbuto, caracterizada por uma degeneração dos tecidos conjuntivos. Os sintomas dessa doença são inflamação das gengivas, dentes frouxos (que depois caem) e hemorragias na boca e generalizadas pelo corpo, que acabam levando o indivíduo à morte.

Nessa época, durante as viagens, os marinheiros não ingeriam frutas nem verduras frescas, principais fontes de vitamina C (ácido ascórbico), cuja falta provoca o escorbuto.

Uma das funções da vitamina C é participar do processo de síntese do colágeno, proteína que está sempre sendo degradada e sintetizada novamente no corpo. Os dentes são presos por ligamentos ricos em colágeno e a renovação dessa proteína é intensa. Com a degradação do colágeno e não havendo síntese na mesma proporção, os dentes caem.

As hemorragias são causadas pela diminuição da síntese dessa proteína que também participa da cimentação das células epiteliais que revestem os vasos sanguíneos. Com isso, os vasos tornam-se frágeis e rompem-se, extravasando o sangue.

Você vai achar interessante o que podemos aprender pesquisando sobre como as pessoas eram, o que faziam e como viviam em outras épocas. Como seriam, por exemplo, as condições de vida dos marinheiros a bordo das naus e caravelas durante as Grandes Navegações? Perceba a convergência entre a Biologia e a História, lendo o texto a seguir, extraído de <http://veja.abril.com.br/historia/descobrimento/naus-caravelas-portuguesas.shtml>. Acesso em: abr. 2016.

> "Uma típica caravela portuguesa tem de 20 a 30 metros de comprimento, de 6 a 8 de largura, 50 toneladas de capacidade e é tripulada por quarenta ou cinquenta homens. [...]
>
> As naus são barcos maiores e mais lentos. A capitânia de Pedro Álvares Cabral é um navio de 250 toneladas e, ao partir, levava 190 homens."

Você teria coragem de embarcar em uma nau ou caravela pouco maior que um veleiro atual de turismo, viajar com algumas dezenas de companheiros, a uma média de 5 a 10 km/h, ficar meses no mar, frequentemente com destino desconhecido? Sem dúvida, temos de admirar aqueles aventureiros que mudaram a visão europeia do que era o mundo. O escorbuto era só uma das consequências das condições precárias em que viviam os marinheiros.

Quando abordar os tecidos musculares, poderia ser feito um trabalho conjunto com Educação Física, relacionando os efeitos da atividade física na musculatura esquelética e também com lesões musculares. A atividade física estimula as células musculares esqueléticas já existentes a produzir novas miofibrilas, o que ocasiona aumento do volume da célula e, consequentemente, do músculo.

No indivíduo adulto, as células da musculatura esquelética não se dividem mais. No entanto, existem células especiais, chamadas **satélites**, que são pequenas e mononucleadas e se localizam no tecido conjuntivo que envolve os miócitos. Em situações muito especiais, quando o músculo é submetido a exercícios intensos, essas células podem se multiplicar e algumas delas se fundir com as fibras musculares já existentes, contribuindo também para o aumento do músculo.

Sobre a contração muscular, há um excelente material de apoio no *site:*

<http://portaldoprofessor.mec.gov.br/fichaTecnicaAula.html?aula=1430> (acesso em: abr.2016), trazendo animações sobre esse processo.

No indivíduo adulto, os três tipos de tecido muscular respondem de forma distinta quando ocorre lesão por destruição parcial do músculo. Na musculatura esquelética, entram em ação as células satélites que reconstituem o tecido, uma vez que as células musculares adultas não se dividem mais. Já o músculo cardíaco só é capaz de se regenerar após lesões nos primeiros anos de vida do indivíduo. Depois, forma-se uma cicatriz no local lesado por proliferação de tecido conjuntivo. As células musculares lisas, por outro lado, mantêm a capacidade de se dividir e conseguem reparar o músculo lesionado.

Da mesma forma que as células musculares estriadas, os neurônios não se dividem mais depois de diferenciados. Apesar de não se dividirem, eles podem sofrer regeneração desde que o corpo celular não tenha sido destruído. Há, porém, células capazes de formar novos neurônios, um processo chamado **neurogênese**. Os novos neurônios podem se formar a partir de células-tronco adultas localizadas no encéfalo, mas não de neurônios já diferenciados. Esse assunto será retomado no capítulo sobre sistema nervoso.

A descoberta de células-tronco adultas desperta grande interesse na comunidade científica, já que abre portas para o tratamento de inúmeras doenças neurodegenerativas. Esse assunto pode ser relacionado ao ***Tema para discussão*** do presente capítulo, que aborda células-tronco não embrionárias, como é o caso daquelas que formam neurônios em adultos.

É importante que o estudante entenda que o corpo humano é dinâmico. Os tecidos são dinâmicos e procuramos mostrar isso não apenas aqui, mas também no texto e nos demais boxes, como o que apresenta o texto "Renovação e transformação dos epitélios" (p. 42). A maioria das células do corpo humano podem se dividir por mitose, repondo naturalmente as que envelhecem ou morrem. As células nervosas não têm essa capacidade, mas células indiferenciadas presentes no tecido nervoso podem dar origem a novos neurônios. Células epiteliais e conjuntivas dividem-se e o tempo de divisão varia de acordo com o tecido. Além disso, esses tipos celulares, quando submetidos a estresse, podem sofrer transformações (metaplasia), diferenciando-se em outro tipo celular com maior capacidade de suportar o estresse a que o tecido está submetido. A metaplasia pode também ter origem genética. Este texto comenta o caso do epitélio do sistema respiratório de fumantes, assunto que será retomado no ***Tema para discussão*** do capítulo 3 em função da grande importância desse tema para os jovens. Fumar

traz sérios prejuízos à saúde e um deles é a metaplasia do epitélio do sistema respiratório. Outro local onde se verifica metaplasia com mais frequência é no esôfago, em pessoas que possuem refluxo gástrico, em que o epitélio esofágico modifica-se em função da ação dos sucos gástricos, podendo levar ao câncer.

Como forma de contextualizar ainda mais o tema em estudo neste capítulo, o boxe "Como evitar o câncer de pele?" (p. 44) trata de um dos principais tipos de câncer no Brasil. O Brasil é um país com alta incidência de luz solar, no qual as pessoas se expõem ao sol com frequência, seja por necessidade de trabalho, seja para adquirir bronzeado. O alerta que fazemos nesse texto pretende levar os estudantes a tomar consciência sobre os cuidados com a radiação solar e a proteger-se. Aqui também buscamos informar sobre o ABCD das pintas, motivando os estudantes a adquirir o hábito de examinar as pintas que aparecem no próprio corpo. Surgindo alguma pinta com as características mencionadas, deve-se procurar ajuda médica o mais rápido possível. Quanto mais cedo for diagnosticado e tratado, maior a chance de cura do câncer de pele. Se houver tempo e possibilidade, seria interessante contrapor a necessidade de se evitar o sol em excesso e em determinados horários, com estudos que mostram a importância de se tomar sol sem protetor solar para síntese de vitamina D. Em quantidades insuficientes, a vitamina D precisa ser suprida por medicamento. A falta dessa vitamina causa problemas nos ossos, fraqueza muscular, e parece estar ligada a mecanismos que desencadeiam câncer de mama, de próstata, colorretal, além de condições autoimunes, como diabetes e esclerose múltipla. Há vários textos interessantes que abordam essa ambiguidade.

Como fontes de consulta sugerimos:

- <http://agencia.fapesp.br/16745>;
- <http://drauziovarella.com.br/wikisaude/vitamina-d-na-prevencao-dedoencas-cronicas/>.

Acessos em: abr. 2016.

O uso de aparelho ortodôntico em jovens é cada vez mais comum. Assim, procuramos trazer explicações científicas com o texto "Como atuam os aparelhos nos dentes?" (p. 49) que relaciona um tema do cotidiano dos estudantes com a função dos ossos. Esse texto reforça mais uma vez o dinamismo do tecido ósseo e dos demais tecidos do corpo. Da mesma maneira, o texto "Como ocorre a reparação de fraturas?" (p. 51) aborda um assunto de interesse dos estudantes e contextualiza a função dos ossos e seu poder de recuperação.

Novamente, o texto "O que causa o gigantismo e o nanismo?" (p. 50) traz um tema relacionado com a saúde que é motivador para o estudante. Caso considere procedente, você, professor(a), pode pedir uma pesquisa sobre gigantismo e nanismo, e sobre o uso de hormônios que tem sido sugerido por médicos a certas pessoas com estatura naturalmente baixa (que não são portadoras de nanismo). Para essa pesquisa, seria interessante propor uma entrevista com um(a) médico(a) endocrinologista para que as informações possam ser bem esclarecidas.

E finalmente, o texto "Potenciais de repouso e de ação" (p. 61) apresenta um tema que tem forte relação com Física, Química e Biologia, reforçando mais uma vez a importância da visão interdisciplinar na explicação de fenômenos e processos. Sendo viável, uma atividade conjunta com os professores dessas áreas para explorar o tema seria vantajosa para a aprendizagem dos estudantes.

Em relação ao item sobre impulso nervoso, há bons materiais no *site* do Instituto de Física de São Carlos, da USP. Disponível em: <http://biologia.ifsc.usp.br/bio1/apostila/bio1_parte_09.pdf>. Acesso em: abr. 2016.

O impulso nervoso é uma onda de despolarização (potencial de ação) da membrana plasmática que percorre o axônio, induzida por um estímulo com intensidade acima de um limiar crítico, aplicado no corpo celular ou nos dendritos do neurônio. O impulso segue a "lei do tudo ou nada", ou seja, ou é desencadeado ou não é. Não há impulsos mais fortes ou mais fracos. No neurônio, o mecanismo do transporte ativo se apresenta na forma da bomba de sódio e potássio, sempre deslocando três íons de sódio para fora da célula e dois íons de potássio para dentro a cada "passo".

Enquanto a bomba de sódio e potássio estiver ativa, mantém-se uma maior concentração de cátions fora da célula do que dentro (essa diferença de cargas corresponde ao potencial de repouso). Na membrana, há canais específicos de passagem de sódio e de potássio que, uma vez abertos, permitem o movimento desses íons por difusão segundo o gradiente de concentrações (a difusão do potássio é mais lenta que a do sódio).

Quando a membrana do dendrito recebe estímulo (pelo contato com um neurotransmissor, por exemplo), abrem-se os canais de sódio e, por haver um excesso no meio externo, uma quantidade desses íons rapidamente retorna para o meio interno por difusão, somando-se à quantidade de potássio que permaneceu aí. Por isso, nesse momento, a concentração total de cátions dentro da célula agora é maior que fora.

O passo seguinte inicia-se com a abertura dos canais de potássio, que ainda está em excesso dentro da célula devido à bomba de sódio e potássio. Aí, o potássio se

difunde para o exterior, reduzindo o excesso interno de cátions – é o começo da repolarização da membrana. Finalmente, com o fechamento de todos os canais, mantém-se apenas a bomba, que restabelece a condição inicial de repouso. O que faz o impulso se propagar é o fato de que a despolarização de um ponto induz, em princípio, a despolarização dos pontos vizinhos, tanto à frente quanto atrás dele. A questão é que a região da membrana imediatamente antes do ponto de despolarização ainda está repolarizando, enquanto a região logo à frente já está pronta para despolarizar. Por isso é que só ocorre despolarização no ponto seguinte do trajeto, como decorrência da despolarização do ponto anterior.

Durante a geração do potencial de ação, o sódio está se difundindo rapidamente para o interior da célula enquanto a saída de potássio está inibida. Na repolarização, inicialmente o sódio reduz rapidamente sua entrada por difusão e o potássio se difunde para fora da célula. Temos, aí, que pensar em termos da resultante da ação conjunta e antagônica da difusão e da bomba de sódio e potássio. A eficiência da saída de sódio é maior (não há mais difusão no sentido contrário) que a da entrada do potássio (ainda persiste certa difusão para fora). Com isso, por um curto período, a quantidade total de cátions fora da célula fica até maior que no período de repouso (hiperpolarização). No final, com o fechamento dos canais de escoamento do potássio, cessa seu escape para fora e seu bombeamento para dentro atinge o normal de eficiência da bomba – a membrana recupera então seu potencial de repouso.

Conceitograf

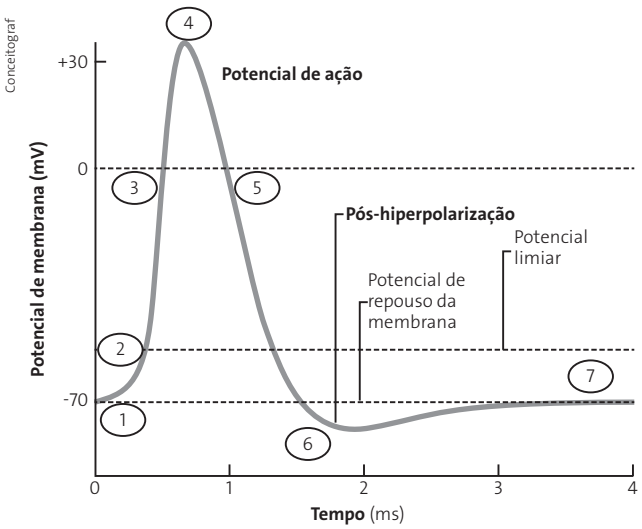


Gráfico mostrando o que ocorre durante a geração de um potencial de ação e repolarização da membrana (mV = milivolt; ms = milissegundo). **1**: estado de repouso; **2**: limiar: ao atingir esse potencial de membrana, o estímulo é desencadeado; **3**: membrana se torna positiva no lado interno e negativa no lado externo em função da abertura dos canais de sódio dependentes de voltagem; **4**: pico do potencial de ação, quando a permeabilidade ao sódio decresce rapidamente; inicia-se o fechamento dos canais de sódio voltagem-dependentes e abrem-se os canais de potássio dependentes de voltagem; **5**: a membrana começa a se repolarizar; **6**: gera-se uma pequena hiperpolarização da membrana, pois nesse ponto, após o fechamento dos canais de sódio, alguns canais de potássio ainda permanecem abertos; **7**: canais de potássio se fecham e a membrana volta ao estágio inicial de repouso.

Conceitograf

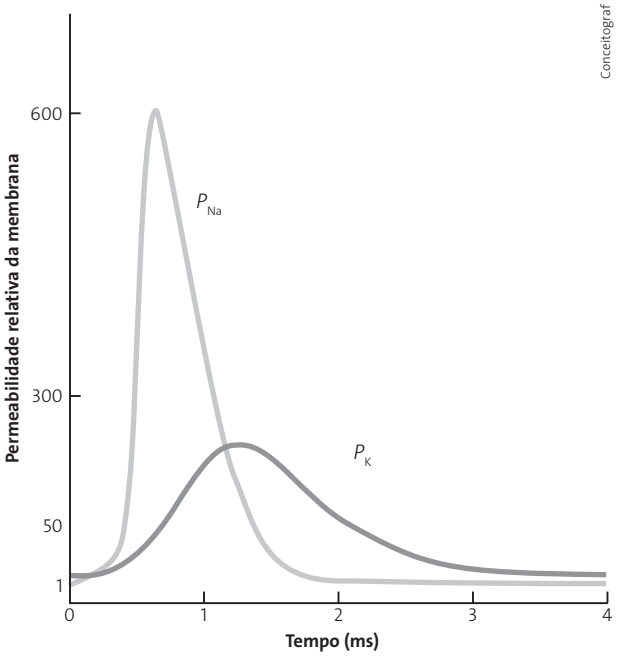


Gráfico da permeabilidade relativa da membrana do axônio aos íons sódio e potássio durante a geração de um potencial de ação e repolarização da membrana. Linha clara: íons sódio; linha escura: íons potássio.

Orientações sobre o boxe *Despertando ideias*

p. 40 – Comparando características dos tecidos do corpo humano

Essa atividade tem como objetivo despertar o interesse dos estudantes para o estudo de histologia, mesmo antes do início da apresentação dos diferentes tipos de tecido. Procuramos fazer isso estimulando a análise de imagens e trabalhando a habilidade de observação e a capacidade de descrever o que está sendo observado, além da capacidade de inferir funções para as estruturas. Atenção, professor(a), não se espera nesse momento muito mais do que as observações descritas abaixo, entretanto consideramos que elas sejam importantes para que os estudantes despertem para as principais características gerais desses tecidos. Nas questões propostas, espera-se que os estudantes percebam que:

1. Os tecidos epiteliais apresentam células bem unidas. Há uma parte da célula ligada a um outro tecido e uma parte com a superfície livre, que tem aspecto diferente dependendo do local no corpo humano onde está e a função que desempenha.
2. Todos os tecidos conjuntivos apresentam células separadas umas das outras, ao contrário do tecido epitelial.
3. Os tecidos musculares são semelhantes pois apresentam células alongadas e muito próximas entre si.
4. O tecido nervoso tem células afastadas entre si, e as células têm aspecto estrelado.

5. Espera-se que os estudantes associem a localização do tecido no corpo com as características que eles observaram e com a função que já conhecem dessa parte do corpo ou órgão. Aqui estamos trabalhando também com levantamento dos conhecimentos prévios dos estudantes, além da capacidade de relacionar forma com função. Pediremos a eles que retomem suas respostas a esse item após o estudo do capítulo. Os estudantes podem associar que o tecido estratificado pavimentoso que ocorre na pele tem por função a proteção, pois reveste todo o nosso corpo; o pseudoestratificado ciliado da traqueia pode ser associado à função de revestimento e de proteção, evitando a entrada de elementos estranhos no corpo; o epitélio prismático do intestino, com a função de revestimento e absorção de alimentos digeridos e de água; o tecido ósseo pode ser associado à função de formar os ossos, tendo, portanto, a função de sustentação; o tecido cartilaginoso presente na cartilagem do joelho tem como função diminuir o atrito na articulação; ao frouxo da derme, poderia associar a função de proteção, pois, assim como a epiderme, está relacionado à formação da pele; os tecidos musculares poderiam ser associados com a contração e o movimento, e o tecido nervoso, à coordenação de funções. Não se espera aqui que os estudantes façam diferenciações além dessas, embora possam ter conhecimentos prévios adquiridos no Ensino Fundamental.

■ Orientações e sugestões de resposta das atividades

p. 63 – *Tema para discussão*

Células-tronco não embrionárias

O ***Tema para discussão*** aborda as células-tronco não embrionárias, assunto que tem provocado amplos debates atualmente. As células-tronco embrionárias já foram discutidas no volume 2 desta coleção.

A questão proposta sugere aos estudantes que busquem mais informações em revistas e jornais de enfoque científico, em endereços eletrônicos de faculdades e universidades e em livros específicos do tema. Esses procedimentos têm como objetivo estimular um debate em sala de aula sobre a validade das linhas de pesquisa com células-tronco, sejam embrionárias ou não. Colocamos os estudantes na posição de cidadãos com poder de decisão sobre investimentos em linhas de pesquisa, para que reflitam sobre o que fariam; procuramos dessa forma mobilizar a capacidade de argumentação lógica e despertar para a cidadania.

Seria interessante que os estudantes criassem, na internet, um fórum de discussão sobre células-tronco não embrionárias. Peça que incluam nas argumentações *links* com referências confiáveis sobre o tema. Pode-se, nesse momento, ampliar também a discussão sobre o que é um *link* confiável, lembrando-os de que devem ser *links* relacionados a pesquisadores, instituições de pesquisa, universidades e órgãos governamentais.

p. 64 – *Ampliando e integrando conhecimentos*

Atividade 1: Células adiposas e a massa de uma pessoa

Sobre a estratégia:

Nessa atividade, tratamos do componente histológico associado à obesidade. Como esse tema é facilmente resgatado ao se falar de tecido adiposo e adipócitos, seria interessante você abordá-lo com os estudantes.

Cuide para que o tema não seja tratado de forma estigmatizante ou preconceituosa e para que não seja criado um clima constrangedor para eventuais estudantes obesos que possa haver na turma.

O ponto de partida é uma discussão sobre a diferença entre obesidade e sobrepeso, sobre fatores que conduzem a esses quadros de saúde e sobre as consequências deles para a pessoa. Depois, ampliando mais o conhecimento, é bastante enriquecedor tratar sobre como a obesidade se apresenta no Brasil e no exterior, enfatizando a preocupante escalada dessa condição e as possíveis relações com a cultura ocidental. Uma forma de estabelecer essa discussão é pedir previamente uma pesquisa sobre os aspectos mencionados anteriormente e marcar um seminário, em que haja questões objetivas a serem respondidas. Cada estudante, na sua vez, comunica as informações que tem, contribuindo para a construção coletiva da resposta. Isso pode ser feito para cada uma das questões.

Uma pesquisa na internet com os termos-chave "obesidade", "obesidade no Brasil" e "obesidade no mundo" fornecerá grande quantidade de fontes de informação, suficiente para que todos obtenham bom conhecimento sobre o assunto.

Outra possibilidade é consultar reportagens de jornais e revistas de divulgação sobre o assunto, buscar artigos em revistas médicas e até mesmo entrevistar profissionais da saúde que possam fornecer informações ou indicar fontes para obtê-las.

Apresentamos a seguir uma sugestão de questionário sobre o assunto, formulado de modo a abarcar vários aspectos do problema.

1. O que é obesidade?
2. Quais as possíveis causas da obesidade?
3. Quais as doenças e os distúrbios que se relacionam com a obesidade?
4. Caracterize as obesidades difusa, androide e ginecoide, mencionando a quais problemas estão mais relacionadas.

5. Como se previne a obesidade?
6. Como se trata a obesidade?
7. Descreva o estado atual do problema da obesidade infantil e em adultos no Brasil e no mundo.
8. Em que países a obesidade está se destacando como problema de saúde pública? O(A) profissional entrevistado(a) vê alguma relação com a cultura nesses casos?

O que se espera:

a) Houve hipertrofia celular, ou seja, a quantidade de gordura em cada adipócito está aumentada, pois o número total estimado de adipócitos é o mesmo que em uma pessoa com peso ideal.
b) O número de adipócitos tende a crescer até a adolescência. Se o adulto C sofre com a obesidade desde criança, é de se esperar hiperplasia. Sendo obeso atualmente, também se espera hipertrofia.
c) Ele deverá perder certa quantidade de gordura por célula, o que se refletirá na diminuição do tamanho dos adipócitos (redução da hipertrofia), sem redução do número dessas células.

Atividade 2: "*Doping* de sangue"

Sobre a estratégia:

Provavelmente os estudantes precisarão de sua orientação para estabelecer as relações entre o número de hemácias no sangue e a eficiência do atleta na competição, e entre o teor de oxigênio no ar e o número de hemácias no sangue. Com essas relações bem assimiladas, certamente eles poderão resolver o que se pede na atividade.

No texto deste capítulo mencionamos a variação do número de hemácias como resposta ao teor de O_2 no ar. Quando tratamos sobre o metabolismo celular, os estudantes viram que, se o O_2 é escasso, a respiração celular aeróbia fica inibida e a glicólise converte-se em fermentação lática. Nesse processo, os produtos orgânicos finais intoxicam as células musculares, que diminuem seu potencial de trabalho e protegem-se de danos permanentes.

Aumentar o número de hemácias é aumentar o potencial de fornecimento de O_2 às células do corpo. As situações que propomos são duas maneiras de chegar a isso. Você pode discutir com os estudantes a questão ética de por que só a segunda maneira é ilegal.

O que se espera:

Os dois competidores desejam ter aumentada sua contagem de hemácias a fim de melhorar a oxigenação das células musculares em condição de exercício intenso, ou seja, de alta demanda. Se puder ser evitada a hipoxia (escassez de O_2 no sangue), as células não entrarão em fadiga.

Atividade 3: Interpretando gráfico

Sobre a estratégia:

Aqui vamos exercitar um pouco mais a interpretação de gráfico, em um cenário de diferentes tipos de esforço físico. Como vemos na figura, a fonte energética principal vai mudando à medida que o esforço vai se sustentando ao longo do tempo. O primeiro estoque, já disponível no princípio, é de ATP e fosfocreatina. Em pouco tempo, esses estoques se reduzem e a glicólise anaeróbia surge como alternativa de suprimento energético. Após 2 minutos, a oxidação anaeróbia passa a ser a fonte principal de energia, mantendo-se assim. Você pode enfatizar aos estudantes o aumento da complexidade do processo que libera a energia: no ATP é imediato, por ação da enzima ATPase; já a fosfocreatina se degrada rapidamente formando ATP. A glicólise anaeróbia (fermentação lática), por sua vez, é um processo com diversas reações que antecede a formação e uso do ATP; essa complexidade atinge o máximo na oxidação aeróbia (respiração celular aeróbia). Assim, para um esforço intenso por pouco tempo, é importante um bom estoque de fosfocreatina; para a maratona é mais importante manter a oxigenação do corpo a fim de sustentar a respiração aeróbia.

Essa atividade constitui uma boa oportunidade de aplicação do que foi tratado no capítulo acerca das fontes de energia para a contração muscular à linguagem gráfica.

Caso os estudantes demonstrem interesse em se aprofundar na fisiologia do exercício, você pode indicar-lhes, entre outros, o endereço eletrônico a seguir. Nessa apresentação, bem-humorada, são dadas informações sobre o comando nervoso por trás dos movimentos. Avalie a pertinência ou não de apresentá-la neste momento ou mais adiante, no estudo do sistema nervoso. Disponível em: <http://www.ibb.unesp.br/Home/Departamentos/Fisiologia/Neuro/aula21.fisiologia-do-exercicio2013.pdf>. Acesso em: maio 2016.

O que se espera:

a) ATP e fosfocreatina.
b) Inicialmente ATP e fosfocreatina, depois glicólise anaeróbia e depois oxidação aeróbia.
c) Oxidação aeróbia.

CAPÍTULO 3

Sistemas digestório, respiratório, cardiovascular e imunitário

Neste e no próximo capítulo, nos dedicaremos ao estudo dos diversos sistemas do corpo humano.

O capítulo inicia-se com a homeostase e ressalta o fato de que os diferentes sistemas de um organismo atuam de forma integrada, buscando manter o meio interno em equilíbrio dinâmico. Essa forma de equilíbrio não deve ser confundida com aquela em que todas as atividade e concentrações permaneceriam constantes. Na homeostase o ponto principal é a manutenção da compatibilidade do ritmo das diversas funções.

É pertinente colocar que o conceito de hematose, segundo alguns autores, inclui a troca gasosa que ocorre entre o sangue e todos os tecidos do corpo, e não apenas a oxigenação do sangue que ocorre nos pulmões.

Vale ressaltar que a adoção da terminologia "sistema cardiovascular" em lugar de "sistema circulatório" se pauta na justificativa que consta de Di Dio (2002):

> O sistema circulatório inclui o fluxo do líquido encefalomedular e o do humor aquoso. Apesar dessas circulações estarem relacionadas, elas são encaradas separadamente das do sangue e da linfa, o que fez com que a expressão "sistema cardiovascular" fosse aplicada apenas para os órgãos que conduzem o sangue e a linfa.
>
> Di Dio, L. J. A. *Tratado de anatomia sistêmica aplicada*. São Paulo: Atheneu, 2002. 2 v.

No sistema digestório, quando abordar a influência do pH sobre a atividade enzimática, retome, se necessário, esse aspecto com os estudantes (discutido no volume 1 desta coleção). Nesse momento, pode ser fortalecida a interação com Química, visto que se discute mais profundamente o conceito de pH (medida da concentração de íons H^+).

Além disso, a integração com a Química pode ser feita também mencionando ácidos fracos e ácidos fortes que atuam na digestão. Evidencie para os estudantes, mais uma vez, a importância dos conceitos ensinados na disciplina de Química para o entendimento de processos biológicos. Outro tema a ser explorado é o equilíbrio nas reações químicas, que será fundamental para se falar da dissociação do gás oxigênio da hemoglobina no sistema respiratório.

Ao tratar do sistema cardiovascular, incentive os estudantes a pensar nas consequências da falta de irrigação do músculo cardíaco, baseando-se no fato de haver profundas modificações fisiológicas nos tecidos musculares como decorrência da falta de O_2. Em primeiro lugar, o músculo cardíaco não pode entrar em fadiga; esse músculo possui uma capacidade oxidativa bem maior que a do próprio músculo esquelético. As fibras do miocárdio contêm a maior concentração mitocondrial entre todos os tecidos do corpo humano, com uma capacidade excepcional para o catabolismo das gorduras como uma via para reconstituir ATP. Nos casos de atividade mais intensa, os ácidos graxos são o principal combustível cardíaco, passando eficientemente pelas membranas, a partir do plasma sanguíneo. Por outro lado, se não forem metabolizados, os ácidos graxos livres passam a agir como detergentes, destruindo a estrutura altamente organizada do miócito. Isso quer dizer que o importante combustível que dá suporte à função cardíaca normal também pode contribuir para a destruição da função da célula cardíaca, quando o metabolismo oxidativo está debilitado. Além disso, em pessoas adultas o músculo cardíaco não se regenera. Se houver alguma forma de lesão, apenas vai se formar uma cicatriz conjuntiva, a qual não é contrátil.

Mais informações sobre esse tema podem ser encontradas no seguinte artigo de atualização:

GODOY, Paulo Henrique *et al*. Suporte nutricional no choque cardiogênico. 2006. Disponível em: <http://sociedades.cardiol.br/socerj/revista/2006_02/a2006_v19_n02_art09.pdf>. Acesso em: abr. 2016.

Se não desejar entrar em detalhes sobre o infarto, você poderá tratar da falta de capacidade regenerativa do músculo cardíaco e pedir aos estudantes uma pesquisa ou entrevista com profissional da saúde, para que conheçam os fatores que predispõem ao infarto e, consequentemente, para que sejam mais conscientes na conservação de sua saúde. A maior parte dos fatores de risco relaciona-se com a obstrução das artérias responsáveis pelo suprimento de sangue para o miocárdio: colesterol alto, hipertensão arterial, tabagismo, excesso de peso, sedentarismo, diabetes e outros, além da idade em si e de predisposição genética.

O texto "Engasgar pode matar?" (p. 71) trata do risco de morte em engasgamento e como agir caso uma pessoa engasgue. Atitudes simples podem salvar vidas e os estudantes precisam ter noções sobre alguns procedimentos recomendados por médicos, como o caso da manobra de Heimlich.

A fim de atender a nossa preocupação para tratar de problemas de saúde e cuidados para evitar doenças, três textos foram selecionados. O primeiro, "O que é gastrite? E úlcera péptica?" (p. 72), aborda dois problemas relativamente comuns de distúrbios ligados ao sistema digestório. Se achar conveniente, peça aos estudantes que pesquisem mais sobre úlcera péptica. A pesquisa pode ser feita na internet ou em livros especializados. O objetivo dessa pesquisa é dar ao estudante uma dimensão mais realista da gravidade do problema, que vai muito além da sensação de ardência.

Se os estudantes se interessarem pela área médica, indique o artigo a seguir.

"Evolução histórica da úlcera péptica: da etiologia ao tratamento". Disponível em: <http://revistaseletronicas.pucrs.br/ojs/index.php/scientiamedica/article/viewFile/8361/6135>. Acesso em: abr. 2016.

Esse artigo traz uma abordagem histórica da etiologia e do tratamento da úlcera péptica e pode ser muito interessante para os futuros médicos.

Outro texto, "Celíase" (p. 74), trata da doença que pode ser controlada evitando-se a ingestão de glúten. Essa doença merece ser divulgada e conhecida dos estudantes, até para que entendam por que nos rótulos de certos alimentos há a informação: "contém glúten". Para conhecerem um pouco mais sobre a realidade das pessoas que convivem com essa doença, eles poderão consultar o *site* indicado abaixo. Os estudantes podem exercer sua cidadania divulgando as informações obtidas para a comunidade, explicando a importância das informações nutricionais presentes nos rótulos dos alimentos.

Associação Brasileira de Celíacos. Disponível em: <http://www.acelbra.org.br/2004/doencaceliaca.php>. Acesso em: abr. 2016.

O texto "Perigo no dia a dia" (p. 78) trata dos riscos à saúde humana provenientes de atitudes cotidianas, como deixar motores (de qualquer máquina, como carros) ligados em garagens ou ambientes fechados, ou do excesso de veículos em túneis longos. Saber disso ajuda a prevenir acidentes graves e permite que os estudantes entendam a necessidade da instalação de exaustores em túneis longos ou do desligamento de veículos quando há congestionamento nesses locais. Além disso, um hábito que era mais comum no passado, mas que ainda se verifica em certos locais, é o de "esquentar" o carro em garagens fechadas, o que pode ser letal.

O capítulo apresenta ainda dois outros textos que podem servir de ponto de partida a uma discussão mais ampla. O primeiro deles, "Hormônios e apetite" (p. 75), traz informações muito interessantes sobre a base química da sensação de fome. Você pode abordar, nesse ponto, as cirurgias bariátricas, que reduzem a parte do estômago produtora da grelina com vistas à diminuição do impulso de comer. Um artigo que pode ajudar a entender isso e está em português pode ser baixado do *link* <http://www.scielo.br/pdf/abcd/v24n3/a13v24n3.pdf> (acesso em: abr. 2016). Você também pode ampliar o assunto propondo um trabalho de pesquisa acerca das consequências físicas e psicológicas para as pessoas que se submetem à cirurgia bariátrica. O segundo texto, "Um marco na medicina: os experimentos do médico inglês William Harvey (1578-1657)" (p. 80), pode servir como base para um debate sobre história da ciência e da medicina e sobre ética no uso de animais em experimentação nos dias de hoje. Fique, entretanto, alerta, professor(a), para que não haja uma postura de julgamento de práticas do passado com um olhar do presente. Enfatize a questão histórica e o contexto social da época. Se possível, envolva o(a) professor(a) de História nesse trabalho.

Orientações sobre o boxe *Despertando ideias*

p. 68 – Regulando a temperatura da água

A atividade proposta tem por objetivo despertar o interesse do estudante para o tema homeostase. Durante a discussão desse experimento seria interessante comentar com eles sobre os conceitos de temperatura e calor, que são bem discutidos em Física, nas áreas da termologia e termodinâmica. Temperatura é a grandeza física associada ao estado de movimento ou à agitação das partículas que compõem os corpos. Para medir a temperatura existem os termômetros. Calor é definido como energia térmica em trânsito e que flui de um corpo para outro em razão da diferença de temperatura existente entre eles, sempre do corpo em que a temperatura é mais alta para o corpo com temperatura mais baixa.

Para essa atividade, você, professor(a), deve assegurar a disponibilidade inicial de água quente (50 °C ou pouco menos) e, se for necessário, também de água gelada, para os estudantes usarem no ajuste inicial. Leve a água quente em garrafa térmica para ajustar a temperatura do recipiente 3, caso seja necessário. Dependendo dos termômetros disponíveis e também da temperatura ambiente, você pode alterar as temperaturas sugeridas nos procedimentos. O tempo do experimento é curto e viável em uma aula, mas isso também pode ser alterado. Vamos supor que a sala esteja a uma temperatura de 20 °C. Nesse caso, a tendência é que a água dos três recipientes ceda calor para o ar e com isso a temperatura da água diminua. A temperatura do recipiente 2 deve ser mantida adicionando-se água mais quente até atingir a temperatura adequada; se passar desse número, deve ser adicionada água mais fria.

Nas questões propostas, pretende-se que os estudantes montem um esquema que será análogo ao de retroalimentação, mecanismo que será apresentado a seguir. A água do recipiente 2 corresponde ao corpo humano e o processo de controle é feito pelo estudante, adicionando mais água até que a temperatura se restabeleça. Ao se restabelecer a temperatura, cessa-se a adição de mais água.

Propositadamente, omitimos certas orientações importantes: não instruímos os estudantes a agitar a água no recipiente 2, a fazer intervalos entre as medidas e a estabilizar as leituras no termômetro. O motivo é propiciar a eles a oportunidade de tomarem decisões que, então, poderão ser discutidas do ponto de vista metodológico.

Respostas esperadas:

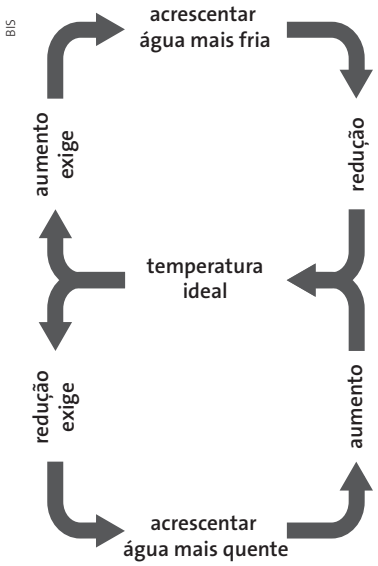
1. É necessário observar se a curva de linha contínua "escapa" do espaço entre as linhas pontilhadas.

2. Os aspectos mais importantes da metodologia

são a frequência das medidas, o cuidado com a estabilização das leituras e a quantidade de água adicionada em cada momento, além do modo como foi adicionada (a água do recipiente 2 foi agitada ou mexida para homogeneizar a temperatura enquanto se adicionava água mais quente ou mais fria?).

3. Resposta pessoal. É discutível se um tempo curto demais não garantiria a estabilização do termômetro. (Os próprios educandos podem fazer um teste, voltando a temperatura do termômetro a 35 °C, mergulhando o bulbo em água a 37 °C e, sem retirá-lo da água, fazer uma leitura a cada 5 segundos, até obter três leituras iguais – o tempo decorrido da primeira leitura até a segunda leitura repetida é o tempo de estabilização ideal do seu termômetro.)

4. Aqui, há dois processos antagônicos: colocar água mais quente e colocar água mais fria. O processo a ser aplicado vai depender de se a temperatura deve ser diminuída ou aumentada. A temperatura normal do corpo humano é de cerca de 37 °C; se aumentar, devem ser desencadeados mecanismos refrigeradores inibindo-se os aquecedores, mas, se diminuir, devem ser ativados os mecanismos aquecedores enquanto se inibem os refrigeradores.



■ Orientações e sugestões de resposta das atividades

p. 86 – *Tema para discussão*

Por que controlar o tabagismo?

Esse ***Tema para discussão*** levanta a questão do hábito de fumar e convida o estudante a pensar seriamente nesse assunto. É na fase da adolescência que surgem pressões sociais no sentido de fumar, pois circula a ideia de que é "irreverente", o que deve ser contestado com dados fisiológicos. Você, professor(a), deve reforçar a importância de que todas as pessoas, estudantes ou não, tenham consciência da gravidade que o fumo representa para a saúde.

Sugerimos a consulta ao endereço eletrônico a seguir:

Instituto Nacional de Câncer. Disponível em: <http://www.inca.gov.br/tabagismo>. Acesso em: abr. 2016.

Você poderá complementar o trabalho dessa atividade com as informações do texto a seguir:

> Os números do tabagismo no mundo são alarmantes. A Organização Mundial da Saúde (OMS) estima que, a cada dia, 100 mil crianças tornam-se fumantes em todo o planeta. Cerca de cinco milhões de pessoas morrem, por ano, vítimas do uso do tabaco. Caso as estimativas de aumento do consumo de produtos como cigarros, charutos e cachimbos se confirmem, esse número aumentará para dez milhões de mortes anuais por volta de 2030. Ainda segundo a OMS, o fumo é uma das principais causas de morte evitável, hoje, no planeta. Um terço da população mundial adulta – cerca de 1,3 bilhão de pessoas – fuma: aproximadamente 47% da população masculina e 12% da população feminina fazem uso de produtos derivados do tabaco. Nos países em desenvolvimento, os fumantes somam 48% dos homens e 7% das mulheres, enquanto nos desenvolvidos, a participação do sexo feminino mais do que triplica, num total de 42% de homens e 24% de mulheres fumantes.
>
> No Brasil, pesquisa realizada recentemente pelo Ministério da Saúde, por meio do Instituto Nacional de Câncer (Inca), indica que 18,8% da população brasileira é fumante (22,7% dos homens e 16% das mulheres).
>
> BRASIL. Ministério da Saúde. Disponível em: <http://www.asfeb.org.br/dica-saude/dica-de-saude-tabagismo/>. Acesso em: abr. 2016.

Seria muito indicado fazer um trabalho de orientação aos estudantes para que pesquisem as consequências do tabagismo na saúde das pessoas. Certamente, eles vão se impressionar com a enorme variedade de efeitos nocivos do tabaco, desde o mais conhecido – o câncer de pulmão e das vias respiratórias – até a infertilidade e a redução do desempenho sexual.

Associar essa questão do tabagismo aos macrófagos amplia o tema. Os macrófagos são células relacionadas aos tecidos conjuntivos, formadas principalmente por leucócitos do tipo dos monócitos, com especialidade na fagocitose de agentes estranhos. No caso mais particular, os macrófagos alveolares, também chamados de "células da poeira", são provenientes da diferenciação dos monócitos do sangue após atravessarem as células endoteliais que constituem os capilares. São células que exercem função fagocitária sobre partículas orgânicas

ou inorgânicas, tanto no tecido intersticial dos septos alveolares (paredes entre os alvéolos) quanto no lúmen do alvéolo. Após completarem a fagocitose do agente invasor, os macrófagos podem alcançar os bronquíolos, sendo eliminados como componente mucociliar, ou penetrar no septo intralveolar, alcançando os vasos linfáticos e atingindo os linfonodos correspondentes. A destruição dos macrófagos alveolares deixa os pulmões mais suscetíveis a infecções por vírus, bactérias e fungos e, portanto, a doenças do trato respiratório.

Mais informações podem ser obtidas em:

• <http://www2.unifesp.br/dpsicobio/cebrid/quest_drogas/tabaco.htm>;

• <http://www2.unifesp.br/dmed/pneumo/Dowload/CigarroDRCiro.pdf>;

• <http://drauziovarella.com.br/dependencia-quimica/o-cigarro-e-o-aparelho-respiratorio/>.

Acessos em: abr. 2016.

Nas questões propostas para discussão, pretende-se, em primeiro lugar, que o estudante se conscientize sobre os problemas que podem advir do hábito de fumar. Se mesmo assim decidir fazê-lo, então deve levar em conta a saúde e o direito de pessoas não fumantes, respaldado pela Lei Federal Antifumo de 2011, que determinou a proibição do fumo em ambientes fechados, sejam públicos ou privados. Ao mesmo tempo, fazemos um convite à reflexão sobre quais os fatores que induzem o jovem a começar a fumar, entre eles a inserção no grupo de amigos e a propaganda.

Finalmente, tal como sempre fazemos, consideramos o estudante que aprendeu um divulgador do conhecimento. Por isso, sugerimos a expansão da atividade para as redes sociais – é o jovem cidadão inserindo-se em sua comunidade.

p. 88 – *Ampliando e integrando conhecimentos*

Atividade 1: Construindo modelo e fazendo demonstração

Sobre a estratégia:

Nesta atividade, temos dois aspectos sendo abordados: um deles é o do sistema digestório em si, e outro, a comunicação por meio de imagem e som. Ao pedirmos que o modelo seja construído em tamanho natural com base em texto (também podem ser usadas as figuras como meio de estimar as dimensões relativas dos órgãos), esperamos que os estudantes tenham uma "visão" mais concreta de sua constituição interna.

O que se espera:

Nesta proposta, seria interessante montar um projeto em conjunto com as áreas de Arte, Língua Portuguesa e Química de modo a explorar todas as potencialidades da atividade. A construção de modelos e as representações dos nutrientes podem ser realizadas com a ajuda da área de Arte, bem como a elaboração do roteiro do vídeo. A área de Língua Portuguesa poderia entrar na discussão sobre esses modos de linguagem e suas características e discutir os quesitos que um vídeo deve atender para ser um bom instrumento de comunicação. Os processos químicos envolvidos na digestão poderiam ser discutidos e ampliados com a disciplina de Química. Sugerimos que a avaliação desse projeto considere a criatividade, a clareza na exposição das imagens e falas, a correção conceitual, e como se deu trabalho em grupo.

Atividade 2: Lendo rótulos de alimentos

Sobre a estratégia:

Esta atividade trabalha questões de saúde e procura estimular os estudantes a analisar rótulos de alimentos e a avaliar seus hábitos alimentares. Eles deverão usar conhecimentos matemáticos para resolver os itens **a** e **d**.

O que se espera:

a) Para resolver essa questão, usa-se regra de três.

Para o caso das gorduras totais, kcal e sódio → Se em 5 pedaços o valor dado no rótulo é Y, em 8 pedaços será X.

Assim, para gorduras totais: em 5 pedaços há 5 g. A fórmula é: $\mathbf{X = \frac{8\ pedaços \cdot 5\ gramas}{5\ pedaços}}$ = 8 gramas de gordura.

Para kcal: em 5 pedaços há 92 kcal. A fórmula é: $\mathbf{X = \frac{8\ pedaços \cdot 92\ kcal}{5\ pedaços}}$ = 147,2 kcal.

Para o sódio: em 5 pedaços há 446 mg. A fórmula é: $\mathbf{X = \frac{8\ pedaços \cdot 446\ mg}{5\ pedaços}}$ = 713,6 mg.

A % VD para cada caso deve ser calculada também usando regra de três. Nós já daremos o resultado diretamente. O cálculo pode ser feito pelo número de pedaços ou pelos valores obtidos acima.

– gorduras: corresponde a 14,4% VD.

– kcal: corresponde a 8% VD.

– sódio: corresponde a 30,4% VD.

b) Esses dados indicam que o teor de gordura, de kcal e especialmente de sódio é muito elevado. Uma dieta

baseada apenas em alimentos com essas características pode levar a pessoa a condições como obesidade, diabetes tipo II, doenças cardíacas e, pensando no item sódio, hipertensão arterial. Além disso, esse tipo de alimento é pobre em vitaminas e sais minerais, nutrientes importantes para o bom funcionamento do organismo.

c) O aviso sobre a ausência de glúten garante aos celíacos que eles podem ingerir esse alimento. No entanto, todos os cuidados que já comentamos sobre teor de gordura e sódio são importantes também para os celíacos. Assim, eles podem comer esse alimento, mas devem ficar atentos também a outros aspectos.

d) Novamente, para responder a esse item, basta aplicar a regra de três. O que se pretende ao final desse exercício é mostrar aos estudantes que eles podem fazer esses cálculos no seu dia a dia e, com isso, avaliar sua alimentação. Os resultados são:

— carboidrato: 88 kcal.

— proteína: 8 kcal.

— gordura: 90 kcal.

— valor total: 186 kcal, que corresponde a 9,3% VD para uma dieta de 2 000 kcal.

Atividade 3: Suprimento de oxigênio para os tecidos

Sobre a estratégia:

Com base no texto desta atividade, explore com os estudantes como manter a condição geral do organismo quando passamos, mais ou menos subitamente, de um ambiente com alta pressão de O_2 para outro com baixa pressão.

O que se espera:

a) Normalmente, quando se trata de pH do sangue, a aceleração da ventilação é uma resposta à acumulação de CO_2 no plasma. Com a ventilação mais intensa, aumenta-se a liberação do gás para o meio externo, diminuindo sua concentração no sangue e normalizando o pH. No caso da pessoa que foi para um local de maior altitude, a aceleração da ventilação não foi resultado desse mecanismo, mas da redução da pressão parcial de O_2. Essa redução é percebida pelos quimiorreceptores localizados no arco aórtico e na artéria carótida, que a transmitem ao centro respiratório, que acelera o ritmo e aumenta a amplitude dos movimentos respiratórios.

b) Nessa situação deve ocorrer uma maior facilidade de liberação da hemoglobina nos tecidos, embora ao mesmo tempo fique um pouco mais difícil de captá-lo nos pulmões. O importante é que a diferença entre as afinidades pelo O_2 nas condições do pulmão e nas condições dos tecidos se mantenha.

c) A redução na afinidade da hemoglobina pelo O_2 é compensada pelo aumento do número de moléculas de hemoglobina em conjunto com o aumento do número de hemácias por mm^3 de sangue.

CAPÍTULO 4

Sistemas urinário, nervoso e endócrino

De acordo com a nomenclatura anatômica humana, deve-se usar a denominação sistema urinário em substituição a sistema excretor.

O sistema endócrino inclui todas as glândulas endócrinas (aquelas que não possuem ducto excretor); essas glândulas são consideradas glândulas de secreção interna em oposição às glândulas de secreção externa. As secreções provenientes das glândulas endócrinas são os hormônios, lançados diretamente no sangue venoso.

Estudos recentes têm permitido incluir no sistema endócrino um número crescente de órgãos, como o coração. Nesse sentido, de acordo com L. J. A. Di Dio (*Tratado de anatomia sistêmica aplicada*. São Paulo: Atheneu, 2002), as glândulas endócrinas são:

a) cefálicas: pineal, subcomissural (esta não foi citada no Livro do Estudante), hipófise;
b) cervicais: tireóidea, paratireóideas (quatro);
c) cervicotorácica: timo;
d) torácica: coração;
e) abdominais: estômago, intestino, duas suprarrenais – chamadas adrenais em outros animais;
f) pélvicas: dois ovários, placenta;
g) escrotais: dois testículos.

Nessa relação, gostaríamos de chamar a atenção para:

– os termos "tireóidea" e "paratireóidea", que devem ser usados em substituição, respectivamente, às formas tradicionais "tiroide" ou "tireoide" e "paratiroide" ou "paratireoide";

– a inclusão do estômago e do intestino, além do coração, como glândulas endócrinas;

– a inclusão da placenta como glândula endócrina.

O quadro da página a seguir apresenta um resumo dos demais órgãos produtores de hormônios, indicando onde e como esses hormônios atuam.

Estruturas endócrinas	Hormônios	Funções
Fígado: glândula anexa do sistema digestório.	Somatomedina	Atua sobre o hormônio do crescimento (GSH), estimulando o crescimento.
Rim: órgão do sistema urinário.	Renina	Estimula o córtex adrenal; aumenta a pressão arterial.
	Diidroxicolecalciferol	Interfere na absorção de cálcio e na calcificação óssea.
Coração: órgão do sistema cardiovascular.	Fator natriurético (ANF)	Atua sobre o rim, aumentando a excreção de sódio e o volume de água na urina.
Estômago: órgão do sistema digestório.	Gastrina	Estimula a secreção do suco gástrico e aumenta a motilidade do estômago.
Duodeno: região do intestino delgado que faz parte do sistema digestório.	Secretina	Estimula a secreção do suco pancreático e inibe a motilidade do estômago.
	Colecistocinina	Estimula a liberação da bile e a secreção de enzimas pancreáticas; inibe a motilidade do estômago.
	Enterogastronas	Inibem a motilidade gástrica.

Para este capítulo, sugerimos uma consulta aos endereços eletrônicos a seguir, que podem ser utilizados visando ao maior aprofundamento nos temas:

- Academia Brasileira de Neurologia. Disponível em: <http://www.abneuro.org/>;
- Sociedade Brasileira de Endocrinologia e Metabologia. Disponível em: <http://www.endocrino.org.br/cuidados-com-saude/>;
- Sociedade Brasileira de Nefrologia. Disponível em: <http://www.sbn.org.br/>.

Acessos em: abr. 2016.

Outro assunto que seria interessante introduzir é sobre o acidente vascular cerebral (AVC), que liga o capítulo anterior a este. Uma pesquisa pode ser feita sobre o AVC, enfatizando os tipos, fatores de risco, atitudes a tomar no caso de um AVC acontecer, cuidados após a recuperação do acidente agudo, estatísticas no Brasil e outros aspectos.

Alguns pontos importantes a considerar:

– a hipertensão favorece a ruptura de vasos sanguíneos e, por isso, é o fator mais relacionado com o AVC do tipo hemorrágico;

– a aterosclerose já é um estado que favorece a isquemia, ou seja, a deficiência no suprimento de sangue para qualquer parte do corpo. O AVC isquêmico pode derivar diretamente dessa condição ou, então, de uma placa que se desprendeu de um vaso sanguíneo do corpo, por exemplo, e bloqueou algum vaso sanguíneo cerebral;

– algumas práticas de saúde fundamentais para se prevenir contra um AVC são: evitar a vida sedentária, que por si já favorece o aparecimento de fatores de risco; evitar o uso do tabaco, álcool e outras drogas; adotar bons hábitos de alimentação, evitando excesso de gorduras que possam levar a níveis altos de colesterol;

– a função renal é fundamental na regulação da pressão arterial e, portanto, relaciona-se intimamente com a hipertensão e o AVC hemorrágico.

Quando abordamos os mediadores químicos, falar sobre cocaína é bastante relevante para a formação do jovem, exigindo deles uma postura firme baseada em conhecimento consistente.

A dopamina é um neurotransmissor relacionado com a transmissão de impulsos nervosos em sinapses dopamínicas (ou seja, mediadas por dopamina). Ela é liberada por certos neurônios em vias nervosas relacionadas com a sensação de prazer. Quando esse neurotransmissor é recuperado ou degradado, a transmissão do impulso nervoso cessa. O aumento da concentração de dopamina em função do efeito da cocaína mantém tais vias ativadas e, dessa forma, amplifica-se a mensagem a ser transmitida. Daí o efeito estimulante da droga.

Novos usuários dessa droga muitas vezes são motivados pela busca de um aumento de produtividade no trabalho ou em outras áreas de suas vidas. A cocaína tem alto poder de gerar dependência e, embora seus efeitos possam parecer tentadores, eles vêm acompanhados de um processo gradual de aumento da tolerância. Com isso, doses cada vez maiores são necessárias para obter efeito similar. Essa tolerância faz com que o dependente dificilmente encontre aquela sensação que o levou ao consumo inicial.

O uso de cocaína tem efeitos adversos no organismo humano tanto em curto quanto em longo prazo. Em curto prazo, provoca vasoconstrição, dilatação das pupilas, redução do apetite, aumento da temperatura corporal, da pulsação cardíaca e da pressão sanguínea. Além disso, passa a impressão de se estar com a mente mais alerta, mais pronta para enfrentar o perigo e situações de emergência. Esses efeitos, em alguns casos, podem acarretar prejuízos sérios, e até mesmo a morte, frequentemente resultante de parada cardíaca ou respiratória. Devido à redução de apetite associada ao consumo da droga, usuários crônicos frequentemente apresentam problemas relacionados à subnutrição.

A longo prazo, seu uso aumenta a probabilidade de ocorrência de doenças cardíacas, falhas respiratórias, infartos, problemas gastrointestinais, convulsões, náusea, visão borrada, dores no peito, febre, espasmos musculares, irritabilidade, instabilidades de humor e coma.

Usuários da cocaína também podem experimentar severa paranoia, um estado temporário caracterizado de psicose paranoica, no qual perdem contato com a realidade e experienciam alucinações auditivas.

Os diferentes modos de utilizar a cocaína podem produzir distintos efeitos adversos. Inspirar o pó (uso intranasal) pode levar à insensibilidade olfativa, sangramentos nasais, problemas com a deglutição, alteração da voz e coriza (nariz escorrendo) contínua. A ingestão pode causar gangrena severa no tubo digestório, como resultado da deficiência de irrigação que vem da vasoconstrição local. A injeção pode causar reações alérgicas severas, além de aumentar os riscos de contaminação pelo HIV e outras doenças transmissíveis, caso seringas sejam compartilhadas.

O texto "Algumas doenças renais" (p. 94) alerta os estudantes sobre problemas de saúde relacionados ao mau funcionamento dos rins. Seria interessante nesse momento trabalhar em conjunto com as informações presentes no *site* da Sociedade Brasileira de Nefrologia, indicado anteriormente. Além de estimular os estudantes a zelar pela própria saúde, motive-os a atuar como cidadãos, divulgando, junto às demais pessoas da comunidade em que vivem, hábitos saudáveis que evitam danos à saúde e que se refletem na saúde geral do indivíduo. Entre essas medidas, há sugestões básicas para evitar doenças: reduzir a quantidade de açúcar e de sal na alimentação, fazer atividade física regularmente e beber água (recomenda-se cerca de 1,5 L por dia).

Ao tratar de atos que dependem ou não da nossa vontade, no texto "Atos voluntários e atos reflexos" (p. 96), esclarecemos aos estudantes que nem todas as respostas do corpo passam pela interpretação no cérebro, e que há atos reflexos mediados pela medula e bulbo e que não dependem de nossa vontade. Eles ocorrem sem que tenhamos percepção disso. Exemplos de atos reflexos são inúmeros nas diferentes situações do cotidiano. Esses reflexos são respostas adaptativas que preservam nossa saúde, como retirar a mão de superfícies quentes ou pontiagudas assim que as tocamos, tossir, espirrar, fechar os olhos quando algo se aproxima deles, contração da pupila quando a luz aumenta (há pessoas que espirram quando passam de um local mais escuro para um com claridade forte).

Você pode, nesse momento, pedir aos estudantes que discutam o valor adaptativo dos atos reflexos e que levantem exemplos cotidianos em que eles já vivenciaram isso. Caso considere procedente, poderia expandir a discussão para os reflexos condicionados, discutindo os experimentos clássicos de Pavlov em que, antes de oferecer alimento a cães famintos, ele tocava uma campainha por várias vezes. Depois, Pavlov tocava a campainha sem oferecer o alimento e observava que os cães salivavam do mesmo modo que faziam na presença de alimento, estando, portanto, condicionados a salivar assim que ouviam o som da campainha.

Como educadores(as), devemos estar atentos para os educandos que começam a ter problemas no desempenho escolar em função de deficiências na visão, pois às vezes a pessoa não percebe que está no começo de uma miopia, hipermetropia, astigmatismo ou qualquer outro problema. Por isso, é importante aproveitar o texto "Alguns problemas de visão" (p. 100), que aborda o sistema sensorial – visão – para alertar e esclarecer. Adolescentes, em geral, podem ter uma reação adversa ao uso de óculos e podem ser alvo de atitudes discriminatórias, por isso esse é um bom momento para se discutir o assunto. Usar óculos é comum e permite que a pessoa tenha melhor qualidade de vida. O quanto antes for detectado o problema, mais cedo se pode tentar uma solução, que pode até mesmo ser cirúrgica. Por isso, é importante a consulta a um médico para saber o que é melhor fazer em cada caso. Além de podermos trabalhar essas questões de saúde, ética e cidadania, esse tema propicia íntima relação com a disciplina de Física. Esse seria um bom momento para uma proposta de trabalho interdisciplinar com os docentes dessa área que agregue as discussões mencionadas acima, explorando de forma mais completa o assunto.

Orientações sobre o boxe *Despertando ideias*

p. 93 – Os rins atuam como filtros seletivos

Esta atividade tem como objetivo trabalhar com os estudantes a habilidade de interpretação de tabelas e de usar a Matemática para estabelecer relações de porcentagens. Ela possibilita que os estudantes percebam as diferenças entre concentrações de substâncias no sangue e na urina, permitindo que observem quais substâncias são eliminadas e quais não são em um indivíduo saudável.

Respostas esperadas:

1. Maior concentração no sangue: sódio; maior concentração na urina: ureia.

2. Menor concentração no sangue: cálcio; menor concentração na urina: glicose.
3. No sangue, a ureia está a 0,03 g/mL e na urina, a 2,00 g/mL. Isso corresponde a aproximadamente 67 vezes mais concentrada na urina. A ureia é um subproduto da quebra de aminoácidos no fígado. Como a ureia é solúvel, ela é transportada pelo sangue e, ao passar pelo rim, é filtrada e pode ser removida do corpo humano.
4. Quando se compara a concentração de certas substâncias no sangue e na urina, pode-se notar a importância dos rins na homeostase do corpo, ao controlar a quantidade de cada substância, favorecendo sua retenção ou sua eliminação.

Orientações e sugestões de resposta das atividades

p. 106 – *Tema para discussão*

Drogas: você sabe como entra, nunca como sai

Esse ***Tema para discussão*** aborda a questão fundamental das drogas, que precisa ser tratada em sala de aula enfatizando-se sempre os malefícios do consumo. O uso de álcool e de outras drogas vem crescendo atualmente; nós, professores(as), devemos contribuir, esclarecendo sobre os problemas sociais, pessoais, físicos e psicológicos derivados do consumo de drogas.

Apesar de as bebidas alcoólicas serem drogas lícitas para maiores de 18 anos, elas fazem parte da vida social de muitos estudantes, mesmo dos que ainda não atingiram a maioridade. Evitar seu consumo é um comportamento que deve ser analisado com os estudantes. É importante enfatizar que não se deve beber antes de dirigir ou de praticar esportes.

Pretendemos que os estudantes reflitam sempre sobre suas atitudes e sejam conscientes e capazes de dizer não às drogas.

Dependendo do caso, você, professor(a), pode sugerir uma entrevista com um médico, abordando o tema do alcoolismo, ou com representantes dos Alcoólicos Anônimos (AA) de sua cidade ou região. Os estudantes podem organizar perguntas para uma entrevista. Outra sugestão é fazer a entrevista com médicos, procurando estender e aprofundar a discussão sobre drogas ilícitas, um sério problema dos dias de hoje.

Nas atividades propostas, procuramos ir ao âmago da questão: se os jovens estiverem mais conscientes sobre os fatores que os induzem a adquirir um hábito, ou um vício, e também sobre como se sentem os que já perceberam que estão viciados, então poderão estar mais preparados para tomar decisões, como a de recusar uma oferta ou afastar-se dos círculos de consumo de drogas.

Embora não tenhamos enfatizado aqui, ainda há uma questão jurídica: o envolvimento com drogas ilícitas pode resultar em prisão, com todas as suas consequências para o indivíduo e as pessoas próximas a ele.

Muito poderia ser dito aqui, já que o problema é complexo. Cada região e grupo social deverá ter suas particularidades, com as quais você, professor(a), irá lidar. A melhor abordagem vai depender de cada caso.

Pode haver músicas cujas letras transmitam experiências pessoais que podem ser aproveitadas (há várias no mundo do *hip-hop*, por exemplo). Você poderia abordar a questão pedindo aos estudantes que compilem músicas de que gostam e cujas letras falam de drogas e dependentes, e conduzir a atividade por meio de análises e interpretações dessas letras. Outra possibilidade é propor que eles organizem uma oficina ou festival de músicas de diferentes gêneros, que abordem o tema.

Se achar oportuno, discuta com os estudantes questões relacionadas à influência e à imagem de pessoas públicas envolvidas com as drogas, como: qual poderia ser o impacto sobre os jovens do modelo de artistas bem-sucedidos e de sucesso na mídia, mas supostamente (ou reconhecidamente) envolvidos com drogas? Trata-se de um alerta ou de propaganda enganosa?

p. 109 – *Ampliando e integrando conhecimentos*

Atividade 1: *Feedback* hormonal e regulação do ciclo menstrual

Sobre a estratégia:

Com esta atividade, os estudantes deverão assimilar o processo de regulação do ciclo menstrual e compreender de que forma esse conhecimento pode ser usado na detecção de problemas com a ovulação em mulheres em idade fértil. Ao mesmo tempo, retoma-se o mecanismo de atuação da pílula anticoncepcional e dos princípios da tabelinha.

O que se espera:

a) A situação se assemelharia ao que ocorre na gravidez. Os altos níveis de estrógeno e progesterona inibirão a síntese de hormônio folículo estimulante pela hipófise, suspendendo o ciclo menstrual.

b) Via de regra, a pílula anticoncepcional é uma associação de hormônios ovarianos. Ao ingerir a pílula diariamente, os níveis desses hormônios mantêm-se altos e, por retroalimentação negativa, a síntese de FSH é inibida, não ocorrendo a maturação dos ovócitos.

c) Se por algum motivo não ocorrer a ovulação, não haverá folículo em desenvolvimento para produzir estrógeno; ao mesmo tempo, não se formará corpo lúteo para produzir progesterona. Sem o efeito inibidor desses

dois hormônios, a hipófise produz FSH sem restrição. Com isso, a dosagem desse hormônio no sangue aumenta e permanece alta. A falta de estrógeno faz com que o endométrio não se desenvolva e, portanto, não ocorra mais a menstruação.

Atividade 2: Variação hormonal e climatério

Sobre a estratégia:

É interessante que você, professor(a), oriente os estudantes na discussão comparativa do que ocorre com a mulher e com a rata. Ao mesmo tempo, poderá explorar mais os gráficos de modo a propiciar um entendimento melhor do que ocorre por ocasião da menopausa (término dos ciclos menstruais da mulher). A distinção entre os significados dos termos menopausa e climatério deve ser discutida com os estudantes. Antes disso, poderia ser pedida uma pesquisa sobre os sintomas que aparecem no período chamado climatério. Nos gráficos que incluímos, mantivemos a nomenclatura original, sendo que o climatério corresponde aos períodos de perimenopausa até a pós-menopausa.

O que se espera:

a) É a redução nos níveis de estrógeno devido à hipofunção ovariana. Na rata, o efeito da remoção do ovário é semelhante, já que também nesse caso não se produz mais estrógeno. A diferença é que na mulher as alterações estão sendo mais gradativas, enquanto na rata se instauram bruscamente.

b) A elevação da dosagem de FSH explica-se pela redução nos níveis de estrógeno, situação em que não há inibição da atividade de síntese de FSH pela hipófise.

c) No terceiro dia do ciclo menstrual, quando a dosagem de hormônios ovarianos é mínima (mas não nula), mede-se a dosagem de FSH sem inibição hipofisária normal por **retroalimentação negativa** – é por isso que essa medida é o teor basal. Se a concentração de hormônios ovarianos chegar a zero, então a de FSH deverá se manter acima do nível basal normal.

Atividade 3: Percepção do toque e arco reflexo

Sobre a estratégia:

Nesta atividade, você poderá retomar com os educandos o arco reflexo simples com integração apenas na medula. Eles já devem conhecer o reflexo patelar. Você pode ensiná-los como ativar o reflexo patelar, solicitando que tentem evitá-lo voluntariamente para ver se conseguem.

O que se espera:

a) Uma fibra mielinizada corresponde a um axônio com bainhas de mielina separadas entre si por pontos não mielinizados, os chamados nódulos de Ranvier. A mielinização resulta da participação de células especiais denominadas células de Schwann.

b) Fibras sensitivas provenientes dos discos de Merkel levam impulsos à medula, que imediatamente envia estímulos por fibras motoras que induzem a contração muscular e o movimento de retirar o dedo do contato com a ponta do alfinete.

UNIDADE 2

Genética

CAPÍTULO 5

A Genética e os genes

Inicialmente fazemos uma breve revisão da evolução dos conhecimentos adquiridos na Genética, que hoje é uma das áreas da Biologia que mais se desenvolve. Geralmente, esse tema desperta muito interesse nos estudantes.

Neste capítulo, analisamos o material genético e explicamos como ocorre a síntese proteica, abordando a noção de gene e código genético. Algumas das noções presentes já foram abordadas no volume 1, com outro enfoque. Assim, durante esse estudo, serão necessários alguns dos conhecimentos apresentados anteriormente, em especial sobre células, divisão celular, DNA e RNA, cariótipo, classificação dos cromossomos em relação à posição dos centrômeros e reprodução. Também serão necessários os conceitos de reprodução humana, tratados na primeira unidade deste volume. Retome esses conteúdos com seus educandos, caso necessário.

Se achar conveniente, estenda a discussão sobre a polêmica que envolveu a físico-química britânica Rosalind Franklin (1920-1958) na identificação da estrutura da molécula do DNA. Peça aos estudantes uma pesquisa sobre a vida da cientista e seu papel na descoberta da estrutura do DNA. Ela foi injustiçada durante sua vida, vítima de machismo e de outros fatores, portanto, é possível abordar o papel da mulher na ciência. É uma boa oportunidade para discutir história da ciência e ética com os estudantes.

Pode-se promover uma discussão, baseando-se em questionamentos como:

– A pesquisa científica é, ainda hoje, uma atividade realizada mais por homens do que por mulheres?
– Há mulheres cientistas que são conhecidas pelos estudantes? Que tipos de pesquisa elas fazem?
– Entre os cientistas laureados do Prêmio Nobel nos últimos 10 anos, quantas são mulheres?

Um texto interessante que pode iniciar a discussão, partindo do exemplo da história de Rosalind Franklin na ciência, é este:

Carta revela desprezo por Rosalind Franklin, "mãe do DNA", publicado em setembro de 2010 na *Folha de S.Paulo*. Disponível em: <http://www1.folha.uol.com.br/ciencia/807079-carta-revela-desprezo-por-rosalind-franklin-mae-do-dna.shtml>. Acesso em: abr. 2016.

Também é interessante destacar que a troca de informações entre cientistas, mesmo de áreas distintas, é fundamental na produção de conhecimento. Resultados de pesquisas nas áreas de Bioquímica, Biologia, Física e Química foram fundamentais para se chegar à estrutura atualmente aceita da molécula de DNA.

Informações adicionais podem ser encontradas em: <http://qnint.sbq.org.br/qni/visualizarTema.php?idTema=33>. Acesso em: abr. 2016.

Apesar de serem muitos os exemplos de mutações gênicas, como já comentamos em vários momentos nesta coleção, destacamos no texto "Alguns exemplos de mutação gênica" (p. 130) algumas outras mutações que causam doenças, visando ampliar o conhecimento dos estudantes.

Orientações sobre o boxe *Despertando ideias*

p. 119 – Decorrências do emparelhamento

O exercício destina-se a dar uma visão preliminar sobre o que ocorre em termos da complementaridade durante o emparelhamento de bases nitrogenadas. Essa abordagem será útil para entender como é a molécula de DNA, como ela se duplica, formando duas moléculas idênticas, e como ocorre a transcrição do RNA mensageiro. Convém explicitar aos estudantes que temos, nessa atividade, uma aplicação simples da Matemática, sobre proporções e porcentagens.

Respostas esperadas:

1. Não é possível. A regra é rígida e não permite mais que uma opção de associação para cada símbolo. Com isso, a uma determinada sequência de símbolos corresponderá sempre uma, e somente uma, sequência complementar.

2. Se for conhecida a porcentagem de quadrados cheios na sequência original, então a porcentagem de quadrados vazios na paralela é a mesma, já que a cada símbolo de um tipo está associado outro. Na falta de outras informações, não se pode determinar as porcentagens de outros símbolos além dos quadrados vazios na sequência paralela.

Por outro lado, se a pergunta 2 considerasse as porcentagens no *conjunto das duas sequências*, então a situação seria diferente. Sabendo-se a

proporção total de quadrados cheios nas duas sequências, somando-se com a de vazios e subtraindo-se esse resultado de 100%, teremos a porcentagem total de círculos, da qual metade é de círculos cheios e a outra metade, de vazios. Como se vê, no conjunto das duas sequências poderíamos prever todas as porcentagens dos símbolos a partir de só um deles.

Orientações e sugestões de resposta das atividades

p. 131 – *Tema para discussão*

Genoma: o que é e o que tem sido feito

O texto trata do tema genoma: esclarece seu significado e traz informações sobre alguns estudos relacionados a ele e detalhes do Projeto Genoma Humano (PGH), que teve ampla divulgação na mídia.

Nas questões propostas, aborda-se a importante polêmica sobre a questão da ética do Projeto Genoma Humano, um assunto de vital importância para todos.

O primeiro item propõe uma pesquisa sobre os desdobramentos desse projeto em âmbito geral (novas pesquisas, produtos, serviços, inovações biotecnológicas etc.), que permitirá iniciar uma discussão sobre o assunto do ponto de vista ético. Antes, porém, é importante destacar que, apesar de o sequenciamento das bases já ter sido concluído, ainda há muito por fazer. Muitos genes ainda não foram localizados e outros não têm seu funcionamento completamente definido. Como conclusão da pesquisa, propomos uma atividade de divulgação científica. Acreditamos que, após terem estudado o conteúdo do capítulo e discutido diversas questões sob diferentes pontos de vista, os estudantes terão embasamento para produzir algum produto informativo (panfleto, cartaz, vídeo, *blog* etc.) voltado a outras turmas ou mesmo à comunidade extraescolar. Esta pode ser uma boa oportunidade para colocar os estudantes no papel de divulgadores do conhecimento e utilizar recursos como *blogs* e redes sociais para se expressar e para atingir a comunidade.

No segundo, terceiro e quarto itens, propomos que os estudantes reflitam e comparem os conteúdos do livro *Admirável mundo novo* (1932) e do filme *GATTACA* (1997), excelentes opções para iniciar uma discussão sobre o comportamento humano diante da manipulação genética.

Recomendamos a você, professor(a), revisitar na parte inicial das Orientações didáticas deste Manual o item que trata do uso do cinema nas aulas de Biologia, que, além de oferecer orientação sobre a forma de explorar filmes comerciais em sala de aula, apresenta informações acerca do filme *GATTACA*.

p. 132 – *Ampliando e integrando conhecimentos*

Atividade 1: O código genético

Sobre a estratégia:

Esta atividade serve como um momento de reflexão sobre a universalidade do código genético e seu significado em termos evolutivos.

O que se espera:

Se a maquinaria da bactéria "lê" os genes de outra espécie, é porque o código genético é o mesmo tanto em procariontes como em eucariontes. Quanto maior o desenvolvimento da manipulação genética, mais condições o ser humano terá de interferir na natureza e manipulá-la. Isso traz pelo menos duas consequências: a possibilidade de desenvolver e produzir substâncias e técnicas para o tratamento de inúmeras doenças; questões e debates éticos relacionados às interferências nas mais variadas situações. Note que pouco conhecemos sobre as interações dos genes para produzir os fenótipos. A manipulação gênica sem conhecimento sobre possíveis desdobramentos não previstos deve ser bem discutida.

Atividade 2: Do códon ao aminoácido

Sobre a estratégia:

Certamente, neste momento do curso, os estudantes já estão suficientemente familiarizados com o uso de modelos. Se julgar necessário, porém, relembre-os de que, em ciência, os modelos correspondem a uma descrição hipotética de uma entidade ou processo e buscam representar determinada realidade estudada pelos cientistas. Esses modelos, entretanto, não são essa realidade, podendo, portanto, sofrer alterações a partir de novas informações obtidas.

Apesar de simples, esta atividade é muito importante, pois nela se incluem todas as fases da expressão de trios de bases na forma de aminoácidos. Lembre os estudantes de que o mecanismo é dessa forma principalmente devido às propriedades químicas das bases nitrogenadas, que estabelecem a afinidade A-T e C-G. A maneira como purinas e pirimidinas se ligam pode ser explorada.

O que se espera:

Resposta pessoal.

Atividade 3: Mutações

Sobre a estratégia:

Se os estudantes assimilaram bem a relação entre o códon ou tríade e o aminoácido no final da tradução e seu significado em termos do estabelecimento de fenótipos, esta atividade poderá ser mais bem executada.

O que se espera:

a) ELE NEM VIU QUE ELA FOI ALI

ELA NEM VIU QUE ELA FOI ALI. Sim, ficou alterado, pois mudou o sujeito.

b) ELE NMV IUQ UEE LAF OIA LI. A frase, se delimitarmos as palavras de três em três letras, perdeu completamente o sentido – mais que isso, as palavras adiante da modificação perderam individualmente seu significado original.

c) ELE NMV IUP QUE ELA FOI ALI. A frase continua sem sentido, mas algumas palavras voltaram a ter significado.

d) A mutação por troca de uma base em uma tríade pode levar à substituição do aminoácido correspondente, no final da síntese. Por perda, pode alterar toda a sequência de aminoácidos correspondentes aos trios daí por diante. Uma mutação pode ter o efeito de reverter outra mutação no mesmo ácido nucleico.

Atividade 4: Hereditariedade

Sobre a estratégia:

Explorar as consequências de mutações em células somáticas e células germinativas é um ponto importante para compreensão do significado da mutação no caso de tumores e no caso de se receber raios X nas gônadas. Discuta com os estudantes as implicações de o homem sofrer uma mutação em uma espermatogônia ou em um espermatócito. Como as espermatogônias proliferam, a mutação é disseminada dentro do próprio testículo, afetando muitos espermatozoides no presente e no futuro; no caso do espermatócito, no máximo quatro espermatozoides serão afetados.

O que se espera:

a) No caso dos carneiros, se a mutação foi somática, não se disseminará para os descendentes. O interesse do fazendeiro só será satisfeito se a mutação for em células germinativas, pois assim nascerão carneiros de patas curtas que poderão produzir descendentes semelhantes. Se o fazendeiro, na hora de selecionar as reses que irão para o abatedouro, escolher apenas indivíduos com patas normais, com o tempo a maior parte de sua criação provavelmente terá patas curtas.

b) O fazendeiro poderia cruzar o carneiro de patas curtas com diversas fêmeas, incluindo irmãs, esperando o nascimento de descendentes com patas curtas. Se isso ocorrer, a mutação terá acontecido em células germinativas. Se a mutação for em células somáticas, a característica não se disseminará para os descendentes.

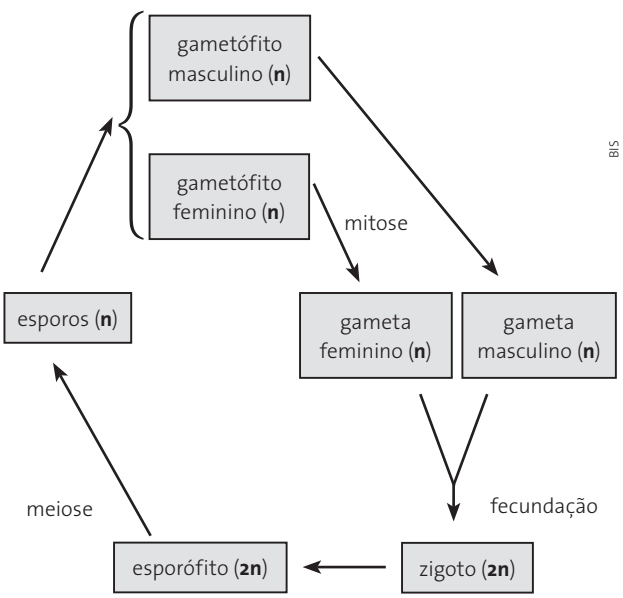
CAPÍTULO 6

A herança de uma característica

Um breve histórico dos trabalhos de Mendel e a repercussão das conclusões por ele obtidas em um de seus experimentos nos levam a apresentar o que mais tarde ficou conhecido como primeira lei de Mendel, considerada a lei mais universal da genética e a base de todo o raciocínio para entender os mecanismos de transmissão dos caracteres hereditários. Ainda sobre a primeira lei, apresentamos casos ligados a ela, como dominância completa e incompleta, codominância, alelos letais e alelos múltiplos. Sempre que possível, exemplos da genética humana tornam o assunto ainda mais próximo e significativo para os estudantes. Muitos desses exemplos baseiam-se em *Genética humana e clínica*, de P. G. Otto, P. A. Otto e O. Frota-Pessoa (São Paulo: Roca, 2004).

É relevante lembrar aos estudantes que Mendel interpretou os resultados de seu trabalho desconhecendo o mecanismo da meiose, processo intimamente relacionado à primeira lei. Mendel também não conhecia o ciclo de vida das plantas como se conhece atualmente.

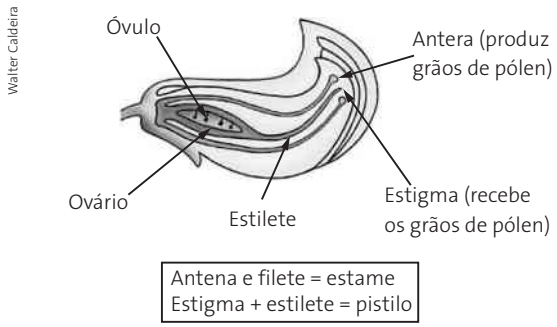
A seguir apresentamos a você algumas informações mais detalhadas sobre o ciclo de vida das plantas, que envolve duas fases: uma esporofítica, que forma esporos por meiose, e outra gametofítica, que forma gametas por mitose. Os esporos germinam e originam indivíduos haploides, chamados **gametófitos**, que formarão gametas por mitose. Esses gametas são, portanto, haploides. Após a fecundação, forma-se o zigoto 2n, que dá origem ao indivíduo diploide chamado **esporófito**, que reinicia o ciclo.



Esquema genérico do ciclo de vida das plantas.

No caso das plantas com flores, a geração gametofítica é tão reduzida que fica até mesmo difícil entender que os gametófitos existem. A fase esporofítica é muito desenvolvida e nela estão as flores, com as estruturas de reprodução: o **gineceu** (um ou mais **pistilos**), relacionado à formação do gametófito feminino, e o **androceu** (conjunto de **estames**), relacionado à formação do gametófito masculino.

Vamos nos deter na análise da flor de ervilha, que está representada em corte longitudinal no esquema a seguir.



Esquema de corte longitudinal de flor de ervilha mostrando os elementos reprodutores. (Elementos representados em diferentes escalas.)

Na flor da ervilha, o gineceu corresponde a apenas um pistilo, composto por três regiões: **ovário**, **estilete** e **estigma**. O ovário abriga vários óvulos. Estes não correspondem aos gametas femininos. Em cada óvulo, há a formação por meiose de um esporo funcional que origina o gametófito feminino extremamente reduzido. Este fica protegido pelos envoltórios do óvulo e pelo ovário. O gametófito feminino produz, por mitose, o gameta feminino, chamado **oosfera**. Assim, dentro do ovário há vários óvulos e cada um deles contém uma oosfera, que é o gameta.

Além do ovário, em cada flor de ervilha há o androceu, que é formado por vários estames. Neles diferenciam-se as **anteras**, onde há formação de esporos por meiose. Cada esporo origina um grão de pólen, que é liberado da antera. O grão de pólen corresponde ao gametófito masculino imaturo. Ao cair no estigma da flor, o grão de pólen germina e forma o gametófito masculino maduro, que corresponde ao **tubo polínico** com os gametas masculinos. O tubo polínico leva um dos gametas masculinos até o gameta feminino dentro do óvulo. Após a fecundação, cada óvulo formará uma semente, e o ovário, que contém essas várias sementes, forma o fruto.

Dentro de uma vagem de ervilha há várias sementes; cada uma delas pode ser geneticamente diferente da outra, pois deriva da fecundação de uma oosfera por um gameta masculino.

Apesar de a meiose nas plantas ser espórica e não gamética, o raciocínio para a compreensão dos mecanismos de herança é o mesmo, pois os esporos formados por meiose diferenciam-se em gametófitos que originarão os gametas por mitose. Assim, os esporos, os gametófitos originados a partir deles, e os gametas têm a mesma constituição cromossômica e de genes. Com o objetivo de se entender os mecanismos de herança nas plantas, representa-se apenas o processo de meiose e, a seguir, especificam-se os gametas sem fazer menção às etapas intermediárias do ciclo de vida.

Essas questões apontadas valem para as plantas, mas não para os animais, pois neles a meiose é gamética.

Dando prosseguimento ao estudo da genética, julgamos interessante analisar outros casos de mono-hibridismo, além da dominância completa. É fundamental que os estudantes saibam trabalhar com um par de alelos ou com alelos múltiplos, visto que isso será utilizado na resolução de problemas mais complexos.

Na sequência do capítulo, discutimos alguns conceitos fundamentais em genética: fenótipo, genótipo, dominância e recessividade. Em seguida, são dadas noções básicas de probabilidade, que devem ser bem compreendidas pelos estudantes, pois serão utilizadas em vários momentos do estudo de genética.

As noções de probabilidade são, então, aplicadas aos experimentos de Mendel, retomando a discussão do início do capítulo, agora com enfoque estatístico. Você, professor(a), pode destacar para os estudantes a importância da Matemática nas ciências e que o trabalho de Mendel é um bom exemplo disso.

Uma das doenças genéticas de origem autossômica recessiva que poderia ser trabalhada com os estudantes neste capítulo é a fenilcetonúria. Poderia ser solicitada uma pesquisa que abordasse: Qual a incidência? É reversível? Pode ter seus sintomas atenuados? Como? Qual é a dieta indicada para fenilcetonúricos?

O *link* a seguir é um bom ponto de partida para responder a essas questões: <http://portal.anvisa.gov.br/wps/wcm/connect/d096c4804ad89a85a95aafa337abae9d/Esclarecimentos_sobre_a_fenilcetonuria.pdf?MOD=AJPERES>. Acesso em: abr. 2016

O texto "Genes e ambiente" (p. 143) trata de um tema importante para esclarecer o papel do meio ambiente na determinação do fenótipo usando o contexto da espécie humana. As doenças citadas podem ser o tema de uma pesquisa mais ampla, de modo que os estudantes possam saber mais sobre elas.

A genética é uma área em grande expansão e os conhecimentos de biologia molecular avançam a passos largos. Assim, consideramos que trazer essa perspectiva abre horizontes para os estudantes entenderem a vida. No texto "Dominância e recessividade em termos moleculares" (p. 144) abordamos, ao nível molecular, o fenômeno da

dominância no papel funcional da enzima produzida pelos alelos dominantes e recessivos em cada par de alelos. Já no texto "Alguns alelos letais na espécie humana" (p. 154) tratamos dois aspectos importantes: casos de alelos letais, trazendo mais exemplos de genética humana e casos de alelos letais que são dominantes e recessivos, pois os estudantes podem pensar que doenças genéticas são causadas apenas por alelos recessivos. Em outros momentos do capítulo já citamos outros exemplos, e aqui reforçamos isso.

Optamos por não mencionar os exemplos clássicos de herança mendeliana de caracteres humanos, como bico de viúva, capacidade de enrolar a língua, modo de cruzar os braços e os dedos das mãos, bem como outros tradicionalmente citados, pois há dados que questionam essas heranças. Críticas têm surgido na literatura a respeito da inadequação desses exemplos, como pode ser verificado nos *sites* a seguir (acessos em: maio de 2016).

- <https://ghr.nlm.nih.gov/Resources/education>;
- <http://udel.edu/~mcdonald/mythintro.html>;
- <http://www.pbs.org/newshour/updates/genetic-myth-textbooks-get-wrong/>;
- <http://learn.genetics.utah.edu/content/inheritance/observable/>.

Apresentamos aqui um breve resumo de apenas alguns desses caracteres com base na fonte citada.

Lobo da orelha: apesar de algumas fontes dizerem que se deve a um par de alelos com dominância completa, não há estudos que comprovem essa interpretação. Há muitos fenótipos intermediários entre o lobo solto e o lobo aderido. Evidências indicam que muitos genes estão envolvidos na herança desse caráter.

Enrolar a língua: em 1940, Alfred Sturtevant observou que cerca de 70% da população europeia consegue enrolar a língua e 30% não. Apesar de muitas fontes atribuírem a um par de alelos com dominância, evidências indicam que há pessoas que aprendem a enrolar a língua. Assim, fatores ambientais além de genéticos estão envolvidos. Um dado consistente com essa interpretação é que apenas 70% dos gêmeos idênticos compartilham o mesmo fenótipo.

Bico de viúva: a convergência dos cabelos sobre a testa, em forma de V, é atribuída a um par de alelos com relação de dominância completa; no entanto, nenhum estudo científico suporta essa hipótese. Esse fenótipo é contínuo e há evidências de que esteja relacionado a muitos genes.

Orientações sobre o boxe *Despertando ideias*

p. 148 – Como fazer o quadro de Punnet

O quadro de Punnet é muito empregado em soluções de problemas em genética. Buscamos fazer com que os estudantes se familiarizem e se capacitem a lidar bem com eles. Esse quadro foi usado no texto antes da introdução do presente boxe e isso foi feito, propositadamente, sem explicar como esse quadro é construído, pois o objetivo é falar sobre probabilidades. Espera-se que, até mesmo intuitivamente, os estudantes já tenham percebido como ele é construído. Aqui, concretizamos as instruções de modo que eles possam compreender essa importante ferramenta.

Respostas esperadas:

a) Podemos dizer que a probabilidade de um descendente ter a capacidade de enrolar a língua (**A_**) resulta de 3 combinações diferentes: **A** com **A**, **A** com **a** e **a** com **A**. Só não terá essa capacidade caso a combinação genética seja **aa**. Como as células da tabela têm todas a mesma probabilidade de $\frac{1}{4}$, a probabilidade total de nascer alguém que enrole a língua é $\frac{3}{4}$ ou 75%.

b) A probabilidade de ter um descendente que não consiga enrolar a língua é 100% menos 75% (= 25%) ou uma em quatro possibilidades de combinação (uma célula em quatro).

c) A probabilidade de terem um descendente homozigótico é dada por duas células entre 4 (**AA** e **aa**), ou seja, 50%. Poder-se-ia apenas combinar as probabilidades de $\frac{1}{4}$ para **AA** e $\frac{1}{4}$ para **aa**, somando-as, já que homozigotos são **AA** OU **aa**. Com isso, temos $\frac{1}{4} + \frac{1}{4} + \frac{1}{2} = 50\%$.

Orientações e sugestões de resposta das atividades

p. 156 – *Tema para discussão*

Expressividade e penetrância

A proposta de discussão busca trabalhar a relação entre o genótipo e o fenótipo, mostrando que nem sempre a presença do alelo determina uma doença, por exemplo. Assim, pessoas com algum tipo de predisposição a uma doença ou deficiência não obrigatoriamente terão alguma desvantagem em relação a outras pessoas, seja no trabalho ou na vida pessoal.

A investigação prévia do genoma de candidatos a certo serviço, por exemplo, pode gerar injustiças, o que implica questões éticas e de cidadania. Daí você, professor(a), pode tratar a discriminação que eventualmente surgir durante a discussão. Além disso, o assunto pode ser ampliado para outros tipos de discriminação, como a racial, de credo e de orientação sexual. Discriminação é um grave desvio de atitude e tem de ser evitado. Trabalhar esses temas é importante para a formação pessoal dos estudantes, visando a uma sociedade mais igualitária.

Na proposta, também se pede que eles divulguem e ampliem a discussão em outras esferas, o que é um excelente exercício de cidadania.

p. 157 – *Ampliando e integrando conhecimentos*

Atividade 1: Interpretando casos

Sobre a estratégia:

Nesta atividade, você, professor(a), pode discutir com os educandos as características das pessoas apresentadas. Isso pode ser feito com a leitura em voz alta de todas elas e a discussão, estimulada com questionamentos, sobre as condições descritas nos enunciados: se congênitas, hereditárias, genéticas ou não genéticas. Ainda que toda característica genética seja determinada por genes, nem sempre ela é hereditária. Uma característica é hereditária quando, além de ser determinada por genes, é transmitida aos descendentes.

A maior parte dos tipos de câncer é genética, mas não hereditária, ou seja, esses tipos de câncer são causados por mutações somáticas nos genes e por isso não são transmitidas aos descendentes.

As características congênitas são as que se manifestam logo após o nascimento. Uma característica congênita pode ser genética e hereditária se for causada por genes que são herdados dos pais e a criança ao nascer já a manifestar. Um exemplo de característica genética, hereditária e congênita é a polidactilia.

Quando a ação do meio atua de modo a imitar a ação dos genes, fala-se em fenocópia. A surdez congênita, por exemplo, tem causas genéticas, mas também pode ocorrer quando mães contraem rubéola durante a gestação. Neste caso, a surdez é causada pela ação do meio e não é hereditária.

Certas características são genéticas, hereditárias, mas não congênitas. É o caso das características que não estão presentes na criança ao nascer e só vão se manifestar mais tarde. Um exemplo é a doença de Huntington, causada por alelo dominante e que só se manifesta clinicamente por volta dos 40 anos de idade. O doente apresenta degeneração progressiva do sistema nervoso central.

Pode ser interessante também discutir as características que não são de nenhum desses tipos: as características adquiridas. Como resultado de intensa atividade muscular, uma pessoa tem sua massa muscular aumentada. Esse aumento, resultado do exercício físico, é uma alteração fenotípica, que não é hereditária nem congênita. O termo "característica adquirida" pode ser desde já associado às ideias de Lamarck sobre a evolução, as quais aprofundaremos na terceira unidade deste volume. A lei do uso e desuso, aplicada no nível individual, pode ser entendida como determinante de algumas características adquiridas.

O que se espera:

- **Pessoa A**: como a cegueira se manifestou desde o nascimento, ela é congênita. Se veio da toxoplasmose que a mãe adquiriu no segundo mês de gravidez, então, não é genética nem hereditária.
- **Pessoa B**: pelo texto, a característica é hereditária, já que afeta diversos indivíduos aparentados. Sendo assim, tem que ser genética. Não é congênita, pois só se manifestou aos cinco anos. A distrofia muscular de Duchenne é uma doença genética e hereditária, causada por alelo recessivo localizado no cromossomo X.
- **Pessoa C**: como a fenilcetonúria é presente no bebê já ao nascer, é congênita. O enunciado relata que a doença é causada pela deficiência na síntese de uma enzima, e sabemos que as enzimas são codificadas por genes. Além disso, a doença é hereditária, pois há outros casos na família.
- **Pessoa D**: o câncer tardio obviamente não é congênito. O câncer de pele (melanoma) é uma doença genética, resultado de mutações no DNA de células da pele que, nesse caso, foram expostas aos raios ultravioleta do Sol sem a devida proteção. No entanto, neste caso a doença não é hereditária, pois a mutação ocorreu em célula da pele e não em células da linhagem germinativa.

Atividade 2: Escrevendo uma carta

Sobre a estratégia:

Consideramos este tipo de atividade muito importante, pois exige não só a boa compreensão de todas as noções que serão incluídas no texto, como também estilo e correção na redação. É uma ótima oportunidade de integração da Biologia com a disciplina de Língua Portuguesa.

Neste caso mais específico, assimilar a relação que propomos permitirá aos estudantes ver todo o mendelismo de modo muito mais consistente. Por que na hora da formação dos gametas os alelos se separam? Por que metade dos gametas contém um alelo e a outra metade, o outro? Por que na criança um dos alelos de certo gene veio do pai e outro veio da mãe? Todas as respostas relacionam-se com os eventos que ocorrem na meiose. Se os estudantes não recordarem, você deverá retomar o assunto. Embora se trate de um esforço adicional, o resultado é, via de regra, compensador.

O que se espera:

O conteúdo geral da carta deve ser: "Sr. Mendel, é com grande prazer que lhe escrevo para contar como seu trabalho foi importante para a ciência. Com a evolução do conhecimento, muitas outras explicações têm sido possíveis sobre seus próprios resultados". Deve aparecer que a meiose é a forma de se produzirem gametas; que os fatores mendelianos são chamados alelos e se situam nos cromossomos; que não são os fatores (alelos) que se separam individualmente, mas sim os cromossomos homólogos.

Atividade 3: Fenótipo molecular

Sobre a estratégia:

Nesta atividade, tratamos de um caso interessante em que, no nível fisiológico, vemos uma consequência única de dois estados diferentes no nível molecular. É bom explicar aos estudantes que o verificado fisiologicamente acaba sendo apenas um efeito estatisticamente similar ao relacionado com uma dominância propriamente dita. O que realmente ocorre é a manifestação de dois alelos codificando independentemente duas proteínas distintas.

O que se espera:

a) No nível molecular, há três fenótipos possíveis em um padrão de herança por codominância: só canais normais; canais normais e canais fechados; só canais fechados.

b) No nível fisiológico, basta um alelo codificador de canais normais e as trocas através deles já são suficientes para assegurar a normalidade, a despeito da existência de igual número de canais permanentemente fechados; assim, a herança pode ser explicada pelo padrão com dominância do alelo para proteína normal, já que tanto o homozigoto dominante quanto o heterozigoto não apresentam a fibrose.

c) A herança é análoga à da cor das sementes de ervilha. Os pais heterozigóticos geram 25% da prole com genótipo **AA** (normais), 50% com genótipo **Aa** (normais) e 25% de **aa** (com fibrose). Nesse caso, trata-se de analisar no nível fisiológico. No nível molecular, os alelos seriam interpretados como codominantes.

CAPÍTULO 7

■ Herança simultânea de duas ou mais características

Neste momento, espera-se que o estudante já tenha desenvolvido a habilidade de trabalhar com a herança de um par de alelos e de aplicar as noções de probabilidade.

O capítulo introduz a segunda lei de Mendel, ampliando o exemplo dado no capítulo anterior – a herança da textura da semente de ervilha – e acrescentando outro: a herança da cor da semente de ervilha. Assim, o estudante tem um referencial já bastante discutido, que é o caráter textura da ervilha, e entra em contato com outro, cujo comportamento dos alelos ele também conhece, pois segue a primeira lei de Mendel.

Após apresentar resumidamente a independência da transmissão dos caracteres, aplicamos noções de probabilidade. Com isso, deve ficar claro para o estudante que, se ele aplicar separadamente o que aprendeu para cada um dos pares de alelos, estará habilitado a chegar aos resultados da segunda lei de Mendel, que nada mais são do que a análise concomitante de dois ou mais caracteres transmitidos independentemente, ou seja, a análise de um **E** de outro caráter ao mesmo tempo (a "regra do E").

Contribuindo para compreender a transmissão independente dos caracteres, relacionamos a meiose com a segunda lei. Assim, aproveita-se a oportunidade para mostrar aos estudantes que a segunda lei de Mendel não é universal como a primeira, pois nem sempre é válida quando dois ou mais genes estão no mesmo cromossomo.

Neste capítulo, discute-se também a maior restrição à segunda lei: os genes ligados. Seria interessante mencionar, no entanto, que genes localizados em um mesmo par de cromossomos homólogos muito distantes um do outro podem simular a ocorrência da primeira lei, dada a alta taxa de recombinação.

No capítulo é dada uma breve explicação sobre os casos de três ou mais genes ligados quando analisamos os mapas cromossômicos.

No quadro correspondente ao tema "Falso O", aborda-se algo raro na população brasileira, mas que pode ser discutido em sala de aula.

Alguns detalhes sobre a determinação genética do sistema ABO levam à necessidade de esclarecer como se costumava realizar, em aula prática, a tipagem sanguínea dos estudantes.

Entretanto, **devido aos sérios riscos que o contato com sangue oferece em função de doenças por ele transmitidas, como é o caso da Aids, atualmente essa atividade prática não deve mais ser executada**, ficando restrita a laboratórios profissionais.

Para substituí-la, sugira aos estudantes que façam um levantamento dos grupos sanguíneos na sala de aula, baseando-se em informações que eles já possuam ou que foram obtidas em exames laboratoriais que eles eventualmente tenham realizado.

Com base nesses dados, você pode pedir o cálculo das porcentagens entre os tipos sanguíneos e ver qual deles seria o mais frequente (em geral, em nossa população é o tipo O). Caso se obtenha outro resultado, você pode comentar o fato com a classe.

Esse é um bom exemplo de que a frequência de determinado fenótipo na população não está relacionada diretamente ao tipo de alelo que o condiciona. O alelo "i", que é recessivo em relação a seus dois outros alelos, o I^A e o I^B, ainda assim é o que mais frequentemente ocorre na população brasileira.

Se achar interessante, pergunte aos estudantes como eles saberiam se uma pessoa é, de fato, pertencente ao grupo O, ou se é um falso O. A diferença entre o **falso O** e o **O verdadeiro** pode ser determinada por meio de um exame de sangue simples, mas que **só deve ser feito em**

laboratórios e por técnicos devidamente orientados, em que se procura detectar a presença do anticorpo anti-H.

Caso esse anticorpo esteja presente, o indivíduo é considerado um **O verdadeiro**; se estiver ausente, é um **falso O** e, nesse caso, o provável grupo sanguíneo do indivíduo só poderá ser determinado por meio de análise genealógica.

A eritroblastose fetal é uma doença grave e que pode ser evitada. Seria muito interessante reforçar os aspectos clínicos envolvidos.

Mais informações sobre os grupos sanguíneos e a eritoblastose fetal estão disponíveis em:

Fundação Pró-sangue, em: <http://www.prosangue.sp.gov.br/artigos/estudantes>.

Acesso em: abr. 2016.

No Livro do Estudante, ao falarmos da herança do grupo Rh, fizemos um alerta de que ela não é tão simples. A herança do fator Rh é poligênica, e diferente da herança poligênica do sistema ABO, em que todos os alelos referem-se a apenas um loco no cromossomo 9; no caso do sistema Rh, há três diferentes pares de alelos localizados em três diferentes locos, proximamente localizados no cromossomo 1 e que são herdados juntos. Podemos chamar esses pares de alelos de C & c, D & d, E & e. As combinações possíveis desses alelos no genótipo são inúmeras. Por exemplos: CDE/cde; CdE/cDe; cde/cde; CDe/CdE etc. Toda combinação que contenha DD ou Dd corresponde ao Rh positivo. Toda combinação com dd é classificada como Rh negativo. Para saber mais, consulte os seguintes *sites* (acesso em maio de 2016).

- <http://waynesword.palomar.edu/lmexer5.htm>;
- <http://www.bloodjournal.org/content/95/2/375?sso-checked=true>;
- <http://faculty.madisoncollege.edu/mljensen/BloodBank/lectures/RhBloodGroupSystem.htm>;
- <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK2269/>.

Orientações e sugestões de resposta das atividades

p. 180 – *Tema para discussão*

Informar ou não informar, eis a questão

Esse ***Tema para discussão*** se alinha à nossa perspectiva de trazer questões ligadas à ética e à cidadania. O assunto merece ampla discussão e os dilemas apresentados necessitam de amadurecimento nos estudantes, considerando os contextos sociais nos quais estão inseridos.

As questões propostas têm como objetivo estimular os estudantes a pensar sobre o que significa conhecer o genoma humano. Os profundos dilemas éticos envolvidos no conhecimento de nossos genes são um assunto de extrema importância nos dias de hoje e os estudantes precisam estar bem informados e preparados de forma a fazer análises críticas quando diante dessas questões polêmicas.

p. 182 – *Ampliando e integrando conhecimentos*

Atividade 1: Modelo – a meiose e a segunda lei de Mendel

Sobre a estratégia:

Nesta atividade, os estudantes poderão perceber mais concretamente o que ocorre com os alelos durante a meiose. Você, professor(a), pode estender a atividade impondo a condição de ligação entre os genes com *crossing-over* e sem *crossing-over*. O ponto-chave está na hora da separação dos cromossomos homólogos. São as diversas possibilidades nesse momento que determinam a variedade de tipos gaméticos que serão representados entre as células filhas. É bom esclarecer que as frequências dos diferentes tipos de gameta se referem às suas proporções no produto conjunto de todas as meioses e não apenas entre as quatro células de cada meiose – os estudantes podem ter dificuldade em compreender isso. Você, professor(a), pode pedir que façam a previsão sobre a variedade de gametas e a proporção que cabe a cada tipo para, então, manipular o modelo e perceber o que precisa acontecer para que o esperado seja obtido de fato.

O que se espera:

A montagem dependerá de cada estudante, mas o modelo deve ser suficientemente adequado para se mostrar todas as possibilidades quanto aos gametas formados.

Atividade 2: Interpretando experimentos

Sobre a estratégia:

Os experimentos descritos aqui são simples e bastante conclusivos. Todos os resultados podem ser discutidos em grupos ou com toda a classe.

Um ponto importante diz respeito às proporções. É bom mostrar aos estudantes que as proporções teóricas referem-se a grandes proles e que, se elas forem menores, é comum haver desvios entre o obtido e o esperado. Há métodos estatísticos que permitem decidir se o obtido segue ou não determinado padrão esperado.

Uma boa forma de incluir os resultados reais neste ou naquele padrão de proporções é aplicar o padrão teórico sobre o total de casos realmente obtido, observando se os resultados nas diversas categorias se aproximam ou não do esperado.

Como exemplo, vamos usar os números de casos nas quatro categorias fenotípicas obtidas no segundo

cruzamento do item "a". Os números são 65, 20, 22 e 8. O total, portanto, é 115. Quando se trata de cruzamentos dentro da segunda lei de Mendel com dominância, as proporções fenotípicas esperadas são 9 : 3 : 3 : 1.

O total de partes que estão sendo distribuídas entre quatro categorias fenotípicas é 9 + 3 + 3 + 1, ou seja, 16. Vamos dividir 115 por 16 para saber quantos descendentes constituem uma dessas partes: $\frac{115}{16}$ é aproximadamente 7,2. Os números de descendentes que seriam esperados para as quatro combinações fenotípicas seriam respectivamente (9 × 7,2), (3 × 7,2), (3 × 7,2) e (1 × 7,2), ou seja, 64,8 : 21,6 : 21,6 : 7,2. Comparando com os números efetivamente obtidos (65, 20, 22 e 8), vemos que são muito próximos. Assim, podemos aceitar que o resultado segue o esperado pela segunda lei de Mendel com dominância.

Recorde com os estudantes a forma mais prática de determinar se dois pares de alelos são independentes (estão em cromossomos distintos), se estão ligados e sofrem recombinação ou se estão ligados e não sofrem recombinação. No primeiro caso, o di-híbrido forma quatro tipos de gameta em proporções iguais; no segundo, quatro tipos de gameta em proporções não iguais; e no terceiro, apenas dois tipos de gameta.

O que se espera:

a) Nos dois cruzamentos estão sendo considerados dois caracteres conjuntamente. Sabemos que, cruzando indivíduos puros fenotipicamente distintos, obtemos heterozigotos que terão os dois fenótipos dominantes se for um caso com dominância nas duas características; e qualquer outro resultado, se não for.

As plantas de flores vermelhas e bordas lisas, cruzadas com plantas de flores alaranjadas e bordas onduladas, só produziram descendentes com flores vermelhas de bordas lisas (cor vermelha e bordas lisas são dominantes).

Plantas puras de folhas escuras e acuminadas cruzadas com puras de folhas claras e ovaladas produziram todas as descendentes com folhas escuras e acuminadas. Isso quer dizer que os fenótipos acuminado e escuro relacionam-se com os alelos dominantes.

Assim:

Pelos resultados obtidos em F_1, é possível concluir a respeito dos caracteres que:

- quanto à cor da pétala: a cor vermelha é dominante em relação à cor amarela;
- quanto à forma da pétala: a forma arredondada ou ovalada é dominante em relação à forma pontiaguda ou acuminada;
- quanto à cor da folha: a cor verde-escura é dominante em relação à cor verde-clara;
- quanto ao formato da folha: o formato pontiagudo é dominante em relação ao formato arredondado.

b) Todos os F_1 são di-híbridos, **AaLl** no primeiro cruzamento e **OoCc** no segundo. Se vale a segunda lei de Mendel, os di-híbridos produzem quatro tipos de gameta nas mesmas proporções, que cruzados entre si produzem 16 combinações genotípicas (o duplo recessivo é o mais raro, com proporção $\frac{1}{16}$ na prole). As proporções fenotípicas correspondentes são 9 : 3 : 3 : 1. Qualquer outro resultado indica que os genes não estão em cromossomos distintos e, portanto, não vale a segunda lei de Mendel, tratando-se, portanto, de genes ligados, posicionados no mesmo par de cromossomos.

Assim, os resultados obtidos no cruzamento **A** estão de acordo com a segunda lei, pois foi observada a proporção aproximada de 9 : 3 : 3 : 1 na geração F_2, sendo 65 plantas com os dois caracteres da flor dominantes, 20 com um caráter dominante e outro recessivo, 22 com um caráter recessivo e outro dominante, e 8 com os dois caracteres recessivos.

c) A geração F_2 do segundo cruzamento produziu apenas duas combinações fenotípicas em que a cor escura aparece vinculada à forma acuminada, e a cor clara, à ovalada. As proporções podem ser consideradas como 3 : 1 (nesse caso se esperariam 91,5 descendentes de folhas escuras acuminadas e 30,5 claras ovaladas, mas foram obtidos 89 e 33, respectivamente) eliminando a possibilidade da independência dos caracteres e permitindo concluir que os genes para forma e para cor das folhas encontram-se em um mesmo par de cromossomos homólogos (estão ligados). Para produzir prole em quatro partes (3 + 1), cada di-híbrido formou apenas dois tipos de gameta, sugerindo que não houve recombinação.

Assim, os pares de alelos responsáveis pela determinação da cor e pela forma das pétalas estão localizados em cromossomos não homólogos, pois obedecem à segunda lei. Os pares de alelos que determinam a cor e a forma das folhas devem estar localizados em um mesmo par de cromossomos homólogos, pois a cor verde-clara apareceu vinculada ao formato arredondado da folha e a cor escura, ao formato acuminado.

d)

	AL	**Al**	**aL**	**al**
al	**AaLl**	**Aall**	**aaLl**	**aall**
fenótipos	pétalas vermelhas de bordas lisas	pétalas vermelhas de bordas onduladas	pétalas alaran-jadas de bordas lisas	pétalas alaran-jadas de bordas onduladas
proporções	$\frac{1}{4}$	$\frac{1}{4}$	$\frac{1}{4}$	$\frac{1}{4}$

Atividade 3: Os "genetikins"

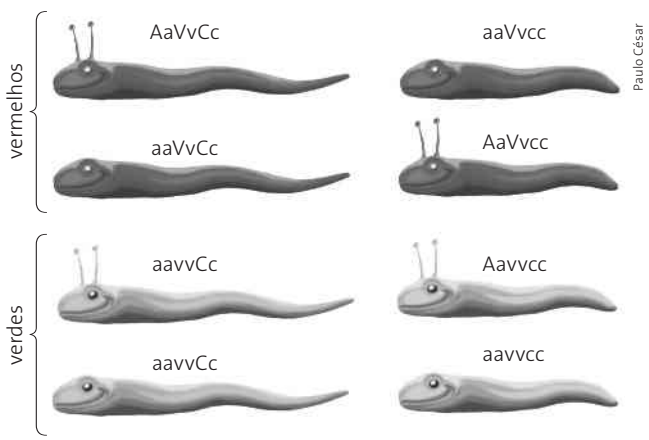
Sobre a estratégia:

Nesta atividade, um ponto muito importante é que a fêmea é recessiva para os três caracteres. Isso faz com que

o número de fenótipos na prole já corresponda ao número de tipos de gameta formados pelo outro parental. No exemplo, são oito fenótipos representados na prole e, portanto, o macho selvagem para os três caracteres produz oito tipos de gameta. Isso só é possível se o macho for tri-híbrido. Uma forma prática de resolver a situação que apresentamos é substituir os fenótipos dos descendentes por genótipos com os alelos incertos representados por traços e assumir que a fêmea pura destina a todos os filhotes um alelo de cada par que possui. Como ela só tem alelos recessivos, a contribuição da mãe para os descendentes sempre será **avc**. Se marcarmos isso nos genótipos incompletos, os alelos não marcados serão as contribuições do macho. Com isso, pode-se chegar ao genótipo do macho sem dificuldade. Preferimos não fazer isso aqui, mas você, professor(a), pode acrescentar frequências dos diversos fenótipos na prole, permitindo que os estudantes determinem as frequências dos gametas produzidos pelo tri-híbrido. Se forem iguais, então os três pares de alelos envolvidos têm segregação independente e a herança segue a segunda lei de Mendel. Se as frequências apresentadas por você conduzirem a frequências desiguais entre os gametas do tri-híbrido, então os estudantes poderão concluir que se trata de um caso de *linkage*. Nesta situação, eles poderão até mesmo chegar a montar um mapa genético com a posição relativa dos genes. Assim, a situação apresentada pela atividade é muito propícia para exercitar vários pontos tratados nas aulas.

O que se espera:

a) Na figura a seguir, os fenótipos foram convertidos em genótipos. Os alelos que inicialmente não são conhecidos foram substituídos por traços. Inicialmente, em cada genótipo preencheram-se os traços de modo a deixar em negrito a contribuição da mãe na formação do único tipo de gameta que ela pode produzir (**avc**), independentemente até de se tratar de pares de alelos independentes ou ligados. Com isso, a contribuição do macho inclui os alelos restantes. Aí já temos os tipos de gameta produzidos por ele. Para ser capaz de produzir gametas **AVC** e **avc**, o macho é obrigatoriamente tri-híbrido, isto é, heterozigoto.



Paulo César

b) O macho produziu oito tipos de gameta e a fêmea, apenas um.

CAPÍTULO 8

Outros mecanismos de herança

Esse capítulo tem em sua página de abertura uma fotografia e legenda que merecem ser bem exploradas sob o ponto de vista da quebra de preconceitos, tanto quanto à cor de pele como quanto à orientação sexual ou religiosa. Procure explorar essas questões com seus estudantes.

Dando sequência à proposta de apresentar a genética em níveis crescentes de complexidade, analisaremos agora outros mecanismos de herança: a pleiotropia, a interação gênica e a herança relacionada ao sexo.

Nesta obra, entre os diferentes tipos de interação gênica, consideramos apenas aqueles dos quais participam dois pares de alelos com segregação independente – epistasia dominante, recessiva e recessiva duplicada –, além de analisar as interações não epistáticas.

Estudando esses casos de interação gênica, estamos, na realidade, ampliando os conhecimentos da segunda lei de Mendel: continuamos trabalhando com dois pares de alelos com segregação independente, só que eles estão relacionados com a herança de apenas **uma** característica.

Continuamos ampliando as noções da segunda lei de Mendel, abordando agora a herança quantitativa. Novamente vamos analisar casos em que pares de alelos com segregação independente participam da herança. Nesse momento, é preciso ressaltar que a herança quantitativa é, na verdade, um caso particular de interação gênica.

Com relação à cor da pele, a herança é complexa e, como resumido no Livro do Estudante, envolve herança quantitativa com muitos genes (mais de oito, embora este número não seja preciso); há, ainda, outros fatores genéticos e a influência do meio. Por isso, optamos por mencionar apenas essas informações no livro.

Caso tenha interesse em uma abordagem diferente, que trate de entender hipóteses que buscam explicar o surgimento ao longo da evolução humana da enorme diversidade de tons de pele, recomendamos os seguintes *sites*, todos em inglês, e acessados em maio de 2016:

- <http://humanorigins.si.edu/evidence/genetics/one-species-living-worldwide>;
- <http://humanorigins.si.edu/education/teaching-evolution-through-human-examples>;
- <http://humanorigins.si.edu/evidence/genetics/human-skin-color-variation/modern-human-diversity-skin-color>.

Caso queira discutir com os estudantes a respeito desse assunto, disponibilizamos algumas considerações com base nos *sites* citados; é importante lembrar que o texto aborda a evolução da cor da pele em suas origens. Atualmente, com a globalização e a reprodução entre indivíduos de diferentes regiões geográficas, esses padrões estão desaparecendo. O Brasil é um excelente exemplo de que a cor da pele é muito variável. O mais importante é deixar claro para os estudantes que, na ciência, não há sustentação sobre a existência de raças humanas, o que se torna uma boa oportunidade para discutir sobre o racismo e formas de combater o preconceito.

Leitura: A evolução da cor da pele humana

Assim como em todas as demais espécies, na espécie humana há variações individuais que podem ser das mais diversas possíveis em todas as características. Isso se deve a variações no material genético e ao efeito do meio. Com a cor da pele não é diferente.

A cor da pele é um caso de herança quantitativa envolvendo grande número de genes, e a evolução desse caráter é um exemplo de seleção natural relacionada a adaptações a condições ambientais. Desde sua origem, há cerca de 200 mil anos na região equatorial da África, populações de *Homo sapiens* dispersaram-se para as demais regiões do globo.

O surgimento da enorme variação da cor da pele se deve a uma resposta adaptativa aos efeitos da radiação ultravioleta (UV) do sol, que varia de região para região do globo, e da alimentação.

A intensidade da radiação UV que atinge a pele humana pode causar diferentes efeitos, que vão desde os benéficos até os que podem levar a graves problemas de saúde, inclusive ao câncer de pele. Esses efeitos podem ser maiores ou menores dependendo da quantidade de melanina presente na pele.

Ao incidir na pele, os raios UV estimulam a produção de vitamina D, importante em diversos processos metabólicos, em especial na absorção de cálcio, fundamental para o fortalecimento dos ossos. Além da vitamina D, os raios UV interferem no teor de ácido fólico no corpo, substância que em quantidades adequadas é fundamental para o bom desenvolvimento do feto. Teores elevados de raios UV promovem a redução da produção de ácido fólico, o que não é saudável. Na evolução da cor da pele, o balanço entre a produção de vitamina D e ácido fólico em relação ao raios UV, aliado à alimentação, foi fundamental.

Considerando que a espécie humana surgiu em locais de alta incidência de raios UV, a condição selecionada foi pele escura, com grande quantidade de melanina. Isso protege o corpo dos efeitos danosos no UV no que se refere à redução da produção de ácido fólico, sem impedir a síntese de vitamina D.

À medida que as populações humanas começaram a migrar para regiões geográficas mais distantes do equador onde naturalmente a quantidade de raios UV é menor, a seleção natural favoreceu a sobrevivência de indivíduos com pele mais clara, com menos melanina. Isso porque, nessas condições ambientais, a menor quantidade de pigmentos na pele propicia a produção em quantidade suficiente de vitamina D, estimulada pelos raios UV na pele.

Assim, ao longo da evolução, verificou-se correlação entre os níveis anuais de incidência de raios UV nas diferentes regiões geográficas do globo e a cor da pele. Pessoas com pele mais escura são mais frequentes em regiões equatoriais ou próximas a elas, onde a taxa de UV é maior, e pessoas com pele mais clara são mais frequentes em regiões mais distantes do equador onde da taxa de UV é menor.

No entanto, essa correlação nem sempre ocorre. É o caso de pessoas nativas de regiões como o Canadá, Alasca, e dos inuítes da Groenlândia, por exemplo, que possuem pele de cor mais escura.

A explicação para isso tem sido baseada em duas questões:

1- nessas regiões, os níveis de UV durante o verão é muito alto em função da reflexão desses raios a partir da superfície branca da neve ou do gelo. A pele mais escura protege essas populações dos efeitos nocivos desses raios UV refletidos;

2- apesar de a cor mais escura da pele nessas populações reduzir a produção de vitamina D na pele, isso é compensado pelos hábitos alimentares predominantes na região, com a ingestão de alimentos ricos em vitamina D, como a carne de focas, de morsas e peixes.

Como se pode notar, a evolução da cor da pele não ocorre em um ritmo uniforme e as adaptações dependem de mutações aleatórias selecionadas naturalmente em resposta a condições ambientais e da alimentação.

A herança da cor do olho também é bastante complexa, como resumido no texto a seguir, baseado em <https://ghr.nlm.nih.gov/handbook/traits/eyecolor>. (Tradução dos autores.) Acesso em: maio de 2016.

Leitura: A cor do olho

A cor do olho humano depende da pigmentação da íris, que apresenta variação contínua desde o azul muito claro até o castanho muito escuro.

A maioria dos genes associados com a cor do olho relaciona-se com a produção, transporte e armazenamento do pigmento melanina. A cor do olho está diretamente relacionada com a quantidade e disposição da melanina na camada externa da íris. Pessoas com olhos castanhos escuros têm grande quantidade de melanina na íris, enquanto pessoas com olhos azuis bem claros, possuem muito pouco pigmento.

Uma região particular do cromossomo 15 possui dois genes muito próximos. Um deles, que chamaremos de **A**, contém vários alelos e relaciona-se com a codificação de proteínas que desempenham papel fundamental na quantidade de melanina na íris. Quanto menor a quantidade dessa proteína, menor será a pigmentação da íris. Nesse loco gênico há vários alelos. O outro gene, que fica muito próximo e que chamaremos de **B**, controla a expressão do gene citado anteriormente e também possui vários alelos. Foi demonstrado que pelo menos uma das combinações dos alelos do gene **B** reduz a expressão do gene **A**, o que leva à produção de menor quantidade de melanina, e os olhos ficam mais claros. Além desses genes, há vários outros que participam da determinação desse caráter e que também estão envolvidos com a cor da pele e dos cabelos. Foram reportados pelo menos oito outros genes. No caso da cor dos olhos, esses genes interagem com os genes **A** e **B** produzindo o *continuum* de cores que podemos verificar nas diferentes pessoas.

Esse modo mais complexo de herança modifica muito o que se sabia tempos atrás, em que a explicação dada baseava-se em um par de alelos com dominância completa, em que o olho castanho seria codificado por alelo dominante e o azul por alelo recessivo. Nesses casos, seria impossível que um casal de olhos azuis tivesse filhos com olhos castanhos. No entanto, em situações mais raras, isso é possível, pois a herança é mais complexa, como explicamos.

Neste capítulo também abordamos os mecanismos de determinação do sexo (com e sem a influência de cromossomos sexuais heteromórficos) e os mecanismos de herança relacionados aos cromossomos sexuais, com alguns exemplos.

O que pode causar estranheza no capítulo é o caso da hipertricose auricular, tradicional exemplo de herança ligada ao **Y**. Nesta obra, entretanto, a hipertricose auricular é tratada como um caso de herança com efeito limitado ao sexo, devido a genes localizados em autossomos. Atualmente, sabe-se que o cromossomo **Y** possui poucos genes, todos relacionados à diferenciação dos testículos. Os demais segmentos do **Y** são sequências de bases nitrogenadas, não codificantes. Assim, todos os casos que eram tratados como causados por genes ligados ao **Y** são, de fato, casos de herança com efeito limitado ao sexo, com os genes localizados nos autossomos.

Outra anomalia ligada ao sexo que pode ser comentada é a síndrome do **X** frágil, que é a forma mais frequente de deficiência mental herdada. Essa anomalia afeta homens e mulheres e é causada por alelo recessivo. Mais informações podem ser obtidas no *site* <http://genoma.ib.usp.br/?page_id=894> (acesso em: maio 2016).

No volume 1, comentamos as anomalias cromossômicas numéricas e a não disjunção de cromossomos homólogos na meiose, com consequente produção de gametas anormais. Retomamos esse tema no primeiro capítulo desta unidade de Genética. Agora, no texto "Anomalias cromossômicas relacionadas ao X e/ou ao Y na espécie humana" (p. 196), analisamos apenas os casos de anomalias cromossômicas numéricas ligadas aos cromossomos sexuais na espécie humana.

No texto "O teste das cores" (p. 201), pretende-se mostrar um exemplo de teste usado para se detectar uma das modalidades de daltonismo. O número 68 não é percebido pelos daltônicos, que não distinguem vermelho e verde. É importante nesse momento valorizar a questão da inserção social dos daltônicos, sem discriminação.

Tradicionalmente tratado como um caso de herança autossômica recessiva, hoje se sabe que a herança do albinismo é mais complexa, como apresenta o texto "O albinismo – o que é e como é herdado?" (p. 202). Os problemas de genética em geral a consideram apenas como autossômica recessiva, mas seria interessante alertar os estudantes de todas essas possibilidades.

O texto "A cromatina sexual" (p. 203) aborda o mecanismo de compensação de dose, em que nas mulheres apenas um **X** é funcional nas células somáticas: o outro fica condensado, formando o corpúsculo de Barr. Essa condição explica uma série de manifestações gênicas no caso de heterozigotos, como o descrito no texto.

Um ponto importante a ser ressaltado com os estudantes é o fato de que a inativação do cromossomo **X** pode não ser completa, restando alelos ainda atuantes no **X** inativado. Outro ponto é que, por causa da seleção de qual dos cromossomos **X** será ativo, e de como a seleção de qual **X** será inativado é aleatória no embrião, o mosaico formado em uma mulher pode ser diferente do formado em outra, assim como uma gata malhada pode ser diferente de outra gata também malhada.

Um excelente vídeo informativo sobre como se dá a desativação do DNA tanto em cromossomos sexuais quanto em autossômicos, e até a relação desse mecanismo com o câncer, é:

*A inativação do cromossomo **X** e a epigenética*. Casa das ciências. Disponível em: <http://www.youtube.com/watch?v=4cifVDF5_2w>. Acesso em abr. 2016.

■ Orientações sobre o boxe *Despertando ideias*

p. 199 – Jogo: Herança ligada ao X

Nesta atividade, além de estabelecermos conexão com a Matemática, pretendemos que os estudantes compreendam a herança ligada ao sexo antes mesmo de formalizarmos a apresentação dos casos relacionados a esse mecanismo de herança. Além disso, pretendemos também que desenvolvam a capacidade de análise. Se achar oportuno, peça aos estudantes que proponham melhorias no jogo, estimulado-os, também, a desenvolver o espírito crítico e a criatividade.

Os resultados obtidos nos diferentes grupos podem variar, e isso deve ser trabalhado com os estudantes, analisando a aleatoriedade do processo reprodutivo sexuado.

■ Orientações e sugestões de resposta das atividades

p. 207 – *Tema para discussão*

Orientação sexual e identidade de gênero

Esse tema exige especial cuidado de sua parte, educador(a), não só pela possível presença na turma de estudantes com orientação sexual que foge ao padrão considerado socialmente aceito, mas também pela presença de estudantes que, seja por razões religiosas, seja por razões sociais ou familiares, apresentam forte rejeição ao assunto. Enfatize sempre que o que deve ser assegurado acima de tudo é o respeito à diversidade e ao direito de cada um a uma vida plena.

Para ampliação, você poderá indicar aos estudantes o seguinte endereço eletrônico, que dá acesso a um material em PDF produzido pela Secretaria de Educação Continuada, Alfabetização e Diversidade (Secad), do MEC:

"Gênero e diversidade sexual na escola: reconhecer diferenças e superar preconceitos". Disponível em: <http://pronacampo.mec.gov.br/images/pdf/bib_cad4_gen_div_prec.pdf>. Acesso em: abr. 2016.

p. 208 – *Ampliando e integrando conhecimentos*

Atividade 1: Padrões em ervilha

Sobre a estratégia:

Esta atividade trata de um caso observado por Mendel, mas não explicado pelas suas duas leis: aborda caracteres condicionados por genes ligados. *Pisum sativum*, a ervilha-de-cheiro estudada por Mendel, apresenta sete pares de cromossomos em seu cariótipo diploide. Os caracteres clássicos estudados por Mendel e que se segregam independentemente são exatamente sete. Qualquer oitavo caractere condicionado por um par de alelos distinto dos sete pares independentes fatalmente se encontrará em situação de *linkage* com um desses e, nesse caso, a segregação não será independente. Como explicação do exposto no texto da atividade, os estudantes podem apresentar os três caracteres como sendo determinados por três pares de alelos ligados, formando um grupo de ligação. Se fossem diferentes pares de genes não ligados, a recombinação produziria fenótipos diferentes dos dois que se observa. O que se aceita é a cor do tegumento da semente, a coloração das flores e a presença ou não de manchas na base das folhas serem caracteres codificados por um único gene. Isso é pleiotropia. Em indivíduos homozigóticos dominantes e também nos heterozigóticos, são produzidas ervilhas com tegumento acinzentado da semente, as flores são púrpura e as folhas são caracterizadas por uma mancha roxa nas proximidades da inserção ao ramo. Nas plantas homozigóticas recessivas, a cor das flores é branca, a casca da semente também é branca e as folhas não têm manchas.

O que se espera:

Uma explicação seria tratar-se de um caso de pleiotropia, no qual um par de alelos condiciona mais que um caractere – no caso, três caracteres.

Atividade 2: Herança de cor em serpentes

Sobre a estratégia:

Nesse caso, pode surgir a ideia da interação gênica, com dois genes determinando quatro fenótipos quanto à cor da pele das serpentes, tal como se vê no caso das cristas de galinhas, em que o caráter é a forma (quatro tipos possíveis). Podemos discutir se estamos tratando mesmo de quatro cores.

No caso das serpentes, o que acontece é o seguinte: o tipo selvagem não é definido por **uma** característica, como se fosse **uma** determinada cor da pele ou uma forma distinta de crista de galinha (noz, diferente das outras três). Nele, vemos dois caracteres independentes formando o padrão de coloração: existem duas camadas distin-

tas e superpostas e não **uma** cor combinada em particular. Se retirarmos o pigmento laranja do tipo selvagem, as manchas laranja presentes em seu corpo ficam rosadas, como na variedade albina, e todas as áreas onde havia pigmento preto permanecem exatamente como estão (tipo preto). Da mesma forma, se retirarmos o pigmento preto, sobra o laranja como estava (tipo laranja). Isso quer dizer que o selvagem preto/laranja é a simples superposição dos fenótipos preto e laranja e não uma nova expressão. Sem o preto e sem o laranja, a serpente fica com a pele rosada devido à influência da hemoglobina nos vasos subcutâneos. Por não se tratar de efeito realmente combinado dos dois pares de genes, mas apenas superpostos, não se trata de interação gênica. Seria muito interessante mostrar essa sutileza aos estudantes.

Para verificar o padrão de coloração dos animais citados nesta atividade, consulte:

GRIFFITHS, Anthony J. F. et al. *Introdução à Genética*. 10. ed. Trad. Paulo A. Motta. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2013.

O que se espera:

a) Os tipos são explicados por dois pares de genes independentes herdados pela segunda lei de Mendel **sem interação gênica**. Confirmando a independência, está a proporção fenotípica 9 : 3 : 3 : 1 observada na prole de di-híbridos, e que se vislumbra nos números apresentados (o esperado seria 27 selvagens, 9 pretas, 9 laranja e 3 albinas).

b) Pretas com laranja: as primeiras contribuiriam com o alelo **P** e as outras, com o **L**.

Selvagens com albinas: todas as descendentes selvagens obrigatoriamente carregariam um alelo **l** e um **p** herdados do parental albino e, como são selvagens, obrigatoriamente apresentariam **L** e **P** herdados do parental selvagem. A proporção de heterozigotas na prole, todavia, vai depender de os parentais com fenótipo(s) dominante(s) serem puros ou híbridos.

Atividade 3: Herança da cor em flores

Sobre a estratégia:

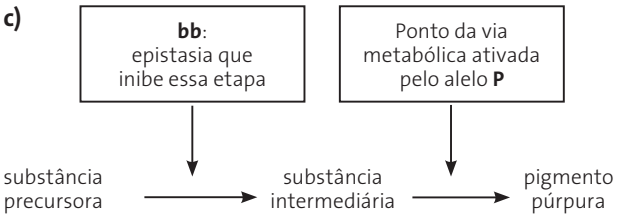
No texto deste capítulo, abordamos detalhadamente o fenômeno da epistasia. Estimule os estudantes a rever o tema, produzindo uma síntese ou um quadro-resumo a partir do texto do capítulo no qual, para cada tipo de interação epistática, apareça a descrição sucinta do que se trata.

O que se espera:

a) Em primeiro lugar, temos um total de 16 partes distribuídas entre os fenótipos, sugerindo segregação independente de dois pares de genes e cruzamento de dois di-híbridos. Assim, na prole devem estar incluídos os genótipos **A_B_** (9), **A_bb** (3), **aaB_** (3) e **aabb** (1).

b) Se a proporção fenotípica em F_2 é 9 : 7, é porque se fundiram as categorias **A_bb** (3), **aaB_** (3) e **aabb** (1). Isso caracteriza a inibição de alelo dominante pela presença de qualquer par recessivo (**bb** inibe **A**, **aa** inibe **B** e os fenótipos são os mesmos que **aabb**). Trata-se de epistasia recessiva duplicada.

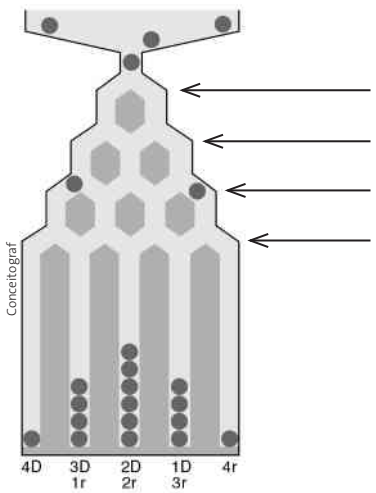
c)



Atividade 4: Comprimento de espigas de milho

Sobre a estratégia:

Uma ótima e prática maneira de explicar o número de classes fenotípicas e os coeficientes a partir dos quais se determinam as frequências delas nos casos de herança quantitativa baseia-se nas propriedades da distribuição binomial correspondente ao desenvolvimento do binômio $(p + q)^k$. A figura a seguir representa a chamada máquina de Galton:



Nesse aparelho, bolinhas são postas no funil superior e passam sempre por quatro pontos em que podem seguir à esquerda (**D**) ou à direita (**r**), com igual probabilidade (0,5). Se a bolinha for para a esquerda, entendemos, neste exemplo, que um alelo dominante foi selecionado; para a direita, que foi um alelo recessivo. Depois da quarta bifurcação, cada bolinha terá chegado a um dos reservatórios inferiores. Para chegar ao reservatório 4D, uma bolinha terá desviado para a esquerda quatro vezes seguidas, e só há um trajeto possível para isso. A probabilidade de uma bolinha chegar a 4D é, portanto, $(0,5)^4 = \frac{1}{16}$.

Se imaginarmos que ela desvia três vezes para a esquerda e uma vez para a direita (3D1r), então haverá quatro possibilidades de trajeto: **rDDD**, **DrDD**, **DDrD** e **DDDr**. Como cada trajeto desses corresponde, conforme já vimos, a uma probabilidade $\frac{1}{16}$, e como são quatro alternativas, somam-se quatro parcelas de $\frac{1}{16}$, ou seja, $\frac{4}{16}$. Seguindo com o mesmo raciocínio, se pensarmos em dois desvios para a esquerda e dois para a direita, haverá seis trajetos possíveis: **rrDD**, **rDrD**, **rDDr**, **DrrD**, **DrDr** e **DDrr**, cada um com probabilidade $\frac{1}{16}$, num total de $\frac{6}{16}$.

Finalmente, teremos as condições com um desvio para a esquerda e três para a direita (**rrrD**, **rrDr**, **rDrr**, **Drrr**) e com todos para a direita (**rrrr**), respectivamente com probabilidades $\frac{4}{16}$ e $\frac{6}{16}$.

A analogia com a herança quantitativa é muito direta. As quatro setas representam quatro alelos, sendo que o desvio à esquerda estabelece um dominante (**D**) e à direita, um recessivo (**r**). Existe uma maneira de o conjunto de quatro alelos constituir-se por quatro dominantes, quatro maneiras de conter três dominantes e um recessivo, seis de ter dois dominantes e dois recessivos, quatro de ter um dominante e três recessivos e, finalmente, só um jeito de se apresentarem quatro recessivos. Cada linha de chegada corresponde a uma classe fenotípica. No caso da cor da pele humana, condicionada por quatro alelos, o cruzamento parental **NNBB × nnbb** (fenótipos negro × branco) produz em F_1 100% de **NnBb** (fenótipo mulato médio). O cruzamento **NNbb × NNbb** produzirá em F_2 as cinco classes fenotípicas de cor de pele (negro, mulato escuro, mulato médio, mulato claro e branco) nas proporções 1 : 4 : 6 : 4 : 1.

O que se espera:

No caso do gráfico, temos nove classes fenotípicas de comprimento de espigas de milho. O número de alelos é oito. As classes são representadas por combinações de alelos com 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7 ou 8 alelos dominantes, além da classe com nenhum alelo dominante. O número de classes fenotípicas sempre é o número de alelos + 1.

Atividade 5: Sexo em jacaré-de-papo-amarelo

Sobre a estratégia:

Nos crocodilianos, quando os ovos se desenvolvem em uma temperatura um pouco mais alta, intensifica-se a síntese de hormônios, aumentando um pouco a taxa metabólica do embrião. Com isso, ele acelera o desenvolvimento: nasce maior e chega a um tamanho maior quando adulto. Essa característica é valiosa, já que é comum a intensa competição entre os machos pelas fêmeas: machos maiores têm maior sucesso reprodutivo. Nos quelônios, a situação se inverte. A competição é pouco intensa e o tamanho da fêmea é que importa mais; quanto maior a fêmea, mais ovos ela pode gerar. Estes, ao contrário do que se vê entre os crocodilianos, não recebem cuidados dos adultos.

O que se espera:

A temperatura de incubação no laboratório devia ser maior que a dos ninhos naturais, favorecendo a formação de machos.

CAPÍTULO 9

Biotecnologia

Neste capítulo, ressaltamos a importância de os estudantes observarem que há diferença entre a engenharia genética (ou tecnologia do DNA recombinante) e as técnicas tradicionais de cruzamento e seleção para melhoramento de espécies, que já vêm sendo utilizadas há muito tempo. Você, professor(a), deve levá-los a compreender que a engenharia genética corresponde às técnicas de manipulação da molécula de DNA. Cruzamentos e seleções feitos sem que se manipule diretamente o DNA dos indivíduos não são considerados engenharia genética.

É importante mencionar o conceito de biotecnologia tal como define a ONU:

> Biotecnologia significa qualquer aplicação tecnológica que utilize sistemas biológicos, organismos vivos, ou seus derivados, para fabricar ou modificar produtos ou processos para utilização específica.
>
> ONU, Convenção de Biodiversidade 1992, Art. 2.

Assim, a biotecnologia abrange todas as técnicas de manipulação e de utilização de organismos visando ao benefício do ser humano, que atualmente vêm ganhando impulso com o aumento de pesquisas, da engenharia genética e do conhecimento dos seres vivos, como ilustrado no texto "Mandioca vitaminada" (p. 213).

Este capítulo concentra-se na engenharia genética, um tema atual, e são apresentadas algumas das técnicas de manipulação do DNA e sua utilização prática. Os estudantes não encontrarão dificuldades na busca de reportagens recentes relacionadas a essa área em jornais e revistas de enfoque científico, documentários televisivos, endereços eletrônicos de faculdades e universidades ou mesmo em livros específicos do tema.

Seria interessante montar um painel com as reportagens trazidas pelos estudantes à medida que o capítulo estiver sendo discutido, dando abertura para análises e debates dessas reportagens de forma crítica.

Um exemplo de avanço da engenharia genética pode ser obtido no texto "Terapia gênica barra doença degenerativa"

(p. 219), no qual se discute o uso de vírus derivado do HIV para tratamento de doenças como a adrenoleucodistrofia. Muito ainda precisa ser pesquisado, mas esse é um campo promissor dentro da engenharia genética.

Orientações e sugestões de respostas das atividades

p. 229 – *Tema para discussão*

Bioética como Ética Aplicada e Genética

O ***Tema para discussão*** aborda a bioética, assunto de importância fundamental que deve ser discutido com os estudantes, já que faz e fará parte de suas vidas, hoje e no futuro.

Quando surgem novos procedimentos ou ações, normalmente emergem simultaneamente novas questões éticas (será ético o novo procedimento?), que só serão respondidas por meio de uma análise complexa da problemática envolvida. Um exemplo simples vem do próprio texto apresentado para discussão: por que matar o cachorro do vizinho não é ético, enquanto matar um boi no matadouro com uma marretada na cabeça é? Então, matar o cachorro do vizinho para comer é ético? Matar sem dor é mais ético que com dor? Qual a opinião do que vai morrer? Note que os códigos éticos variam de uma sociedade para outra. Na China, comer cachorros não é nada tão exótico ou condenável. Na Índia, os bovinos são considerados animais sagrados.

Outra pergunta seria: é ético interromper a gravidez sabendo que o feto é anencefálico? E se ele tiver síndrome de Down? E se não tiver as pernas? E se faltar um dedo? Onde fica o limite? Decididamente é um terreno muito complicado de se transitar.

As propostas para discussão têm por objetivos, mais do que levar os estudantes a concordar ou não com os princípios éticos de nossa sociedade ou de outras, fazer com que vivenciem o calor das discussões e sua complexidade, já que envolvem valores morais de cada um e interesses variados. Muitas são as questões que poderiam ser exploradas a partir do que apontamos no Livro do Estudante e que abrimos aqui para você, professor(a), ponderar.

p. 230 – *Ampliando e integrando conhecimentos*

Atividade 1: Homozigotos e heterozigotos

Sobre a estratégia:

Oferecemos ao estudante uma oportunidade de lidar com sequências de bases de DNA, comparando-as e extraindo informações a partir daí. As noções de alelos, homozigose e heterozigose, agora, são trabalhadas no nível molecular, o que é uma passagem importante. Se necessário, ajude os estudantes a fazer a ponte entre os níveis citológico (cromossomos) e molecular (DNA).

O que se espera:

a) Comparando as cadeias entre si em cada segmento e os segmentos um com o outro, constata-se que os segmentos 7A e 7B são idênticos. Isso significa que Márcio é homozigótico com relação aos dois alelos.

b) Os alelos de Clarice também são idênticos entre si, embora com uma diferença em relação aos de Márcio. Ou seja, Clarice é homozigótica para esses dois alelos.

c) A condição heterozigótica pode ser constituída como se segue:

5' – A T G G T G C A C T T G A C T C C T G A G G A G A A G – 3'
3' – T A C C A C G T G A A C T G A G G A C T C C T C T T C – 5'
(alelo de Márcio)

5' – A T G G T G C A C T T G A C T C C T G T G G A G A A G – 3'
3' – T A C C A C G T G A A C T G A G G A C A C C T C T T C – 5'
(alelo de Clarice)

Atividade 2: Alimentos transgênicos

Sobre a estratégia:

Aqui exercitamos o senso crítico dos estudantes, solicitando a eles que julguem argumentos favoráveis e contrários à criação e à produção de alimentos transgênicos. É uma proposta mais subjetiva, já que envolve os valores de cada um, o que cada pessoa julga mais importante. Caberá a você, professor(a), mediar uma discussão assim que os estudantes tiverem finalizado a construção do texto que pedimos, procurando enriquecer o debate com novos argumentos. É importante ressaltar que diferentes transgênicos têm distintas implicações.

O que se espera:

Respostas pessoais.

Atividade 3: Investigação policial

Sobre a estratégia:

A operação com modelos irá contribuir para que os estudantes assimilem melhor o papel das enzimas de restrição e os produtos que emergem de sua atuação. Operacionalmente, todavia, esta atividade não é complexa, embora possa parecer laboriosa.

Nesta atividade, o estudante poderá perceber o grau de segurança que se pode ter ao comparar segmentos de DNA de pessoas diferentes caso se conheça perfeitamente suas sequências de nucleotídeos.

Há um ponto fundamental que você, professor(a), deverá explicar aos estudantes para que eles entendam perfeitamente o que está acontecendo: por que na eletroforese em gel os fragmentos se movimentam, indo os menores mais longe que os maiores? Além do que foi explicado neste capítulo, sugerimos solicitar aos estudantes que façam uma pesquisa para responder a essa pergunta.

O que se espera:

A figura a seguir mostra o trabalho logo após a aplicação da enzima de restrição:

① DNA de Breno

9A
GG CCTTAGACCTTTAGGCCTATATTCCTAATAAATAAGGTTGG CCAGGGACCATATTAGG CC
CC GGAATCTGGAAATCCGGATATAAGGATTATTTATTCCAACC GGTCCCCGGTATAATCC GG

9B
GG CCTTAGACCTTTAATTCTATATTCCTGGCTAATAAGGTTGG CCAGGGACCATATTAGG CC
CC GGAATCTGGAAATTAAGATATAAGGACCGATTATTCCAACC GGTCCCTGGTATAATCC GG

② DNA das células epiteliais sob as unhas de Breno

9A
GG CCAATTGGATCCATCCGGAATGG CCATAATTGG CCTCTCATGGTCCGG CCAAATCTGG CC
CC GGTTAACCTAGGTAGGCCTTACC GGTATTAACC GGAGAGTACCAGGCC G GTTTAGAC CG

9B
GG CCAATTGGATCCATGGCCAATGG CCATAATTGG CCTCTCATGGTCCTTCCAAATCTGG CC
CC GGTTAACCTAGGTACCGGTTACC GGTATTAACC GGAGAGTACCAGGAAGGTTTAGACC GG

③ DNA do suspeito 1

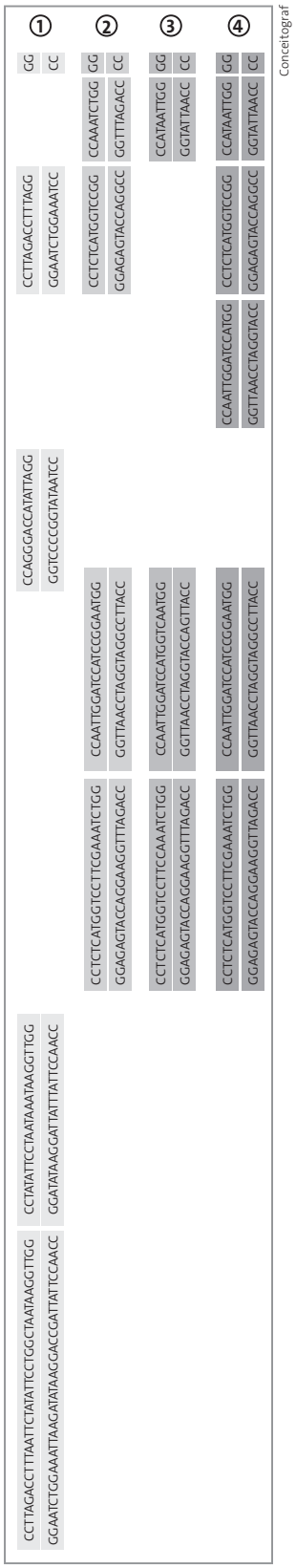
9A
GG CCAATTGGATCCATGGTCAATGG CCATAATTGG CCTCTCATGGTCCTTCCAAATCTGG CC
CC GGTTAACCTAGGTACCAGTTACC GGTATTAACC GGAGAGTACCAGGAAGGTTTAGACC GG

9B
GG CCAATTGGATCCATGGTCAATGG CCATAATTGG CCTCTCATGGTCCTTCCAAATCTGG CC
CC GGTTAACCTAGGTACCAGTTACC GGTATTAACC GGAGAGTACCAGGAAGGTTTAGACC GG

④ DNA do suspeito 2

9A
GG CCAATTGGATCCATCCGGAATGG CCATAATTGG CCTCTCATGGTCCGG CCAAATCTGG CC
CC GGTTAACCTAGGTAGGCCTTACC GGTATTAACC GGAGAGTACCAGGCC GGTTTAGACC GG

9B
GG CCAATTGGATCCATGG CCAATGG CCATAATTGG CCTCTCATGGTCCTTCCAAATCTGG CC
CC GGTTAACCTAGGTACC GGTTACC GGTATTAACC GGAGAGTACCAGGAAGGTTTAGACC GG



Conceitograf

A prancha ao lado (na vertical) representa a posição dos segmentos já ordenados por tamanho, depois da corrida em gel:
Como se pode notar, o suspeito arranhado por Breno foi o suspeito 2, cujo DNA estava bem representado sob a unha de Breno, e cujo próprio DNA é bem diferente.

UNIDADE 3

Evolução

CAPÍTULO 10

Processos evolutivos

Iniciamos este capítulo com uma breve introdução à história do pensamento evolutivo, comentando em seguida as evidências que sugerem a ocorrência de evolução.

É importante reforçar com a turma que as discussões feitas se referem a evidências e nunca a provas da evolução. Não é possível provar concretamente que a evolução ocorreu da maneira como é apresentada por cientistas e pesquisadores, mas seus estudos nos apontam evidências que sugerem fortemente que foi desse modo que aconteceu. Você deve enfatizar que toda ciência é um constante processo de aprendizado, que a ciência é dinâmica e que tende a acrescentar fatos novos que podem confirmar ou não o que se aprendeu, ou mesmo interpretar de outro modo fatos já conhecidos em função de aprimoramentos de técnicas e de instrumentos.

Ao apresentar os fósseis, discuta uma das mais importantes invenções humanas para o conhecimento da história passada – a datação por dosagem de isótopos radioativos, como apresentado no texto "Como estimar a idade dos fósseis". Sabemos que a Química da emissão de partículas (radiação) no momento da desintegração de isótopos radioativos costuma ser tratada apenas no final do Ensino Médio. No entanto, isso não impede que você, professor(a), adiante algumas informações a respeito para que os estudantes possam assimilar melhor o significado das idades reportadas para os vários fósseis, ou das épocas que são estabelecidas para a ocorrência deste ou daquele fenômeno.

O princípio geral é simples: em uma estrutura que esteja trocando carbono com o meio, espera-se determinada proporção entre a fração correspondente ao ^{12}C e a correspondente ao ^{14}C. Uma vez cessadas as trocas, os átomos de ^{12}C que já estão incorporados permanecerão assim indefinidamente; os de ^{14}C, por sua vez, vão se transformando em ^{12}C em um ritmo conhecido. Com essa transformação, a proporção de ^{12}C vai aumentando e a de ^{14}C, diminuindo. Se no momento atual medimos a proporção de ^{14}C e a comparamos com a proporção esperada, a diferença pode ser convertida em tempo, uma vez que é conhecida a velocidade do decaimento (ou seja, da transformação de ^{14}C para ^{12}C). O carbono-14 forma-se na atmosfera quando raios cósmicos, após colidirem com núcleos presentes no ar, geram nêutrons, que então colidem com o isótopo do **nitrogênio** com número de massa 14, formando o carbono-14.

E como se faria a datação de pegadas de dinossauros? A pegada foi originalmente impressa na lama, *que trocava C com o meio*. Assim que se consolidou para formar uma rocha sedimentar, a troca de C cessou. Datando-se a rocha onde a pegada está atualmente impressa, temos uma aproximação da idade da pegada.

Até uma múmia egípcia pode ser satisfatoriamente datada por essa técnica.

Mais informações sobre o decaimento de radioisótopos e exemplos sobre a datação com ^{14}C podem ser encontradas nos *links:*

- <http://www.if.ufrgs.br/~marcia/FN_aula2.pdf>;
- <http://qnesc.sbq.org.br/online/qnesc16/v16_A03.pdf>.

Acessos em: abr. 2016.

Na sequência, apresentamos as principais teorias desenvolvidas para explicar os processos evolutivos e passamos a comentar os fatores que vão atuar sobre as frequências gênicas das populações, provocando alterações nessas populações – os fatores evolutivos.

Iniciamos trabalhando com uma das fontes primárias da variabilidade, que é a mutação gênica. Por meio dela podem surgir novos genes que, quando testados pelo mecanismo da seleção natural, serão selecionados positivamente ou eliminados de uma população.

Apresentamos, em seguida, outros mecanismos que alteram essas frequências gênicas nas populações, até chegarmos à seleção natural. No capítulo, e em vários momentos da coleção, desde o Volume 1 até o atual, muitos foram os exemplos deste assunto. Com o texto "Exemplos de seleção natural" (p. 251), retomamos o que já foi abordado no volume 1 sobre resistência a antibióticos, processo que se assemelha ao surgimento de resistência de insetos a inseticidas. Aproveitamos também para falar de coloração de advertência, mimetismo e camuflagem como exemplos desse processo evolutivo.

O mimetismo ocorre quando um organismo se assemelha a outro, de espécie diferente, que é considerada modelo.

O mimetismo chamado batesiano – em referência a Henry W. Bates (1825-1892), que o descreveu – ocorre quando espécies que tenham sabor agradável aos predadores se assemelham a espécies venenosas ou de sabor desagradável para estes. É o caso da borboleta vice-rei, que se assemelha à borboleta monarca, que é venenosa. É possível citar também os padrões de anelação e coloração das falsas-corais, semelhantes aos das corais-verdadeiras, estas últimas com veneno potente e letal.

Aborde e comente com os estudantes que essas serpentes e outros animais venenosos apresentam coloração bem evidente, denominada coloração de advertência (coloração aposemática), servindo de alerta para que o predador os evite.

Você, professor(a), pode apresentar aos estudantes outro tipo de mimetismo, menos conhecido e bastante curioso que foi descrito em solo brasileiro: o mimetismo mülleriano, nome dado em referência a Fritz Müller, nascido em 1821, na Alemanha, e que imigrou em 1852 para Blumenau (SC), onde morreu em 1897.

Fritz Müller, um curioso doutor em História Natural, ficou intrigado ao descobrir que várias espécies de borboletas não palatáveis, que habitavam Santa Catarina, apresentavam, também, padrões de desenhos e cores de asas semelhantes entre si.

Por meio de suas pesquisas, Müller demonstrou a real vantagem nesse tipo de mimetismo: era o fato de que espécies mais raras teriam um ganho maior, estando assim em vantagem frente à seleção natural. A vantagem desse tipo de mimetismo é que, quando um padrão de coloração é adotado por várias espécies não palatáveis, o predador aprende mais rapidamente a evitar presas com tal padrão e, assim, elas se tornam menos visadas.

Nesse caso, diferentemente do mimetismo batesiano, duas ou mais espécies de sabor desagradável ou venenosas para os predadores e, ao mesmo tempo, com coloração de advertência, assemelham-se entre si.

É muito importante comentar com os estudantes que Müller deixou uma grande obra naturalista, ajudando a fundamentar e enriquecer a teoria da seleção natural de Darwin e projetando nosso país internacionalmente. Darwin e Müller, apesar de nunca terem se conhecido pessoalmente, trocavam correspondências frequentes, sendo Müller chamado de "príncipe dos observadores" por Darwin. Explique aos estudantes que a comunidade de biólogos e professores raramente divulga o nome de Müller, sua obra e a importância do pesquisador na área da Biologia.

Comente com os estudantes que o termo "mimetismo" pode ser usado em relação a várias outras situações, como a presença de manchas semelhantes a olhos nas asas de borboletas e nas nadadeiras de peixes. Leve-os a compreender que a hipótese que busca explicar esses grandes "olhos" sugerem que eles dão ao predador a impressão de que a presa é grande, o que o faz desistir de atacá-la.

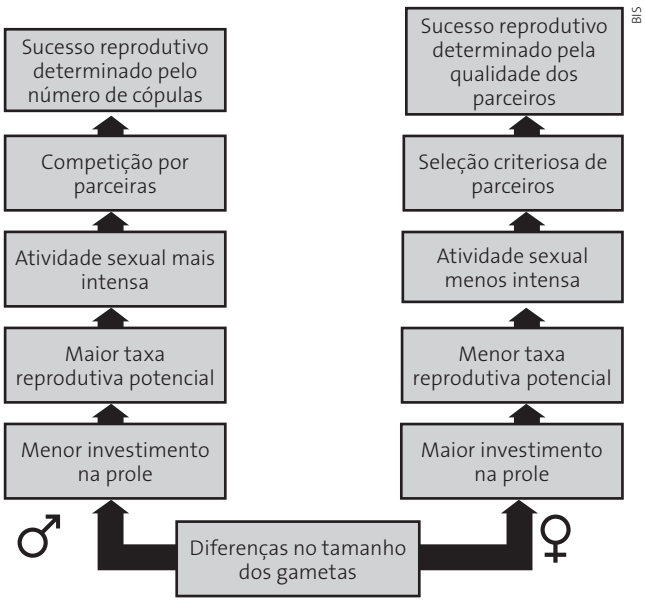
No texto "Seleção sexual" (p. 249), destacamos a teoria da seleção sexual proposta por Darwin e que, assim como a seleção natural, está envolvida nos processos evolutivos. A seleção sexual pode ser:

a) intrassexual – um macho (ou fêmea) exerce pressão seletiva sobre outro(a);

b) intersexual – a fêmea é pressão seletiva a ser vencida pelo macho, ou vice-versa.

A seleção sexual tende a produzir um efeito benéfico sobre a qualidade genética dos descendentes e, portanto, da população.

Montamos a figura a seguir para auxiliar seu trabalho em sala de aula. Ela resume os fatores que se encadeiam para aumentar o sucesso reprodutivo em machos e fêmeas. O ponto de partida é que, essencialmente, a diferenciação dos sexos reside na estrutura dos gametas. Machos são os indivíduos que produzem gametas pequenos e, na maioria das vezes, móveis; fêmeas são os que produzem gametas grandes em relação aos espermatozoides, e imóveis.



Como se vê, o sucesso do macho é pela quantidade e o da fêmea é pela qualidade.

Converse com os estudantes sobre as atitudes tomadas pelos seres humanos nestas circunstâncias. Muitas delas vão além dos instintos inatos que caracterizam a espécie humana, pois são resultantes de comportamentos sustentados ou impostos pela sociedade e pela cultura em que a pessoa se insere. Abra espaço para o posicionamento e a opinião dos estudantes por meio de debates e discussões. Isso contribui para o exercício da oralidade e da capacidade de argumentação coerente, baseada em dados e informações recebidos. Valorize nesses momentos de discussão o respeito que cada um deve ter em relação à opinião dos demais, sabendo argumentar com ponderação e adequação.

■ Orientações e sugestões de resposta das atividades

p. 253 — *Tema para discussão*

Evolução das baleias

Neste ***Tema para discussão*** apresentamos um texto que aborda o retorno de mamíferos terrestres ao ambiente marinho e as adaptações que possuem relacionadas à vida nesse ambiente. Procuramos mostrar outros casos de retorno de vertebrados ao ambiente aquático evidenciando aspectos de convergência evolutiva.

Nas atividades propostas, o ponto principal é fazer os estudantes notarem que soluções eficientes para um mesmo problema são muitas vezes similares. Com isso, a pressão seletiva tende a "encaminhar" a evolução para seu surgimento, mais ou menos independentemente em diferentes tipos de organismo. Por exemplo, a locomoção em meio fluido se resolve por meio da ação de estruturas laminares sobre o meio. O tamanho dessas estruturas depende basicamente da viscosidade do meio. Por isso, asas costumam ser proporcionalmente maiores que nadadeiras, embora não sejam estruturas tão diferentes em seu modo de funcionamento.

Uma de nossas solicitações é centrada em adaptações para trocas gasosas. No caso das baleias, não há ventilação com água. Nelas a capacidade volumétrica dos pulmões é chave, mas outras adaptações ligadas ao sistema cardiovascular (controle do fluxo sanguíneo para as diversas partes do corpo) e aos músculos (alto teor de mioglobina) são essenciais na diminuição da demanda e para estocagem de O_2 nos tecidos.

p. 255 — *Ampliando e integrando conhecimentos*

Atividade 1: Uma carta para Darwin

Sobre a estratégia:

Muitas evidências confirmam a ideia de evolução por seleção natural. A análise do registro fóssil, que antes de Darwin era meramente descritiva, passou a constatar as semelhanças entre espécies atuais e fósseis, ajudando a reconhecer a ancestralidade comum entre diversos organismos. O estudo comparativo da anatomia e de aspectos do desenvolvimento embrionário também fornece dados fundamentais sobre o parentesco evolutivo entre seres vivos, pois permite identificar condições de homologia e definir quais seriam as características primitivas e quais as derivadas dentro de determinado grupo.

A análise bioquímica, tecnologia bastante recente, tem mostrado as semelhanças entre espécies no que diz respeito a proteínas e à sequência de bases no DNA ou RNA.

Entre o chimpanzé e a espécie humana, por exemplo, existe apenas 1 aminoácido diferente na constituição da proteína citocromo **c**, presente nas mitocôndrias. Se compararmos a espécie humana com um cavalo, o número de diferenças na sequência de aminoácidos será maior; se a comparação for feita com a proteína de um peixe, a diferença será maior ainda. Esse tipo de análise permite, portanto, confirmar níveis de parentesco entre espécies. Os dados moleculares têm sido utilizados com frequência para ajudar a resolver alguns casos de parentesco em que a anatomia comparada, o estudo do desenvolvimento e/ou o registro fóssil apresentam-se incompletos ou não são suficientes para esclarecer as dúvidas.

Apesar de todo o brilhantismo da ideia de evolução por seleção natural, Darwin nunca conseguiu explicar como as características eram transmitidas através das gerações, garantindo o processo evolutivo. Darwin não encontrou outra saída senão admitir que caracteres "vantajosos" (que sofreram seleção positiva pelo ambiente) eram hereditários, em uma hipótese muito parecida com a de Lamarck, que apregoava a herança de caracteres adquiridos. Darwin escreveu: "os indivíduos possuidores de uma vantagem qualquer sobre os outros têm maior chance de sobreviver, de procriar o seu próprio tipo".

Hoje sabemos que por meio da reprodução sexuada um indivíduo não pode "procriar o seu próprio tipo"; ele só pode transmitir à sua descendência metade de seus genes.

Darwin não conheceu as ideias de seu contemporâneo Gregor Mendel, apesar dos esforços deste último para difundir suas ideias no meio científico. O modelo de Mendel que explica corretamente a herança de características não teve aceitação e sua importância só foi percebida muitos anos após sua morte. Foi apenas no início do século XX que se percebeu que o mendelismo fornece as bases para a teoria de Darwin, constituindo o chamado **neodarwinismo**.

Aqui mais uma vez os estudantes terão a oportunidade de elaborar um texto. Você, professor(a), pode não só ajudar a enriquecê-lo com exemplos ou informações, como também interferir em sua qualidade em termos da redação. No final, poderia ser feita uma versão da classe, distribuída na escola ou até fora dela.

Ao elaborar a carta, os estudantes assimilarão melhor diversos aspectos da teoria sintética da evolução. As cartas produzidas por eles devem ser lidas verificando se o objetivo da atividade foi atingido (relacionar tecnologias e discussões atuais ao princípio da seleção natural, proposto por Charles Darwin).

Verifique se a noção sobre evolução por seleção natural está clara no texto produzido.

O que se espera:

Resposta pessoal.

Atividade 2: Discutindo afirmações

Sobre a estratégia:

Os estudantes deverão, aqui, exercitar seu senso crítico, tentando dimensionar bem o que é aceitável em uma afirmação e o que não é. Um ponto básico para que a análise seja consistente é o conhecimento de causa. Nesse sentido, a sua interferência, professor(a), pode ser fundamental. É bom mostrar a eles que a análise de uma frase que alguém falou ou escreveu deve ser bem argumentada e não simplesmente uma questão de ser mais ou menos simpático a ela.

O conjunto completo das obras de Darwin, em inglês, está disponível para *download* (arquivos no formato PDF) em: <http://darwin-online.org.uk/>. Acesso em: abril 2016.

O que se espera:

a) Darwin sistematizou uma ampla gama de observações em uma teoria para explicar a evolução, no caso por seleção natural. Sua publicação, cujo título completo é *On the origin of species by means of natural selection, or the preservation of favoured races in the struggle for life (Sobre a origem das espécies por meio da seleção natural, ou a preservação das raças favorecidas na luta pela vida*), foi um marco na Biologia. Mas não podemos dizer que foi o primeiro a propor uma teoria da evolução. Wallace foi seu contemporâneo, compartilhando suas ideias. Antes deles, Lamarck já havia proposto sua própria teoria baseada na herança dos caracteres adquiridos e na "lei" do uso e desuso.

b) Nessa frase é importante refletir sobre o sentido de "seres vivos". É um sentido geral mais próximo de espécies, ou mais específico, designando indivíduos. Se entendermos mais literalmente, a frase não procede, pois são as populações das espécies que se adaptam e não os indivíduos em si.

c) A palavra "acreditam" pode representar inclusive um ato de fé. Não é uma questão de acreditar ou não, mas de aceitar ou não a enorme quantidade de evidências, inclusive experimentais, que dão base à ideia evolucionista. E não são todos os biólogos que aceitam a evolução; há muitos que percebem que a aparente falta de gradualismo no surgimento de diversos caracteres complexos ainda tem que ser explicada. O fato é que nunca houve um experimento que contestasse objetivamente a existência de um processo de evolução das espécies.

d) É possível, sim, observar diretamente a seleção natural em ação. Geralmente, isso é feito reconhecendo e medindo pressões seletivas com a mensuração do que se chama aptidão dos indivíduos – que pode ser inferida por seu sucesso reprodutivo, por exemplo. Um exemplo que pode ser pesquisado é o estudo do casal Grant sobre os tentilhões das ilhas Galápagos ao longo de décadas.

e) Sim, sem dúvida. São evidências, o que não quer dizer provas. As evidências formam um conjunto de observações que pode ser interpretado. Por exemplo: temos evidências geológicas do impacto de um grande meteoro no final do período Cretáceo, mas não podemos observar diretamente o fenômeno. Quanto mais amplo o leque de evidências, mais consistente poderá ser sua interpretação. Outro exemplo: há evidências paleoecológicas e na estrutura óssea de répteis do grupo dos dinossauros, consistentes com metabolismo endotérmico, mas não podemos provar experimentalmente que eles eram assim.

f) As modificações evolutivas, se resultantes de pressões seletivas, podem apenas assegurar a manutenção do sucesso médio dos organismos de uma espécie em um ambiente em transformação, sem com isso representarem, obrigatoriamente, mudanças para melhor ou para pior.

Atividade 3: Convergência e divergência evolutiva

Sobre a estratégia:

Nesta atividade, são retomados dois conceitos importantes em termos de evolução: a convergência e a divergência evolutivas. A convergência é tratada em um exemplo muito interessante – a cecília e a cobra-de-duas-cabeças.

Você pode pedir aos estudantes que procurem lembrar de outros exemplos das duas situações, discutindo com eles sua correção. Pode lembrar, ainda, que uma mesma pressão seletiva em organismos distintos pode produzir uma tendência à convergência. Isso se baseia no fato de que, sendo o problema imposto pela pressão seletiva, o mesmo para ambos, a adaptação que o resolve frequentemente é a mesma. A baleia é um bom exemplo disso. A locomoção na massa de água fica bem resolvida com a ação de estruturas laminares amplas. Na evolução de peixes e na evolução de baleias, tais estruturas – as nadadeiras – se fixaram em ambas as linhas, sendo as peitorais das baleias homólogas às peitorais dos peixes. Podemos estender o exemplo incluindo aí os antigos plesiossauros e também os pinguins. Temos, então, o correspondente às nadadeiras peitorais de peixes aparecendo **de novo** em répteis, aves e mamíferos.

O que se espera:

a) Esse é um caso de divergência evolutiva que resultou da adaptação da baleia para a natação. As nadadeiras anteriores da baleia são estruturas homólogas às pernas anteriores dos hipopótamos (e de outros tetrápodes quaisquer).

b) Trata-se de um caso de convergência evolutiva: os dois animais representados nas fotografias têm a mesma forma, o mesmo tamanho e até a mesma cor. São, todavia, pertencentes a grupos bem distintos – o dos anfíbios (cecília) e o dos répteis (cobra-de-duas-cabeças). Como adaptações de ambos relacionadas à vida em galerias destacam-se a redução das pernas e dos olhos, bem como a forma cilíndrica do corpo.

Atividade 4: Darwin e a Geologia

Sobre a estratégia:

O tema desta atividade é, em última análise, filosófico. Hutton, e depois Lyell, introduziram o chamado uniformitarismo (ou uniformitarianismo), segundo o qual as grandes modificações da Terra seriam, na verdade, o resultado de forças constantes agindo uniformemente ao longo de extensos períodos de tempo. As transformações seriam graduais. A montanha não é estática como parece ser em nossa escala de tempo. Tal concepção veio confrontar-se com a ideia de evolução gradual como resultado da ação constante e inexorável da seleção natural. O paralelo é interessante: assim como as montanhas parecem imutáveis, as espécies também podem parecê-lo, em nossa escala de tempo. Grandes saltos evolutivos poderiam ser comparados com o surgimento quase cataclísmico de montanhas inteiras ou ilhas, por exemplo.

É muito provável que ao responder ao que pedimos, os estudantes façam muitas especulações. Você poderá orientá-los no sentido de reconhecerem aspectos filosóficos da época. No texto deste capítulo incluímos evidências da grande magnitude a que podem chegar os efeitos de transformações extremamente graduais. Quem diria, à primeira vista, que os altos cumes dos Alpes já foram fundos marinhos situados entre a Europa e a África e que foram empurrados sobre a Europa? Ou que a Índia já foi um continente que se deslocou para o norte até colidir com o sul do que hoje é a Ásia?

O que se espera:

A resposta deverá de alguma forma contemplar a noção de que grandes transformações não são obrigatoriamente resultado de eventos descomunais, podendo advir de pequenas influências atuando durante longos períodos de tempo, tal como Darwin devia ver a evolução das espécies.

Atividade 5: Migração e seleção natural

Sobre a estratégia:

Aqui damos uma pincelada sobre os fatores que atuam contra o fixismo da composição genética de populações (poderíamos dizer, contra o equilíbrio de Hardy-Weinberg, que será visto no capítulo 11): a migração (imigração ou emigração) preferencial de uma variedade, os cruzamentos não pan-míticos, isto é, com seleção sexual, a seleção natural e o surgimento de novos alelos (mutação). Talvez sem mencionar formalmente o dito equilíbrio, você poderia discutir previamente com os estudantes o que são esses fatores e de que maneira eles podem afetar o perfil populacional.

Nesta atividade, serão exemplificados apenas o efeito da mutação, o da imigração e o da seleção natural.

O que se espera:

Em **A**, dois indivíduos migram para a população, e os 10% de besouros verdes presentes após certo tempo podem ser ou não seus descendentes – se a população não é isolada, novos indivíduos podem chegar ao longo do tempo. Isso poderia dever-se ao efeito de um evento migratório único seguido da proliferação dos imigrantes ou de um processo imigratório de besouros verdes mais ou menos contínuo. Em **B**, finalmente, temos a pressão seletiva exercida por um animal que tem mais sucesso na predação de indivíduos da variedade verde do que da dourada – temos, aí, a seleção natural: pela ação preferencial do predador sobre o tipo verde, essa variedade vai se tornando proporcionalmente cada vez mais rara na população.

CAPÍTULO 11

Genética de populações e especiação

No capítulo anterior, foram analisados os fatores evolutivos que atuam nas populações, alterando as frequências gênicas. Neste capítulo, discute-se como são calculadas as frequências alélicas e genotípicas com base no teorema de Hardy-Weinberg, bastante empregado em estudos evolutivos e que pode ser destacado para os estudantes como mais um exemplo da importância da matemática nas ciências, no caso, em evolução, como mostra o texto "O teorema de Hardy-Weinberg e a fenicetonúria". (p. 261)

Os estudantes poderão aplicar tudo o que aprenderam sobre evolução para compreender como surgem as novas espécies. O mecanismo de especiação mais conhecido é a especiação alopátrica (ou geográfica), mas mencionamos também a especiação simpátrica.

Um aspecto da especiação e da própria dificuldade em se definir espécie refere-se ao fato de que híbridos férteis podem surgir na natureza, ou seja, indivíduos de duas espécies distintas podem se cruzar e originar proles viáveis e férteis, que podem compor outra espécie. Esse processo, antes considerado raro, parece ser mais comum do que se supunha. O famoso exemplo das mulas, que são híbridos estéreis resultantes do cruzamento do jumento (*Equus asinus*, também conhecido como asno ou jegue) com a égua (*Equus caballus*), parece ser mais raro que o contrário. Há vários exemplos em peixes.

Em junho de 2006, foi publicado um trabalho na revista científica *Nature* (volume 441/15, páginas 868-871) em que um raro caso de especiação foi comprovado: a especiação homoploide híbrida (hibridização sem mudança no número de cromossomos). Essa forma de especiação só havia sido bem descrita para o gênero *Helianthus* (girassol). Nos animais, evidências para esse tipo de especiação eram menos convincentes, mas o referido trabalho traz novos dados e confirmações. Nele, os cientistas mostraram que a borboleta *Heliconius heurippa* é híbrida e surgiu pelo cruzamento entre outras duas espécies de borboleta, *H. melpomene*e e *H. cydno*. As três

espécies vivem em regiões da América Central e parte da América do Sul. Esses cientistas conseguiram gerar em laboratório a borboleta híbrida a partir do cruzamento entre indivíduos das duas outras espécies; e a especiação nessas borboletas não envolveu mudanças no número de cromossomos, mas foi decorrente de mudanças na cor que acabaram gerando preferências na escolha dos parceiros sexuais. *Heliconis cydno* possui asas pretas com manchas brancas e amarelas, enquanto *H. melpomene* possui asas pretas com manchas vermelhas. Esse padrão influencia a preferência sexual de modo que os cruzamentos acabam sendo, em sua maioria, intraespecíficos. Em laboratório, no entanto, os cientistas verificaram que do cruzamento entre indivíduos de *H. melpomene* e *H. cydno* surgiam híbridos viáveis e férteis e que esses híbridos tinham padrão de cor de asa diferente: asas pretas com manchas vermelhas e amarelas. Esse novo padrão não se mostrou atraente para os demais indivíduos das duas outras espécies, que não escolhiam essas borboletas híbridas para a reprodução. Já entre as borboletas híbridas, o novo padrão de cores mostrou-se o preferido na escolha do parceiro para reprodução. Esse experimento reproduziu em laboratório o que deve ter acontecido ao longo dos anos na natureza com o surgimento de uma espécie híbrida e fértil: a espécie *H. heurippa*.

A Biologia é repleta de exceções e de explicações mais complexas que as fornecidas no Ensino Médio e isso faz parte da escolha de qual recorte do conteúdo é importante para cada nível de escolaridade. Fica, assim, a critério do docente a escolha da profundidade de abordagem de cada assunto.

Um excelente material para tratar temas integrados de ecologia e evolução é o jogo **Calangos — Um jogo eletrônico para ensinar Ecologia e Evolução,** desenvolvido por Angelo Loula e Antonio Apolinário (UEFS), Pedro Luís Bernardo da Rocha (UFBA), Leandro Nunes de Castro (Mackenzie), Charbel El-Hani (UFBA), que pode ser obtido no *site* <http://calangos.sourceforge.net/>. Acesso em: abr. 2016.

Nesse *site*, além do jogo dos calangos e textos e orientações para o jogo, há informações sobre o uso de jogos no ensino, sobre a teoria da aprendizagem significativa e sobre as dunas do Médio São Francisco.

Orientações e sugestões de resposta das atividades

p. 266 — *Tema para discussão*

A jararaca da ilha da Queimada Grande

O estudo de espécies em ilhas sempre é muito interessante pois se trata de áreas que, dependendo do tipo de organismo, podem ser consideradas isoladas (aí temos o isolamento das populações correspondentes). Para uma espécie grande com boa motilidade, uma ilha próxima ao litoral como é a Queimada Grande é tão acessível que não passa de um abrigo, fazendo parte integrante da área de vida dos animais.

No caso de serpentes que habitualmente não usam o meio aquático, a distância entre a ilha e a costa pode ser intransponível, daí o isolamento (não são encontradas jararacas-ilhoas no continente).

É interessante notar que as jararacas-ilhoas têm um problema similar em relação às serpentes marinhas do Indo-Pacífico: tanto as aves quanto os peixes escapam em um meio fluido tridimensional, enquanto nos casos de presas de solo, fica uma trilha química para o predador seguir. Tanto as jararacas-ilhoas quanto aquelas serpentes marinhas têm peçonhas extremamente potentes.

Você também pode aproveitar o cenário para discutir a ameaça sob a qual vive qualquer espécie endêmica dentro de um ambiente delimitado e especial. Um impacto sobre a Ilha da Queimada-Grande pode extinguir a população de jararacas-ilhoas e, com isso, a espécie.

O primeiro item proposto envolve diversas habilidades de comunicação, além da síntese dos conhecimentos com vistas à análise comparativa da especiação alopátrica e simpátrica. É importante frisar para os estudantes que na especiação alopátrica o fluxo gênico entre as variedades é bloqueado por barreira geográfica, enquanto na simpátrica o fluxo se reduz em função de incompatibilidades reprodutivas.

O segundo item visa enfatizar que na base do processo evolutivo sempre está o valor adaptativo do fenótipo. O hábito do predador reflete o hábito de suas presas – no caso aves – e não pequenos mamíferos noturnos.

p. 268 — *Ampliando e integrando conhecimentos*

Atividade 1: Calculando frequências alélicas e genotípicas

Sobre a estratégia:

Nesta atividade exercitarmos a estimativa de frequências alélicas e genotípicas.

O que se espera:

a) Consideremos hipoteticamente cada indivíduo como tendo dois alelos para um mesmo loco. Assim, na população inteira (135 indivíduos) temos 270 alelos, dos quais (100 + 45) são "a" e (80 + 45) são "A". Isso corresponde a uma frequência absoluta de 145 para o alelo "a" e 125 para o alelo "A", o que, em termos relativos, corresponde a f(a) = 0,537 e f(A) = 0,463. Temos, portanto:

$f(A) = 0{,}463$

$f(a) = 0{,}537$

$f(aa) = \frac{50}{135} = 0{,}370$

$f(Aa) = \frac{45}{135} = 0{,}333$

$f(AA) = \frac{40}{135} = 0{,}296$

Na geração seguinte, se os casamentos forem pan-míticos, a frequência relativa de heterozigotos deverá ser resultado das seguintes combinações: (óvulo "A" × espermatozoide "a") ou (óvulo "a" × espermatozoide "A"). Cada parcela dessas tem frequência relativa real (0,463 × 0,537) = 0,248; e, portanto, a frequência relativa estimada de "Aa" na geração seguinte será 0,496. Esse valor difere da frequência de híbridos na população inicial; por isso, podemos concluir que a população não está em equilíbrio.

b) Cada homem daltônico (X^dY) possui um alelo X^d. Isso nos leva diretamente à frequência de X^d que é a mesma de homens daltônicos, ou seja, 0,1 (10%). Se os casamentos são ao acaso, a proporção de encontros X^dX^d, que correspondem a mulheres daltônicas, é 0,1 × 0,1 = 0,01. Mulheres normais que podem produzir filhos daltônicos são as híbridas X^dX^D. Se a proporção dos cromossomos X disponíveis na população, que têm d, é 0,1, então a dos que têm D é 0,9. A composição de híbridas acontecerá com frequência relativa 2 × (0,1 × 0,9) = 2 × 0,09 = 0,18 ou 18%.

CAPÍTULO 12

Evolução humana

O volume 3 desta coleção termina com a evolução humana. Este tema tem ainda muito a ser descoberto. A visão apresentada é uma das mais atuais e optamos pela abordagem que discute o que aconteceu com a linhagem dos mamíferos da qual derivou a espécie humana.

Um aspecto interessante para o qual você pode chamar a atenção é a relação entre o dedo polegar opositor e o uso de ferramentas.

Aparentemente, esse hábito, ao mesmo tempo em que é consequência de adaptações aliadas ao aprendizado, também pode ser um estímulo para o desenvolvimento da própria inteligência. Há correlação entre o uso de ferramentas mais sofisticadas e o aumento gradual do volume do cérebro, o qual por sua vez é diretamente correlacionado com a inteligência.

No texto "O uso de ferramentas por primatas" (p. 275) enfatizamos o fato de que a inteligência, definida como a capacidade de resolver problemas, pode não ser uma capacidade restrita ao ser humano.

O *link* <http://theadvancedapes.com/2013228 monkey-tool-users/> (em inglês, acesso em: abr. 2016) traz mais informações sobre o caso do macaco-prego.

O texto "E no princípio... era o macaco!" (p. 278) apresenta de modo muito bem articulado alguns aspectos que comentamos antes. O estudo deste tema pelos estudantes é, sem dúvida, uma estratégia interessante para assimilação dos conceitos. Vale ressaltar o último parágrafo, que situa o ser humano no cenário de todas as espécies: o que temos realmente de especial, exclusivo, segundo o autor? Caso necessário, você pode enveredar pelo terreno da consciência, a natureza dela e até que ponto é uma exclusividade humana.

Um bom ponto de partida é o artigo "A teoria da consciência de David Chalmers", de João de Fernandes Teixeira, do Departamento de Filosofia, Universidade Federal de São Carlos, disponível na íntegra em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103-65641997000200006>. Acesso em: abr. 2016.

Outra fonte, em português, é o livro intitulado *O mistério da consciência*, de Antonio Damásio, publicado pela Companhia das Letras, em 2000. O autor é diretor do Departamento de Neurologia da Faculdade de Medicina da Universidade de Iowa (EUA) e professor no Instituto Salk de Estudos Biológicos, em La Jolla, na Califórnia (EUA).

O texto "Arara-azul – As pesquisas para salvar da extinção a maior espécie de arara" (p. 280) aborda um bom exemplo de atitude humana que deve ser estimulado. O tema também permite aos estudantes perceber que a espécie humana é parte da natureza e avaliar a importância de exercer o seu papel no meio ambiente, encerrando com um enfoque que retoma o início desta coleção.

Orientações e sugestões de respostas das atividades

p. 282 – *Tema para discussão*

Raças humanas não existem como entidades biológicas, diz geneticista

Você, professor(a), tem neste ponto uma ótima oportunidade de conversar com os estudantes termos tais

como preconceito racial, cotas raciais para ingresso nas universidades e dívida racial. Nesse contexto, porém, cabe ressaltar a importância que tais termos assumem, por exemplo, na esfera da Sociologia e da Filosofia, uma vez que põem em pauta a discriminação sofrida por determinados grupos sociais devido ao contexto sociocultural em que se inserem. Não se trata de aprofundar, aqui, essa discussão, mas de deixar clara sua complexidade. No que diz respeito à Biologia, como mostramos no texto apresentado, não há diferentes raças humanas, e sim, variações fenotípicas de alguns caracteres. Pode-se, inclusive, mencionar as ideias nazistas sobre a existência de uma suposta raça ariana superior, mostrando sua improcedência biológica e o uso do discurso "racial" para fins de poder.

No primeiro item, pedimos que os estudantes resgatem eventos que tenham considerado como manifestações de preconceito.

No segundo item, sugerimos uma pesquisa para que os estudantes compilem evidências concretas da discriminação pela cor da pele.

p. 283 – *Ampliando e integrando conhecimentos*

Atividade 1: O homem descende do macaco?

Sobre a estratégia:

Partindo da pergunta-título da atividade e de uma figura, questionamos a visão da evolução humana linear e ascendente que leva a um tipo final – o máximo da perfeição.

Do ponto de vista científico, alinhar os fósseis de acordo com uma progressão lógica de estágios morfológicos pode conduzir a uma visão aparentemente coerente e palatável, mas fantasiosa, falsa, incorreta. Essa concepção não perde em falácia para a tentativa de explicar a evolução dos animais por meio da sequência de estágios embrionários: primeiro os seres eram unicelulares (zigoto); daí passaram a formar colônias (mórulas e blástulas); com o dobramento (gastrulação), surgiram as esponjas; e, da especialização desses tecidos, surgiram os cnidários; e assim por diante. Pensando deste modo, ficamos com a ideia de que já fomos esponjas, corais, planárias, lombrigas. Caberá a você assegurar que os estudantes compreendam bem por que as evidências do registro fóssil levam à negação desse ponto de vista no campo da evolução humana.

Ao incluirmos uma descrição de imagem encontrada por S. J. Gould, nossa intenção é dar a você e aos estudantes um ponto de partida para refletir e discutir o significado dos valores e avanços do homem branco ocidental apresentado como o estágio mais avançado de evolução humana. Seriam pressões seletivas os motores que levaram ao aparecimento desse tipo? Quais caracteres teriam levado o ser humano a uma posição ecologicamente dominante no planeta?

O que se espera:

a) Respostas pessoais.

b) A sequência linear de estágios uns após os outros ao longo da evolução humana não é aceitável com base no registro fóssil. Um exemplo claro disso é a coexistência entre *Homo sapiens* e os neandertais ao longo do que pode ter sido um período de algumas dezenas de milhares de anos na Europa. Na figura apresentada na atividade, o tipo neandertal antecede o *Homo sapiens*, o que não é compatível com o que se sabe do registro fóssil. Outro exemplo: o *Homo erectus* e o *Homo sapiens* foram contemporâneos também por um longo período.

Atividade 2: A polêmica de Darwin

Sobre a estratégia:

No último capítulo deste volume, propomos atividades mais relacionadas com a reflexão dos estudantes sobre questões evolutivas que dizem respeito à espécie humana.

Para que tal reflexão seja bem-sucedida, eles deverão dominar muito bem as noções introduzidas ao longo do curso sobre evolução darwiniana ou evolução por seleção natural – barreiras geográficas, barreiras reprodutivas e pressões seletivas positivas e negativas, anatomia humana, fossilização, ecologia e paleoecologia, além da própria história da Biologia e da ciência de modo geral. Você pode organizar um seminário com os estudantes para discutir todos esses pontos.

Nesta atividade, os estudantes deverão redigir um texto em defesa de Darwin. Isso quer dizer que deverão apresentar com precisão, clareza e segurança seus argumentos e as evidências que os suportam. A coerência entre as afirmações e as evidências podem ser avaliadas e discutidas por você junto aos educandos. Além disso, você poderia comentar sobre os cuidados com os aspectos ortográfico e gramatical. No final, estimule-os na missão de defesa, adotando uma posição antidarwinista.

O que se espera:

Resposta pessoal. Os estudantes deverão explorar a natureza e a identidade dos prováveis ancestrais comuns, e as características envolvidas na divergência das linhas evolutivas que conduziram aos macacos e ao ser humano atuais.

Atividade 3: Os dinossauros e os hominíneos

Sobre a estratégia:

Nesta atividade, enfatize o enorme lapso de tempo entre a época dos dinossauros e da origem dos hominíneos. É importante que os estudantes percebam o quanto, em termos de tempo evolutivo, nossa espécie é recente. Organismos fósseis podem ser retomados. Há centenas de milhões de anos havia animais muito semelhantes a libélulas e tubarões. Hominíneos apareceram há cerca de 7 milhões de anos, mas nossa espécie propriamente dita só apareceu há menos de 150 mil anos. Como referência, a grande extinção do Permiano, considerada brusca em termos geológicos, foi um processo que durou mais ou menos 80 mil anos.

O que se espera:

A julgar pelas evidências disponíveis atualmente, o tempo transcorrido entre o desaparecimento dos últimos dinossauros e o surgimento dos hominíneos é de aproximadamente 58 milhões de anos. Portanto, a coexistência entre seres humanos e tiranossauros, que aparece em desenhos animados e em vários filmes, é um contrassenso temporal.

Atividade 4: A seleção natural e a espécie humana

Sobre a estratégia:

Finalmente, situamos o ser humano atual em um cenário darwiniano. Você poderá estimular os estudantes a discutirem suas visões a respeito do que pedimos na atividade. Qual é o significado da economia, dos valores monetários? Como se situa a biotecnologia em face do futuro da população humana mundial? Qual é o significado evolutivo da competição entre os seres humanos, relacionada à heterogeneidade quanto ao acesso a água, alimentos, condições de saúde? Qual é o significado das guerras e dos conflitos menores? A ganância tem valor adaptativo? O "certo" e o "errado" são igualmente naturais?

O mais produtivo aqui é a discussão desses temas entre os estudantes e entre eles e você. Isso pode ser, inclusive, tema de um debate geral que pode incluir várias turmas (se houver), um evento maior para finalizar o curso com uma espécie de síntese, abrangendo variados pontos importantes da Biologia.

O que se espera:

Resposta pessoal.

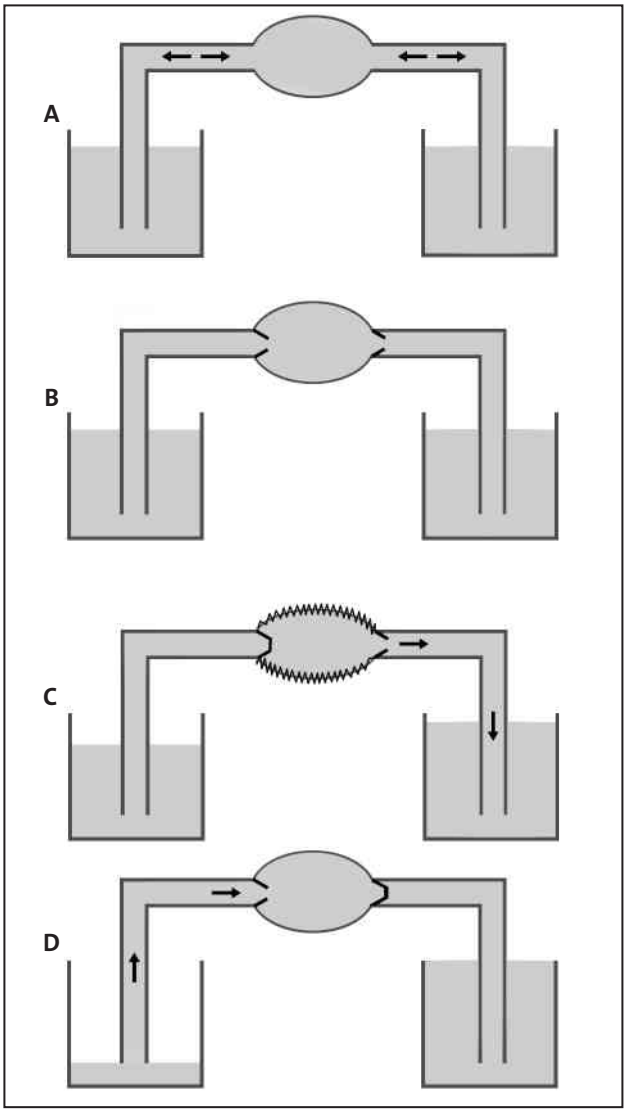
11. Sugestões de atividades extras para o volume 3

Nesta parte do Manual você encontra um conjunto de sugestões extras para o trabalho com o volume 3 desta coleção. Estimulamos você a usá-la, adaptando-as para suas necessidades e até mesmo criando outras que possam colaborar para a aprendizagem dos estudantes.

Sugestão 1: Modelo para circulação (Capítulo 3)

Seria interessante explicar aos estudantes o funcionamento de uma válvula. Sabendo que o sistema cardiovascular é constituído por uma bomba (coração) e vasos (artérias, capilares e veias) formando um circuito fechado, podemos compreender melhor seu funcionamento por meio de modelos. A seguir, são apresentados esquemas que representam situações referentes a associações entre uma ou duas peras de borracha (usadas em borrifadores ou aparelhos de medir pressão, sem as válvulas, a princípio).

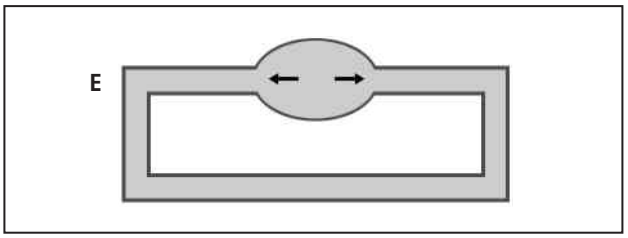
Em (A), ao pressionarmos a pera repetidamente, não produzimos nenhum fluxo de líquido de um recipiente para outro. Se quisermos que isso aconteça, precisamos adaptar válvulas. Se colocarmos uma só – por exemplo, à direita da pera –, a princípio até poderá passar líquido, mas em seguida, ao pressionarmos a pera repetidamente, veremos fluxo e refluxo no tubo da esquerda. Para evitá-lo, precisamos de duas válvulas, uma no que será a entrada da pera e outra na saída (B). Ao pressionarmos a pera, o líquido dentro dela é forçado para as duas aberturas (aumento na pressão interna). Com isso, a válvula esquerda se fecha e a direita se abre, deixando o conteúdo da pera passar para o tubo da direita e chegar ao recipiente direito (C). Como a pera é de borracha moldada de modo a, por si só, expandir-se de novo, isso produz uma sucção. A válvula esquerda se abre e a direita se fecha, impedindo o refluxo. A pera se enche com líquido do recipiente esquerdo (D) e volta a ficar na condição (B), só que com a válvula direita fechada devido à tendência de refluxo a partir do recipiente direito (vasos comunicantes).

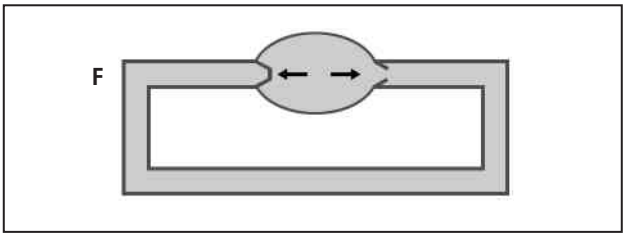


Conceitograf

Vamos, agora, considerar uma pera diferente, que não se expanda sozinha, tal como um ventrículo ou um átrio cardíaco. Nessa condição, após pressioná-la da primeira vez ela não se encherá com líquido do recipiente esquerdo e o sistema não funcionará mais.

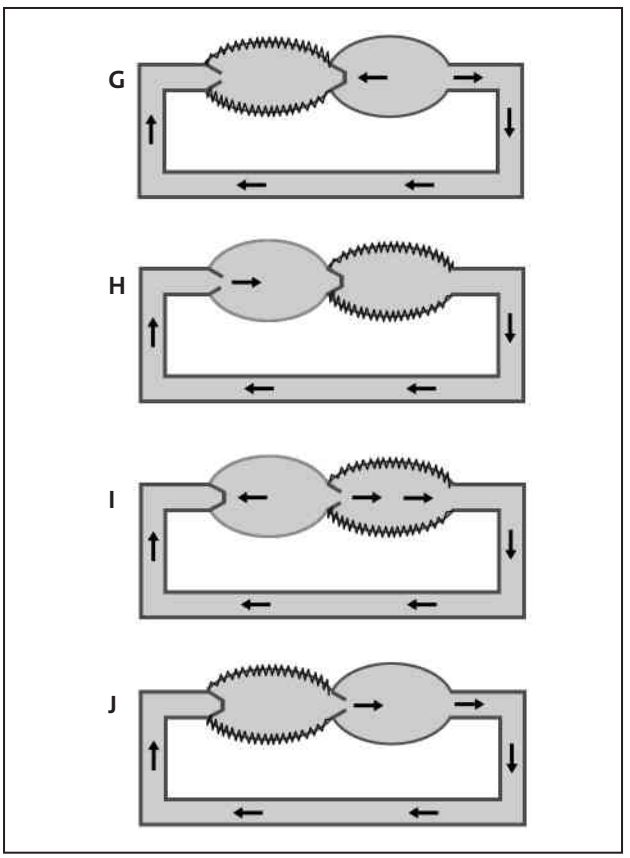
A partir daí, substituímos o circuito, que até este ponto foi aberto, por um fechado (tubo rígido ligando as aberturas da pera). Temos, então, o que está representado em (E), por enquanto sem válvulas. Ao tentarmos pressionar a pera, apenas aumentaremos a pressão em todo o sistema, mas ela não vai ceder, ficará apenas dura. Mesmo com válvulas isso não muda: não há nenhum movimento do líquido pelo tubo (F).





Conceitograf

Associamos, então, uma segunda pera, adaptando-a em série à esquerda da primeira, com o cuidado de fazê-lo com ela pressionada. Dessa forma, o que será a saída da pera esquerda se conecta com a entrada da pera direita onde há uma válvula, tal como representado em (G). Note-se a válvula na entrada da pera esquerda. Pois bem: a pera esquerda compara-se com um átrio, e a direita com um ventrículo. Ao pressionarmos o "ventrículo", a válvula em sua entrada se fecha e o conteúdo da pera é forçado para o tubo. Com isso, o "átrio" com sua válvula de entrada aberta se enche à custa da própria pressão do "ventrículo". O líquido se movimentou pelo circuito (H). Com o "ventrículo" vazio, mas relaxado, ao pressionarmos o "átrio", sua válvula de entrada se fecha e a de saída se abre; o conteúdo do "átrio" passa para o "ventrículo", enchendo-o (I). A partir daí o ciclo se repete. Note-se que não se exige capacidade de expansão ativa por parte das peras, que poderiam inclusive ser substituídas por bexigas de couro.



Conceitograf

Podemos concluir que em um circuito como o do modelo, duas bolsas contráteis equipadas com uma válvula cada, contraindo-se alternadamente, são suficientes para manter um fluxo unidirecional de líquido. Temos aí algo como o padrão geral de circulação simples de coração com duas cavidades – o que basicamente se vê em peixes. Se inserirmos uma resistência ao fluxo no circuito (redes capilares), usarmos tubos ligeiramente elásticos e adaptarmos uma válvula também na saída do "ventrículo", teremos um sistema onde a pressão interna não vai a zero a cada vez que o "ventrículo" está se enchendo, oscilando entre o máximo (pressão sistólica) e o mínimo pouco abaixo (pressão diastólica).

Sugestão 2: Síntese de proteínas e ácidos nucleicos (Capítulo 5)

Esta atividade está voltada para as funções celulares relacionadas à síntese de proteínas e tem por objetivo permitir aos estudantes integrar vários conteúdos de Biologia. De nada adianta eles saberem as etapas da síntese proteica se não conseguirem compreender por que o fenótipo depende do genótipo (além da influência do ambiente). Por este motivo, elaboramos um conjunto de questões que podem auxiliá-lo(a) na exploração desses temas junto aos estudantes.

A construção desse conhecimento sobre um tema complexo, como o da síntese de proteínas dificilmente será atingida sem que esse estudo tenha um significado para os estudantes. Por isso, um dos recursos que podem ser utilizados é relacioná-lo a uma situação do cotidiano que pode instigá-los, sensibilizando-os para o estudo do tema

a) Observe rótulos de refrigerantes *light* ou de gelatinas em pó *diet*. Reproduza em seu caderno todas as informações relacionadas tanto à composição quanto às quantidades de nutrientes que constam desses rótulos. Você encontrou a expressão "Contém fenilalanina"?

b) Faça uma pesquisa sobre essa substância, suas implicações para a vida das pessoas, explicando também por que essa expressão deve vir destacada nos rótulos desses alimentos.

Sugira aos estudantes que façam a pesquisa no *site* da Federação Nacional das APAEs (disponível em: <http://www.apaebrasil.org.br/>, acesso em: abril 2016) e/ou em postos de saúde e/ou maternidades.

As questões a seguir compõem uma sequência de raciocínio que os estudantes precisam percorrer para compreender a síntese proteica. Elas envolvem a verificação do que pensam sobre as possibilidades que podem levar à não fabricação de uma proteína que, no caso, tem a função de uma enzima. Antes de apresentar a síntese proteica, seria interessante saber que representação os estudantes têm sobre a relação entre genes, DNA e proteínas, assim como a ideia, ainda simplificada, de mutação. Esses conceitos, mesmo que superficiais, são necessários para compreender o problema proposto a partir dos rótulos de alimentos. Caso você note problemas na aprendizagem, retome esses conteúdos, que serão ampliados mais tarde. Liste todas as situações apresentadas que, ao longo dos estudos, devem ser revistas.

c) Explique o que é uma enzima e qual é a importância dessas substâncias para o organismo.

d) Monte uma frase curta relacionando as palavras: "doença", "fenilcetonúria", "aminoácido" e "enzima". Grife essas palavras na frase.

e) Levante uma hipótese que possa explicar o aparecimento dessa doença. Justifique sua resposta.

Após a construção das relações entre os conceitos de gene e proteína, é o momento de apresentar os mecanismos celulares que levam à formação de proteínas. Como esse conteúdo é complexo, convide os estudantes a explorar as imagens e o texto do livro. Faça essa exploração juntamente com eles, como sugerido a seguir.

f) Vamos estudar como se formam as proteínas. Para isso, precisamos entender vários processos. Um deles é a transcrição do RNAm e a formação de ribossomos. Para entendermos o processo de transcrição, abram o livro na página que aborda esse processo, analisem e descrevam o que está acontecendo.

g) O que a RNA polimerase faz durante a transcrição do RNAm?

h) Passem para a página em que é abordado o ribossomo. O que é essa estrutura e de qual processo ela participa? De quais substâncias químicas o ribossomo é constituído? Onde se forma o ribossomo?

i) Que relações vocês fazem entre transcrição, ribossomos e síntese proteica?

j) Analisem passo a passo a figura que mostra no livro a síntese proteica. Observem e descrevam esse processo.

k) Observem no livro a tabela do código genético e façam uma pesquisa, no livro, vinculando as informações entre essa tabela e a síntese proteica.

Para finalizar o tema, volte à questão inicial que levou a esse estudo. As questões a seguir têm esse objetivo, de modo que é importante retomar o assunto do rótulo, da doença fenilcetonúria e avaliar se os estudantes fizeram as correlações de maneira adequada. Você pode iniciar o fechamento comentando que são conhecidas mais de 500 mutações diferentes responsáveis pela doença chamada fenilcetonúria. O que isso quer dizer? Para compreender melhor essa questão, faça as reflexões orientadas pelas perguntas.

l) O que são mutações genéticas? Explique sua resposta.

m) Por que uma mutação pode causar a fenilcetonúria?

Se achar oportuno, monte com a turma modelos de RNAm, ribossomos, RNAt, aminoácidos e simulem em classe a síntese proteica para finalizar tudo o que foi visto e discutido. Introduza uma mutação para trabalhar tanto o fato de o código genético ser degenerado quanto o fato de a mutação alterar o códon e o aminoácido correspondente.

Respostas esperadas:

a) Resposta pessoal. Discuta a resposta, que deve ser positiva, ouvindo os estudantes e listando os produtos consultados.

b) A fenilalanina, um aminoácido constituinte de proteínas presente nos alimentos, normalmente é metabolizada por uma enzima hepática, a fenilalanina hidroxilase. Porém, se ocorre a deficiência total ou parcial dessa enzima por causa de uma doença genética chamada de fenilcetonúria, o aminoácido fenilalanina não é metabolizado. Essa doença caracteriza-se pela presença de um alelo defeituoso (no cromossomo 12) que não permite a utilização desse tipo de substância proveniente da alimentação (o aminoácido fenilalanina), dada a deficiência da enzima. Com isso, essa substância acumula-se no organismo causando vários problemas, incluindo deficiência mental acentuada. Mas, se descoberta a tempo pelo "teste do pezinho" na maternidade, a criança terá desenvolvimento normal se tiver uma dieta especial, pobre em fenilalanina, iniciada precocemente e acompanhada de orientação de nutricionista e pediatra, evitando assim as lesões neurológicas irreversíveis. Não se deve consumir, por exemplo, os refrigerantes *light* e outros produtos que a contenham, daí a importância da informação no rótulo dos alimentos. Embora o tratamento deva ser feito ao longo da vida, após a adolescência pode ser um pouco menos restrito. A incidência da doença no Brasil é de 1 em cada 12 500 nascimentos.

c) O tema enzimas consta do volume 1 desta coleção. Assim, procure relembrar os estudantes o que são enzimas: proteínas que desempenham funções biológicas importantes, pois aumentam a velocidade das reações químicas que, sem elas, seriam pouco espontâneas e muito lentas.

d) Resposta pessoal. Um exemplo: "A doença fenilcetonúria é causada pela falta de uma enzima metabolizadora (que faz uso em reações químicas) do aminoácido fenilalanina que, assim, se acumula no organismo, podendo levar ao retardamento mental".

e) Resposta pessoal.

f) Um filamento de RNAm (RNA mensageiro) é formado; ele possui íntrons e éxons; os íntrons são removidos e forma-se o RNAm maduro, que passa para o citoplasma, saindo do núcleo.

g) A RNA polimerase é uma enzima que promove a transcrição do DNA para o RNA. É representada por um círculo que se posiciona na molécula de DNA (que está no núcleo da célula) antes do início do gene do eucarionte. Veremos a transcrição quando ela se deslocar ao longo do filamento de DNA que forma o gene. Assim, uma cópia desse gene é feita com um único filamento de DNA.

h) Embora neste volume os ribossomos estejam apresentados, uma discussão mais detalhada sobre eles foi feita no volume 1 desta coleção. Assim, seria importante você retomar isso com os estudantes.

i) Resposta pessoal. A discussão na classe deve estabelecer as seguintes relações: para que haja síntese proteica, isto é, a construção da proteína, há a necessidade de formação dos ribossomos, estruturas onde ocorre a síntese. Também há a necessidade de que ocorra a transcrição na forma de um RNAm, ou seja, de que se faça uma cópia do gene onde estão codificadas as informações que comandam essa síntese.

j) Primeiro o aminoácido "Met" (hexágono amarelo) ligado a um RNAt (azul) que contém a informação UAC parece "procurar" o códon de iniciação AUG do RNAm onde se liga, ocupando o sítio P do ribossomo (representado em rosa). Outro RNAt, trazendo outro aminoácido (representado por um quadrado amarelo), chega e ocupa o sítio A da porção maior do ribossomo que fica do lado direito do sítio P. Nesse momento, o RNAt que chegou primeiro se solta e sai, mas deixa o aminoácido hexágono "Met" ligado ao aminoácido quadrado que acabou de ser trazido pelo outro RNAt que, devido ao deslocamento do ribossomo, agora ocupa o sítio P no ribossomo, deixando vago o sítio A. Isso acontece outra vez, agora com um RNAt trazendo um aminoácido representado por um triângulo amarelo que ocupa o sítio A, que acabou de ser desocupado. Percebe-se que esses procedimentos se repetem até aparecer um conjunto de aminoácidos, formando uma cadeia deles, onde o primeiro é o "Met". Na fase de terminação vemos que as estruturas (cadeia de aminoácidos — o polipeptídeo —, as duas partes que compõem o ribossomo e o RNAm) se separam, ficando dispersas no citoplasma.

k) Resposta pessoal. Garanta que as explicações da síntese proteica se relacionem com o código genético, o código das trincas de bases nitrogenadas, pelas quais os aminoácidos que devem compor determinada proteína são indicados. Peça aos estudantes que chequem a qual aminoácido cada trinca está identificada, no DNA ou no RNAm. Use o aminoácido "Met" da figura como referência.

l) São alterações na sequência de bases nitrogenadas do DNA. Podem ocorrer quando na duplicação do DNA há a substituição incorreta de uma base nitrogenada e, assim, o códon produzido poderá ser outro e o aminoácido colocado na proteína também poderá ser outro, o que pode mudar completamente a proteína e, consequentemente, a sua atividade.

m) Porque uma mutação pode alterar o gene que controla a produção da proteína fenilalanina hidroxilase, uma enzima que, nesta condição alterada, deixa de ter a sua função: metabolizar o aminoácido fenilalanina que entra em nosso organismo pelos alimentos ingeridos e, assim, passa a acumular-se, causando prejuízos ao corpo.

Sugestão 3: Síntese de RNA e código genético (Capítulo 5)

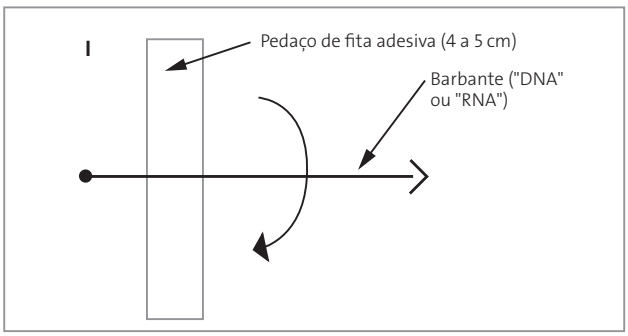
A partir da atividade proposta, esperamos que os estudantes se familiarizem com os processos de transcrição e de tradução. De início, é fundamental que eles percebam que um gene corresponde a uma determinada sequência de bases nitrogenadas ao longo de uma das cadeias do DNA passível de ser transcrita num determinado RNAm; e que vai haver apenas uma sequência possível de aminoácidos no polipeptídeo formado a partir desse RNAm. Esse fato deve-se à rígida complementaridade entre as cadeias de ácidos nucleicos, resultado de afinidades químicas muito específicas entre as bases (adenina com timina ou uracila; citosina com guanina). Não consideramos pertinente discutir casos de certos procariontes em que uma mesma sequência de bases nitrogenadas do DNA codifica mais do que um tipo de proteína. Vamos nos restringir aos eucariontes que seguem a regra de que cada gene codifica um polipeptídeo.

O conceito de gene trabalhado neste livro é o mais simplificado; hoje se sabe que nem todas as sequências de bases nitrogenadas do DNA dos eucariontes são traduzidas. Considera-se que os genes são formados por **íntrons** (sequências que são transcritas, mas não traduzidas) e por **éxons** (sequências que são transcritas e traduzidas). Assim, falaremos apenas de éxons.

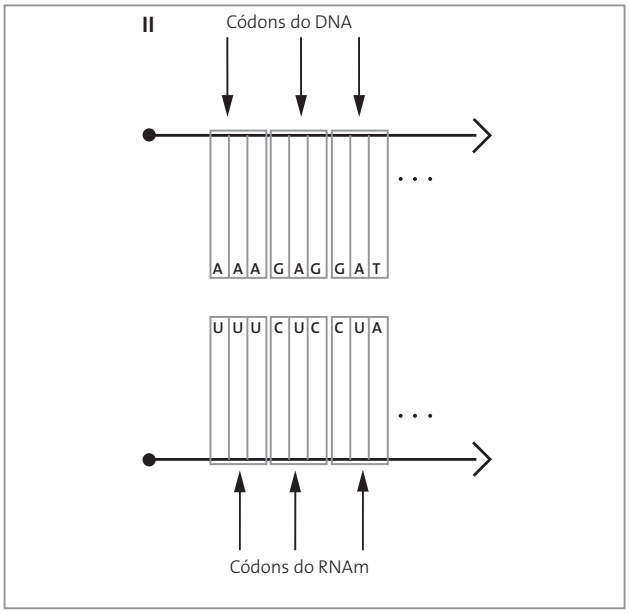
Inicialmente, será necessário produzir a representação de uma das cadeias do DNA: aquela que contém o gene que será transcrito.

Vamos fazer uma representação plana de apenas um pequeno trecho da molécula de DNA.

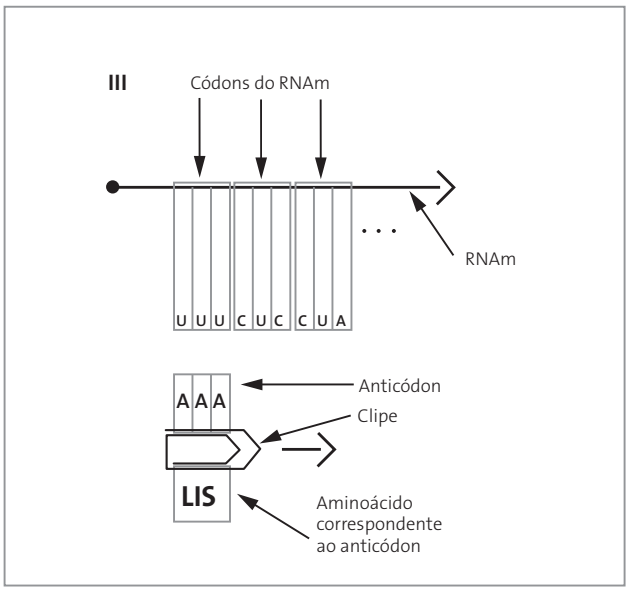
Cada grupo de estudantes precisará de fio de barbante fino, fita adesiva opaca e rugosa (fita crepe), clipes de papel tamanho médio e tesoura sem ponta. Eles deverão esticar sobre a mesa o barbante e colar uma tira curta de fita adesiva (4 a 5 cm de comprimento) próximo a uma das extremidades do barbante e dobrá-la sobre si mesma, unindo as faces com adesivo; essa unidade irá representar o primeiro trio de nucleotídeos do DNA, identificado por suas três bases nitrogenadas (letras escritas na fita adesiva com lápis ou caneta). Ao longo do fio deverão ser aplicadas 20 unidades dessas (cada uma com três bases correspondendo a um códon), uma bem junto da outra, como se fossem bandeirolas em um fio. Veja os esquemas a seguir:



Preparação de um códon na cadeia de ácido nucleico.



Emparelhamento dos códons do RNAm com os respectivos códons do DNA (formação de RNAm ou transcrição).



Acoplamento dos RNAt nos códons do RNAm.

Para explicar esta atividade usaremos uma seleção de trincas apenas como sugestão, mas os grupos podem optar por outras seleções de trincas ordenadas de acordo com o que decidirem, o que até enriquece a discussão com a classe. Os códons podem ser escolhidos com base na tabela do código genético apresentada no capítulo. Também por simplificação, não nos preocuparemos com a região promotora da transcrição, que corresponde a uma sequência especial de bases nitrogenadas do DNA em que a molécula de RNA polimerase irá se ligar para iniciar a transcrição, nem com a sequência de término da transcrição. Vamos orientar os estudantes a construir um DNA deixando o códon de iniciação na quarta posição e o de terminação na última.

Pode-se montar a cadeia de DNA com a seguinte sequência hipotética:

GAT CCA TCG AAC TAC TAG CAA GCA CTA TGG CGA GAT CCT CCC ATT GAA AGA TTA

Depois de pronta, a peça deverá ser esticada e fixada com fita crepe horizontalmente sobre a mesa. Note que não vamos nos preocupar com a questão da orientação 5'– 3' do acoplamento de nucleotídeos. Os estudantes deverão observar os códons do DNA, da esquerda para a direita, até encontrar TAC, que é o que transcreverá o códon de iniciação AUG no RNAm. A seguir, contarão os códons até encontrarem o de parada, que no caso é ATT.

DNA (**5'**) GAT CCA TCG AAC **TAC** TAG CAA GCA CTA TGG CGA GAT CCT GGG **ATT** GAA AGA TTA (**3'**)

Incluindo este último códon e desconsiderando os códons hipotéticos da região promotora da transcrição, os estudantes verificarão que há 11 trios que serão transcritos para formar a molécula de RNAm, cuja sequência será:

RNAm (**3'**) **AUG AUC GUU CGU GAU ACC GCU CUA GGA CCC UAA** (**5'**)

A partir dessa informação, deverão montar, usando a mesma técnica com o barbante e a fita crepe, uma cadeia de RNAm representada por um fio com 11 bandeirolas; e cada bandeirola deve ser escrito o códon de RNAm correspondente. Colocando essa peça paralela com a que representa o DNA, eles deverão checar o perfeito alinhamento dos códons de DNA com os de RNA e a correspondência das bases (A com U, T com A, C com G e G com C). Se tiverem o cuidado de manter regular a justaposição ou a distância entre as bandeirolas, o alinhamento naturalmente será perfeito.

DNA (**5'**) GAT CCA TCG AAC **TAC TAG CAA GCA CTA TGG CGA GAT CCT GGG ATT** GAA AGA TTA (3')

RNAm (**3'**) **AUG AUC GUU CGU GAU ACC GCU CUA GGA CCC UAA** (**5'**)

Depois que emparelharem com o trecho do DNA, pedir que afastem o RNAm de modo que ele fique livre para o próximo passo da atividade.

O passo seguinte é preparar as peças que representarão os RNA transportadores com seus anticódons e respectivos aminoácidos associados. Para isso, basta dobrar duas tiras curtas de fita adesiva nos dois lados de um clipe para papéis (observe novamente a figura III).

Uma vez estabelecidos os códons de 1 a 10 do RNAm e usando a tabela do código genético que está no capítulo, os grupos deverão definir os anticódons dos RNAt correspondentes e seus respectivos aminoácidos.

Cada par anticódon/aminoácido é representado por uma das dez peças que deverão ser construídas.

A 11ª peça deve ser o fator de liberação, a ser acoplada no último trio de bases, que não será traduzido em aminoácido.

Essa peça pode ser feita com cartolina, de modo a encaixar no sítio **P** do ribossomo, que pode ser construído também com cartolina, recortando-se o formato dessa organela de acordo com a figura mostrada no texto do capítulo.

Depois de recortado o ribossomo, desenha-se com caneta ou lápis o contorno dos sítios **A** e **P**. O tamanho do ribossomo e desses contornos devem ser estimados com base nos modelos feitos para o RNAm e o RNAt. O próximo passo é passar o ribossomo sobre o RNAm e ir encaixando no sítio **A** o RNAt equivalente seguindo os passos descritos no capítulo. A proteína que corresponde ao fator de liberação pode ser feita também com cartolina e encaixada no sítio **A** quando o ribossomo chegar ao códon UAA, finalizando a síntese do peptídeo.

Os estudantes poderão ver as peças de RNAt que se "encaixam" perfeitamente nos códons de RNAm, alinhando-as com as bandeirolas correspondentes da peça que representa essa molécula:

RNAt (**5'**) **UAG UAC CAA GCA CUA UGG CGA CUA CCU GGG UAA** (**3'**)

Aminoácidos Met Ile Val Arg Asp Tre Ala Leu Gly Pro

Feito isso, terão determinado a sequência de aminoácidos do polipeptídeo que seria sintetizado a partir da cadeia de DNA proposta na atividade. É importante frisar que os polipeptídeos são moléculas grandes formadas por muitos aminoácidos e que a atividade desenvolvida foi feita com pequeno número somente para exemplificar o processo.

Cabe a você, professor(a), fazê-los notar que, dada a sequência de bases do gene, foi produzido o único polipeptídeo possível. Dependendo do interesse da turma, a atividade poderá ser adaptada para que os estudantes percebam o acentuado efeito da remoção (ou inserção) de um nucleotídeo do gene na estrutura do polipeptídeo formado. Por exemplo, a segunda adenina do terceiro códon pode ser suprimida:

DNA (**5'**) GAT CCA TCG AAC TAC TAG CA**[ ]** GCA CTA TGG CGA GAT CCT GGG ATT GAA AGA TTA (**3'**)

Feito isso, redefinem-se os códons, passando-se à seguinte sequência:

DNA (**5'**) GAT CCA TCG AAC TAC TAG CAG CAC TAT GGC GAG ATC CTG GGA TTG AAA GAT TA (**3'**)

Neste caso, a sequência de códons no RNAm será diferente, inclusive menor, já que terá se constituído um códon de parada de transcrição – ATC – antes do que seria o ponto de parada original:

RNAm (**3'**) AUG AUC GUC CUG AUA

(**5'**) CCG CUC

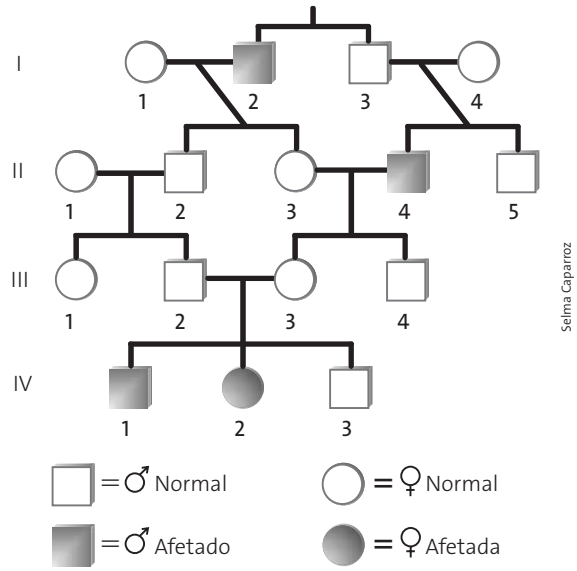
A sequência de aminoácidos do polipeptídeo passará a ser:

Aminoácidos Met Ile Val Val Ile Pro Leu

Analogamente, os estudantes poderão remover (ou acrescentar) códons inteiros, verificando o tipo de impacto sobre a estrutura do polipeptídeo formado.

Sugestão 4: Interpretando heredograma e calculando probabilidade (Capítulo 6)

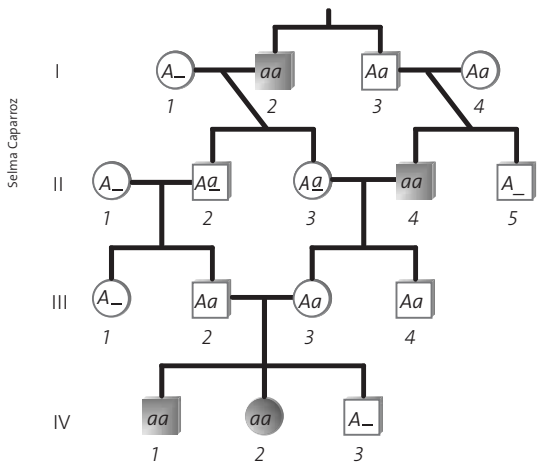
Com base no heredograma a seguir, calcule a probabilidade de o indivíduo II-5 ser portador do alelo recessivo que condiciona o caráter em estudo (afetado):



Selma Caparroz

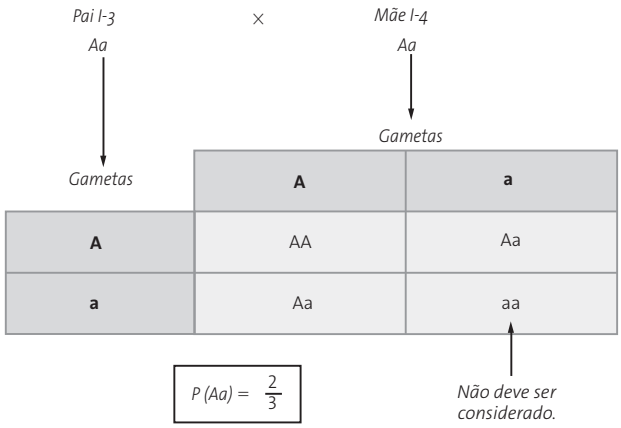
Resposta esperada:

Sendo o fenótipo determinado por um alelo recessivo, que chamaremos **a**, os genótipos dos indivíduos dessa genealogia são:



Selma Caparroz

A probabilidade de o indivíduo II-5 ser portador de alelo a, ou seja, a probabilidade de ele ser heterozigótico é $\frac{2}{3}$, pois:



Trata-se de outro caso de probabilidade condicional, pois já se conhece o fenótipo do indivíduo e sabe-se que ele não é afetado. Assim, desconsideramos o genótipo **aa**, que determina fenótipo afetado. Então, o espaço amostral é composto dos genótipos **AA** e **Aa**, sendo que **Aa** ocorre duas vezes. Como desejamos saber a probabilidade de ele ser **Aa**, verificamos que há duas possibilidades em três, ou seja, $\frac{2}{3}$.

A probabilidade de II-5 ser heterozigótico é $\frac{2}{3}$.

Sugestão 5: Probabilidade condicional (Capítulo 6)

Em algumas vezes, os problemas de Genética procuram pedir a probabilidade de ocorrer certo fenótipo na descendência de pais cujos genótipos não podem ser estabelecidos com certeza, sabendo-se apenas qual a probabilidade de os pais serem homozigóticos ou heterozigóticos. Como exemplo, vamos analisar o seguinte problema:

Em carneiros, a lã preta ocorre devido ao alelo recessivo **p**, e a lã branca, ao alelo dominante **P**. Um carneiro branco é cruzado com uma ovelha branca, ambos portadores do alelo para lã preta. Desse cruzamento surgiu um carneirinho branco que, por sua vez, é retrocruzado com a ovelha genitora.

a) Qual a probabilidade de esse carneirinho ser heterozigótico?

b) Qual a probabilidade de o descendente do retrocruzamento ser preto?

Respostas esperadas:

a) O cruzamento é entre indivíduos heterozigóticos (conforme os dados do problema) e desse cruzamento nasce um carneirinho branco. Vamos esquematizar o cruzamento:

$$Pp \times Pp$$

$$\underbrace{\frac{1}{4}\ PP\ :\ \frac{2}{4}\ Pp}_{\frac{3}{4}\ \text{branco}}\ :\ \underbrace{\frac{1}{4}\ pp}_{\frac{1}{4}\ \text{Preto}}$$

O problema pede a probabilidade de o carneirinho branco ser heterozigótico. Como já foi estabelecida uma condição: o **carneirinho é branco**, este é um caso de probabilidade condicional. Se ele é branco, só pode ser **PP** ou **Pp**, na proporção de 1 PP : 2 Pp.

Assim:

A probabilidade de o carneirinho ser heterozigótico é $\frac{2}{3}$.

b) Este é o outro caso de probabilidade a que nos referimos. Não sabemos ao certo se o carneirinho branco é homo ou heterozigótico. Sabemos apenas que a chance de ele ser heterozigótico é $\frac{2}{3}$ e a de ser homozigótico é $\frac{1}{3}$. Esse carneirinho é retrocruzado com a ovelha genitora, que com certeza é heterozigótica, dado fornecido no problema. Para que desse cruzamento nasça um filhote preto e, portanto, homozigótico recessivo **pp**, o carneirinho branco precisa ser heterozigótico. Se ele for homozigótico, não existe a possibilidade de nascer um filhote preto. Sendo heterozigótico, a probabilidade de nascer um filhote preto é $\frac{1}{4}$.

Neste caso, o cálculo da probabilidade é feito do seguinte modo:

P (carneirinho ser Pp) × P (ovelha genitora ser Pp) × P (filhote ser Pp)

$\frac{2}{3} \times 1 \times \frac{1}{4}$

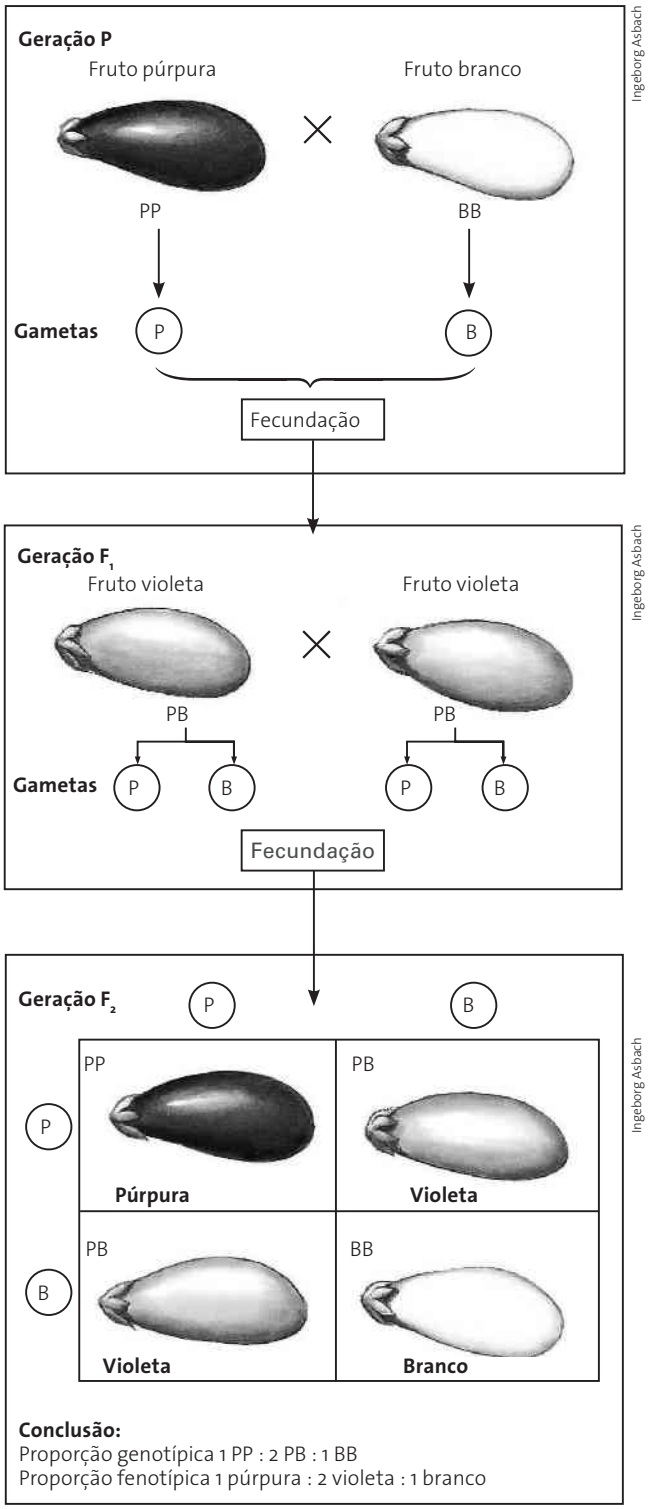
$\frac{2}{12} = \frac{1}{6}$

A probabilidade é $\frac{1}{6}$.

Sugestão 6: Herança da cor do fruto da berinjela (Capítulo 6)

Observe o cruzamento esquematizado nesta página.

Na geração parental, as plantas homozogóticas (**PP**) que produzem berinjelas púrpuras foram cruzadas com plantas homozigóticas (**BB**) que produzem berinjelas brancas. Desses cruzamentos surgem apenas frutos de cor violeta, que correspondem à geração F_1: todos são heterozigóticos (PB). O plantio das sementes desses frutos gera plantas PB que, cruzadas entre si, originam $\frac{1}{4}$ de frutos de cor púrpura, $\frac{1}{2}$ de cor violeta e $\frac{1}{4}$ de cor branca.



Esquemas de cruzamento entre plantas de berinjelas em que se está considerando apenas a característica cor do fruto.

Fonte: PIERCE, B. A. *Genética:* um enfoque conceitual. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan. 2004. p. 56.

Sugestão 7: Genótipo e fenótipo (Capítulo 6)

Em exercícios de genética geralmente não é considerada a influência do meio na manifestação do fenótipo e, assim, um genótipo corresponderá a certo fenótipo. No entanto, é importante ressaltar que o genótipo estabelece uma escala fenotípica dentro de certos limites e o meio determinará em qual ponto dessa escala o fenótipo se manifestará. Analise a situação a seguir.

Um agricultor pretendia obter plantas de hortênsia com flores róseas, mas todas as que plantava produziam flores azuis. Seu vizinho, no entanto, possuía uma plantação de hortênsias somente com flores róseas. Ele, então, solicitou ao vizinho uma muda dessas hortênsias, plantando-as em seu terreno. Mesmo assim, as flores que dela surgiram foram todas azuis e não róseas.

Intrigado, ele deu ao seu vizinho uma muda de hortênsia de sua plantação que tinha flores azuis, e pediu que fosse plantada junto às demais plantas do terreno do vizinho. Essa muda produziu flores róseas.

O agricultor procurou, então, um geneticista, expondo-lhe a situação. Este explicou-lhe que a cor da flor em hortênsias é determinada geneticamente, porém depende da acidez do solo: solos alcalinos produzem flores róseas e solos ácidos, flores azuis. O geneticista disse também que se o agricultor trabalhou com mudas, dele ou do vizinho, as plantas usadas possuíam o mesmo material genético.

a) O exemplo dado se refere à própria definição de fenótipo. Qual é essa definição?

b) Qual a solução que o agricultor deveria adotar para que em seu terreno as hortênsias já plantadas passassem a produzir flores róseas?

Respostas esperadas:

a) Fenótipo = genes + ambiente.

b) Tornar o solo mais alcalino, como o de seu vizinho.

Sugestão 8: Probabilidades (Capítulo 6)

Por meio desta atividade, espera-se que os educandos percebam que o número de observações é crucial quando se comparam as probabilidades esperadas para determinados eventos com as frequências realmente obtidas na experimentação. É sabido que, ainda que a expectativa de nascimento de meninos seja 50% e a de meninas também, são inúmeras as famílias que têm, por exemplo, 4 filhos ou 4 filhas (isto é, 100% de um só sexo). A questão é: se um casal tivesse não 4 mas muitos filhos, 20, por exemplo, seria igualmente provável que fossem todos de um só sexo?

Os estudantes deverão atentar que quanto maior o número de observações, mais confiáveis serão as probabilidades calculadas com base nelas. Para trabalharmos com probabilidade, vamos usar moedas.

Cada grupo trabalhará com uma moeda.

Inicialmente, os integrantes do grupo, em sequência, lançarão repetidamente a moeda até que se completem 100 lances. A cada lance, um dos estudantes registrará o resultado. O motivo de todos participarem igualmente do processo é evitar algum tipo de vício que um dos estudantes poderia ter na maneira de lançar, o qual poderia produzir um viés nos resultados.

Terminada a sequência de 100 lances, o grupo deverá segmentá-la em 10 blocos de 10 lances cada, localizados um logo após o outro na sequência original, indicando a proporção cara/caroa. Segue um exemplo de resultado (1 = cara; 2 = coroa), referentes a 10 baterias de 10 lances cada.

Baterias	Cara/Coroa	Baterias	Cara/Coroa
1121212212	5/5	2122112222	3/7
1222221222	2/8	1221112211	6/4
2122211212	4/6	2112212111	6/4
1122111221	6/4	2221121222	3/7
1111211222	6/4	2212111121	6/4

Vamos supor que alguém se dispusesse a fazer apenas a primeira amostra, com 10 lances. Note que, na primeira bateria de lances, o resultado obtido (razão cara/coroa = 1) foi exatamente como seria esperado, mas será um resultado confiável? Será que "deu certo" por acaso? Se qualquer um dos outros nove resultados tivesse sido obtido em primeiro lugar, a razão entre os números obtidos de caras e os números correspondentes de coroas teriam sido bem discrepantes de 1.

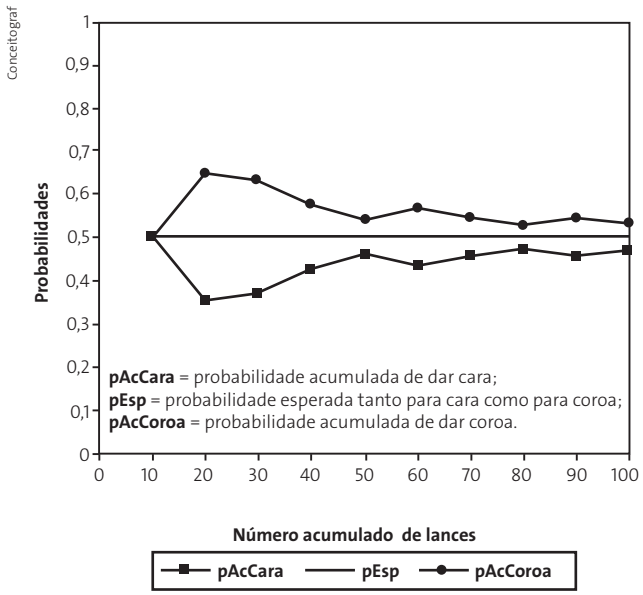
Esse primeiro resultado mostra que a confiabilidade na estimativa da proporção entre número de caras e número de coroas por meio de amostras (baterias) de tamanho 10 (são 10 lances em cada uma) é bastante baixa, já que os desvios em relação ao esperado (razão = 1) podem ser bem grandes.

O passo seguinte é combinar os resultados das diversas baterias, simulando um cenário em que se considerará o resultado como se fosse de uma só bateria, mas cujo tamanho varia de 10 lances a 100 lances de 10 em 10. Para isso, calculamos as probabilidades de cara e de coroa de modo acumulativo, ou seja: a primeira bateria neste novo enfoque será igual à primeira anterior; a segunda será a combinação das duas primeiras anteriores; a terceira será a combinação das três primeiras anteriores, e assim por diante. Na página seguinte, mostramos um exemplo de como pode ficar a tabela de resultados.

Transformando essas contagens em probabilidades (basta dividir os números de caras e de coroas pelo número total de lances acumulados, e registrando essas probabilidades em um gráfico, os estudantes perceberão que, ao aumentar o número acumulado de observações, as probabilidades tendem a convergir para os valores esperados.

Baterias	Cara/Coroa
1121212212 —	5/5
1121212212 1222221222 —	7/13
1121212212 1222221222 2122211212 —	11/19
1121212212 1222221222 2122211212 1122111221 —	17/23
1121212212 1222221222 2122211212 1122111221 1111211222 —	23/27
1121212212 1222221222 2122211212 1122111221 1111211222 2122112222 —	26/34
1121212212 1222221222 2122211212 1122111221 1111211222 2122112222 1221112211 —	32/38
1121212212 1222221222 2122211212 1122111221 1111211222 2122112222 1221112211 2112212111 —	38/42
1121212212 1222221222 2122211212 1122111221 1111211222 2122112222 1221112211 2112212111 2221121222 —	41/49
1121212212 1222221222 2122211212 1122111221 1111211222 2122112222 1221112211 2112212111 2221121222 2212111121 —	47/53

O gráfico que eles construirão, neste caso, deverá ser semelhante ao que apresentamos abaixo.



A convergência que mencionamos anteriormente se verifica no gráfico acima: as distâncias entre as curvas referentes a caras e coroas, em relação à linha que representa o esperado – os chamados desvios – vão se reduzindo com o aumento no tamanho da amostra.

É importante também fazer com que os estudantes notem que acima de um certo número de observações já não vale a pena aumentar mais o esforço, pois o resultado já terá praticamente estabilizado. Pelo gráfico das probabilidades de cara e de coroa em função do número acumulado de lances, parece que a partir de 50 ou 60 lances os desvios são menores e, portanto, a repetitividade dos resultados é maior (e daí a confiabilidade deles também é maior). Podemos, então, considerar entre 50 e 60 o tamanho mínimo amostral, ou número mínimo de observações que se precisa fazer para obter um resultado bom sobre a proporção de caras e coroas ao se lançar a moeda.

Não cabe aqui introduzir técnicas de análise estatística, mas é bom informar aos estudantes que existem meios matemáticos não só para determinar qual é o tamanho amostral mínimo necessário para estimar uma certa probabilidade com a confiabilidade desejada, como também para avaliar se os desvios em relação ao resultado esperado devem ser considerados irrelevantes (e, então, conclui-se que o esperado se verificou na prática, estatisticamente) ou se eles são grandes demais para serem casuais (neste caso, conclui-se que o esperado não se verificou na prática – no caso da moeda, isso indicaria que ou a peça está viciada ou o lançador está de alguma forma aumentando a chance de dar determinada face).

Finalmente, você, professor(a), pode fazer um balanço geral da classe, somando todos os números totais de caras e de coroas dos grupos, a fim de verificar se o resultado obtido dessa forma é mais próximo de 50% cara e 50% coroa do que cada um dos resultados por grupo em separado.

Um experimento análogo poderia ser proposto aos estudantes visitando diversas casas de pessoas com filhos e perguntando quantos desses filhos são do sexo masculino e quantos são do sexo feminino. Aí, cada filho corresponderia a um lance da moeda, e cada família seria uma bateria de lances. Apenas não seria possível contar com igual número de observações nas diversas baterias (desde que consideremos que as chances de se ter meninos e de se ter meninas são as mesmas em todas as famílias, isso não teria importância ao se calcularem os números acumulados).

Sugestão 9: Alelo letal (Capítulo 6)

Na idiotia amaurótica juvenil, as crianças são normais até cerca de 6 anos. Subsequentemente, ocorre declínio progressivo no desenvolvimento mental, perda de visão progredindo até a cegueira e degeneração muscular, culminando em morte geralmente antes dos 20 anos. O caráter pode aparecer em famílias cujos genitores sejam completamente normais. Maria e João, ambos com 25 anos, são primos em primeiro grau e planejam se casar.

Os dois tiveram irmãos que morreram dessa anomalia. Neste ponto não sabemos nada mais sobre os genótipos dessas pessoas.

a) Qual é a probabilidade de que Maria e João sejam heterozigóticos?

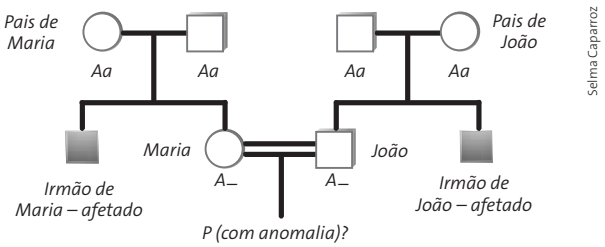
b) Com base em sua resposta ao item *a*, o que você lhes diria quanto ao risco de terem um descendente com essa anomalia?

c) Os heterozigotos podem ser detectados por exame de sangue, uma vez que apresentam um aumento na vacuolização dos linfócitos. Caso tal teste mostre que ambos são, na verdade, heterozigóticos, o que você diria quanto à probabilidade de terem um descendente afetado?

Respostas esperadas:

Trata-se de um caso de alelo letal, com manifestação tardia, e recessivo, uma vez que pais normais têm filhos com a anomalia.

Vamos montar a genealogia dessa família com base nos dados do problema.



Selma Caparroz

a) Maria e João tiveram irmãos portadores da anomalia; logo, seus pais eram heterozigóticos. Assim:

A probabilidade de cada um ser heterozigótico é $\frac{2}{3}$.

b) Para terem um descendente afetado, Maria e João precisariam ser heterozigóticos. A probabilidade de cada um deles ser heterozigótico é $\frac{2}{3}$, e uma vez sendo heterozigóticos, a probabilidade de terem um descendente doente (homozigoto recessivo) é $\frac{1}{4}$. Neste caso, calcula-se a probabilidade do seguinte modo:

$$\underset{\text{ser Aa)}}{P\text{ (Maria}} \quad \underset{\text{ser Aa)}}{P\text{ (João}} \quad \underset{\text{ser Aa)}}{P\text{ (descendente}}$$

$$\frac{2}{3} \times \frac{2}{3} \times \frac{1}{4} = \frac{1}{9}$$

A probabilidade de o casal ter um descendente doente é $\frac{1}{9}$.

c) Como já se sabe que são heterozigóticos, calcula-se diretamente a probabilidade de terem um descendente afetado:

$$\underset{Aa}{Maria} \times \underset{Aa}{João}$$

$$\downarrow$$

$$\frac{1}{4}AA : \frac{2}{4}Aa : \frac{1}{4}aa$$

Logo:

A probabilidade de terem um descendente afetado é $\frac{1}{4}$.

Sugestão 10: Alelos múltiplos (Capítulo 6)

Um exemplo de característica cuja herança se deve a alelos múltiplos é a cor dos élitros (asas anteriores mais endurecidas e fortes que protegem as asas posteriores membranosas) em certa espécie de besouro. Nela, os élitros podem ser azuis, verdes ou turquesa, cores determinadas por três alelos com a seguinte relação de dominância:

Alelo **A** → determina cor azul e é dominante sobre os demais;

Alelo **V** → determina cor verde e é dominante apenas sobre o alelo para a cor turquesa;

Alelo **t** → determina cor turquesa e é recessivo em relação aos demais.

Qual é a proporção fenotípica e genotípica nos descendentes do cruzamento entre besouros com élitros azuis de genótipo **At** e besouros com élitros verdes de genótipo **Vt**?

Resposta esperada:

A proporção fenotípica na prole será 2 com élitros azuis : 1 com élitros verdes : 1 com élitros turquesa.

Élitros azuis
At

×

Élitros verdes
Vt

↓

Gametas

↓

Gametas

	V	t
A	AV élitros azuis	At élitros azuis
t	Vt élitros verdes	tt élitros turquesa

Sugestão 11: Pelagem em cavalos (Capítulo 6)

Em cavalos, podemos distinguir três tipos de pelagem:

- palomino: pelos amarelos dourados;
- castanho: pelos marrom;
- cremello: pelos claros, quase brancos.

Foram realizados cruzamentos com diferentes cavalos e os resultados estão listados abaixo:

Cruzamento	Prole
palomino × palomino	14 palominos, 7 castanhos, 6 cremellos
castanho × castanho	20 castanhos
cremello × cremello	13 cremellos
palomino × castanho	11 palominos, 10 castanhos
palomino × cremello	9 palominos, 9 cremellos
castanho × cremello	15 palominos

a) Qual é o padrão de herança da cor da pelagem em cavalos? Justifique sua resposta.

b) Crie símbolos para os alelos que determinam os fenótipos palomino, castanho e cremello e indique o genótipo dos parentais dos cruzamentos realizados.

Respostas esperadas:

a) Trata-se de um caso de ausência de dominância, pois o fenótipo intermediário é um fenótipo novo e não a soma dos fenótipos dos pais. Esse caso é semelhante ao descrito no capítulo para a herança da flor de *Mirabilis jalapa* e difere do que foi descrito para a herança da pelagem em gado da raça *shorthorn*.

b) Vamos chamar de M o alelo que determina pelo marrom e de B o alelo para pelo branco. Os cavalos castanhos são MM, os cavalos cremellos são BB e os palominos, MB.

Sugestão 12: Pelagem em camundongos (Capítulo 6)

Em uma espécie de camundongos, pelo menos cinco alelos já foram identificados como responsáveis pela determinação da cor da pelagem. Vamos chamá-los: $\mathbf{A^a}$, $\mathbf{A^{L+}}$, $\mathbf{A^+}$, $\mathbf{A^c}$, **a**. Observe na tabela a seguir os fenótipos condicionados por esses alelos, já apresentados em ordem decrescente de dominância:

Alelos	Fenótipo da pelagem
A^a (letal quando em homozigose)	Amarela
A^{L+}	Aguti com mancha branca no ventre
A^+	Aguti
A^c	Castanha
a	Preta

Para os cruzamentos a seguir, dê as proporções genotípicas e fenotípicas esperadas:

a) $A^aA^+ \times A^aA^c$;

b) $A^{aa} \times A^+a$.

Respostas esperadas:

a) Proporções fenotípicas: $\frac{2}{3}$ amarelo; $\frac{1}{3}$ aguti

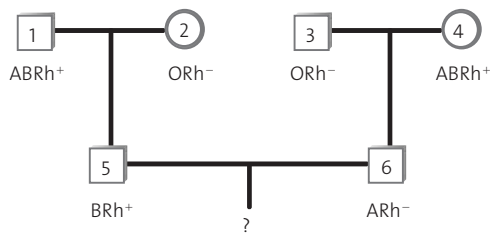
	A^a	A^c
A^a	A^aA^a (morrem)	$\frac{1}{3}\frac{1}{3}$ A^aA^c (amarelo)
A^+	$\frac{1}{3}\frac{1}{3}$ A^aA^+ (amarelo)	$\frac{1}{3}\frac{1}{3}$ A^+A^c (aguti)

b) Proporções fenotípicas: $\frac{2}{4}$ amarelo; $\frac{1}{4}$ aguti; $\frac{1}{4}$ preto

	Aa	a
A^+	$\frac{1}{4}\frac{1}{4}$ AaA+ (amarelo)	$\frac{1}{4}\frac{1}{4}$ A+a (aguti)
a	$\frac{1}{4}\frac{1}{4}$ Aaa (amarelo)	$\frac{1}{4}\frac{1}{4}$ aa (preto)

Sugestão 13: A herança dos grupos sanguíneos (Capítulo7)

(Unicamp-SP) Com base no heredograma a seguir, responda:



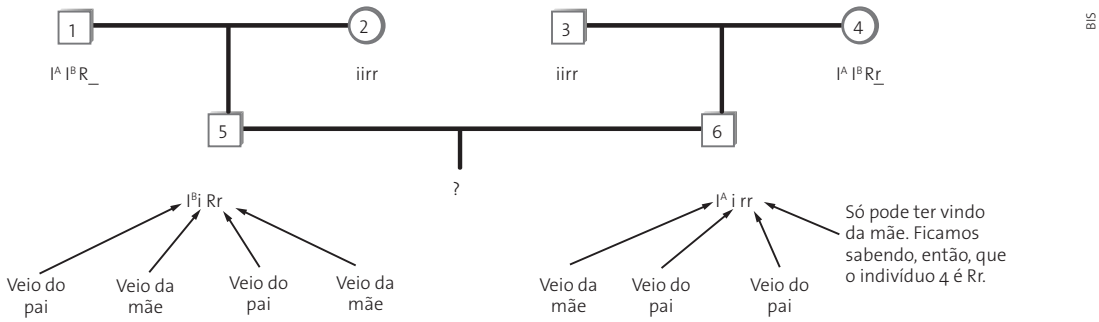
BIS

a) Qual a probabilidade de o casal formado por 5 e 6 ter duas crianças com sangue ABRh+?

b) Se o casal em questão já tiver uma criança com sangue ABRh+, qual a probabilidade de ter outra com os mesmos fenótipos sanguíneos?

Respostas esperadas:

Vamos colocar os possíveis genótipos na genealogia:



BIS

a) P (casal 5 e 6 ter uma criança $ABRh^+$) = P (AB) × P (Rh^+).

Vamos analisar os sistemas ABO e Rh separadamente (segunda lei de Mendel):

Sistema ABO

$I^Bi \times I^Ai$

$\boxed{\frac{1}{4}\ I^AI^B}$: $\frac{1}{4}\ I^Bi$: $\frac{1}{4}\ I^Ai$: $\frac{1}{4}$ ii

Sistema Rh

Rr × rr

$\boxed{\frac{1}{2}\ Rr}$: $\frac{1}{2}$ rr

Assim:

$P(ABRh^+) = P(AB) \times P(Rh+)$

$\frac{1}{4} \times \frac{1}{2} = \frac{1}{8}$

$P(ABRh^+) = \frac{1}{8}$ ⟶ Probabilidade de uma criança ser $ABRh^+$. O problema pede duas crianças com esse fenótipo.

$P(ABRh^+ \text{ e } ABRh^+) =$

$= P(ABRh^+) \times P(ABRh^+)$

$\frac{1}{8} \times \frac{1}{8} = \frac{1}{64}$

A resposta é $\boxed{\frac{1}{64}}$.

b) A probabilidade de cada um de seus filhos ser $ABRh^+$ é sempre a mesma, ou seja, $\frac{1}{8}$.

Sugestão 14: Como diferenciar ligação gênica de segregação independente (Capítulo 7)

Nos camundongos, o alelo recessivo **e** produz pelos encrespados, e seu alelo dominante **E** produz pelos normais. Em outro par de alelos, o recessivo **a** condiciona fenótipo albino, enquanto o dominante **A** condiciona fenótipo selvagem. A geração F_1 obtida do cruzamento **EEAA × eeaa** foi submetida ao cruzamento-teste e produziu os seguintes descendentes em F_2: 160 filhotes com pelos normais e albinos; 160 com pelos encrespados e selvagens; 40 com pelos normais e selvagens; 40 com pelos encrespados e albinos. Explique esses resultados e calcule a frequência dos gametas do di-híbrido.

Resposta esperada:

Se esses pares de alelos estivessem em diferentes pares de cromossomos homólogos (segunda lei), deveríamos ter obtido 25% de cada fenótipo em F_2. Como isso não ocorreu, trata-se de um caso de ligação gênica em que houve permutação. Os gametas formados pelo di-híbrido e suas respectivas porcentagens são fornecidos diretamente pela porcentagem fenotípica obtida em F_2. Assim, escrevemos os gametas do birrecessivo (pois temos certeza de que são todos **ea**) e completamos os pares de alelos com base nos fenótipos:

160 pelos normais e albinos → $\underline{E}e\underline{a}a$

160 pelos encrespados e selvagens → $\underline{e}e\underline{A}a$

40 pelos normais e selvagens → $\underline{E}e\underline{A}a$

40 pelos encrespados e albinos → $\underline{e}e\underline{a}a$

Total: 400

Os gametas formados pelo di-híbrido são:

160 Ea

160 eA

40 EA

40 ea

O cálculo da porcentagem de cada tipo de gameta é feito por simples regra de três:

Total de gametas: 400 — 100%

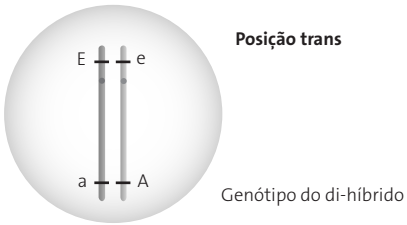
Nº de gametas Ea: 160 — ×

$$\times = \frac{160 \times 100}{400} = 40\%$$

Repetindo o mesmo raciocínio para os demais gametas, obtemos:

40% Ea : 40% eA : 10% EA : 10% ea.

Os gametas **Ea** e **eA** ocorreram em maior porcentagem; logo, eles são os parentais. Portanto, esses alelos estavam em posição **trans** nas células que entraram em meiose:



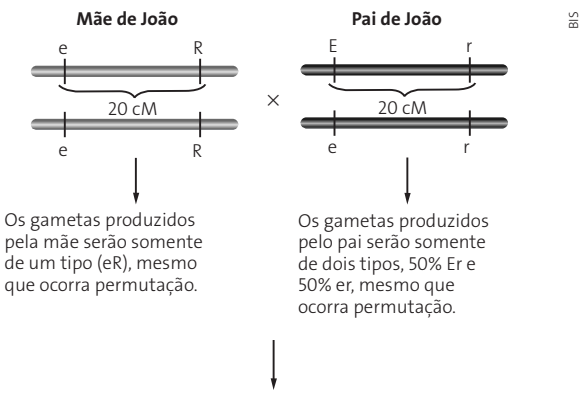
Selma Caparroz

Trata-se de um caso de genes ligados em posição **trans**.

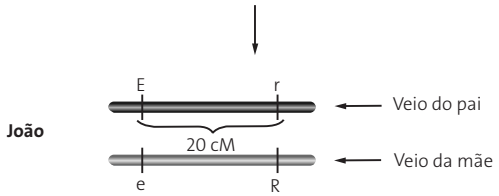
Sugestão 15: Os mapas cromossômicos (Capítulo 7)

Nos indivíduos do grupo sanguíneo Rh^+, há um antígeno na superfície das hemácias produzido pelo alelo dominante R; o fenótipo Rh^- é produzido pelo alelo recessivo **r**. Os eritrócitos (ou hemácias) de forma oval (eliptocitose ou ovalocitose) são determinados pelo alelo dominante **E**; seu alelo recessivo **e** produz hemácias normais. Ambos os genes estão ligados com uma distância de 20 unidades de recombinação. João, portador de eliptocitose, cuja mãe possuía eritrócitos normais e um genótipo homozigótico Rh^+ e cujo pai era Rh^- e heterozigótico para eliptocitose, casa-se com Márcia, que é Rh^-, com hemácias normais. Qual é a probabilidade de seu primeiro descendente ser Rh^- e eliptocitótico?

Resposta esperada:



BIS



BIS

Logo, esses genes estão em posição trans no filho.
O problema pede:

João ♂EeRr × **Márcia** ♀eerr

	Gametas de João	Gametas de Márcia
		100% er
80% parentais	**40% Er**	40% Eerr
	40% eR	40% eeRr
20% recombinantes	**10% ER**	10% EeRr
	10% er	10% eerr

P (E_rr) = 40%

Sugestão 16: Cálculo das proporções entre as classes fenotípicas (Capítulo 8)

Considere que no milho a altura da planta seja um caso de herança quantitativa envolvendo quatro pares de alelos. Os indivíduos de 100 cm de altura têm genótipo aabbccdd e os indivíduos com 260 cm de altura têm genótipo AABBCCDD. Quais serão a altura e os respectivos genótipos dos descendentes do seguinte cruzamento: aabbccdd × AABBCCDD?

Resposta esperada:

100 cm → aabbccdd → altura mínima

260 cm → AABBCCDD → altura máxima

Cada alelo representado com letra maiúscula (alelo efetivo) contribui para uma parcela igual de aumento, acima da altura mínima da planta. A diferença entre a altura mínima e a máxima é de 160 cm. Como a altura máxima é determinada por oito alelos efetivos, cada um deles contribui com 20 cm a mais sobre a altura mínima (160 cm: 8 = 20 cm).

P: aabbccdd × AABBCCDD

$\mathbf{F_1}$: AaBbCcDd

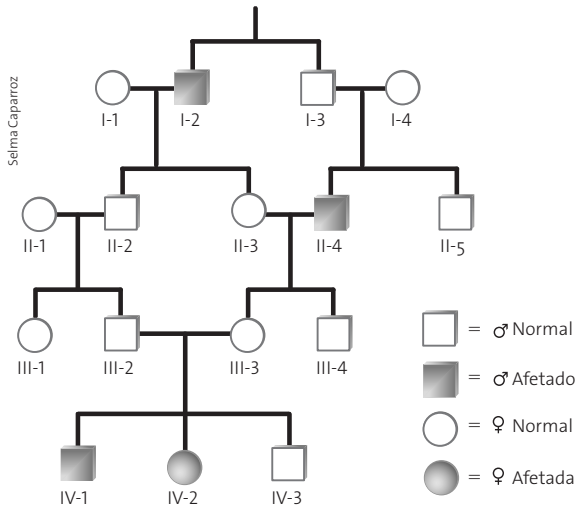
Quatro alelos efetivos adicionam 80 cm à altura mínima da planta. Logo:

O fenótipo dos indivíduos de F_1 será 180 cm de altura.

O genótipo será AaBbCcDd.

Sugestão 17: Caso de herança autossômica ou caso de herança relacionada com o sexo? (Capítulo 8)

(Fuvest-SP) Com base no heredograma seguinte, um estudante concluiu que o caráter em estudo é condicionado por um alelo recessivo ligado ao sexo. Certo ou errado? Justifique.



Resposta esperada:

Errado, pois no cruzamento entre III-2 e III-3 os indivíduos são normais e tiveram uma filha (IV-2) afetada.

Se fosse um caso de alelo recessivo ligado ao sexo, isso não poderia ocorrer, porque para ser afetada a filha precisaria receber um alelo recessivo do pai e um da mãe, localizados no cromossomo **X**. O pai (III-2) só tem um X e, portanto, é este que fornece à filha.

Nos homens os alelos recessivos ligados ao sexo manifestam-se em hemizigose ($\mathbf{X^aY}$ manifesta o fenótipo **a**). Como o pai é normal, ele não poderia fornecer à filha o cromossomo **X** com o alelo recessivo. Assim, o caráter em estudo é um caso de herança autossômica.

Chegando a essa conclusão, o próximo passo é saber se o fenótipo afetado é determinado por alelo dominante ou recessivo. Para obter essa informação basta analisar o cruzamento entre indivíduos de mesmo fenótipo que tenham pelo menos um descendente com fenótipo diferente. Este será o recessivo, e seus pais serão, com certeza, heterozigóticos. Os cruzamentos que confirmam essas informações são:

I-3 × I-4 dando II-4; e III-2 × III-3 dando IV-1 e IV-2.

Sugestão 18: Cruzamento entre espécies distintas (Capítulo 10)

O cavalo e a égua pertencem à espécie *Equus caballus* e possuem 2n = 64 cromossomos, incluindo 36 autossomos acrocêntricos. O jumento (jegue ou asno) pertence à espécie *Equus asinus* e possui 2n = 62 cromossomos, incluindo 22 cromossomos acrocêntricos. Com base nessas informações, responda:

a) Quantos cromossomos estarão presentes em cada gameta do cavalo? Quantos deles serão acrocêntricos?
b) Quantos cromossomos estarão presentes em cada gameta do jumento? Quantos deles serão acrocêntricos?
c) A mula é um híbrido formado pelo acasalamento entre indivíduos dessas duas espécies de equinos. Qual a constituição diploide das células da mula e quantos desses cromossomos são acrocêntricos?
d) Por que as mulas são geralmente estéreis, ou seja, não são capazes de produzir gametas viáveis?

Respostas esperadas:

a) Cada gameta terá 32 cromossomos, dos quais 18 serão acrocêntricos.
b) Cada gameta terá 31 cromossomos, dos quais 11 serão acrocêntricos.
c) Cada célula da mula tem 63 cromossomos, dos quais 19 são acrocêntricos.
d) A meiose é anômala, pois não há número par de cromossomos na célula somática e, consequentemente, não há emparelhamento dos homólogos na meiose.

12. Indagação científica

As atividades aqui apresentadas foram especialmente elaboradas para você, professor(a), desenvolver com os estudantes habilidades científicas por meio da ferramenta "Ciclos de indagação". Tal como representado na figura abaixo, em cada ciclo, há uma pergunta seguida da ação e depois da reflexão sobre os resultados — ao tentar responder a uma indagação inicial, geralmente surgem novas perguntas que podem iniciar novos ciclos.



BIS

Em nossas indagações, as perguntas abordam temas que podem não estar diretamente relacionados com os assuntos tratados em aula no momento da execução. Isso não tem importância, pois a intenção é fazer o estudante exercitar uma técnica de produção de conhecimento, ou seja, uma forma de fazer ciência independentemente do tema. Antes de iniciarmos as propostas de indagação, é importante discutir um pouco com os educandos cada uma de suas fases, o que permitirá construir algumas bases conceituais importantes para a formulação das indagações.

Os mais diversos conceitos biológicos podem ser atrelados às *Indagações científicas*, pois serão pano de fundo para o desenvolvimento de um conjunto de habilidades voltadas à construção do conhecimento científico.

As habilidades que podem ser trabalhadas na *Indagação científica* são muito diversificadas. Em uma conferência entre especialistas (Grandy & Duschl, 2007), foram levantadas as seguintes habilidades que podem ser desenvolvidas com essa abordagem:

1. formular, refinar e avaliar perguntas;
2. desenhar, refinar e interpretar experimentos;
3. fazer observações;
4. coletar, representar e analisar dados;
5. relacionar dados com hipóteses, modelos ou teorias;
6. formular hipóteses;
7. aprender e refinar teorias e modelos;
8. comparar diferentes teorias ou modelos com os dados;
9. dar argumentos prós e contras modelos e teorias;
10. apresentar explicações;
11. comparar modelos alternativos;
12. fazer predições;
13. registrar, organizar e discutir dados;
14. discutir e explicar teorias e modelos;
15. escrever e ler sobre dados, teorias e modelos.

Dependendo do objetivo, você, professor(a), poderá enfatizar mais esta ou aquela habilidade. Uma vez expostos os objetivos, é fundamental que você e os estudantes compreendam as etapas envolvidas na *Indagação científica*, pois cada uma possui suas exigências. Dois protocolos de indagação por volume estão prontos para serem aplicados. Você também pode se sentir livre para gerar uma nova *Indagação científica*, respeitando as etapas Pergunta → Ação → Reflexão.

PERGUNTA

O primeiro passo da *Indagação científica* consiste na formulação de uma pergunta. Todo o processo de investigação parte de um conjunto de curiosidades, experiências e conceitos que chamaremos aqui de *inquietude*.

Os seres humanos são inerentemente curiosos: invariavelmente, observamos nosso entorno, procurando reconhecer padrões, ou seja, situações não aleatórias que tendem a se repetir. O contato com a natureza leva à curiosidade e à tentativade de explicar aquilo que está à nossa volta; quando não temos uma explicação satisfatória, sentimos uma espécie de inquietude, que nos faz buscar uma série de conceitos ou experiências anteriores que consideramos relacionados com o que queremos entender. Esse conjunto de conceitos prévios nos dá o contexto da indagação e se constitui como base sobre a qual serão incorporados os novos conceitos a serem aprendidos. Temos, assim, os chamados marcos conceituais. Em nossas indagações, o contexto e os marcos conceituais serão abordados ao descrevermos a inquietude.

Para que a *Indagação científica* tenha condições de ser realizada com sucesso, a pergunta deve obrigatoriamente ser:

Respondível

As perguntas devem ser construídas de modo que uma resposta precisa possa ser alcançada. Toda pergunta é válida, mas para ser respondida através do

ciclo de indagação existem perguntas mais adequadas que outras. Perguntas que incluem, por exemplo, *Como? Quantos?* e *Como varia?* são respondíveis, pois envolvem medir características bióticase/ou abióticas do ambiente em questão. Perguntas feitas com *Por quê?* não são respondíveis de modo direto com essa proposta, porque geralmente requerem experimentos controlados, desenhados para estabelecer relações de causa e efeito — a resposta não está baseada na observação direta em campo, exigindo manipulação de fatores.

Comparativa

A pergunta ideal deve resgatar na inquietude um fator de comparação que se apresente em diferentes estados. A quantidade de observações em cada grupo é o número de casos. Por exemplo, tomemos o fator sexo, com dois estados possíveis: masculino e feminino. Se pretendemos investigar as alturas do corpo, definimos *a priori* dois grupos – homens e mulheres (que são os dois estados do fator em questão).

Cada homem ou mulher é um caso, pois fornecerá um (e apenas um) valor da variável altura. Assim, comparam-se as alturas de homens com as alturas de mulheres.

Perguntas que não são comparativas não oferecem boa base para chegar ao(s) marco(s) conceitual(is) ou para levantar hipóteses caso se queira estender o âmbito da investigação.

Sedutora

Para a pergunta ser sedutora, a resposta não deve ser óbvia ou já conhecida, ou exigir um esforço exagerado para ser obtida.

Simples e direta

A pergunta deve ser simples, evitando terminologia científica formal. A utilização de uma linguagem simples e cotidiana é recomendável para estimular o envolvimento de todos com a investigação. Materiais simples e de fácil acesso são mais indicados e igualmente capazes de proporcionar investigações científicas precisas e elaboradas. A assimilação da terminologia científica formal deve ocorrer na reflexão como parte do processo de aprendizagem. Assim, o vocabulário deve diversificar-se como consequência, e não como precursor da investigação. Além disso, sendo direta, a pergunta não exige esclarecimentos adicionais para ser plenamente entendida.

A pergunta deve ser *respondível*, *comparativa*, *sedutora* e *simples*, apresentando em si mesma aquilo que será medido (variável), o que será comparado, onde e, se necessário, quando.

AÇÃO

Esta etapa envolve, primeiro, o planejamento de como obter as informações necessárias para responder à pergunta; é aí que se define o desenho amostral ou experimental, bem como os procedimentos e o âmbito espacial e temporal da indagação (**domínio**).

Os estudantes possuem papel ativo nesta fase, pois as informações, muitas vezes inesperadas, serão obtidas por eles mesmos. Uma vez que os resultados forem obtidos, será preciso organizá-los, resumi-los e apresentá-los. Esse segundo passo da ação deve ser muito trabalhado com os estudantes, pois é fundamental para a interpretação das informações obtidas e para facilitar a comunicação delas a outras pessoas. Vale ressaltar que em qualquer *Indagação científica*, mesmo naquelas sugeridas nesta seção, as informações obtidas são sempre inéditas, de modo que professor(a) e estudantes produzem um novo conhecimento a partir de dados únicos.

A ação é uma etapa crucial, pois é nela que se definem o desenho amostral ou experimental, bem como os procedimentos para que se efetuem observações válidas. Nessa fase, a sua participação, professor(a), é importante para ajudar os educandos quanto aos métodos de coleta e análise dos dados.

Uma noção importante e nova para os estudantes é a de *variabilidade*. Normalmente existe a cultura de comparar valores médios de alguma variável em duas categorias distintas, mas sem considerar a variação entre os valores que entraram na constituição de cada média. A variabilidade entre os casos para certa variável pode ser calculada numericamente através da grandeza chamada variância, mas não pretendemos trabalhar diretamente com esse conceito matemático.

Uma vez disponíveis, os dados precisam ser organizados, resumidos e apresentados.

Como exemplo, apresente aos estudantes uma situação simulada de comparação de dois grupos de pessoas.

A pergunta é: "Há diferença entre a altura dos homens e das mulheres na classe, atualmente?".

Estamos *comparando dois grupos* de pessoas, um formado por homens e outro, por mulheres; o *fator de comparação* é o que distingue os grupos, ou seja, o sexo; a variável em questão é a altura do corpo; cada indivíduo que terá sua altura medida é um caso.

Quanto à ação, há dois caminhos: um deles é medir a altura de todos os estudantes da classe (domínio), separar as medidas em dois grupos e calcular a média em cada grupo. De posse das duas médias, a pergunta pode ser imediatamente respondida com segurança (inclusive permitindo saber *qual a diferença*, se houver).

Outro caminho é trabalhar com amostragem ao acaso de certo número de homens e de mulheres (escolhidos

por sorteio), usando também aqui as médias. Como dessa forma nem todos os estudantes da classe serão medidos, surgirá certa insegurança com relação à resposta: "Será que, se tivéssemos medido todo mundo, a resposta seria a mesma?". Em estudos científicos, é nesse ponto que entra a chamada estatística.

A análise estatística permite avaliar a probabilidade de a resposta obtida por amostragem ser diferente da que se teria observando todos os casos possíveis. Na maioria das vezes, as análises estatísticas levam em conta um novo aspecto: a variação entre as medidas (casos) dentro de cada grupo ou *variabilidade*.

REFLEXÃO

Você, professor(a), e os estudantes deverão participar ativamente desta etapa decisiva. Estimule todos a refletir acerca do processo da investigação.

A reflexão de todos deve ser como uma ponte, ligando a resposta da pergunta com o contexto da indagação e comos conteúdos já conhecidos; nessa hora, buscar novas informações em fontes confiáveis pode ser muito importante para uma reflexão mais rica e instrutiva tal como fazem os pesquisadores.

Resumidamente, você, professor(a), deve incentivar os estudantes a refletir a respeito de:

Qual foi a resposta para a pergunta inicial?

A ação tal como planejada foi necessária e suficiente para conduzir a uma resposta consistente para a pergunta proposta?

Que possíveis fatores podem ter influenciado a obtenção desta resposta?

Neste momento, é preciso que os educandos extrapolem a resposta. Por meio da própria investigação, além de conceitos e experiências prévias, é interessante que reflitam sobre possíveis elementos físicos e biológicos que estão por trás da resposta. Levantar hipóteses que possam melhor explicar a resposta, por sua vez, levam à compreensão de diferentes situações e fenômenos biológicos associados aos resultados práticos.

E se...?

A resposta obtida poderia ser diferente em outras situações (outros métodos, outros domínios)? Refletir sobre isso é fundamental para avaliar se os padrões observados podem ser atribuídos a situações hipotéticas novas.

A resposta obtida pode trazer aplicações?

Através da reflexão, a *Indagação científica* pode fornecer embasamento lógico e científico para proposição de atitudes ou hábitos. Essas sugestões de aplicação geralmente ocorrem quando a investigação possui ligação com práticas humanas ou ambientes associados ao ser humano. É a investigação subsidiando a cidadania.

Referências:

ARANGO N.; CHAVES, M. E.; FEINSINGER, P. (2009). *Principios y práctica de la enseñanza de ecologia en el patio de la escuela*. Instituto de Ecología y Biodiversidad – Fundación Senda Darwin, Santiago, Chile. 136 pp.

GRANDY, R.; DUSCHL, R. A. (2007). Reconsidering the character and role of inquiry in school science: analysis of a conference. *Science & Education* (2007) 16: 141-166.

FEINSINGER, P. (2001). *Designing field studies for biodiversity conversation*. Island Press. 212 p.

Para estender seu conhecimento sobre as *Indagações científicas* e aprofundar seu domínio sobre a ferramenta "Ciclos de Indagação", sugerimos baixar o manual na íntegra, em formato PDF. Faça uma busca na rede com o título "Guía Metodológica para la Enseñanza de la ecología en el patio de la escuela" (em espanhol) ou use o endereço eletrônico a seguir:

<http://www.sendadarwin.cl/espanol/wp-content/uploads/2010/01/ensenanza-de-la-ecologia-en-el-patio-de-la-escuela-eepe1.pdf>

Acesso em: mar. 2016.

Vamos agora iniciar as propostas de indagação deste volume, que deverão ser propostas aos estudantes.

Indagação 1: Aquecimento físico e frequência cardíaca

INQUIETUDE

Durante a prática de atividades físicas, o corpo humano necessita de maior oxigenação do que no repouso. Há aumento da frequência cardíaca, o que faz o sangue circular mais rápido. A frequência cardíaca tende a acompanhar a necessidade do corpo, sendo maior em atividades de maior esforço.

O aquecimento físico é uma prática comum para maximizar a eficiência fisiológica do corpo ao realizar trabalho. Se o trabalho físico é eficiente, espera-se que o tempo para que a frequência cardíaca volte ao estado normal do corpo em repouso seja mais curto.

Assim, esse tempo pode variar entre atividade física sem exercícios prévios de aquecimento e com eles.

PERGUNTA

Comparando esforço físico em duas condições:

a) onde o esforço é precedido de exercícios de aquecimento e;

b) onde o mesmo esforço não é precedido de exercícios de aquecimento, como varia o tempo necessário para que um estudante, após o término do esforço, a frequência cardíaca retorne ao valor medido com o corpo em repouso, antes do aquecimento ou esforço?

Note, professor(a), que a pergunta é simples, direta, respondível, sedutora e comparativa. Observe que na formulação estão explícitos o fator (fazer ou não aquecimento prévio), uma variável (tempo) e o caso (um estudante).

AÇÃO

Para responder à pergunta, os estudantes devem ser divididos em grupos que realizarão as atividades e medições. Para realização deste experimento é fundamental que você e seus educandos se associem ao(a) professor(a) de Educação Física. O exercício de aquecimento que será utilizado no experimento deve ser indicado pelo(a) professor(a) de Educação Física. Além do exercício de aquecimento, é necessário também pedir a indicação de um exercício de esforço que será a etapa comum entre as situações com e sem aquecimento prévio.

Cada grupo deve ter 12 integrantes divididos em duplas. Um integrante de cada dupla, desde que considerado apto pelo(a) professor(a) de Educação Física, fará a atividade física, enquanto o outro fará a medição e o registro das frequências cardíacas do colega. O desenho experimental para cada equipe está representado a seguir:

Para medir a frequência cardíaca é preciso localizar um ponto sensível onde é possível sentir o fluxo de sangue. A lateral do pescoço, abaixo da mandíbula, é um bom local para medição.

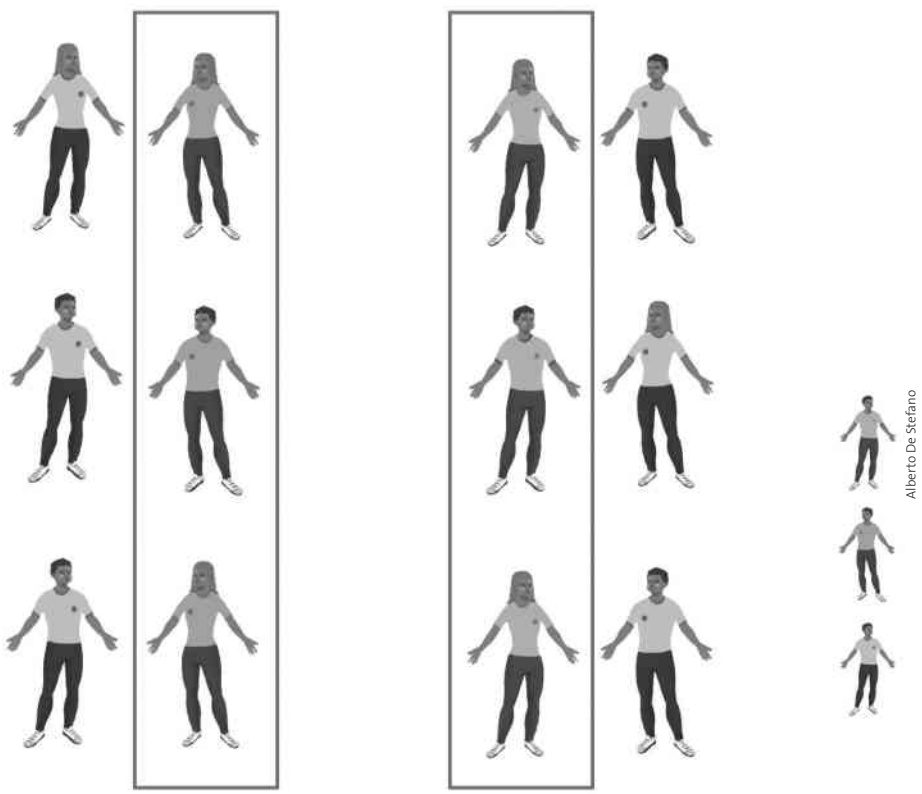
O estudante responsável por medir e registrar os dados deve colocar dois dedos sobre a lateral do pescoço do colega que realizará o exercício até sentir a pulsação.

O tempo de referência para a frequência cardíaca (FC) é de um minuto, assim uma FC de 75 corresponde a 75 batimentos por minuto. Praticar várias vezes este procedimento é fundamental antes de iniciar o experimento.

O início do experimento deve ser de repouso absoluto para os seis estudantes que farão os exercícios. Por cinco minutos, eles deverão ficar sentados ou deitados. Ao fim do tempo de repouso, com o estudante ainda sentado, a frequência cardíaca de cada um deverá ser medida e anotada.

Três estudantes deverão fazer o aquecimento indicado pelo(a) professor(a) de Educação Física. Logo após o aquecimento, eles deverão realizar o exercício de esforço durante o tempo indicado. Os outros três estudantes realizarão a atividade física de esforço sem terem feito o aquecimento antes.

A frequência cardíaca deverá ser medida e registrada no primeiro minuto imediatamente após o fim do exercício, com os estudantes sentados e, a partir daí, a cada minuto. Para isso será usado um relógio ou cronômetro, contando-se os números de batimentos a cada minuto e, no final, quantos minutos foram necessários para a frequência cardíaca voltar ao valor de repouso (medição inicial).



Alberto De Stefano

Os estudantes deverão preencher a tabela com os dados obtidos e depois construir um gráfico com as médias em função do tempo de recuperação (em minutos).

FC	Com aquecimento				Sem aquecimento			
	1	2	3	Média	1	2	3	Média
Repouso								
1 min.								
2 min.								
3 min.								
4 min.								
*								
Tempo total para voltar a FC de repouso								

* Incluir quantos minutos forem necessários para voltar à FC de repouso.

REFLEXÃO

Os dados devem ser interpretados a fim de responder à pergunta inicial. É muito importante que os estudantes se apoiem nas informações que eles mesmos obtiveram para chegar a uma resposta. Eles devem observar as médias e também os valores individuais para interpretar os resultados. O foco da reflexão deve ser a variação da frequência cardíaca ao longo do tempo de recuperação.

Uma vez respondida a pergunta, você, professor(a), deve auxiliá-los a refletir sobre possíveis fatores responsáveis pelos resultados observados. Eles devem refletir se há fatores, além do aquecimento, que expliquem as semelhanças e diferenças observadas na variação da frequência cardíaca. Conceitos prévios devem ser resgatados para ajudar neste momento. O esforço do corpo humano em condições de baixos níveis de oxigênio (hipóxia), metabolismo anaeróbio, dores, cansaço e produção (e acumulação) de ácido lático são exemplos de temas importantes a serem discutidos. A importância do aquecimento antes de uma atividade física deve aparecer na reflexão como forma de preparar o corpo para o fornecimento de "combustível" e oxigênio para os tecidos (circulação e respiração). Também é válido levantar novas hipóteses, além de propor novos experimentos, para compreender os fenômenos fisiológicos que estão por trás do observado (novos ciclos de indagação).

Finalmente, é interessante que os estudantes também pensem como seriam os resultados em outros contextos (diferentes exercícios e situações). Aproveite para frisar o aquecimento como hábito necessário.

OUTROS ASPECTOS

A Indagação e as mídias digitais

Uma atividade como esta pode ser apresentada na feira de ciências da escola, se houver, e também divulgada com auxílio das mídias digitais. Um exemplo disso seria a produção de uma página da internet com incentivo à prática dos exercícios de aquecimento e suas vantagens para o organismo, tanto do atleta quanto do praticante eventual de atividades físicas.

Para a produção da página, a turma pode pesquisar outras informações sobre a fisiologia do exercício e do aquecimento. Pode também entrevistar um(a) médico(a) da área ou um(a) professor(a) de Educação Física e gravar este material em vídeo, disponibilizando-o na respectiva página. Até mesmo alguns exercícios de aquecimento podem ser executados e gravados em vídeo pelos estudantes; oriente a turma a fazer as atividades sob a orientação do(a) professor(a) daquela disciplina e dar dicas de como executá-las corretamente.

Marcos conceituais (conceitos envolvidos)

- Homeostase: ajuste fisiológico dinâmico à variação nas condições do organismo.

- A frequência cardíaca como variável fisiológica importante na homeostase.
- Papel do aquecimento físico na regulação prévia do sistema cardiorrespiratório.

Habilidades e competências envolvidas

- Refletir de forma multidisciplinar, envolvendo diferentes áreas do saber na compreensão de fenômenos biológicos.
- Medir e analisar a frequência cardíaca de uma pessoa.
- Utilizar gráficos para organizar e interpretar resultados.
- Interpretar valores e conjuntos de valores como dados que representam processos e fenômenos biológicos.
- Executar experimentos como forma científica de abordar um problema.
- Utilizar base lógica e prática para construção de hipóteses científicas.

Indagação 2: Superpopulação é problema?

INQUIETUDE

Os seres vivos desenvolvem-se à custa de recursos (alimento, água, nutrientes minerais etc.) que retiram do meio. Se os recursos são finitos, então os organismos devem sofrer algum tipo de insuficiência quando se encontram em grande número de indivíduos, em um meio com escassez de recursos.

Plantas, como o feijão, são seres autótrofos fotossintetizantes que utilizam água e nutrientes do solo e CO_2 do ar, além de absorver energia luminosa. Chamamos de "recurso" tudo aquilo que, uma vez utilizado por um organismo, já não está mais disponível para outro, como os componentes água, nutrientes, CO_2 e luz. Espera-se que a escassez de recursos por indivíduo, mesmo que seja de um dos recursos essenciais apenas, pode exercer um papel limitante ou limitador do desenvolvimento de cada planta individualmente, expresso pelo ganho de biomassa. Para uma quantidade inicial de certo recurso no ambiente, esperaríamos efeito limitante por indivíduo em situações com uma quantidade numérica maior de indivíduos, ou seja, maior densidade populacional.

PERGUNTA

Há diferença no peso de pés de feijão, medido 20 dias após a semeadura em vasos onde foram inicialmente plantadas 5, 10, 20, 40 e 60 sementes?

AÇÃO

Para cada grupo serão necessários os seguintes materiais:

- 5 vasos com aproximadamente 10 cm de altura e 10 cm de diâmetro, perfurados no fundo;
- terra suficiente para encher os 5 vasos;
- 135 sementes de feijão comum;
- recipiente para medir volume de 20 ml de água;
- peneira para peneirar o solo (malha até 2 mm);
- 5 sacos plásticos de 10 a 20 litros;
- Fita adesiva de papel (fita crepe);
- Barbante ou elástico para fechar sacos plásticos;
- Caneta ou marcador permanente.

O grau de desenvolvimento médio individual (variável) será expresso pela biomassa úmida medida em gramas no momento da coleta dos pés de cada vaso, no 20º dia após o plantio.

O peso total dos pés de feijão de cada vaso deverá ser dividido pelo número correspondente de pés de feijão, fornecendo a biomassa úmida média por indivíduo do vaso. Dessa forma, cada vaso é um caso, fornecendo um valor da variável.

Como são vários grupos na classe, cada tratamento (número inicial de sementes plantadas) contará com várias réplicas – e a pergunta só será adequadamente respondida com base no trabalho de todos os grupos da classe. Neste experimento, não há um controle propriamente dito (ele poderia ser um vaso com o espaçamento entre sementes considerado adequado nas plantações – uma planta a cada 10 cm ao longo das linhas de plantio, com 50 cm entre elas).

A figura a seguir apresenta o desenho experimental para cada grupo na classe:



Alberto De Stefano

Desenho experimental, mostrando os cinco vasos com as sementes de feijão, para cada um dos grupos da classe.

Nesta indagação, o fator de comparação é o número de indivíduos por vaso, apresentando-se em 5 estados possíveis – 5, 10, 20, 40 e 60.

O procedimento é simples, os vasos deverão ser preparados e tratados de forma idêntica ao longo de 20 dias.

A terra deve ser bem misturada e peneirada, desfazendo os torrões que estiverem presentes. Todos os vasos devem receber a mesma quantidade de terra, compactada da mesma maneira. Todos os vasos devem ser mantidos no ambiente externo, em igual condição de iluminação. Com isso, teremos um mínimo de efeito limitante por parte da luz (não esquecer que as folhas mais altas podem sombrear as inferiores e esse efeito é mais intenso nos vasos com muitos indivíduos ou com baixa luminosidade).

As sementes devem ser plantadas a 2 cm de profundidade. Quando a germinação tiver terminado, conte quantas plantas há em cada vaso.

Quanto à água, deve-se regar cada vaso com 20 mL a cada 2 dias, mas isso vai depender muito do ambiente em que estiver trabalhando. Caso verifique alguma folha murcha em algum vaso, regue todos eles diariamente (se ainda assim houver murcha, aumente o volume por rega para 40 mL). Caso vase água pelo fundo de algum vaso, volte a regar todos a cada 2 dias ou mais.

É importante que não se verifique escassez de água em nenhum vaso. Por outro lado, a terra não pode ficar encharcada.

Ao final do período de crescimento, o grupo deverá extrair todos os pés de feijão que tiverem sobrevivido de cada vaso, contando-os e retirando a terra que poderá estar presa entre suas raízes. Finalmente, as plantas devem ser acondicionadas em um saco plástico muito bem fechado e etiquetado informações sobre vaso de procedência.

Depois cada saco deverá ser pesado. Feita a pesagem inicial, o saco deve ser rasgado lateralmente e o conteúdo, dispensado. Aí, deve ser novamente pesado (peso final do saco com etiqueta e elástico ou barbante, em gramas; essa pesagem deve ser feita imediatamente após a abertura do saco para evitar a perda de peso úmido por secagem).

A biomassa total das plantas será dada em gramas, subtraindo-se do peso inicial total o peso final do saco. A biomassa úmida média por indivíduo será a biomassa total dividida pelo número de indivíduos.

Nesse ponto, o grupo dispõe de 5 valores de biomassa úmida média por indivíduo, um para cada vaso, 5 números de sementes germinadas e 5 números correspondentes de indivíduos remanescentes após 20 dias. Note que os números de sementes germinadas e de indivíduos sobreviventes não estão implicados na pergunta. Essas duas variáveis adicionais servem para enriquecer a reflexão, direcionando melhor a análise para o conceito de competição intraespecífica: seria de se esperar maior mortalidade em altas densidades. O sucesso da indagação não depende, todavia, dessas observações (a não ser, é claro, para o cálculo das médias no final do período – número de indivíduos sobreviventes).

Esses resultados deverão se unir aos resultados dos demais grupos da classe, em uma tabela, como exemplificado abaixo:

	Tabela de Resultados (Biom. = biomassa úmida média por indivíduo em gramas; N1 = número de sementes que germinaram; N2 = número de plantas sobreviventes no 20º – dia)														
	5 sementes			**10 sementes**			**20 sementes**			**40 sementes**			**60 sementes**		
	Biom.	**N1**	**N2**	**Biom.**	**N1**	**N2**	**Biom.**	**N1**	**N2**	**Biom.**	**N1**	**N2**	**Biom.**	**N1**	**N2**
Grupo 1															
...															
Média geral															

A partir da tabela, cada grupo deverá construir um gráfico dos valores originais e médias de biomassa úmida média por indivíduo em função do número de sementes plantadas. Nesse gráfico, traçar uma linha horizontal representando o valor médio da classe toda (média geral) para cada tratamento.

Também deverá ser gerado um segundo gráfico semelhante ao anterior, mas representando a porcentagem de sementes germinadas por vaso e a média dessas porcentagens por tratamento. Finalmente, um terceiro gráfico será gerado representando a porcentagem de indivíduos sobreviventes em relação ao número correspondente de sementes que germinaram por vaso e a média dessas porcentagens por tratamento.

REFLEXÃO

Uma vez que todos os grupos tenham construído seus gráficos (o principal das biomassas e os dois acessórios destinados a ilustrar a reflexão sobre o sucesso da germinação e da sobrevivência), você, professor(a), deverá escolher os que serão expostos, já que todos os grupos deverão ter gráficos semelhantes. Um critério é por sorteio; outro, pela qualidade gráfica e correção das escalas, títulos, etc.

Você pode propor inicialmente uma discussão interna dos grupos, para depois expandir para a classe toda.

Uma vez respondida a pergunta, auxilie os estudantes a refletir sobre possíveis fatores responsáveis pelos resultados observados. Nesta indagação foram considerados 4 recursos diferentes, potencialmente limitantes do desenvolvimento das plantas: nutrientes, água, CO_2 e luz. Deles, a água não deve ser limitante, devido à rotina de rega; o CO_2 está disponível à vontade, já que o ambiente onde ficam os vasos é exterior e, portanto, arejado; a luz, por sua vez, não deve ser limitante para os indivíduos como um todo, mesmo levando em conta o sombreamento de folhas umas pelas outras – por isso a escolha de um

ambiente aberto tal como seria um campo de cultivo. Já a quantidade de nutrientes é aquela presente na terra com que cada vaso foi montado, igual em todos eles, não havendo qualquer tipo de reposição. Assim sendo, os recursos mais provavelmente limitantes do desenvolvimento são os nutrientes minerais, cuja disponibilidade deve ir diminuindo à medida que as plantas vão crescendo.

Na indagação aqui proposta, merece discussão a maneira como se dá a limitação do desenvolvimento no caso de cada recurso dentre os quatro que foram considerados.

Outro ponto é por que foi adotada a biomassa como medida de desenvolvimento em lugar da altura das plantas. Aí, a preocupação é com o possível estiolamento das hastes devido à menor disponibilidade de luz nos vasos muito congestionados. Além disso, o CO_2 e os nutrientes são matérias-primas para a construção de biomassa e não para a simples elongação das hastes. Nosso interesse não está no crescimento em altura, e sim na produção primária.

A questão da luz é a mais delicada, pois propicia certa confusão de fatores. Na verdade, a pergunta não conduz à identificação do peso com que cada recurso do ambiente pode exercer alguma limitação sobre o desenvolvimento dos pés de feijão.

O cenário é claro: em condição de recursos limitados, a superpopulação pode ser um grande problema.

A metodologia utilizada também deve ser tema de reflexão: como se poderia fazer para eliminar o efeito da variação da disponibilidade de luz por folha ao longo do período experimental? Uma câmara com lâmpadas no teto e também nas laterais ajudaria.

Além da alteração da produção primária, a restrição na disponibilidade de recurso(s) pode reduzir o sucesso da germinação e também a sobrevivência das plântulas, além da produção de sementes, é claro.

Os aspectos da germinação e da sobrevivência podem ser discutidos com os dados acessórios registrados e apresentados nos gráficos 2 e 3. Quanto à produção de sementes, pode ser proposta uma extensão do experimento até a fase de floração e frutificação, pesando-se em conjunto todas as sementes produzidas em cada vaso: teríamos aí um segundo ciclo de indagação.

Note que a resposta obtida a esta indagação pode ser importante para o plantador. Se achar interessante, você poderá estimular seus educandos a fazerem uma pesquisa sobre o plantio comercial de feijão comum (sugestão de *links*: <http://www.lcb.esalq.usp.br/extension/DESAAFCA/feijao.pdf>; <http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Feijao/CultivodoFeijoeiro/index.htm>. Acessos em: abril 2016.).

Do ponto de vista mais formal, esta atividade resgata diversos conceitos de Ecologia: recursos, competição intraespecífica, fatores limitantes, fatores dependentes da densidade populacional. Cabe a você, professor(a), dirigir a discussão para atingir esses conceitos.

OUTROS ASPECTOS

A Indagação e as mídias digitais

Aproveite a atividade para solicitar aos estudantes que utilizem ferramentas digitais para a produção dos gráficos e das tabelas. Os que tiverem mais facilidade para lidar com esses recursos podem auxiliar os demais.

Marcos conceituais (conceitos abordados)

- Organismos necessitam obter recursos do meio, em quantidade e qualidade adequadas.
- A insuficiência de um recurso pode ter efeito limitante dos processos biológicos.
- A intensidade do efeito limitante de um recurso tende a aumentar com a densidade populacional, gerando crescente competição intraespecífica.
- Quando existe insuficiência de recurso(s), o sucesso individual pode ficar comprometido devido à competição intraespecífica e isso se reflete na população como um todo.
- A produtividade primária líquida é a quantidade de biomassa produzida por intervalo de tempo.

Habilidades e competências envolvidas

- Obter dados empíricos para discutir temas relacionados ao cotidiano.
- Utilizar gráficos para organizar e interpretar resultados.
- Lidar com amostras como meio de obter respostas.
- Utilizar base lógica e prática para construção de hipóteses científicas.

13. Bibliografia

ALBERTS, B. *et al. Biologia molecular da célula*. 5. ed. Porto Alegre: Artmed, 2010.

_____. *Fundamentos de Biologia celular*. 3. ed. São Paulo: Artmed, 2011.

AMORIM, D. de S. *Fundamentos de sistemática filogenética*. 3. ed. Ribeirão Preto: Holos, 2002.

AUDESIRK, T.; AUDESIRK, G.; BYERS, B. E. *Life on Earth*. 10. ed. Nova Jersey: Prentice Hall, 2013.

BARBOSA, H. R.; TORRES, B. B. *Microbiologia básica*. São Paulo: Atheneu, 1999.

BARNES, R. D. *et al. Zoologia dos invertebrados*. São Paulo: Roca, 2005.

BREWER, R. *The science of ecology*. São Diego: Saunders College, 1994.

BRUSCA, R.; BRUSCA, G. J. *Invertebrados*. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2007.

CAMPBELL, N. A. *Biology*. 10. ed. Nova York: The Benjamin Cummings, 2013.

CARVALHO, I. de S. (ed.). *Paleontologia*. 3 ed. Rio de Janeiro: Interciência, vols. 1 e 2, 2010.

DAWKINS, R. *O gene egoísta*. São Paulo: Companhia das Letras, 2007.

_____. *O relojoeiro cego*. São Paulo: Companhia das Letras, 2001.

_____. *O rio que saía do Éden* – uma visão darwiniana da vida. São Paulo: Rocco, 1996.

DIAS, G. F. *Educação ambiental* – princípios e práticas. 9. ed. São Paulo: Gaia, 2010.

DI DIO, L. J. A. *Tratado de anatomia aplicada*. São Paulo: Atheneu, 2002. 2 v.

EL-HANI, C. N.; VIDEIRA, A. P. *O que é vida?* Para entender a Biologia do século XXI. Rio de Janeiro: Relume-Dumará/ FAPERJ, 2000.

FERRI, M. G. *Botânica*: morfologia externa das plantas. São Paulo: Nobel, 1981.

_____. *Botânica*: morfologia interna das plantas. São Paulo: Nobel, 1981.

FUTUYAMA, D. *Biologia evolutiva*. 3. ed. Ribeirão Preto: Funpec, 2009.

GAMLIN, L.; VINES, G.*The evolution of life*. Nova York: Oxford University, 1991.

GILBERT, S. F. *Developmental biology*. 10. ed. Massachusetts: Sinauer Associates, 2013.

GOULD, S. J. *Pilares do tempo*: ciência e religião na plenitude da vida. São Paulo: Rocco, 2002.

GRIFFITH, J. F. *et al. Introdução à Genética*. 10. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2013.

GUYTON, A. C.; HALL, J. E. *Tratado de fisiologia médica*. 12. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2013.

HILDEBRAND, M. *Análise da estrutura dos vertebrados*. 2. ed. São Paulo: Atheneu, 2013.

JOLY, A. B. *Conheça a vegetação brasileira*. São Paulo: Edusp – Polígono, 1970.

JUNQUEIRA, L. C.; CARNEIRO, J. *Histologia básica*. 12. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2013.

KARP, G. *Cell and molecular biology*. 7. ed. Nova York: John Wiley & Sons, 2013.

KERBAUY, G. B. *Fisiologia Vegetal*. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2004.

KUHN, T. *A estrutura das revoluções científicas*. São Paulo: Perspectiva, 1975.

LEWONTIN, R.*Biologia como ideologia*: a doutrina do DNA. Ribeirão Preto: FUNCEP, 2000.

MARGULIS, L.; SCHWARTZ, K. V. *Cinco reinos*: um guia ilustrado dos filos da vida na Terra. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2001.

MARZZOCO, A.; TORRES, B. B. *Bioquímica básica*. 4. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2015.

MATIOLI, S. R. (ed.). *Biologia molecular e evolução*. 2. ed. Ribeirão Preto: Holos, 2013.

MAYR, E. *Biologia, ciência única*: reflexões sobre a autonomia de uma disciplina científica. São Paulo: Companhia das Letras, 2005.

MINISTÉRIO DA SAÚDE. *Guia de vigilância epidemiológica*. 7. ed. Brasília: Ministério da Saúde, 2009.

MOORE, K. L.; PERSAUD, T. V. N. *Embriologia básica*. 8. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2013.

MOORE-LANDECKER, E. *Fundamental of the fungi*. 4. ed. Nova Jersey: Prentice Hall, 1996.

NETTER, F. H. *Atlas de anatomia humana*. 6. ed. Porto Alegre: Artmed, 2015.

ODUM, E. P. *Ecologia*. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2007.

_____; BARRETT, G. W. *Fundamentos de ecologia*. São Paulo: Cengage Learning, 2007.

OTTO, P. G.; OTTO, P. A.; FROTA-PESSOA, O. *Genética humana e clínica*. 2. ed. São Paulo: Roca, 2004.

PELCZAR JR., M. J.; CHAN, E. C. S.; KRIEG, N. R. *Microbiologia*. São Paulo: Makron Books do Brasil, 1997. v. 1.

PESSÔA, S. B.; MARTINS, A. V. *Parasitologia médica*. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 1988.

POUGH, F. H.; HEISER, J. B.; JANIS, C. M. *A vida dos vertebrados*. 4. ed. São Paulo: Atheneu, 2008.

PRESS, F. *et al. Para entender a Terra*. 6. ed. Tradução: Menegat, R. et al. Porto Alegre: Bookman, 2013.

PURVES, W. et al. *Vida* – a ciência da Biologia. 8. ed. Porto Alegre: Artmed, 2009.

RAVEN, P. H. *Biology of plants*. 8. ed. Nova York: W. H. Freeman, 2012.

RAVEN, P. H. et al. *Biologia Vegetal*. 8. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2014.

RICKLEFS, R. E. A. *Economia da natureza*. 6. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2010.

_____. *Economia da natureza*: um livro-texto em ecologia básica. 3. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2005.

RIDLEY, M. *Evolução*. 3. ed. Porto Alegre: Artmed, 2006.

ROMER, A. S.; PARSONS, T. S. *Anatomia comparada*. Ciudad de México: Nueva Editorial Interamericana, 1981.

ROTHWELL, N. V. *Understanding genetics*: a molecular approach. Nova York: John Wiley & Sons, 1993.

SALGADO-LABOURIAU, M. L. *História ecológica da Terra*. 2. ed. São Paulo: Edgard Blücher, 2001.

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

SOLOMON, E. P.; BERG, L. R.; MARTIN, D. W. *Biology*. 10. ed. Nova York: Saunders College, 2014.

SUGUIO, K.; SUZUKI, U. *A evolução geológica da Terra e a fragilidade da vida*. São Paulo: Edgard Blücher, 2003.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. *Fisiologia Vegetal*. 3. ed. Porto Alegre: Artmed, 2004.

TEIXEIRA, W. et al. (Coord.). *Decifrando a Terra*. 2. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2009.

TORTORA, G. J.; FUNKE, B. R.; CASE, C. L. *Microbiologia*. 10. ed. Porto Alegre: Artmed, 2011.

TOWNSEND, C. R.; BEGON, M.; HARPER, J. L. *Fundamentos em Ecologia*. 3. ed. Porto Alegre: Artmed, 2009.

WHITERS, P. C. *Comparative animal physiology*. Nova York: Saunders College, 1992.

ZAHA, A. (Coord.). *Biologia molecular básica*. 5. ed. Porto Alegre: Mercado Aberto, 2014.

ISBN 978-85472050 6-5