



O  
i  
m

# Livro 3

---

Pré-vestibular Biologia

SISTEMA DE ENSINO  
**POLIEDRO**

**Autoria:** Elias Avancini de Brito.

**Diretor executivo:** Nicolau Arbex Sarkis.

**Gerência editorial:** João Carlos Puglisi.

**Coordenação de edição técnica:** Marília L. dos Santos C. Ribeiro.

**Edição técnica:** Equipe de editores técnicos da Editora Poliedro.

**Coordenação de produção editorial:** Livia Scherrer dos Santos.

**Analista de produção editorial:** Claudia Moreno Fernandes.

**Coordenação de edição:** Michelle Silva da Mata e Vivian Plascak Jorge.

**Edição:** Equipes de edição da Editora Poliedro.

**Coordenação de revisão:** Mariana Castelo Queiroz.

**Revisão:** Equipe de revisão da Editora Poliedro.

**Coordenação de arte:** Antonio Domingues e Kleber S. Portela.

**Diagramação:** Equipes de arte da Editora Poliedro.

**Ilustrações:** Equipes de ilustração da Editora Poliedro.

**Coordenação de licenciamento:** Ana Rute A. M. Perugini.

**Licenciamento:** Equipe de licenciamento da Editora Poliedro.

**Projeto gráfico:** Alexandre Moreira Lemes e Kleber S. Portela.

**Projeto gráfico da capa:** Bruno Torres.

**Coordenador de PCP:** Anderson Flávio Correia.

**Impressão e acabamento:** nywgraf Editora Gráfica Ltda.

**Créditos:** Capa e frontspício 1stCallery/Shutterstock 5 © Eprom | Dreamstime.com • © Wolf Sverak | Dreamstime.com • © Liumangtiger | Dreamstime.com 63 © Tinabelle | Dreamstime.com • © Celyngfjell | Dreamstime.com • © Pozitivstudija | Dreamstime.com 141 Sebastian Kaulizki/123rf.com • 4774344sean/123rf.com • ginasanders/123rf.com contracapa Elinalee/Shutterstock

A Editora Poliedro pesquisou junto às fontes apropriadas a existência de eventuais detentores dos direitos de todos os textos e de todas as obras de artes plásticas presentes nesta obra, sendo que sobre alguns nenhuma referência foi encontrada. Em caso de omissão, involuntária, de quaisquer créditos faltantes, estes serão incluídos nas futuras edições, estando, ainda, reservados os direitos referidos nos arts. 28 e 29 da lei 9.610/98.

SISTEMA DE ENSINO  
**POLIEDRO**

São José dos Campos - SP  
ISBN: 978-85-7901-059-0  
Telefax: (12) 3924-1616  
editora@sistemapoliedro.com.br  
www.sistemapoliedro.com.br

Copyright © 2015  
Todos os direitos de edição reservados à Editora Poliedro

# SUMÁRIO

## Frente 1

<b>12</b>	<b>O transporte através da membrana.....</b>	<b>06</b>
	O transporte através da membrana.....	07
	Revisando .....	10
	Exercícios propostos .....	11
	Texto complementar .....	14
	Exercícios complementares .....	15
<b>13</b>	<b>Introdução à Genética clássica .....</b>	<b>17</b>
	Noções de probabilidade.....	18
	Fundamentos da Genética clássica.....	18
	Gametas.....	20
	Cruzamentos .....	20
	Cruzamento mendeliano.....	21
	Determinação de dominância.....	21
	Heredogramas.....	22
	Definição de genótipos: cruzamento-teste.....	22
	Revisando .....	24
	Exercícios propostos .....	25
	Texto complementar .....	28
	Exercícios complementares .....	30
<b>14</b>	<b>As variações da Primeira Lei de Mendel .....</b>	<b>33</b>
	Introdução.....	34
	Alelos letais.....	34
	Pleiotropia.....	34
	Manifestação atípica do heterozigoto.....	35
	Gemelaridade.....	35
	Expressividade variável e penetrância incompleta.....	36
	Revisando .....	37
	Exercícios propostos .....	38
	Texto complementar .....	39
	Exercícios complementares .....	41
<b>15</b>	<b>Alelos múltiplos .....</b>	<b>43</b>
	Conceito de alelos múltiplos (polialelia).....	44
	Revisando .....	48
	Exercícios propostos .....	52
	Textos complementares.....	56
	Exercícios complementares .....	60

## Frente 2

<b>13</b>	<b>Angiospermas .....</b>	<b>64</b>
	Características gerais .....	65
	Flor.....	65
	Ciclo reprodutivo.....	66
	Comparação entre gimnospermas e angiospermas .....	68
	Classificação das angiospermas.....	68
	Polinização.....	69
	Fruto.....	70
	Revisando .....	73
	Exercícios propostos .....	77
	Textos complementares.....	80
	Exercícios complementares .....	83
<b>14</b>	<b>Morfologia externa das plantas .....</b>	<b>86</b>
	Generalidades.....	87
	Revisando .....	92
	Exercícios propostos .....	93
	Texto complementar .....	96
	Exercícios complementares .....	98
<b>15</b>	<b>Apresentação dos tecidos vegetais.....</b>	<b>100</b>
	Introdução.....	101
	Revisando .....	103
	Exercícios propostos .....	104
	Texto complementar .....	106
	Exercícios complementares .....	107

<b>16</b>	<b>Nutrição e secreção vegetal</b> .....	<b>109</b>
	Aspectos gerais da atividade de uma planta.....	110
	As modalidades de nutrição vegetal.....	110
	Os parênquimas.....	111
	A estrutura da raiz e do caule – relação com a nutrição.....	112
	Tecidos de secreção.....	113
	Revisando .....	114
	Exercícios propostos.....	117
	Textos complementares.....	118
	Exercícios complementares.....	123
<b>17</b>	<b>Revestimentos e trocas gasosas</b> .....	<b>125</b>
	Revestimentos.....	126
	As trocas gasosas.....	127
	Revisando .....	131
	Exercícios propostos.....	132
	Texto complementar .....	136
	Exercícios complementares.....	138

## Frente 3

<b>12</b>	<b>Sangue</b> .....	<b>142</b>
	Sangue .....	143
	Revisando .....	146
	Exercícios propostos .....	147
	Textos complementares.....	149
	Exercícios complementares.....	155
<b>13</b>	<b>Sistema imunitário</b> .....	<b>157</b>
	As defesas naturais e o sistema imunitário.....	158
	Resposta inflamatória.....	159
	Resposta imune .....	159
	Revisando .....	161
	Exercícios propostos.....	161
	Textos complementares.....	165
	Exercícios complementares.....	167
<b>14</b>	<b>Excreção</b> .....	<b>169</b>
	Excreção e estruturas excretoras.....	170
	Excretas nitrogenadas.....	170
	O sistema urinário humano.....	170
	Revisando .....	172
	Exercícios propostos.....	173
	Textos complementares.....	175
	Exercícios complementares.....	177
<b>15</b>	<b>Sistema nervoso – neurônios e impulso nervoso</b> .....	<b>180</b>
	Organização geral do sistema nervoso – neurônios.....	181
	Impulso nervoso .....	182
	O arco reflexo.....	183
	Revisando .....	184
	Exercícios propostos.....	186
	Textos complementares.....	188
	Exercícios complementares.....	192
<b>16</b>	<b>Sistema nervoso</b> .....	<b>194</b>
	As grandes divisões do sistema nervoso .....	195
	O sistema nervoso central.....	195
	O sistema nervoso periférico.....	197
	Órgãos dos sentidos.....	199
	Revisando .....	202
	Exercícios propostos.....	204
	Textos complementares.....	207
	Exercícios complementares.....	210
	<b>Cabarito</b> .....	<b>213</b>



# Frente 1



# 12

FRENTE 1

## O transporte através da membrana



KEN HURST/123RF.COM

O soro fisiológico é uma solução constituída por água e cloreto de sódio, com concentração de 0,9%, a mesma do sangue. Portanto, o soro fisiológico é isotônico em relação ao sangue e às células do nosso organismo.

## O transporte através da membrana

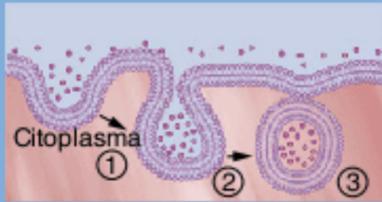
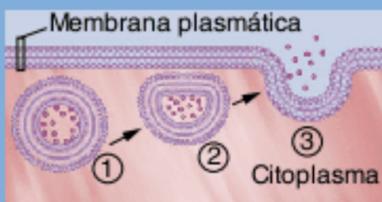
A célula realiza trocas de materiais com o meio através da membrana plasmática, sendo que há duas modalidades de transporte: transporte em massa e transporte de partículas.

O **transporte em massa** é também conhecido como transporte vesicular; relaciona-se com a formação de vesículas que envolvem grande quantidade de partículas de uma única vez. São exemplos desse processo a **fagocitose** e a **clasmocitose**.

O **transporte de partículas** relaciona-se com a passagem de íons e moléculas através de toda a superfície da membrana, não havendo local específico para essa passagem. É o caso da **difusão**, da **osmose** e do **transporte ativo**.

### Transporte em massa, ou vesicular

O transporte em massa é caracterizado pela formação de **vesículas membranosas** envolvendo grandes quantidades de materiais em certos pontos da membrana plasmática. Esse transporte pode enviar materiais para o interior da célula (**endocitose**) ou realizar sua eliminação da célula (**exocitose**). A formação dessas vesículas e seu trânsito pela membrana consomem energia (Tab. 1).

<p><b>Endocitose:</b> os materiais são enviados para dentro da célula.</p> 	<p><b>Fagocitose:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Envolve a emissão de pseudópodos para o englobamento de partículas sólidas e grandes.</li> <li>• Resulta na formação da vesícula <b>fagossomo</b> (vacúolo alimentar).</li> <li>• <b>Ex.:</b> nutrição de protozoários e poríferos; atividade de células de defesa (certos glóbulos brancos).</li> </ul> <p><b>Pinocitose:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Entrada de partículas pequenas e líquidas.</li> <li>• Resulta na formação da vesícula <b>pinossomo</b>.</li> </ul>
<p><b>Exocitose:</b> os materiais são enviados para fora da célula.</p> 	<p><b>Clasmocitose:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Eliminação de resíduos não digeridos.</li> <li>• Também denominada defecação celular.</li> </ul> <p><b>Secreção:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Eliminação de materiais úteis ao organismo.</li> <li>• Relaciona-se com as vesículas golgianas.</li> </ul>

Tab. 1 Características do transporte em massa.

Há duas modalidades de endocitose: **fagocitose** e **pinocitose**. A fagocitose é realizada com a emissão de pseudópodos que englobam uma partícula sólida grande. É então formada uma vesícula conhecida como **vacúolo alimentar**, ou **fagossomo**; quando essa estrutura formada recebe enzimas lisossômicas, passa a constituir um **vacúolo digestivo** (ou **lisossomo secundário**). A fagocitose é empregada, por exemplo, na nutrição de certos organismos que têm digestão intracelular, como protozoários e poríferos. Glóbulos brancos também realizam fagocitose, contribuindo para a defesa do organismo contra agentes invasores.

A **pinocitose** é caracterizada pela tomada de grande quantidade de partículas pequenas, frequentemente na forma

de líquido ou de gotículas de lipídeos. A vesícula formada no interior da célula é um **pinossomo** e, se receber enzimas lisossômicas, passa a ser denominada **vacúolo digestivo** (ou **lisossomo secundário**). Como exemplo de pinocitose, pode ser citada a absorção de gorduras pelas células intestinais.

A **exocitose** é a eliminação de materiais contidos em vesículas que se fundem à membrana plasmática. Há duas modalidades: a **clasmocitose** e a **secreção celular**. A clasmocitose é a eliminação de resíduos não digeridos e acontece com a fusão do vacúolo residual à membrana plasmática da célula. Já a secreção é a liberação de materiais que apresentam alguma utilidade no organismo. A secreção celular é uma atividade realizada pelo complexo golgiense.

### Transporte de partículas (moléculas e íons)

Há duas modalidades de transporte de partículas: **transporte passivo** e **transporte ativo**. O transporte passivo não envolve gasto de energia pela célula e compreende **difusão** e **osmose**. O transporte ativo ocorre com gasto de energia, como é o caso da **bomba de sódio e potássio**.

#### Difusão

Vamos considerar a seguinte situação: coloca-se uma gota de tinta nanquim em uma garrafa que contém água. Sem movimentar o líquido, notamos que a água ficará tingida; as partículas de tinta estarão espalhadas pelo interior do recipiente de maneira uniforme e não haverá uma parte do líquido com mais tinta do que outra. O processo descrito relaciona-se, principalmente, com a energia cinética das partículas e é denominado **difusão**: movimentação espontânea (sem gasto de energia) de partículas que promove uma distribuição homogênea do soluto. Portanto, na difusão, as partículas movem-se em função do gradiente de concentração, sempre **de uma região de maior concentração para uma região de menor concentração** (Fig. 1).

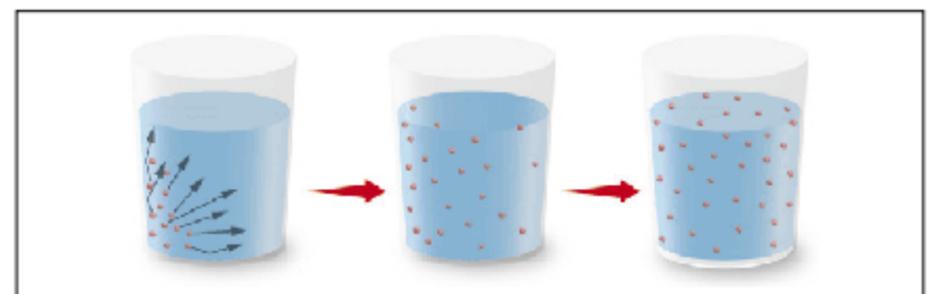


Fig. 1 Difusão de tinta em um recipiente que contém água: a tendência é ocorrer uma distribuição uniforme de partículas.

Esse processo ocorre nos seres vivos de duas maneiras: **difusão simples** e **difusão facilitada**.

#### Difusão simples

As membranas podem permitir o fluxo de materiais por difusão em toda a extensão da membrana, como gases e álcool. Um exemplo são as trocas gasosas que ocorrem entre os alvéolos pulmonares e o sangue do interior de capilares sanguíneos localizados na superfície externa dos alvéolos: as membranas plasmáticas dessas estruturas permitem o fluxo de gases por difusão. No caso, o gás oxigênio encontra-se em maior concentração no alvéolo, comparado ao sangue. Assim, o gás difunde-se do alvéolo para o sangue. Já o gás carbônico tem

maior concentração no sangue do que no alvéolo e difunde-se do sangue para o alvéolo (Fig. 2).

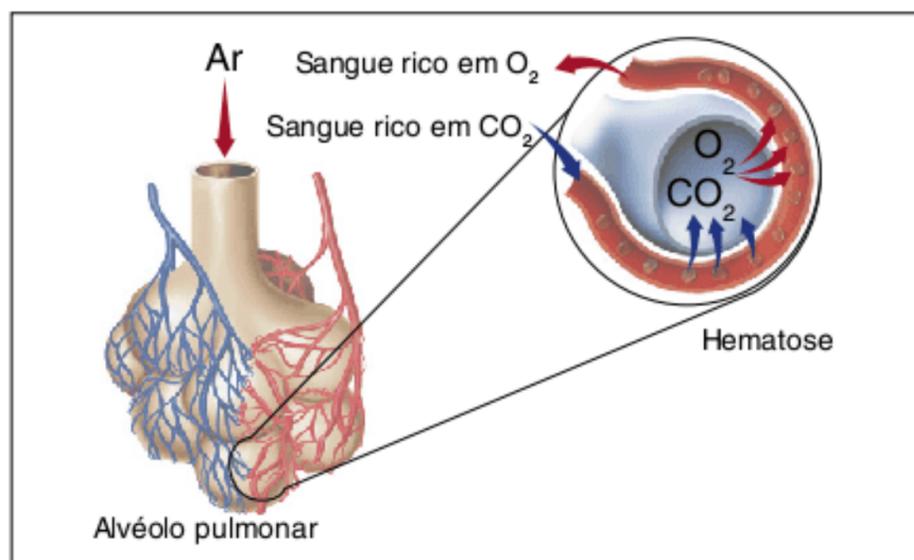


Fig. 2 Caso de difusão simples: trocas gasosas em alvéolo pulmonar.

Na difusão simples, a velocidade de transporte é proporcional à diferença de concentração; **quanto maior for a diferença de concentração, mais rápida é a velocidade de difusão.**

### Difusão facilitada

O transporte de glicose para o interior das hemácias ilustra um caso de difusão facilitada. A glicose atravessa a membrana por meio de **proteínas transportadoras**, específicas para a glicose. Esse tipo de difusão também ocorre a favor de um gradiente de concentração (de uma região mais concentrada para uma região menos concentrada) e sem o gasto de energia, porém com o auxílio de proteínas (Fig. 3).

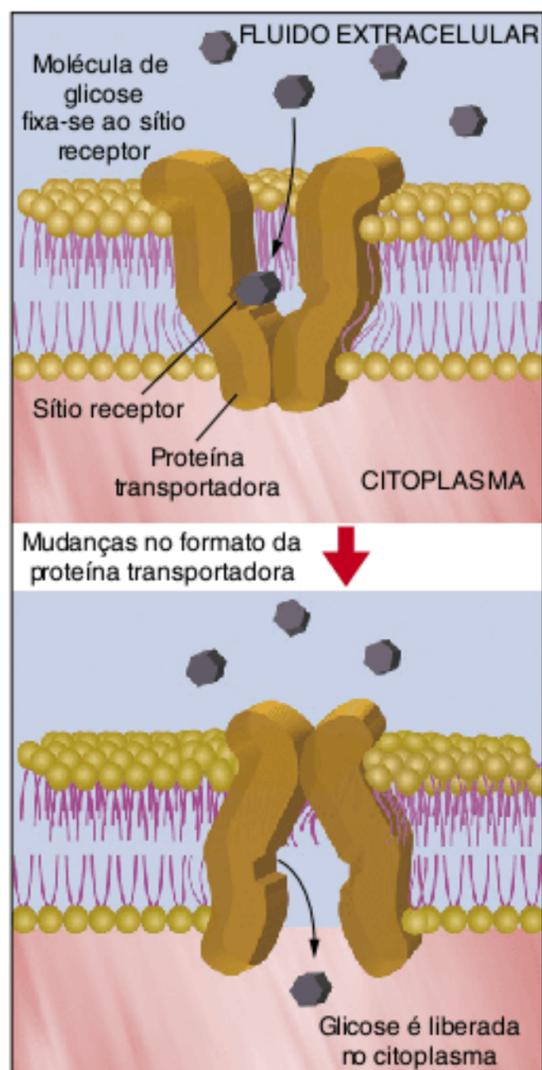


Fig. 3 Difusão facilitada de glicose, efetuada com o auxílio de proteína transportadora. Aminoácidos também são transportados para o interior das células por esse processo.

Na difusão facilitada, dependendo da diferença de concentração, a velocidade de transporte pode ser até mais elevada do que na difusão simples. No entanto, a partir de uma elevada concentração de moléculas a serem transportadas, a velocidade do processo estabiliza-se, pois as proteínas transportadoras estão totalmente ocupadas efetuando a transferência de moléculas de uma face para outra da célula.

### Osmose

Vamos considerar uma solução de água com açúcar. A água corresponde ao **solvente** (o que dissolve) – universal nos seres vivos – e o açúcar corresponde ao **soluto** (aquilo que é dissolvido). Para tratar de osmose, é necessário o conhecimento a respeito de concentrações de solutos e solventes, além do funcionamento de uma membrana semipermeável.

Considerando soluções aquosas, podemos ter três tipos: **hipertônica, hipotônica e isotônica**. Sempre que uma denominação dessas é dada, ela refere-se a uma solução comparada à outra. A unidade usada é a quantidade de **soluto por unidade de volume do solvente**. No caso de soluções hipertônicas, elas possuem concentração maior de soluto em relação à outra. Já considerando soluções hipotônicas, elas seriam menos concentradas quando comparadas à outra solução com maior quantidade de soluto por unidade de volume. Soluções isotônicas possuem a mesma concentração da outra com a qual estão sendo comparadas.

A **membrana semipermeável** é a que **permite a passagem do solvente** e impede a passagem do soluto. Consideremos o seguinte procedimento: separa-se um recipiente em duas metades, A e B, por uma membrana semipermeável (Fig. 4). Do lado A, coloca-se uma solução com menor concentração (hipotônica), e do lado B coloca-se uma solução mais concentrada (hipertônica).

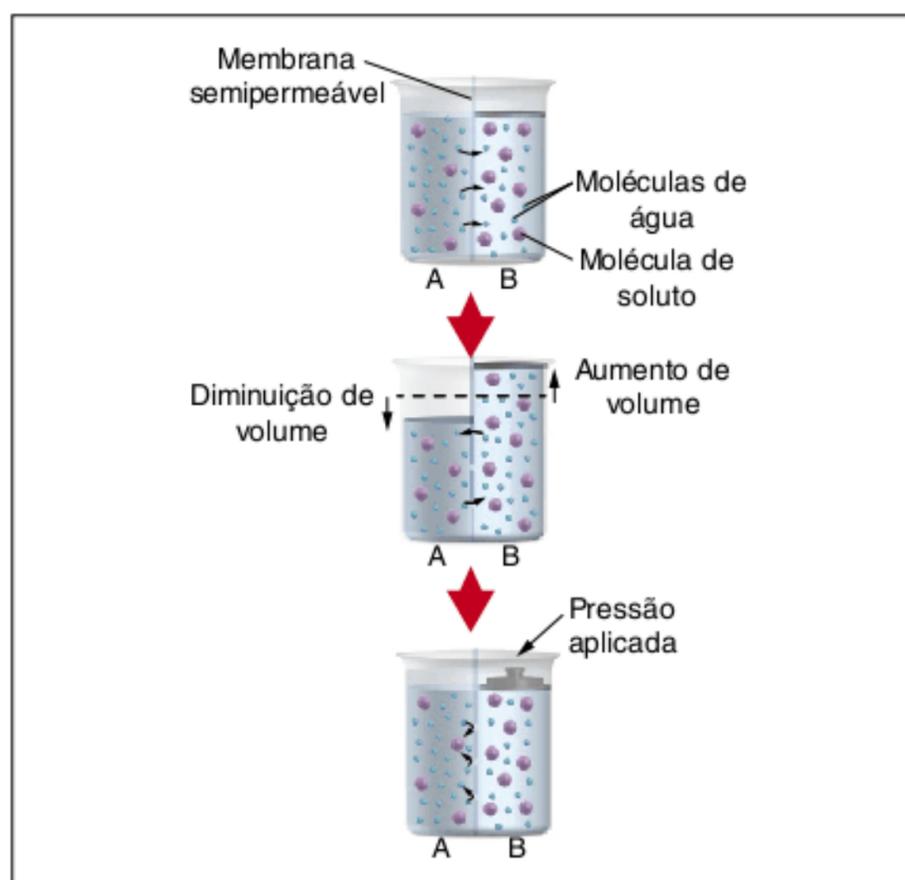


Fig. 4 Duas soluções, A (hipotônica) e B (hipertônica), são separadas por uma membrana semipermeável. Ocorre movimentação de água de A para B: a tendência é estabelecer igualdade de concentrações (soluções isotônicas). A pressão aplicada para forçar o retorno da água para a solução A é equivalente à pressão osmótica.

Vimos que a solução menos concentrada é a que tem “menor quantidade de soluto por unidade de volume” (consequentemente tem maior quantidade de água por unidade de volume em relação à outra). Assim, haverá passagem de água da solução hipotônica para a solução hipertônica através da membrana, o que caracteriza o processo de **osmose**, também conhecido como “**difusão do solvente**”. A solução hipotônica perde água e fica mais concentrada, e a solução hipertônica recebe água e torna-se menos concentrada. A tendência é que as duas soluções passem a apresentar a mesma concentração, isto é, que se tornem isotônicas. Assim, define-se: **osmose** é o transporte de água (solvente) através de uma membrana semipermeável, partindo de uma solução hipotônica em direção a uma solução hipertônica; o processo não gasta energia e tende a manter a igualdade das concentrações.

A **pressão osmótica** é a força com que as moléculas de água movem-se em direção à solução hipertônica. Ela pode ser medida pela pressão hidráulica empregada para forçar a água de volta à solução hipotônica.

### Osmose em célula animal

É possível verificar facilmente fenômenos osmóticos utilizando-se glóbulos vermelhos do sangue (hemácias), colocados em três tipos de soluções: **isotônica**, **hipertônica** e **hipotônica** (Tab.2). Em solução isotônica (como a do soro fisiológico), a célula ganha e perde água na mesma quantidade, ficando em equilíbrio osmótico; com isso, seu volume e sua conformação não se alteram. Em solução hipertônica, a célula perde mais água do que ganha, sofrendo redução de volume e passando a apresentar enrugamento de sua superfície (fica **crenulada**). Em solução hipotônica, a célula ganha mais água do que perde, sofrendo aumento de volume; isso pode determinar a ruptura da hemácia (**hemólise**).

Solução	Fenômeno osmótico	Exemplo
Solução hipertônica	Ocorre perda de água, e a célula tem redução de volume.	
Solução isotônica	O ganho e a perda de água são equivalentes; não há alteração de volume. A célula está em equilíbrio osmótico com o meio; isso ocorre com células imersas no sangue, no fluido intersticial ou em soro fisiológico.	
Solução hipotônica	Há ganho de água e o volume aumenta; pode ocorrer ruptura das hemácias (hemólise).	

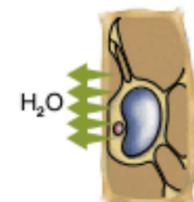
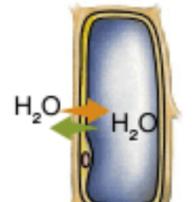
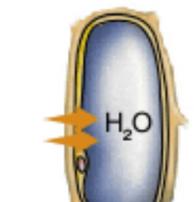
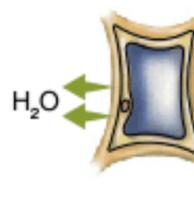
Tab. 2 Hemácias imersas em diferentes soluções.

### Osmose em célula vegetal

Colocando-se uma célula vegetal em diferentes condições, ela pode apresentar modificações decorrentes de ganho ou perda de água. Nesse caso, é necessário considerar a atuação do vacúolo e da parede celular. O **vacúolo** é delimitado por uma membrana, o **tonoplasto**. O interior dessa estrutura membranosa apresenta uma solução de água com alguns solutos (sais e açúcares). Assim, a solução do vacúolo desenvolve uma pressão osmótica que pode determinar ganho ou perda de água através de sua membrana, quando a célula é colocada em meios não isotônicos.

Uma célula vegetal colocada em solução **hipertônica** perde água rapidamente e sua membrana e citoplasma desprendem-se da parede celular, que fica retraída e torna a célula **plasmolisada**. O processo é conhecido como **plasmólise**. Caso essa célula seja colocada em solução hipotônica novamente, poderá absorver água e recuperar sua forma usual sem que a parede celular oponha resistência à expansão; é o processo conhecido como **deplasmólise**. Outro exemplo acontece quando uma planta fica exposta ao Sol. Ela perderá água na forma de vapor, essa perda determina uma diminuição de volume e a retração das células do vegetal. A planta, então, fica murcha, com as paredes das células retraídas. Se a planta murcha for colocada posteriormente em uma solução hipotônica, vai ganhar água, restabelecendo o volume de suas células e a sua aparência.

Assim, com o ganho de água em soluções hipotônicas, ocorre o aumento de volume da célula. No entanto, ela não consegue expandir-se livremente, pois há a atuação da parede celular, a qual exerce uma força contrária à sua expansão. Isso significa que a célula vegetal não se rompe com o aumento de volume, como quando uma célula animal é colocada em solução hipotônica. As células vegetais nessa condição ficam cheias de água e se tomam **túrgidas** (Tab. 3).

Solução	Fenômeno osmótico	Exemplo
Solução hipertônica	Ocorre perda de água e a célula tem redução de volume; uma parte da célula desprende-se da parede. Célula fica plasmolisada.	
Solução isotônica	O ganho e a perda de água são iguais; o volume não se altera. A célula está em equilíbrio osmótico com o meio.	
Solução hipotônica	Há ganho de água e o volume aumenta; não ocorre ruptura da célula: célula fica túrgida.	
Exposição ao ar seco	Com exposição ao ar seco, a célula perde vapor de água e sofre uma retração em toda sua extensão; a parede deforma-se para dentro, tornando-se murcha.	

Tab. 3 Célula vegetal submetida a diferentes situações.

## Transporte ativo

Transporte ativo refere-se à **passagem de partículas através da membrana** e tem as seguintes características:

- **Ocorre contra o gradiente de concentração**, havendo passagem de partículas da região de menor concentração para a região de maior concentração.
- Envolve a participação de proteínas transportadoras (**permeases**).
- **Depende de gasto energético**, na forma de ATP.
- Resulta em uma distribuição de partículas em que há manutenção de desigualdade de concentrações, ou seja, um lado da membrana terá maior concentração do que o outro.

Todas as modalidades de transporte discutidas anteriormente (difusão e osmose) têm características distintas do transporte ativo:

- Ocorrem a favor do gradiente de concentração;
- Não envolvem gasto de energia;
- Tendem a manter a igualdade de concentrações do lado interno e externo da célula.

Outro exemplo de transporte ativo é a **bomba de íons  $H^+$**  que ocorre na parede estomacal, envolvendo a produção de suco gástrico. Os íons  $H^+$  são transferidos do sangue para o interior do estômago, mesmo que este tenha uma concentração de  $H^+$  muito superior à do sangue. Trata-se, portanto, de um **transporte contra o gradiente de difusão** e mantém uma desigualdade de concentrações. Isso requer gasto de energia, consumindo ATP.

Outro exemplo de transporte ativo é a **bomba de sódio e potássio** que ocorre em todas as células do nosso organismo, sendo particularmente importante nos neurônios, onde contribui para o impulso nervoso. As células apresentam íons sódio ( $Na^+$ ) em maior concentração externa do que em seu interior; já os íons potássio ( $K^+$ ) são encontrados em maior concentração no interior do que no meio externo. Essa desigualdade de concentrações é mantida à custa de gasto de energia e é tipicamente um caso de transporte ativo. Além disso, há proteínas especiais envolvidas no transporte de íons, como a **permease**,

que carrega  $K^+$  para dentro e  $Na^+$  para fora. A membrana plasmática também possui canais proteicos específicos para a passagem de  $K^+$  e outros canais exclusivos para a passagem de  $Na^+$  (Fig. 5).

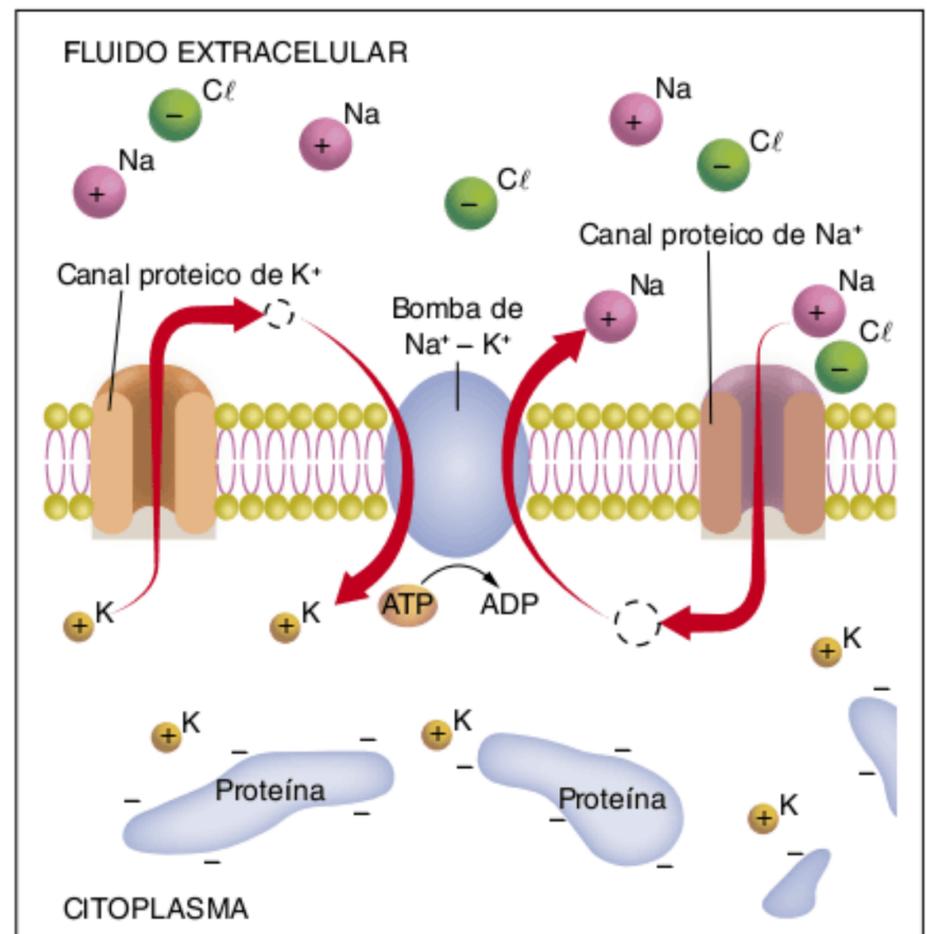


Fig. 5 Bomba de sódio e potássio. Esse transporte envolve gasto de energia e atuação de permeases.

Através de canais de  $K^+$ , esse íon deixa o interior da célula por difusão, com permeases lançando ativamente o potássio para o interior da célula posteriormente. Os canais de  $Na^+$ , por sua vez, permitem que esse íon entre na célula, tendo a permease que lançar o sódio para o meio extracelular. Assim, a permease lança  $K^+$  para dentro e  $Na^+$  para fora (não simultaneamente), requerendo gasto de ATP (próprio do transporte ativo) e tornando-se responsável pela manutenção da desigualdade de concentrações (mais potássio dentro e mais sódio fora da célula).

## Revisando

**1** A célula realiza trocas de materiais com o meio através da membrana plasmática, dependendo da sua permeabilidade e quantidade de material a ser transportado. Quais são as duas modalidades de transporte intermembrana observadas em uma célula?

---

---

---

---

---

**2** O que é excitose?

---

---

---

---

---

**3** Julgue os itens a seguir acerca das duas modalidades de endocitose.

- A fagocitose é caracterizada pela tomada de grande quantidade de partículas pequenas, frequentemente na forma de gotículas de lipídeos.
- A absorção de gorduras pelas células intestinais é um exemplo de pinocitose.
- A fagocitose é realizada com a emissão de pseudópodes que englobam uma partícula sólida pequena.
- Glóbulos vermelhos realizam fagocitose e, assim, contribuem para a defesa do organismo.

**4** Considerando a demanda energética necessária para ocorrer, há duas modalidades de transporte de partículas através de membranas. Quais são elas? Explique-as.

---

---

---

---

---

---

---

---

**5** O que é osmose?

---

---

---

---

---

---

---

---

**6** O que é pressão osmótica?

---

---

---

---

---

---

---

---

**7** Cite um exemplo de transporte ativo.

---

---

---

---

---

---

---

---

## Exercícios propostos

**1 UFPE** A passagem de substâncias através da membrana se dá pelos seguintes processos:

1. Difusão simples
2. Difusão facilitada
3. Transporte ativo

É correto afirmar que os processos envolvidos na passagem de água, O<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub> e substâncias solúveis em lipídeos estão representados apenas no(s) item(ns):

- (a) 2 e 3
- (b) 1 e 3
- (c) 2
- (d) 1
- (e) 1 e 2

**2 UEL** O movimento de moléculas de aminoácidos para o interior das células faz-se, geralmente, por:

- (a) osmose.
- (b) simples difusão.
- (c) difusão facilitada.
- (d) transporte ativo.
- (e) fagocitose.

**3 PUC-MG** Existe um tipo de troca entre a célula e o meio que ocorre contra o gradiente de concentração e no qual é necessária a existência de uma proteína carregadora, cuja ativação depende de gasto de energia.

Esse tipo de troca é denominado:

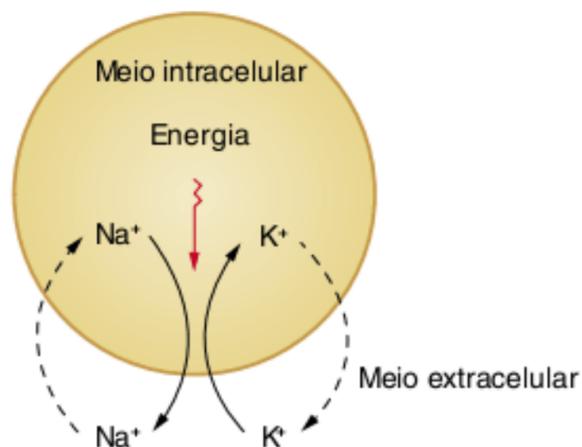
- (a) difusão.
- (b) difusão facilitada.
- (c) pinocitose.
- (d) fagocitose.
- (e) transporte ativo.

**4 UFSC** A membrana plasmática é uma membrana semipermeável, não havendo condições, normalmente, para o extravasamento dos coloides citoplasmáticos para fora da célula. Sob esse aspecto, a membrana já começa a selecionar o que deve entrar na célula ou dela sair. Considerando os diferentes processos de passagem através da membrana plasmática, é correto afirmar que:

- 01 a osmose é a passagem de moléculas de água sempre no sentido do meio mais concentrado para o menos concentrado.
- 02 a pinocitose é outro tipo de endocitose, ocorrendo, neste caso, o englobamento de pequenas porções de substâncias líquidas.
- 04 no transporte ativo, enzimas agem como transportadoras de moléculas, tais como o açúcar ou íons.
- 08 a fagocitose é um tipo de endocitose em que ocorre o englobamento de partículas sólidas.
- 16 na difusão facilitada, participam moléculas especiais de natureza lipídica e há gasto de energia.

Soma =

**5 Puccamp** O esquema a seguir mostra os movimentos de íons  $\text{Na}^+$  e  $\text{K}^+$  entre uma célula e o meio no qual ela se encontra.



Fonte: Sônia Lopes. Bio. São Paulo: Saraiva, 1997. v 1. p. 97.

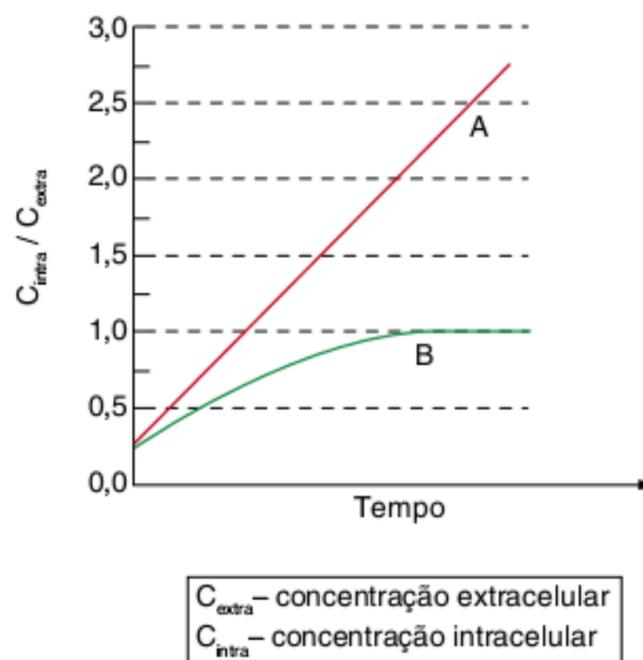
Em uma célula de mamífero, a concentração de  $\text{Na}^+$  é 10 vezes maior no meio extracelular do que no interior da célula, ao passo que a concentração de  $\text{K}^+$  é 30 vezes maior no meio intracelular do que no meio extracelular.

No esquema, as setas inteiras e as setas pontilhadas representam, respectivamente:

- (a) osmose e difusão facilitada.
- (b) osmose e transporte ativo.
- (c) transporte ativo e difusão facilitada.
- (d) transporte ativo e osmose.
- (e) difusão facilitada e transporte ativo.

**6 Uerj** Em condições adequadas, células foram incubadas com as substâncias A e B. A partir do momento inicial do experimento – tempo zero –, foram medidas as concentrações intra e extracelulares e estabelecida a relação  $C_{\text{intra}} / C_{\text{extra}}$  para cada substância A e B.

O gráfico a seguir mostra a variação dessas relações em função do tempo de incubação.

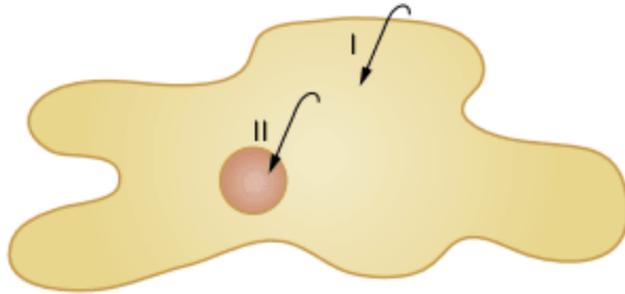


- a) Cite os tipos de transporte das substâncias A e B, respectivamente, através da membrana plasmática. Justifique sua resposta.
- b) O cianeto de sódio é um inibidor da síntese de ATP na célula. Indique a consequência de sua presença no transporte da substância A e da substância B.

**7 Fuvest** Para a ocorrência de osmose, é necessário que:

- (a) as concentrações de soluto dentro e fora da célula sejam iguais.
- (b) as concentrações de soluto dentro e fora da célula sejam diferentes.
- (c) haja ATP disponível na célula para fornecer energia ao transporte de água.
- (d) haja um vacúolo no interior da célula no qual o excesso de água é acumulado.
- (e) haja uma parede celulósica envolvendo a célula, o que evita sua ruptura.

**8 Puccamp** Nos protozoários de água doce, embora a água passe continuamente do meio externo para o citoplasma, o meio interno tende a permanecer constante graças à ação dos vacúolos contráteis. O esquema a seguir indica o sentido em que a água se move em uma ameba, passando do meio externo para o citoplasma e deste para o vacúolo contrátil.



Os processos responsáveis pelos movimentos I e II são, respectivamente:

- (a) osmose e transporte ativo.
- (b) difusão e osmose.
- (c) transporte ativo e pinocitose.
- (d) pinocitose e fagocitose.
- (e) fagocitose e difusão.

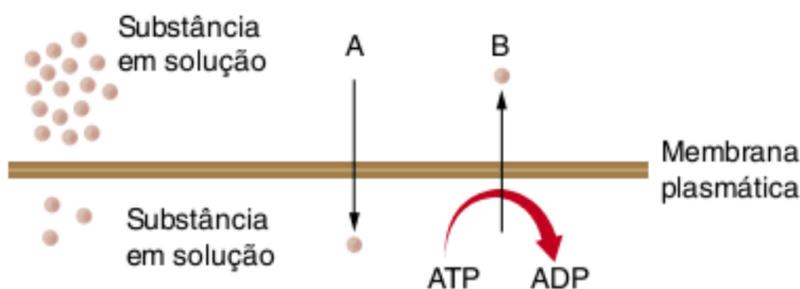
**9 Mackenzie** A tabela a seguir mostra o que ocorre com o volume e as concentrações interna e externa de uma célula ao ser exposta a diferentes soluções.

Situação	A	B
Estado inicial	conc. ext. > conc. int.	conc. ext. < conc. int.
Estado final	conc. ext. = conc. int.	conc. ext. = conc. int.
Volume da célula	constante	alterado

Os processos que ocorreram em A e B são, respectivamente:

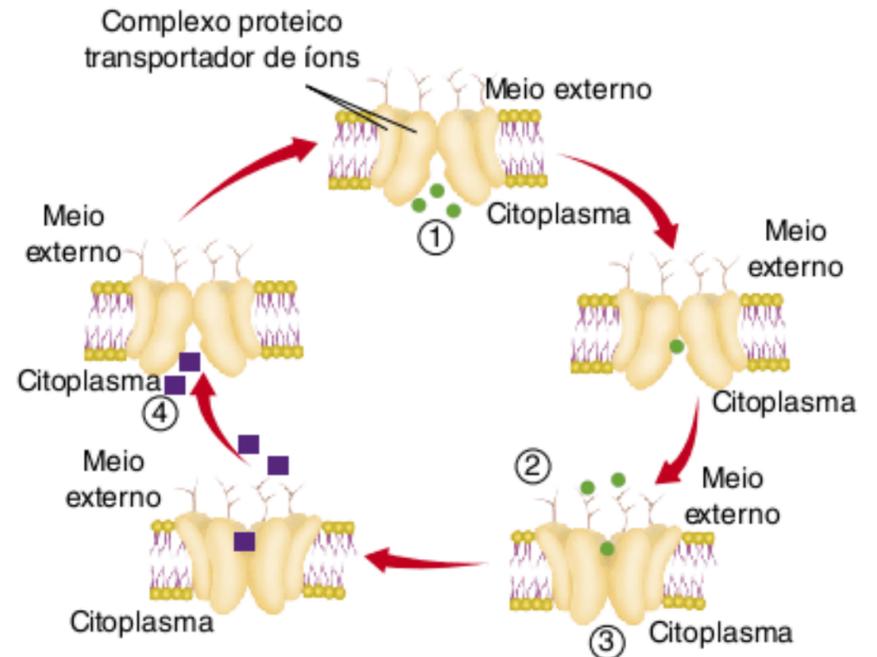
- (a) osmose e difusão.
- (b) difusão e transporte ativo.
- (c) osmose e difusão facilitada.
- (d) difusão e osmose.
- (e) transporte ativo e difusão facilitada.

**10 Ufla** As formas pelas quais a substância está sendo transportada em A e B são, respectivamente:



- (a) transporte ativo e transporte passivo.
- (b) transporte passivo e difusão facilitada.
- (c) difusão e difusão facilitada.
- (d) transporte passivo e transporte ativo.
- (e) transporte ativo e difusão.

**11 Ufal** Observe o esquema a seguir.



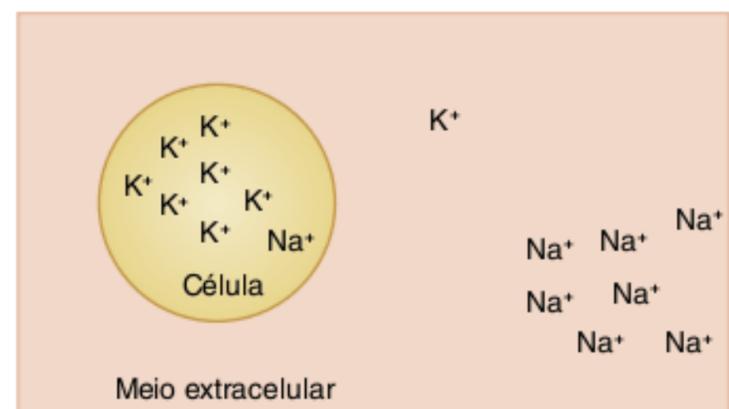
Legenda

- 1. Captura de íons  $\text{Na}^+$
- 2. Liberação de íons  $\text{Na}^+$
- 3. Captura de íons  $\text{K}^+$
- 4. Liberação de íons  $\text{K}^+$

O bombeamento de íons sódio e potássio é um caso bem conhecido de:

- (a) pinocitose.
- (b) fagocitose.
- (c) difusão passiva.
- (d) transporte ativo.
- (e) difusão facilitada.

**12 UFPE 2005** A concentração de íons  $\text{Na}^+$  no meio extracelular é maior do que no meio intracelular. O oposto é observado na concentração de íons  $\text{K}^+$ , como ilustrado a seguir. Essa diferença de concentração é mantida por transporte ativo.



Todavia, há também deslocamento desses íons do local onde estão em maior concentração para o de menor concentração, por um processo de:

- (a) clasmocitose.
- (b) fagocitose.
- (c) osmose.
- (d) difusão.
- (e) pinocitose.

## TEXTO COMPLEMENTAR

Quando uma célula vegetal ganha água por osmose, trata-se da pressão osmótica (PO), também conhecida como sucção interna ( $S_i$ ). Com isso, o volume da célula aumenta e força a parede celular, que exerce uma pressão contrária à sua expansão; é a pressão de turgescência (PT), também denominada de resistência de membrana (M). A resultante da interação entre essas duas forças antagônicas é a **diferença de pressão de difusão** (DPD) ou **sucção celular** ( $S_c$ ). Isso pode ser expresso através de duas equações:

$$S_c = S_i - M \text{ ou}$$
$$DPD = PO - PT$$

Pode-se dizer que  $S_c$  é a capacidade que a célula efetivamente tem de absorver água. Essas equações são úteis para analisar células em três condições:

- **célula túrgida:** apresenta o maior volume possível e sua capacidade efetiva de absorver água é nula ( $S_c = 0$ ). Substituindo esse valor na equação, temos:

$$S_c = S_i - M$$
$$S_c = 0$$

Então,  $S_i = M$

- **célula plasmolisada:** tem o citoplasma descolado da parede celular. Se for colocada em solução hipotônica, absorve água e o citoplasma expande, sem que a parede celular oponha resistência à expansão ( $M = 0$ ). Substituindo esse valor na equação, temos:

$$S_c = S_i - M$$
$$M = 0$$

Então,  $S_c = S_i$

- **célula murcha:** tem o citoplasma com volume reduzido e a parede celular deformada para dentro. Se for colocada em solução hipotônica, absorve água e o citoplasma expande, com a “colaboração” da parede, que também apresenta tendência à expansão; isso significa que a parede atua em sentido contrário ao usual (tem valor negativo). Substituindo esse valor na equação, temos:

$$S_c = S_i - M$$

M é negativo

Então,  $S_c = S_i - (-M)$

$$S_c = S_i + M$$

Portanto,  $S_c$  tem valor máximo.

## RESUMINDO

Podemos construir um quadro geral, com a classificação do transporte através da membrana:

### Tipos de transporte através da membrana

#### I. Transporte em massa ou vesicular

1. **Endocitose:** para dentro da célula.
  - Fagocitose: envolve o transporte de partículas sólidas grandes.
  - Pinocitose: envolve o transporte de grande quantidade de partículas líquidas ou de gotículas de lipídeos.
2. **Exocitose:** para fora da célula.
  - Clasmocitose: eliminação de resíduos não digeridos pela célula com a fusão do vacúolo residual à membrana celular.
  - Secreção celular: transporte de substâncias realizado pelo complexo golgiense.

#### II. Transporte de partículas

1. **Transporte passivo:** sem gasto de energia.

- Difusão simples: fluxo livre de materiais por toda a extensão da membrana, cuja velocidade é proporcional à diferença de concentração.
  - Difusão facilitada: transporte de materiais através da membrana por meio de proteínas transportadoras. Também ocorre a favor de um gradiente de concentração.
  - Osmose: passagem de solvente de uma solução menos concentrada (**hipotônica**) para uma solução mais concentrada (**hipertônica**) através de uma **membrana semipermeável**.
2. **Transporte ativo:** com gasto de energia.
    - Bomba de sódio e potássio: ocorre em todas as células do nosso organismo, tendo grande importância para a transmissão dos impulsos nervosos. À custa de gasto de energia e da ação de proteínas denominadas **permeases**, as células apresentam íons de sódio ( $\text{Na}^+$ ) com maior concentração no meio extracelular e íons de potássio ( $\text{K}^+$ ) com maior concentração no meio intracelular.

## ■ QUER SABER MAIS?



### SITES

- Transporte pela membrana (difusão simples e facilitada)  
<[www.youtube.com/watch?v=9DGWJU7P-uM](http://www.youtube.com/watch?v=9DGWJU7P-uM)>.
- Transporte pela membrana (osmose e transporte ativo – Bomba de sódio e potássio)  
<[www.youtube.com/watch?v=2WihuVIWUkg](http://www.youtube.com/watch?v=2WihuVIWUkg)>.

## Exercícios complementares

**1 Fuvest** Medidas da concentração de íons de sódio ( $\text{Na}^+$ ) e de potássio ( $\text{K}^+$ ), dentro e fora dos neurônios gigantes de lula, revelaram os seguintes valores:

$$\begin{aligned} [\text{Na}^+] \text{ no citoplasma} &= 50 \\ [\text{Na}^+] \text{ no meio extracelular} &= 440 \\ [\text{K}^+] \text{ no citoplasma} &= 400 \\ [\text{K}^+] \text{ no meio extracelular} &= 20 \end{aligned}$$

Se os neurônios são expostos a um bloqueador respiratório, como o cianeto, a concentração de sódio rapidamente se iguala dentro e fora da célula, o mesmo ocorrendo com o potássio. Em condições normais, qual o mecanismo responsável pela manutenção da diferença entre as concentrações iônicas dentro e fora do neurônio?

- Difusão, pelo qual íons podem atravessar a membrana espontaneamente.
- Osmose, pelo qual apenas a água atravessa a membrana espontaneamente.
- Transporte ativo, pelo qual íons atravessam a membrana com gasto de energia.
- Fagocitose, pelo qual a célula captura partículas sólidas.
- Pinocitose, pelo qual a célula captura gotículas.

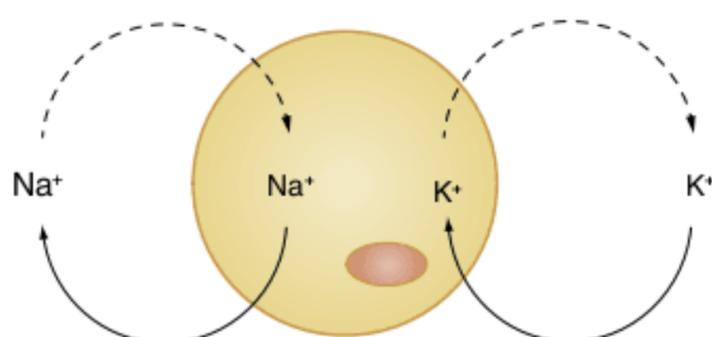
**2 Fuvest** A membrana celular é impermeável à sacarose. No entanto, culturas de levedos conseguem crescer em meio com água e sacarose. Isso é possível porque:

- a célula de levedo fagocita as moléculas de sacarose e as digere graças às enzimas dos lisossomos.
- a célula de levedo elimina enzimas digestivas para o meio e absorve o produto da digestão.
- as células de levedo cresceriam mesmo sem a presença desse carboidrato ou de seus derivados.
- as células de levedo têm enzimas que carregam a sacarose para dentro da célula onde ocorre a digestão.
- a sacarose se transforma em amido, por ação de enzimas dos levedos, e entre as células onde é utilizada.

**3 UEL** Uma célula que perdeu grande quantidade de água só poderá se recuperar se colocada em solução:

- isotônica.
- hipotônica.
- hipertônica.
- isotônica ou hipertônica.
- isotônica ou hipotônica.

**4 Cesgranrio** O esquema a seguir representa a passagem de íons  $\text{Na}^+$  (sódio) e  $\text{K}^+$  (potássio) através da membrana plasmática.



Em relação ao processo esquematizado, podemos afirmar que:

- por transporte ativo, os íons  $\text{Na}^+$  entram na célula objetivando atingir a isotonia.
- por difusão, os íons  $\text{K}^+$  entram na célula contra um gradiente de concentração.
- a entrada de íons  $\text{K}^+$  por transporte ativo é compensada pela saída de  $\text{Na}^+$  pelo mesmo processo.
- a saída de íons  $\text{Na}^+$  por transporte passivo serve para contrabalançar a entrada dos mesmos íons por transporte ativo.
- para entrada e saída desses íons da célula não são consumidas moléculas de ATP.

**5 Unirio** Se colocarmos uma célula animal e outra vegetal em uma solução de  $\text{NaCl}$  a 1,5%, observaremos que:

- ambas as células permanecem intactas por estarem mergulhadas em uma solução isotônica.
- as duas perdem água por osmose e, enquanto a célula animal arrebenta num fenômeno denominado de plasmoptose, a célula vegetal sofre turgência.
- as duas perdem água por osmose e, enquanto a célula animal murcha, ficando com a superfície enrugada, a célula vegetal sofre plasmólise.
- o volume de ambas as células aumenta devido à entrada de água por osmose e, enquanto a célula animal sofre hemólise, a célula vegetal sofre turgência.
- ao serem colocadas em uma solução hipertônica, a célula animal perde água e murcha, enquanto a célula vegetal, protegida pela parede celular, permanece intacta.

**6 Unicamp** Foi feito um experimento utilizando a epiderme de folha de uma planta e uma suspensão de hemácias. Esses dois tipos celulares foram colocados em água destilada e em solução salina concentrada. Observou-se ao microscópio que as hemácias, em presença de água destilada, estouravam e, em presença de solução concentrada, murchavam. As células vegetais não se rompiam em água destilada, mas em solução salina concentrada notou-se que o conteúdo citoplasmático encolhia.

- A que tipo de transporte celular o experimento está relacionado?
- Em que situação ocorre esse tipo de transporte?
- A que se deve a diferença de comportamento da célula vegetal em relação à célula animal? Explique a diferença de comportamento, considerando as células em água destilada e em solução concentrada.

**7 Fatec** Analise os esquemas.

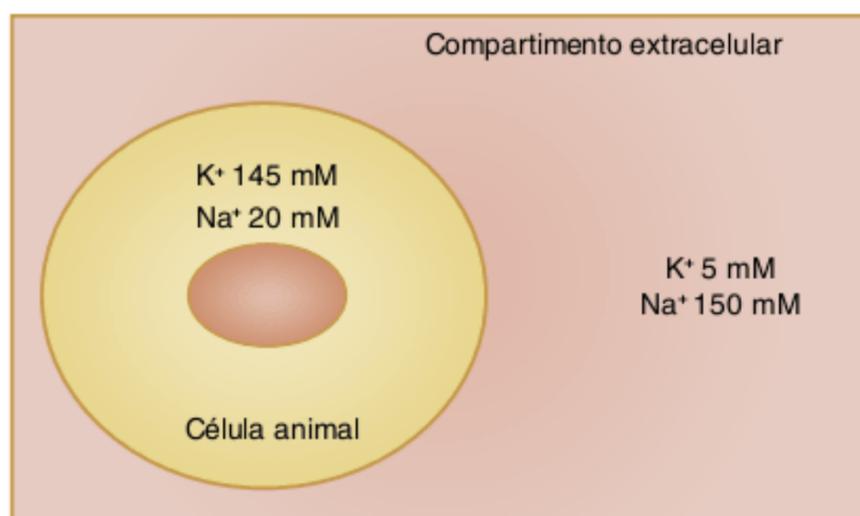


Uma célula animal foi mergulhada na solução de cloreto de potássio, cuja concentração é semelhante à do plasma sanguíneo (esquema 1). Após um certo tempo, a concentração de potássio na célula tornou-se vinte vezes maior que a da solução e o volume da mesma não se alterou (esquema 2).

A explicação para o fenômeno é:

- O potássio entrou na célula por osmose.
- Uma enzima lisossômica rompeu a membrana da célula por uma fração de segundo e o potássio entrou nela.
- Houve transporte ativo de água para o interior da célula e esta arrastou o potássio.
- Houve transporte passivo de potássio para o interior da célula, deslocando água para fora da mesma.
- Houve transporte ativo de potássio para o interior da célula.

**8 UFF** A representação a seguir indica as concentrações intra e extracelulares de sódio e potássio relativas a uma célula animal típica.



Observou-se, em uma experiência, que as concentrações de sódio nos dois compartimentos se tornaram aproximadamente iguais, o mesmo acontecendo com as concentrações de potássio. Neste caso, poderia ter ocorrido:

- uma inibição do processo de difusão facilitada.
- a utilização de um inibidor específico da bomba de cálcio.
- um estímulo ao processo de osmose.
- a utilização de um ativador específico da bomba de sódio e potássio.
- a utilização de um inibidor da cadeia respiratória.

**9 PUC-SP 2001** Duas células vegetais, designadas por A e B, foram mergulhadas em meios diferentes. Logo após, notou-se que a célula A apresentou considerável aumento vacuolar, enquanto a célula B apresentou retração de seu vacúolo e de seu citoplasma.

Apartir desses resultados, pode-se afirmar que as células A e B foram mergulhadas em soluções, respectivamente:

- isotônica e hipertônica.
- isotônica e hipotônica.
- hipotônica e isotônica.
- hipotônica e hipertônica.
- hipertônica e hipotônica.

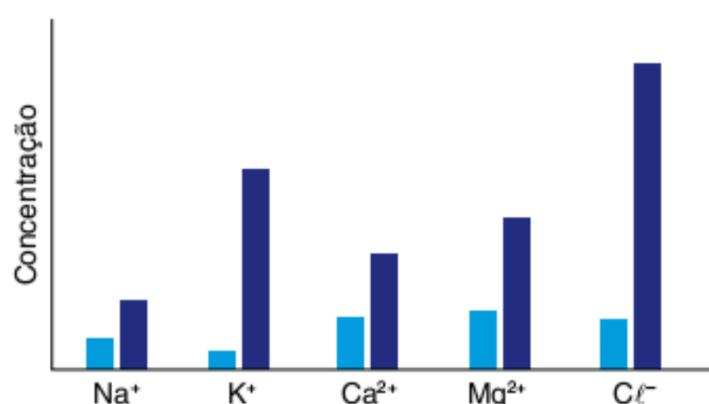
**10 Mackenzie** Considere as seguintes situações.

- Uma célula da raiz de um vegetal absorvendo água do solo.
- Uma célula da folha de uma alface, temperada com sal e vinagre.
- Uma hemácia em um capilar do pulmão.

Assinale a alternativa que apresenta o tipo de transporte que cada célula realiza, em cada caso.

	Situação I	Situação II	Situação III
(a)	transporte ativo	difusão	difusão
(b)	osmose	difusão	osmose
(c)	osmose	difusão	transporte ativo
(d)	osmose	osmose	difusão
(e)	transporte ativo	osmose	osmose

**11 UFSCar 2005** O diagrama apresenta a concentração relativa de diferentes íons na água (barras claras) e no citoplasma de algas verdes (barras escuras) de uma lagoa.



As diferenças na concentração relativa de íons mantêm-se devido à(ao):

- osmose.
- difusão através da membrana.
- transporte passivo através da membrana.
- transporte ativo através da membrana.
- barreira exercida pela parede celulósica.

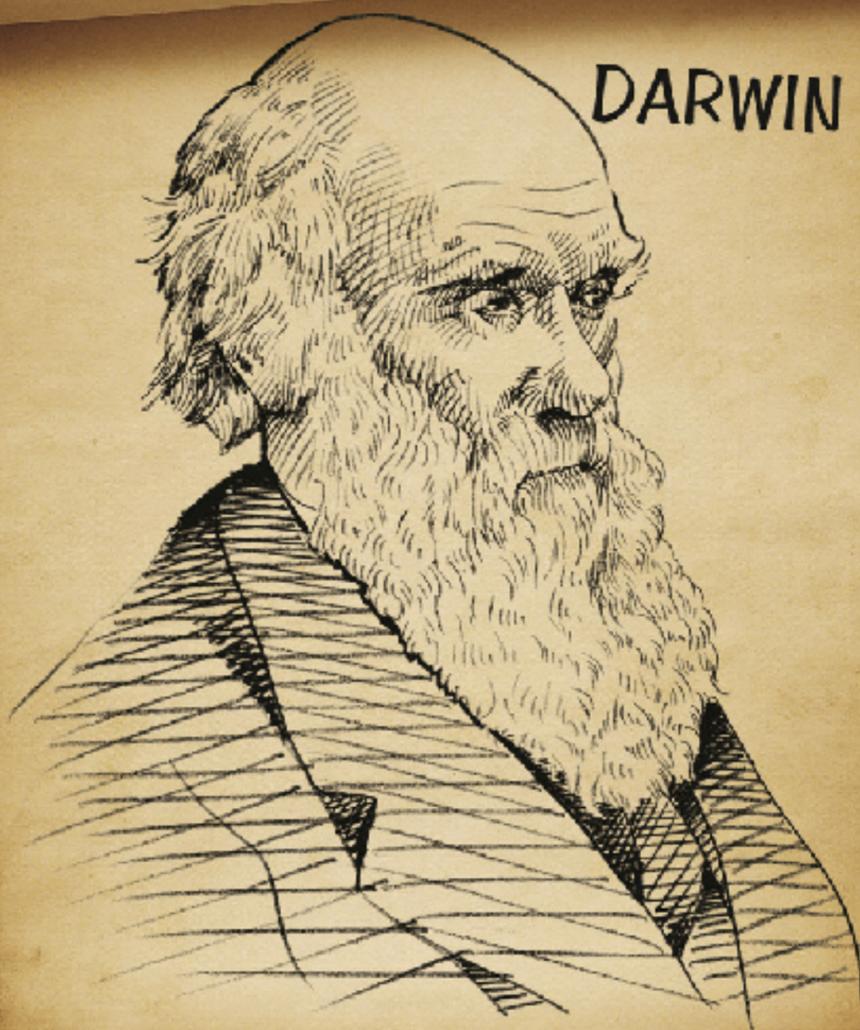
**12** Hemácias colocadas em solução hipotônica incham e explodem. O fenômeno descrito refere-se à(ao):

- difusão simples.
- difusão facilitada.
- transporte ativo primário.
- osmose.
- transporte ativo secundário.

# Introdução à Genética clássica

# 13

FRENTE 1



Charles Robert Darwin, em 1859, criou as bases científicas da Teoria da Evolução, que se dá por meio da seleção natural.



Em 1865, o monge austríaco Gregor Johann Mendel elaborou uma consistente teoria de hereditariedade, que acabou não tendo muita repercussão na comunidade científica da época.

## Noções de probabilidade

O estudo da Genética clássica requer o domínio de alguns conceitos fundamentais de probabilidade, assunto que é tratado com maior profundidade em Matemática.

### Conceito de probabilidade

**Probabilidade** é definida como a relação entre o número de eventos favoráveis e o número de eventos igualmente possíveis.

$$\text{Probabilidade} = P = \frac{\text{número de eventos favoráveis}}{\text{número de eventos igualmente possíveis}}$$

No caso do lançamento de uma moeda, qual é a probabilidade de se obter a face “cara”? O evento favorável é “cara” e os eventos possíveis são “cara” e “coroa”. Isso significa um evento favorável em dois eventos igualmente possíveis (“cara” e “coroa”). O resultado é  $\frac{1}{2}$  ou 50%.

$$P(\text{cara}) = \frac{\text{cara}}{\text{cara, coroa}} = \frac{1}{2} = 50\%$$

No caso do lançamento de um dado, qual é a probabilidade de se obter a face 3? O evento favorável é “face 3”; entretanto, há 6 eventos igualmente possíveis: face 1, face 2, face 3, face 4, face 5 e face 6. Assim, temos:

$$P(\text{face 3}) = \frac{F3}{F1, F2, F3, F4, F5, F6} = \frac{1}{6}$$

### Regra do “ou” – eventos mutuamente exclusivos

No caso de lançamento de dado, qual é a probabilidade de se obter a face 3 ou a face 4? Agora são dois eventos favoráveis: face 3 e face 4; no entanto, seis eventos permanecem igualmente possíveis.

$$P(\text{face 3 ou face 4}) = \frac{F3, F4}{F1, F2, F3, F4, F5, F6} = \frac{2}{6} = \frac{1}{3}$$

Esse resultado envolve os chamados **eventos mutuamente exclusivos**: se der face 3, exclui-se a possibilidade de dar face 4; caso saia face 4, não poderá sair face 3.

No caso de eventos mutuamente exclusivos, podemos calcular a probabilidade de ocorrência de cada evento e fazer sua **soma**.

Assim, temos:

$$P(\text{face 3 ou face 4})$$

$$P(\text{face 3}) = \frac{1}{6}$$

$$P(\text{face 4}) = \frac{1}{6}$$

$$P(\text{face 3 ou face 4}) = \frac{1}{6} + \frac{1}{6} = \frac{2}{6} = \frac{1}{3}$$

### Regra do “e” – eventos independentes

No lançamento simultâneo de um dado e uma moeda, qual é a probabilidade de se obter cara e face 3? Para visualizar os resultados possíveis, podemos montar um quadro.

Dado Moeda	Face 1	Face 2	Face 3	Face 4	Face 5	Face 6
Cara	Evento 1	Evento 3	Evento 5	Evento 7	Evento 9	Evento 11
Coroa	Evento 2	Evento 4	Evento 6	Evento 8	Evento 10	Evento 12

Com base no quadro, podemos constatar que há um evento favorável (cara e face 3) em um total de 12 eventos igualmente possíveis.

$$P(\text{cara e face 3}) = \frac{1}{12}$$

Esse resultado envolve os chamados **eventos independentes**: o resultado do lançamento da moeda não interfere no resultado obtido com o lançamento do dado.

No caso de eventos independentes, podemos calcular a probabilidade de ocorrência de cada evento e fazer a **multiplicação** desses valores.

Assim, temos:

$$P(\text{cara e face 3})$$

$$P(\text{cara}) = \frac{1}{2}$$

$$P(\text{face 3}) = \frac{1}{6}$$

$$P(\text{cara e face 3}) = \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{6} = \frac{1}{12}$$

## Fundamentos da Genética clássica

Genética corresponde ao estudo da hereditariedade. Embora a compreensão dos mecanismos da hereditariedade tenha um caminho interessante, nos ocuparemos dos aspectos fundamentais da Genética, associando-os aos conhecimentos acerca do DNA, da meiose e dos processos básicos da fecundação. O trabalho de Gregor Mendel e outros aspectos históricos são discutidos no Texto Complementar.

Um ser humano ou outro animal, como o porquinho-da-índia (cobaia), tem o material genético nuclear constituído por **filamentos de cromatina**, que se condensam durante a divisão celular, formando os **cromossomos**. Para facilitar a explicação, vamos nos referir aos filamentos de material genético nuclear como cromossomos. Metade dos cromossomos de cada célula tem origem paterna (são provenientes do espermatozoide do pai) e a outra metade tem origem materna (são oriundos do óvulo da mãe). Há ainda o DNA mitocondrial, de origem exclusivamente materna, pois todas as mitocôndrias são procedentes do óvulo e não do espermatozoide.

No ser humano, há 46 cromossomos dispostos em 23 pares. Um dos pares, o que determina o sexo, é designado como sexual. Na mulher, há dois cromossomos sexuais X (XX); no homem, há um cromossomo X e um Y (XY).

Os demais 44 cromossomos são denominados autossômicos. Genes localizados nesses cromossomos são responsáveis pela chamada herança autossômica (Fig. 1). Por enquanto, não serão estudados os casos de herança relacionada aos genes presentes em cromossomos sexuais.

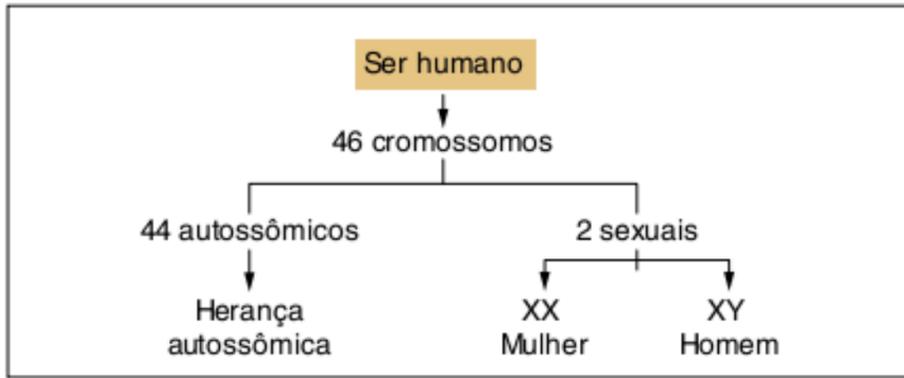


Fig. 1 Tipos de cromossomos dos seres humanos.

As células do organismo derivam do zigoto, que é diploide, ou seja, apresenta pares de cromossomos homólogos, sendo um procedente do pai e outro da mãe.

Vamos considerar um par de homólogos de uma cobaia. Ao longo de um cromossomo, dispõem-se inúmeros **genes**, responsáveis pela expressão de características do indivíduo. **Alelos** são genes que ocupam a mesma posição (*Locus*) em cromossomos homólogos e são responsáveis pela determinação da mesma característica. Em relação à cor do pelo de cobaias, há duas variações: o alelo **B** condiciona pelo preto e o alelo **b** determina pelo branco (Fig. 2).

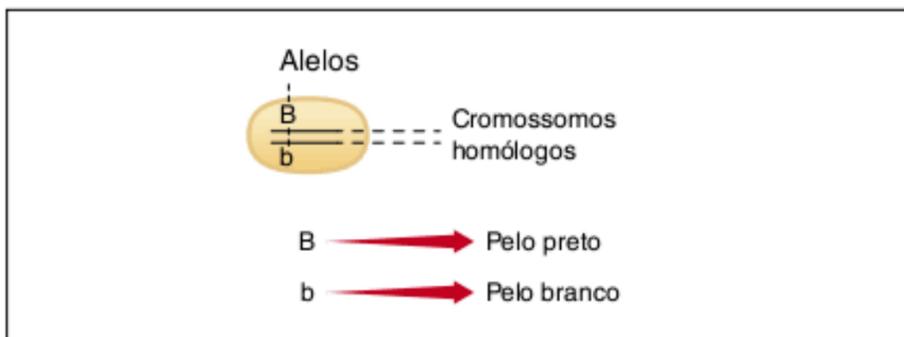


Fig. 2 No caso de cobaias, um indivíduo pode apresentar os alelos B e b presentes na mesma posição em cromossomos homólogos.

Uma cobaia pode ter dois alelos **B** (BB), possuindo pelo preto. Caso a cobaia possua dois alelos **b** (bb), seu pelo será branco. Uma cobaia Bb tem pelo preto; não é cinza nem é “menos preto” do que uma cobaia BB. Isso significa que o alelo **B** é **dominante** em relação ao alelo **b**, ou seja, o alelo **b** é **recessivo**, só expressa sua característica quando está em duplicidade (bb, por exemplo). Geralmente, como forma de representação, utiliza-se a inicial do recessivo para representar os alelos envolvidos na herança estudada, como a letra **b**, de **branco**.

A carga genética que o indivíduo apresenta constitui seu **genótipo**. A característica que ele manifesta é o seu **fenótipo**. Assim, o genótipo BB corresponde ao fenótipo pelo preto; o genótipo bb determina o fenótipo pelo branco. O indivíduo Bb tem fenótipo preto. O fenótipo depende, em geral, da interação entre genótipo e ambiente. Um indivíduo com carga genética para estatura elevada, sem a nutrição adequada, terá a estatura mais reduzida.

Em relação ao genótipo das cobaias, há dois tipos de indivíduos:

- puros ou homocigotos: têm os dois alelos iguais, como é o caso de BB e de bb.
- híbridos ou heterocigotos: têm alelos diferentes, como ocorre com Bb (Fig. 3).

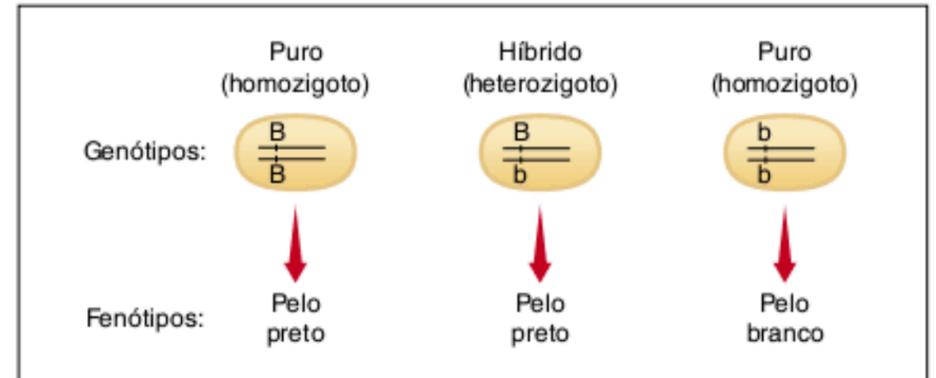


Fig. 3 Indivíduo puro, ou homocigoto, possui alelos iguais (BB ou bb). Indivíduo híbrido, ou heterocigoto, apresenta alelos diferentes (Bb).

Quanto ao fenômeno da dominância entre os alelos, o dominante é o que se manifesta, independentemente do gene acompanhante. O alelo **B** determina pelo preto, estando junto de outro **B** ou de um alelo **b**. Já o alelo recessivo **b** expressa seu fenótipo somente quando se encontra em homocigose: apenas indivíduos **bb** são brancos. Isso significa que o portador de fenótipo recessivo é sempre puro ou homocigoto (Fig. 4).

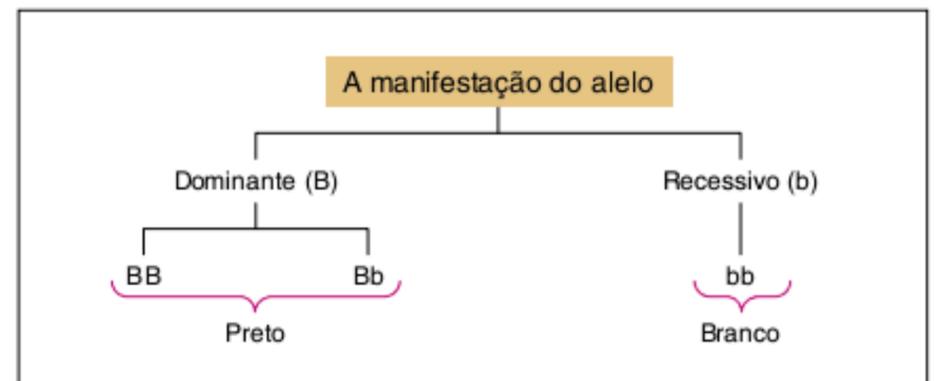


Fig. 4 O alelo recessivo manifesta-se apenas no homocigoto (bb). O alelo dominante manifesta-se em indivíduos homocigotos (BB) e em heterocigotos (Bb).

Se considerarmos uma cobaia de pelo branco, ela certamente será **bb**. Uma cobaia de pelo preto pode ser BB ou Bb (Fig. 5).

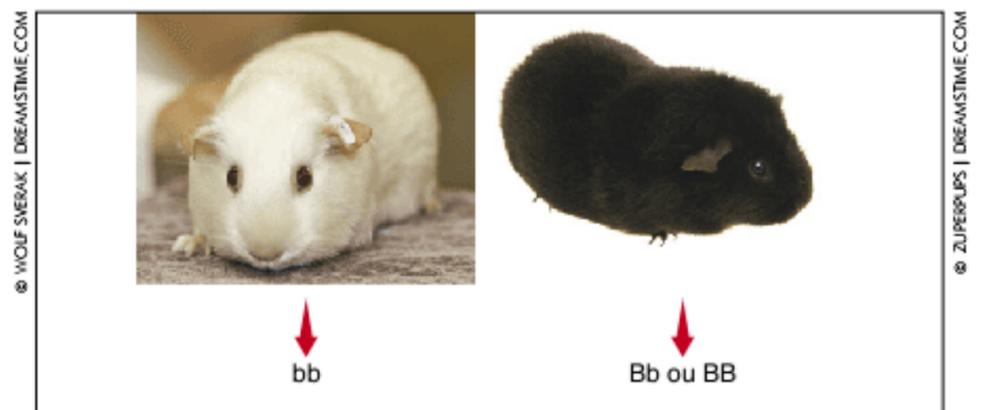


Fig. 5 Cobaias brancas são homocigotas recessivas (bb); cobaias pretas podem ser homocigotas (BB) ou heterocigotas (Bb).

Ainda com relação ao conceito de dominante, é importante salientar que a dominância se refere à atuação do gene na expressão de características no indivíduo e não significa que sua distribuição na população seja maior, ou seja, alelo dominante não corresponde necessariamente ao mais frequente na população. Como exemplo, pode-se citar o alelo que determina a polidactilia (presença de dedos extras). Ele é dominante em relação ao alelo responsável por condicionar o número normal de dedos; no entanto, é mais raro na população (Fig. 6).



Fig. 6 A presença de um dedo a mais é indicativa de polidactilia.

## Gametas

Na reprodução dos animais, os gametas representam o elo entre uma geração e outra. Gametas de animais são gerados por meiose, processo que reduz à metade o número de cromossomos. Evidentemente, isso interfere nos alelos, que se separam. Um indivíduo heterozigoto (Bb) produz dois tipos de gametas: **B** e **b**, com 50% de cada tipo. Um indivíduo BB só gera gametas **B**; um homozigoto recessivo bb produz apenas gametas **b** (Fig. 7).

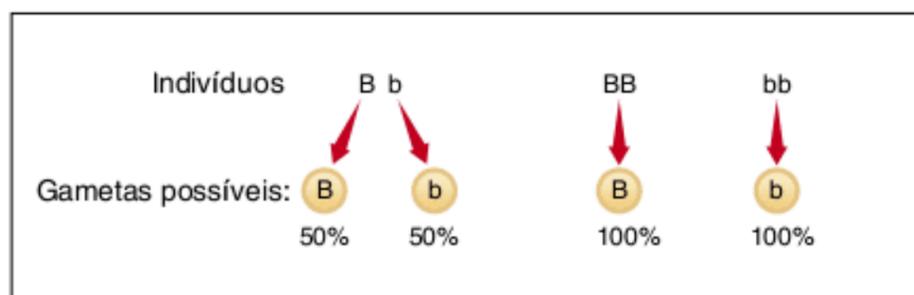


Fig. 7 Representação dos tipos possíveis de gametas que os indivíduos BB, Bb e bb podem formar.

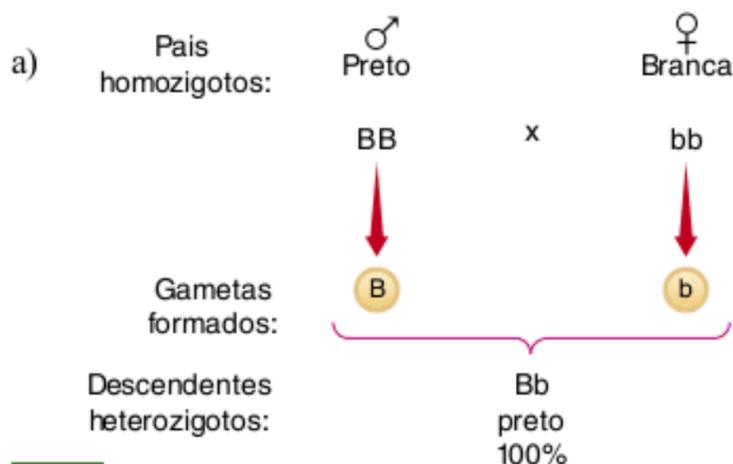
## ATENÇÃO!

O exposto no item "Gametas" corresponde à Primeira Lei de Mendel.

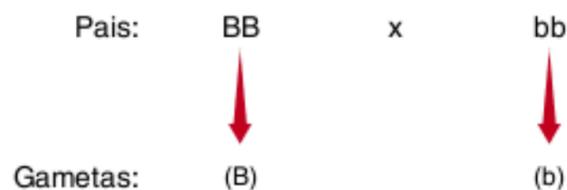
Uma característica é determinada por dois alelos que se separam na formação dos gametas.

## Cruzamentos

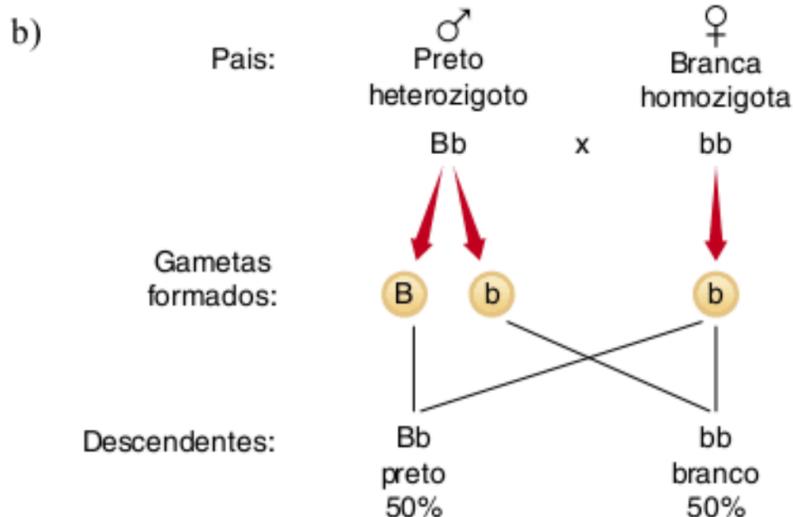
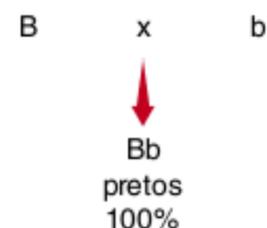
A partir da formação dos gametas, é possível representar cruzamentos de maneira organizada. Vamos ver alguns casos mais importantes, revelando quais são os possíveis descendentes e sua proporção esperada.



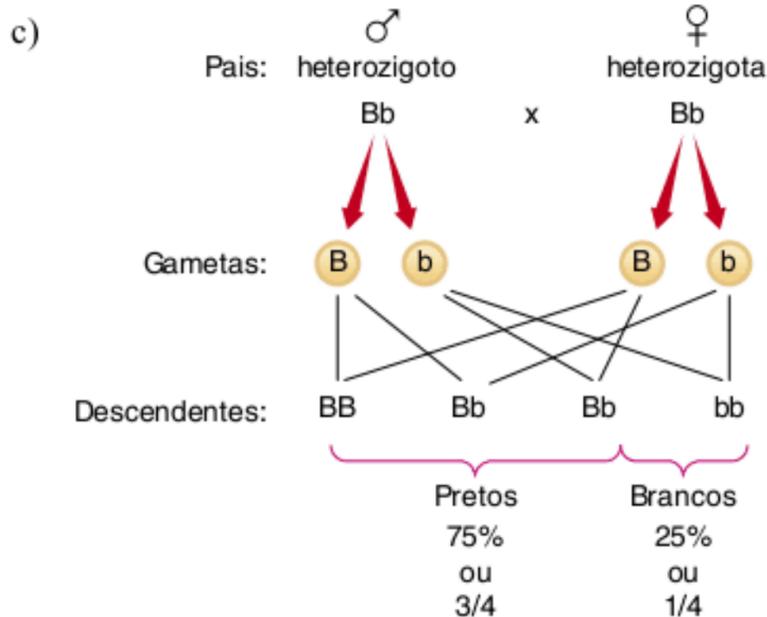
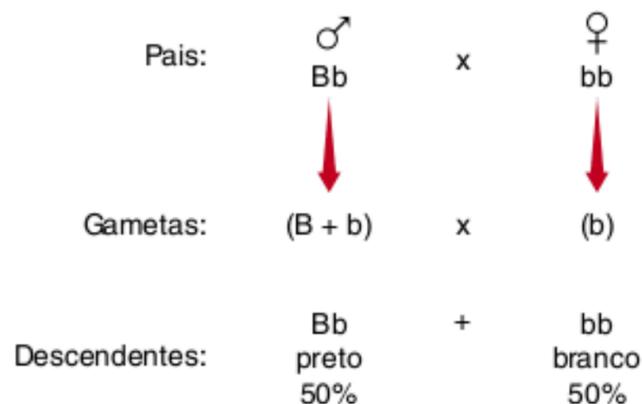
Esse cruzamento pode ser representado por meio de binômios:



O resultado do cruzamento obtido pelo produto B x b:



O cruzamento, representado na forma de binômio, fica desta maneira:



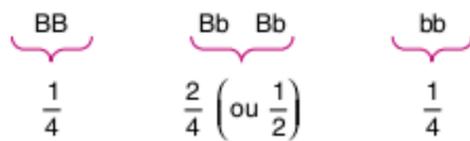
Esse cruzamento pode ser representado por meio de uma tabela (a seguir), com uma entrada para gametas masculinos e outra para gametas femininos.

♂ \ ♀	B	b
B	BB preto	Bb preto
b	Bb preto	bb branco

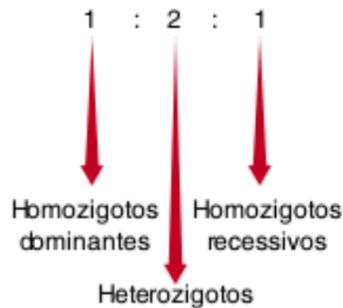
As proporções fenotípicas são:

- $\frac{3}{4}$  de pelagem preta (ou 75%)
- $\frac{1}{4}$  de pelagem branca (ou 25%)

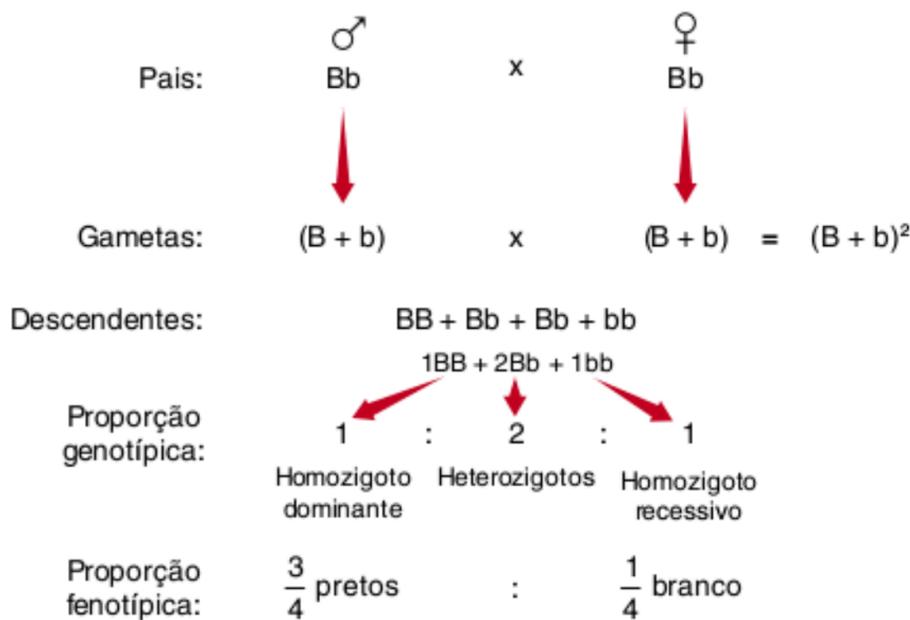
Isso significa que a proporção é de 3:1, ou seja, 3 pretos para 1 branco. Podemos indicar proporções genotípicas desse cruzamento.



Pode-se dizer que a proporção genotípica é de:



O mesmo cruzamento pode ser representado de maneira mais conveniente na forma de binômios:



### Cruzamento mendeliano

Nos trabalhos originais de Mendel, os cruzamentos foram realizados na sequência: geração parental (P), primeira geração filial (F1) e segunda geração filial (F2). A geração P envolve o cruzamento entre homozigoto dominante (BB) com homozigoto

recessivo (bb). A geração F1 resultante é constituída por indivíduos heterozigotos (Bb). O cruzamento dos heterozigotos produz a geração F2, com a distribuição de 3:1, ou seja,  $\frac{3}{4}$  portadores de fenótipo dominante e  $\frac{1}{4}$  portadores de fenótipo recessivo (Fig. 8).

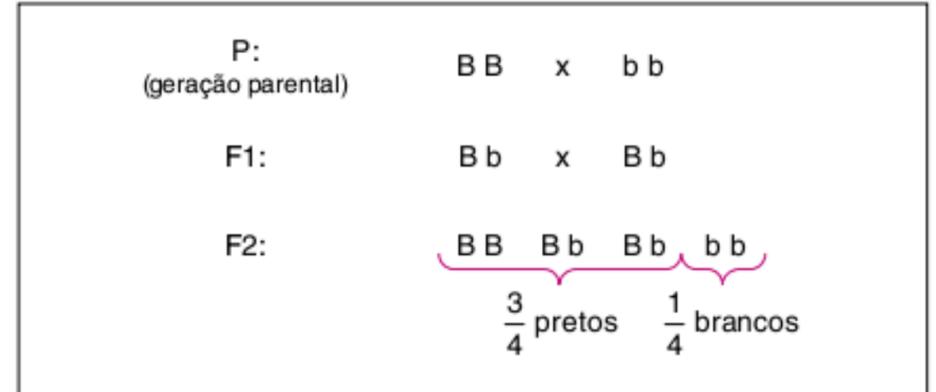


Fig. 8 Cruzamento mendeliano. Representação resumida da sequência de cruzamentos nas gerações P, F1 e F2.

### Determinação de dominância

Em relação às cobaias, informamos nos itens anteriores que o alelo B (pelo preto) é dominante, e que o alelo b (pelo branco) é recessivo. No entanto, há situações em que só temos os fenótipos dos indivíduos e, a partir dessa informação, devemos determinar a dominância dos alelos.

O aspecto dos pelos de cobaias também é determinado por um par de alelos. Há cobaias com pelo liso ou com pelo arrepiado. Quais são os alelos envolvidos? Esse problema é resolvido com cruzamentos controlados, envolvendo grande número de descendentes.

O cruzamento de um macho de pelo liso com uma fêmea de pelo liso gera descendentes de pelo liso. Esse procedimento, repetido por várias gerações, assegura que os indivíduos são homozigotos. O mesmo procedimento é realizado com casal de pelo arrepiado; por várias gerações são obtidos descendentes de pelo arrepiado, revelando tratar-se de indivíduos homozigotos. Assim, são produzidas duas linhagens puras, ou seja, de homozigotos em relação a uma característica (Fig. 9).

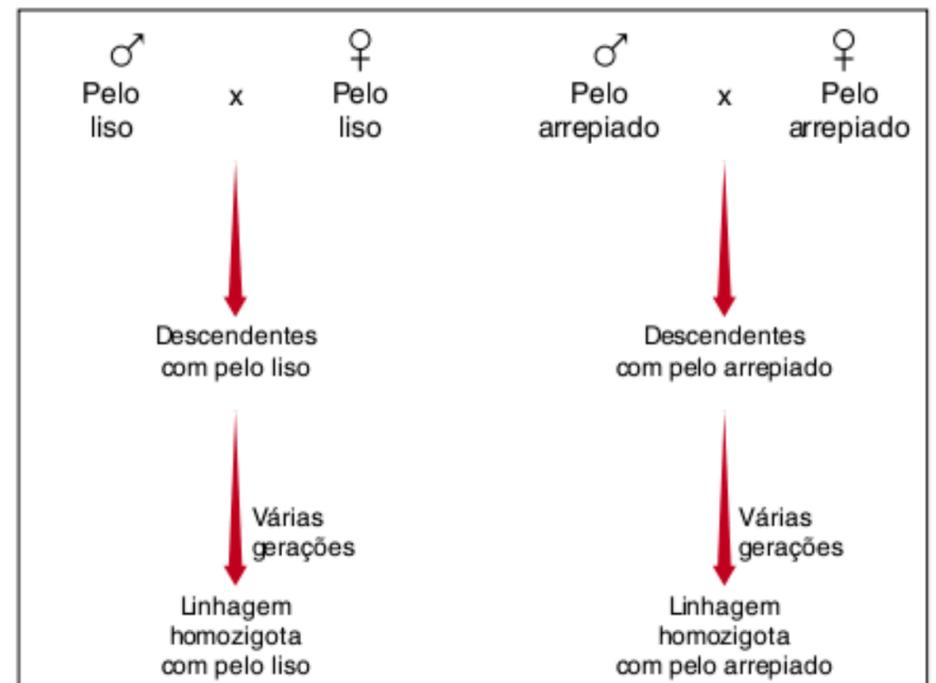


Fig. 9 Linhagens puras são constituídas por indivíduos homozigotos e resultam de cruzamentos sucessivos.

Cruzando-se um macho de pelo arrepiado homozigoto com uma fêmea de pelo liso homozigota, obtém-se descendência constituída por indivíduos de pelo arrepiado, os quais são, obrigatoriamente, heterozigotos. Com isso, pode-se concluir que o alelo para pelo arrepiado é dominante ( $L$ ) em relação ao alelo que condiciona pelo liso ( $\ell$ ) (Fig. 10).

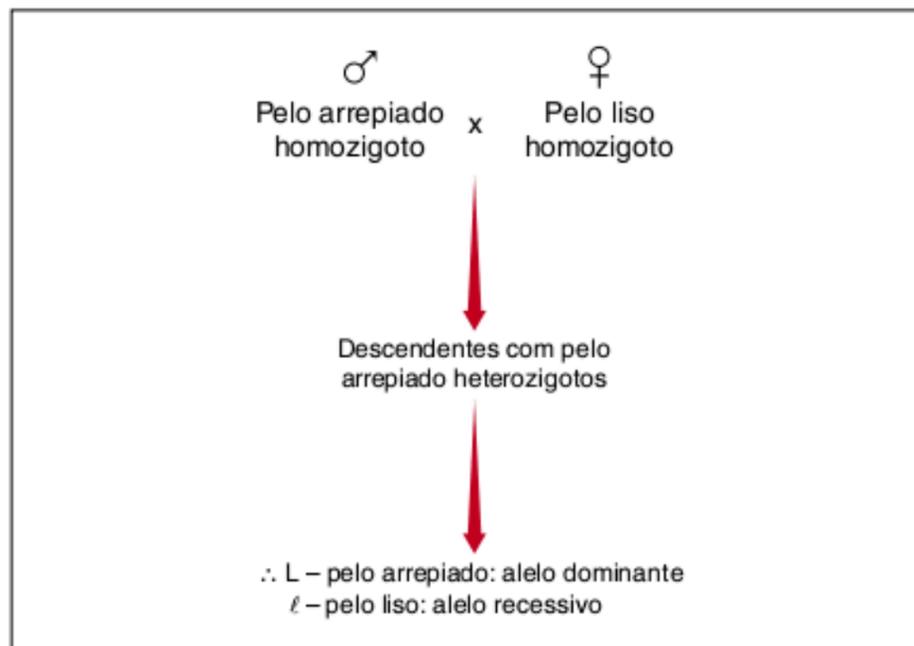


Fig. 10 O cruzamento entre cobaias de linhagens puras de fenótipos diferentes (pelo liso e pelo arrepiado) gera apenas descendentes de pelo arrepiado. Isso permite concluir que o alelo que determina pelo arrepiado é dominante em relação ao alelo que condiciona pelo liso.

Outro caminho para a determinação de dominância é por meio de um tipo de cruzamento envolvendo um casal com mesmo fenótipo e com, pelo menos, um dos descendentes apresentando fenótipo diferente dos pais. Por exemplo, se não fosse conhecida a dominância em relação ao tipo de pelos de cobaia, poderíamos estabelecer o alelo dominante com um casal de pelo arrepiado, com descendente de pelo liso (Fig. 11).

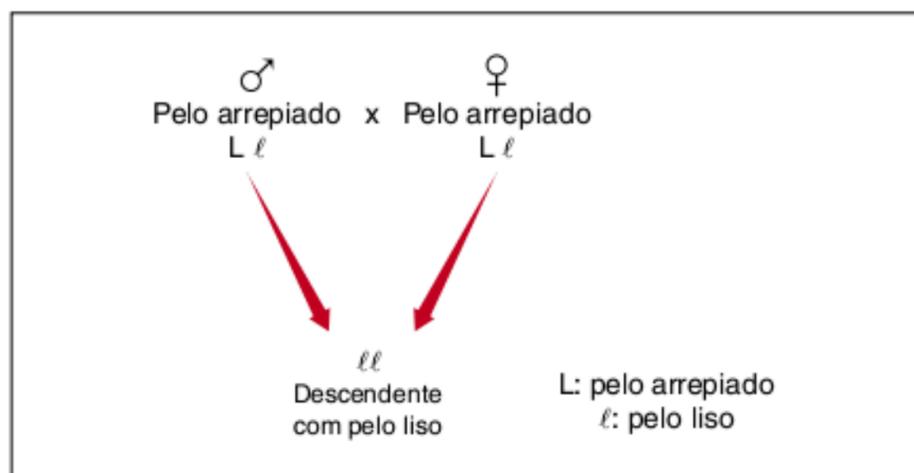


Fig. 11 No caso de o cruzamento gerar alguns descendentes com pelo liso (fenótipo diferente dos pais), pode-se afirmar que estes serão homozigotos recessivos ( $\ell\ell$ ) e os pais, heterozigotos ( $L\ell$ ).

O raciocínio é:

- O indivíduo tem pelo liso porque apresenta genes que determinam essa característica (ele recebeu os genes dos pais).
- Os pais têm gene para pelo liso, mas esse gene não se manifestou neles (eles possuem pelo arrepiado).
- Gene que não se manifesta é recessivo; então, o alelo que condiciona pelo liso é recessivo ( $\ell$ ) e o que determina pelo arrepiado é dominante ( $L$ ).
- Os pais são heterozigotos, e o filho é homozigoto recessivo.

## Heredogramas

Heredogramas são diagramas que representam gerações de indivíduos de grupos familiares. Constituem uma forma organizada de visualizar e compreender padrões hereditários. São também denominados genealogias ou *pedigrees*.

Há certas convenções adotadas para a construção de heredogramas (Fig. 12). As gerações são representadas com algarismos romanos (I, II, III etc.); os indivíduos de cada geração são indicados por algarismos arábicos (1, 2, 3, 4 etc.), da esquerda para a direita, colocados na ordem de nascimento por casal. Indivíduos do sexo feminino são representados por círculos e masculinos por quadrados; quando o sexo não é informado, representa-se o indivíduo por triângulo ou losango. Um traço horizontal entre círculo e quadrado significa cruzamento; dois traços paralelos representam cruzamento consanguíneo (há parentesco entre os componentes do casal). Um traço horizontal acima de um grupo de indivíduos significa que eles são descendentes de um certo casal. Outra convenção importante consiste em representar círculos e quadrados preenchidos ou em preto como tendo uma característica (como pelo arrepiado). Círculos e quadrados sem preenchimento ou em branco indicam a característica oposta, que contrasta com a dos representados com preenchimento ou em preto (caso de cobaias com pelo liso).

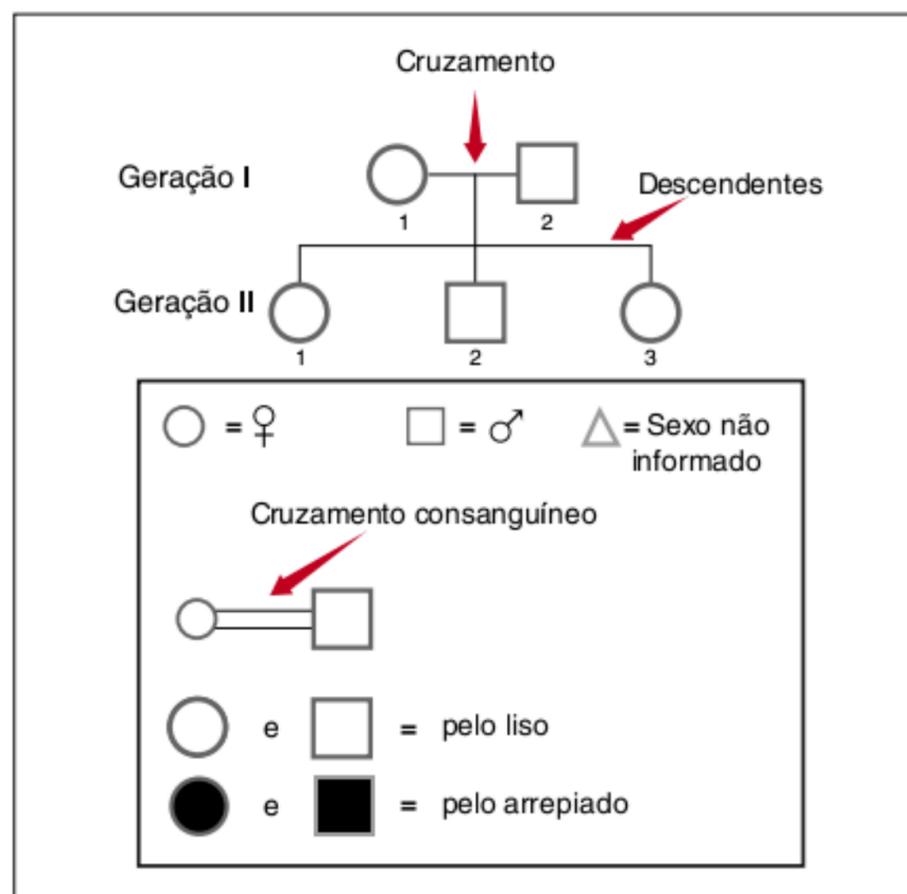


Fig. 12 Principais convenções adotadas na construção de heredogramas. Os diferentes tipos de fenótipos na herança estudada devem ser destacados; no caso de pelagem de cobaias, os portadores de pelo arrepiado são representados em preto; e os indivíduos com pelo liso, em branco.

## Definição de genótipos: cruzamento-teste

Cobaias de pelo branco são portadoras de genótipo  $bb$ ; o portador de fenótipo recessivo é sempre puro (homozigoto). No entanto, cobaias de pelo preto podem ser homozigotas ( $BB$ ) ou heterozigotas ( $Bb$ ). Para determinar o genótipo de indivíduo portador de fenótipo dominante (preto), realiza-se o chamado cruzamento-teste (*test-cross*). Um macho com genótipo desconhecido (preto) é cruzado com fêmea branca, que certamente

tem genótipo **bb**. Com a obtenção de grande número de descendentes é possível elucidar o problema (Fig. 13).

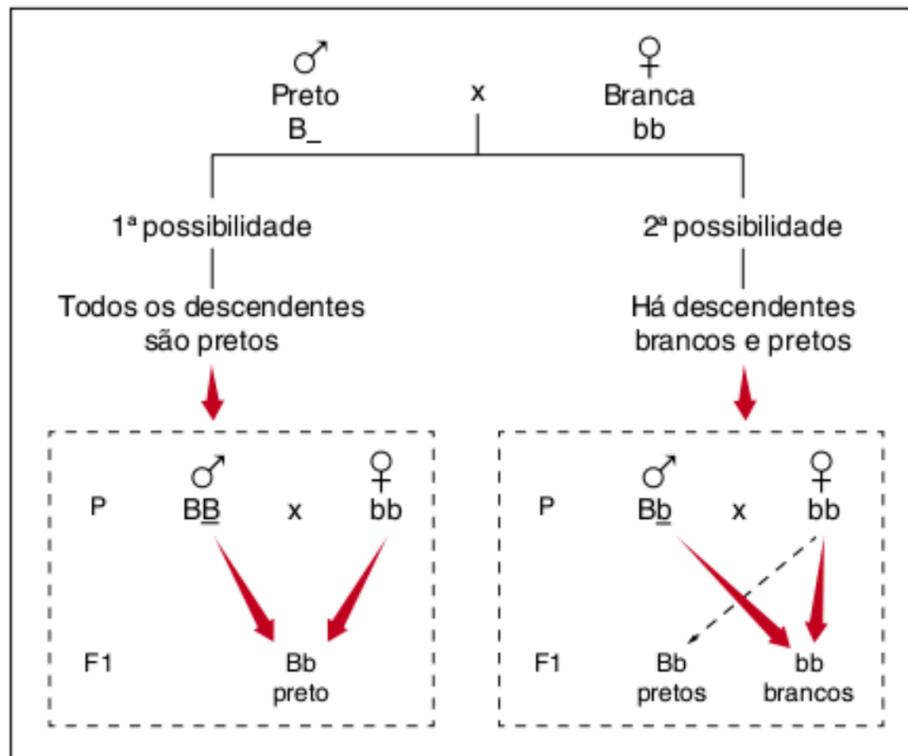


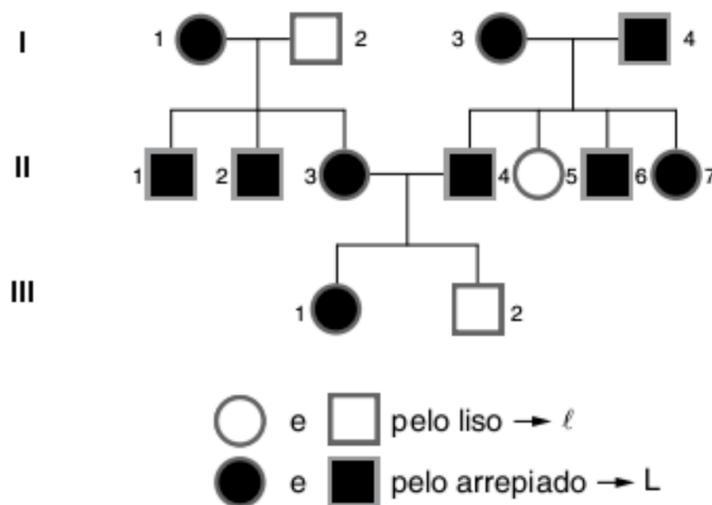
Fig. 13 Cruzamento-teste para elucidar o fenótipo de macho de cobaia com pelagem preta (pode ser BB ou Bb). Esse macho é cruzado com fêmea de pelagem branca (bb). Dependendo do fenótipo dos descendentes do casal, pode-se determinar o fenótipo do macho.

Há dois resultados possíveis:

- Todos os descendentes são pretos. Sendo assim, o macho preto não possui o alelo b; se ele tivesse esse alelo, haveria algum descendente branco (bb). Assim, o indivíduo preto é BB.
- Há descendentes de dois tipos: pretos e brancos. Isso significa que o macho preto possui o alelo b; um descendente branco é bb – recebeu um alelo b da mãe e outro do pai, o qual apresenta genótipo Bb.

**Exercícios resolvidos**

1 Considere a seguinte genealogia e determine os genótipos possíveis.



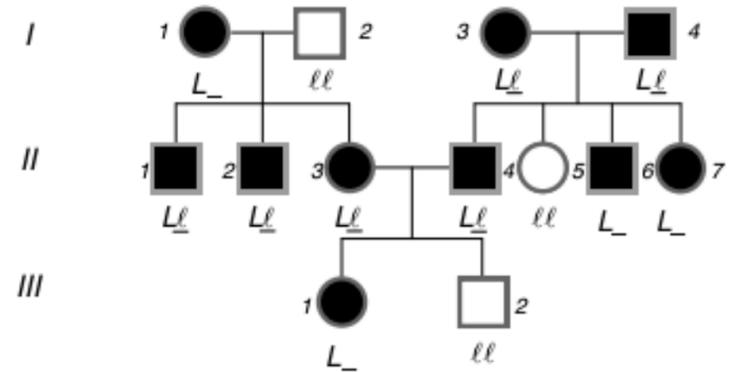
Os indivíduos de pelo liso são ℓℓ (I.2, II.5 e III.2). Os indivíduos de pelo arrepiado possuem ao menos um alelo L. Podem ser representados por L\_.

O preenchimento do alelo que acompanha L é feito com a ajuda do homocigoto recessivo (ℓℓ). Esse indivíduo transmite o alelo ℓ para todos os seus descendentes; no entanto, ele recebe um alelo ℓ do pai e outro da mãe.

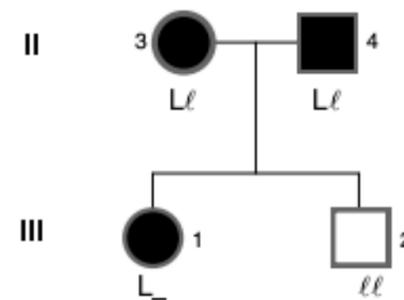


**Resolução:**

Todos os genótipos são estabelecidos, exceto os dos indivíduos I.1, II.6, II.7 e III.1, que poderiam ser LL ou Lℓ.

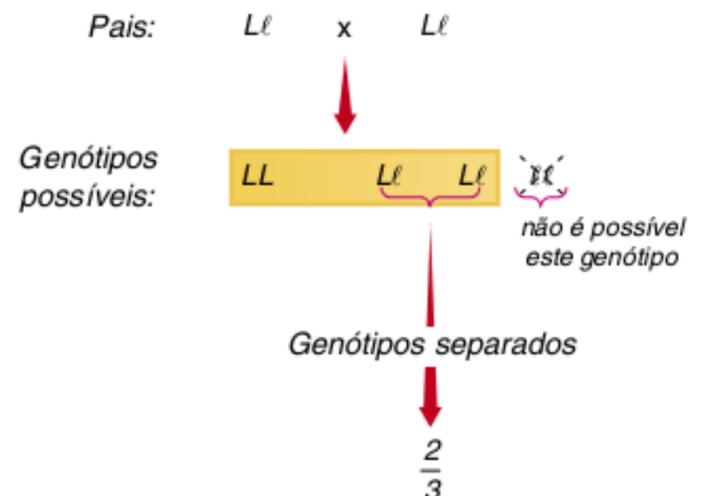


2 No estudo das genealogias, ocorrem casos de probabilidade condicional. Por exemplo, qual é a probabilidade de a fêmea III.1 ser heterocigota? O heredograma que corresponde a esse questionamento é:



**Resolução:**

Os pais de III.1 são heterocigotos (Lℓ) e os genótipos possíveis dos descendentes são: LL, Lℓ, Lℓ e ℓℓ. No entanto, a fêmea considerada tem pelo arrepiado e não pode ser ℓℓ. Assim, a probabilidade de ser heterocigota restringe-se a duas possibilidades em 3: LL, Lℓ ou Lℓ.



Então, a probabilidade de III.1 ser heterocigota é de 2/3.

## Revisando

**1** Leia com atenção o texto a seguir e responda ao que se pede.

“Muito embora o estudo da probabilidade seja tratado com maior rigor na Matemática, seu domínio é imprescindível para o estudo da Genética clássica”.

Pela razão apresentada no texto, defina probabilidade.

---

---

---

**2** Ao retirarmos uma carta de um baralho completo (52 cartas), qual a probabilidade de “sair” um rei de ouros?

---

---

---

**3** Defina Genética.

---

---

---

**4** Leia o texto a seguir e responda ao que se pede.

O ser humano possui 46 cromossomos, dispostos em 23 pares. Um dos pares, designado como sexual, determina o sexo.

a) Qual a denominação dos demais 44 cromossomos?

---

---

---

b) Os genes localizados nesses 44 cromossomos possuem alguma função? Se sim, qual?

---

---

---

**5** Leia com atenção o texto a seguir e responda ao que se pede.

“A carga genética que o indivíduo apresenta constitui seu genótipo. A característica que ele manifesta é o seu fenótipo”.

a) O que é fenótipo?

---

---

---

b) Dê um exemplo de fenótipo influenciado pelo meio.

---

---

---

**6** Defina os termos homocigoto e heterocigoto.

---

---

---

**7** O que são hereditogramas?

---

---

---

**8** Um casal com olhos castanhos (dominante) tem dois filhos com olhos azuis (recessivo). Qual é a probabilidade de, em uma terceira gestação, nascer uma criança com olhos castanhos?

---



---

**9 Fuvest (Adapt.)** Qual a porcentagem de descendentes Aa nascidos de uma mãe Aa?

---



---

**10 FEI (Adapt.)** Em um homem heterozigoto para determinado caráter, qual a porcentagem provável de espermatozoides que conterão o gene recessivo desse caráter?

---



---

**11 UFRJ** No gado bovino da raça *Ayrshire*, a cor mogno é determinada pelo genótipo  $A_1A_1$  e a cor vermelha pelo genótipo  $A_2A_2$ , mas o genótipo  $A_1A_2$  é mogno nos machos e vermelho nas fêmeas. Com base nessas informações, qual é o sexo de um filhote vermelho, cuja mãe é uma vaca mogno? Justifique a sua resposta.

---



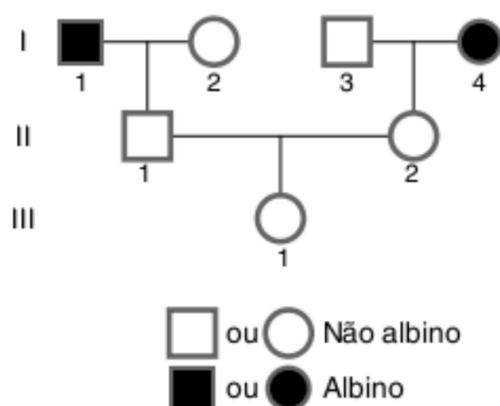
---

## Exercícios propostos

**1 FGV** Sabe-se que o casamento consanguíneo, ou seja, entre indivíduos que são parentes próximos, resulta em uma maior frequência de indivíduos com anomalias genéticas. Isso pode ser justificado pelo fato de os filhos apresentarem:

- (a) maior probabilidade de heterozigotes recessivos.
- (b) maior probabilidade de homozigotes recessivos.
- (c) menor probabilidade de heterozigotes dominantes.
- (d) menor probabilidade de homozigotes dominantes.
- (e) menor probabilidade de homozigotes recessivos.

**2 UFPE** Renata (III. 1), cuja avó materna e avô paterno eram albinos, preocupada com a possibilidade de transmitir o alelo causador do albinismo a seus filhos, deseja saber qual a probabilidade de ela não ser portadora desse alelo.



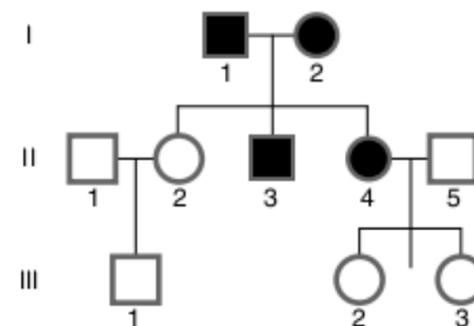
Assinale a alternativa que responde ao questionamento de Renata.

- (a) 0
- (b)  $\frac{1}{4}$
- (c)  $\frac{3}{4}$
- (d)  $\frac{1}{3}$
- (e) 1

**3 Unifor 2003** Para cada característica herdada, um organismo possui dois genes, um vindo do pai e o outro da mãe. Quando os dois alelos de um par são diferentes, o organismo é \_\_\_\_\_, nesse caso, se a expressão de um dos alelos não puder ser notada, é denominado \_\_\_\_\_. Para completar corretamente o texto, as lacunas devem ser preenchidas, respectivamente, por:

- (a) homólogo e dominante.
- (b) heterogamético e paterno.
- (c) recombinante e heterólogo.
- (d) dizigótico e idêntico.
- (e) heterozigótico e recessivo.

**4 Fuvest (Adapt.)** O heredograma a seguir representa uma família com pessoas afetadas por uma doença hereditária.



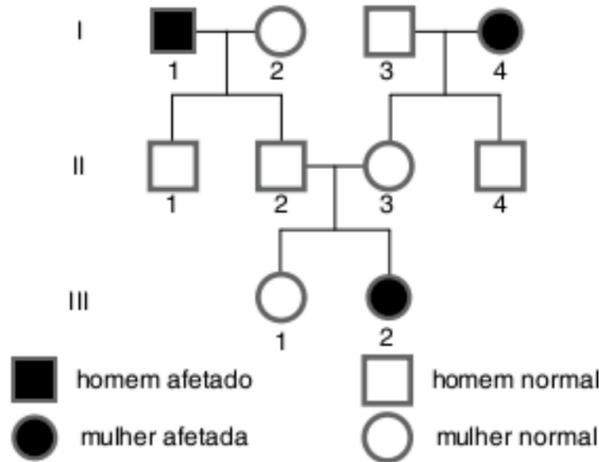
- Homem normal
- Mulher normal
- Homem afetado
- Mulher afetada

A doença tem herança dominante ou recessiva? Por quê?

**5 Mackenzie** Um casal, em que ambos são polidáctilos, tem uma filha também polidáctila e um filho normal. A probabilidade de o casal vir a ter uma filha normal é de:

- (a)  $\frac{1}{4}$  (c)  $\frac{1}{8}$  (e)  $\frac{2}{3}$   
 (b)  $\frac{1}{6}$  (d)  $\frac{1}{12}$

**6 Unesp** Analise a genealogia que apresenta indivíduos afetados por uma doença recessiva e indivíduos normais.

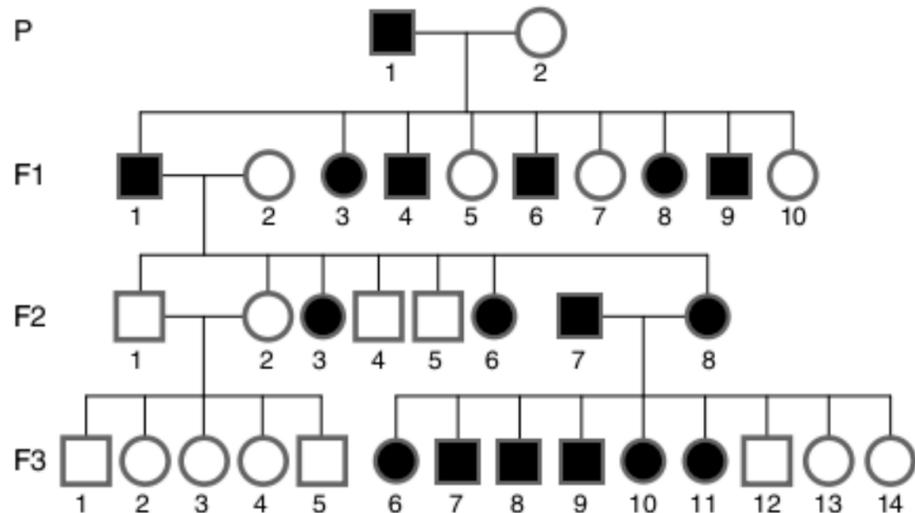
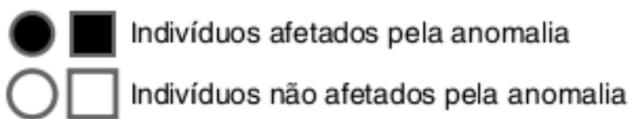


- a) Quais os indivíduos representados na genealogia que são obrigatoriamente heterozigotos?  
 b) Qual a probabilidade de o casal formado pelos indivíduos II-2 e II-3 ter mais dois filhos, sendo ambos do sexo masculino e afetados?

**7 UEL** Sabe-se que o albinismo é determinado pela ação de um gene recessivo autossômico. Considere um casal normal que teve 6 crianças todas normais. Sabendo-se que o avô paterno e a avó materna das crianças eram albinos, podemos afirmar com certeza que a probabilidade de um novo filho vir a ser albino (sem considerar o sexo), será:

- (a) 0% (b) 25% (c) 50% (d) 75% (e) 100%

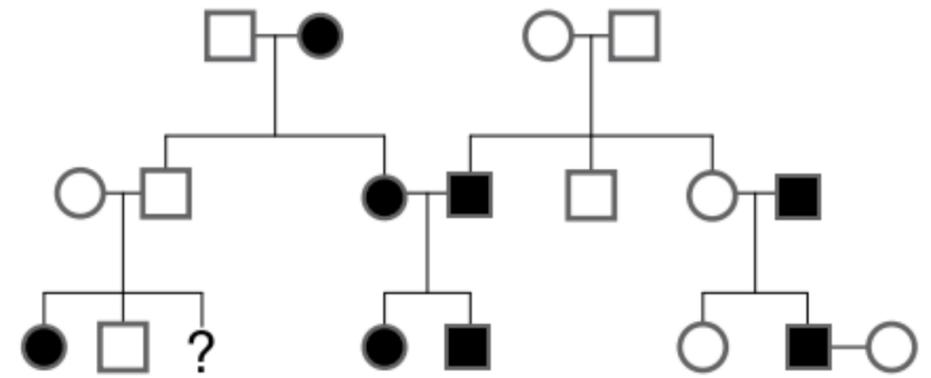
**8 UFJF (Adapt.)** Em uma aula de Genética, o professor lhe apresenta o heredograma a seguir, que mostra a ocorrência de uma anomalia causada pela ação de um par de genes (A e a) em várias gerações de uma família. Ao analisar os indivíduos afetados por essa anomalia, você conclui que se trata de uma herança autossômica dominante.



Baseando-se exclusivamente no heredograma apresentado, responda:

- a) Por que a anomalia não pode ser recessiva?  
 b) Qual a probabilidade de nascer uma criança afetada pela anomalia se a mulher (4) da geração F3 tiver filhos com um homem que apresente essa anomalia?

**9 UFMG** As pessoas podem detectar a substância química feniltiocarbamida – PTC – sentindo um gosto amargo ou mesmo não sentindo qualquer sabor. Observe este heredograma para a capacidade de sentir o gosto dessa substância.

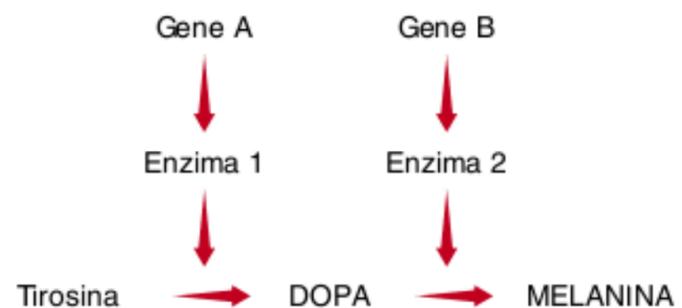


- ? = Próximo filho  
 □ ○ = Sentem o gosto de PTC.  
 ■ ● = Não sentem o gosto de PTC.

Com base nesse heredograma e em outros conhecimentos sobre o assunto, é incorreto afirmar que:

- (a) o alelo para a capacidade de sentir o gosto do PTC é dominante.  
 (b) o loco do gene em estudo está situado em um cromossomo autossômico.  
 (c) o risco de III-3 nascer incapaz de sentir o gosto do PTC é de 50%.  
 (d) os indivíduos I-1 e II-1 são heterozigotos.

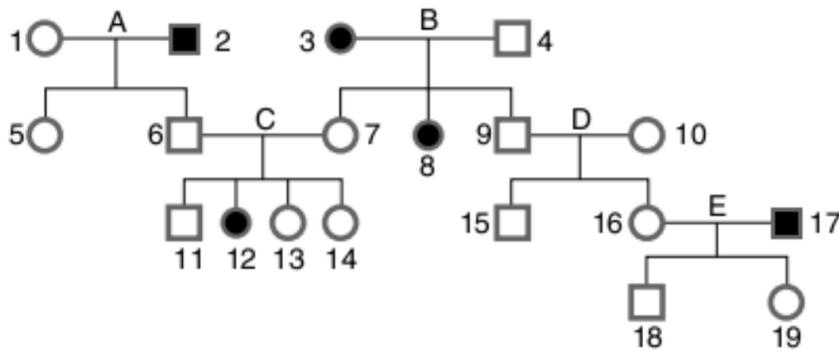
**10 UFMG** Os indivíduos albinos não possuem melanina – pigmento responsável pela cor e proteção da pele – e, por isso, são muito sensíveis à luz solar. Neste esquema, está representada parte da via biossintética para a produção desse pigmento:



Com base nesse esquema e em outros conhecimentos sobre o assunto, é incorreto afirmar que:

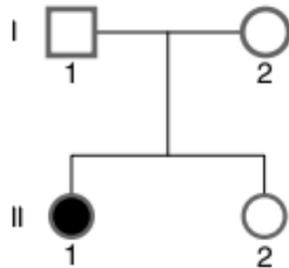
- (a) a ausência da enzima 1 resulta em um aumento da concentração de tirosina.  
 (b) casamentos entre indivíduos albinos não podem gerar descendentes com melanina.  
 (c) diferentes genótipos podem dar origem ao albinismo.  
 (d) indivíduos AABB formam gametas do tipo AA e BB.

**11 Unirio 2003** O popular “Teste do pezinho” feito em recém-nascidos pode detectar a doença fenilcetonúria. Tal doença deve-se à presença de uma enzima defeituosa que não metaboliza corretamente o aminoácido fenilalanina, cuja ingestão provoca retardamento mental. Na genealogia a seguir, os indivíduos que apresentam fenilcetonúria estão em negro. Sabendo-se que a determinação do caráter se deve apenas a um par de genes autossômicos, determine o cruzamento que permite diagnosticar a recessividade do gene que condiciona a fenilcetonúria e a probabilidade de nascer uma menina afetada a partir do cruzamento 12 × 18.



- (a) C e 50%
- (b) C e 25%
- (c) B e 6,25%
- (d) B e 8,25%
- (e) C e 75%

**12 UFC 2003** No heredograma adiante, a criança II-1 tem fibrose cística, uma doença causada por um alelo recessivo autossômico. As probabilidades de que sua irmã (II-2) não afetada seja carreadora ou não carreadora da fibrose cística são, respectivamente:



- (a) zero,  $\frac{1}{4}$
- (b)  $\frac{1}{4}$ ,  $\frac{1}{2}$
- (c)  $\frac{1}{4}$ ,  $\frac{1}{4}$
- (d)  $\frac{2}{3}$ ,  $\frac{1}{3}$
- (e)  $\frac{1}{2}$ ,  $\frac{1}{2}$

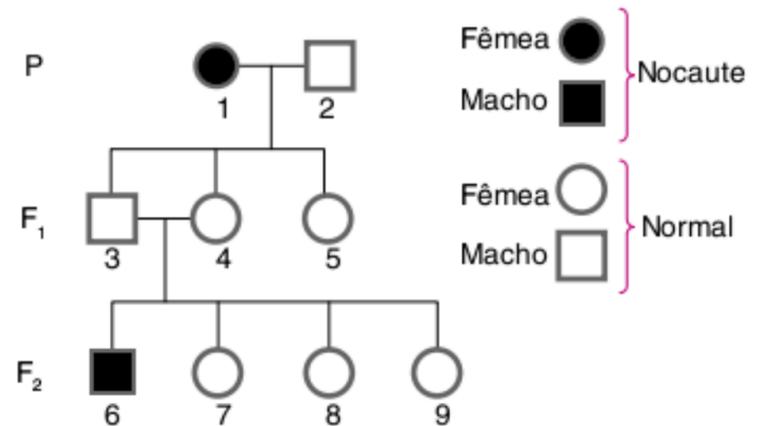
**13 UFRJ 2003** A laranja-da-baía surgiu em 1810 e, por não possuir sementes, tem sido propagada assexuadamente através de mudas e enxertia. Por ser uma variedade triploide (3n)

de laranja, sua meiose é anormal, não produzindo gametas viáveis. Atualmente, milhões de pés de laranja-da-baía estão espalhados em plantações no Brasil e nos Estados Unidos. Sabe-se que a variabilidade genética de uma população depende dos seguintes fatores:

1. permutação cromossômica ou *crossing-over* (troca de fragmentos entre cromossomos de um mesmo par de homólogos);
2. mutação (modificação da sequência de nucleotídeos de uma molécula de ADN); e
3. segregação independente (recombinação aleatória de cromossomos dos diferentes pares de homólogos).

Identifique qual(is) deste(s) fator(es) pode(m) contribuir para a variabilidade genética da laranja-da-baía. Justifique sua resposta.

**14 UFF** Foi estabelecida uma linhagem de camundongos nocaute – esses animais se caracterizam por não expressar um determinado gene. Após uma infecção em que apenas uma fêmea nocaute sobreviveu, a linhagem pôde ser reestabelecida por meio do acasalamento descrito a seguir.



Pode-se afirmar que:

- (a) por meio do acasalamento do macho 3 com a fêmea nocaute, 75% dos filhotes nascerão normais.
- (b) em F<sub>2</sub>, 50% dos filhotes são animais com o genótipo heterozigoto.
- (c) o acasalamento do macho 3 com a fêmea 5 produzirá maior número de camundongos nocaute do que o acasalamento desse macho com a fêmea 4.
- (d) o cruzamento do macho 2 com uma das fêmeas de F<sub>1</sub> originará camundongos dos quais 75% serão heterozigotos.
- (e) a herança do caráter nocaute é autossômica dominante.

**15 Uece 2006** Se num cruzamento-teste encontramos a proporção fenotípica 1:1, isto é, 50% da progênie com fenótipo dominante e 50% com fenótipo recessivo, podemos concluir corretamente que:

- (a) o genótipo do indivíduo testado era homozigoto.
- (b) o genótipo do indivíduo testado era heterozigoto.
- (c) ambos os genótipos dos indivíduos cruzados eram homozigotos.
- (d) ambos os genótipos dos indivíduos cruzados eram heterozigotos.

# TEXTO COMPLEMENTAR

## Os trabalhos de Mendel

Gregor Mendel (1822-1884) publicou um trabalho em 1865 sobre a reprodução de ervilhas da espécie *Pisum sativum*, em que estabeleceu fundamentos acerca da hereditariedade. No entanto, esse trabalho não recebeu a atenção de seus contemporâneos. Apenas em 1900 ocorreu a redescoberta de suas pesquisas e, então, veio o reconhecimento do seu trabalho.

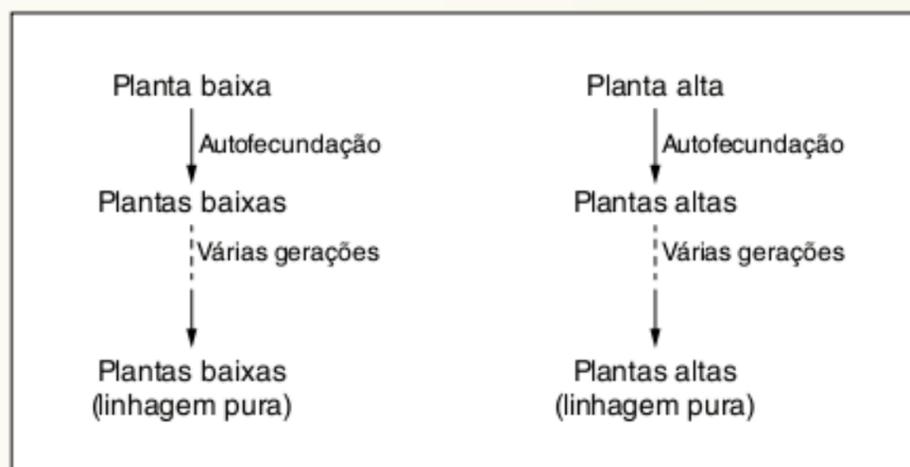
Mendel estudou separadamente sete características das ervilhas, como a cor das sementes, que eram verdes ou amarelas. Cada uma das outras características apresentava duas variações facilmente identificáveis.

Característica	Variações
Cor da semente	Verde ou amarela
Aspecto da semente	Rugosa ou lisa
Cor da vagem	Amarela ou verde
Aspecto da vagem	Constrita ou intumescida
Tamanho da planta	Baixa ou alta
Cor da flor	Branca ou vermelha
Posição da flor	Terminal ou axilar

Características estudadas por Mendel e suas variações.

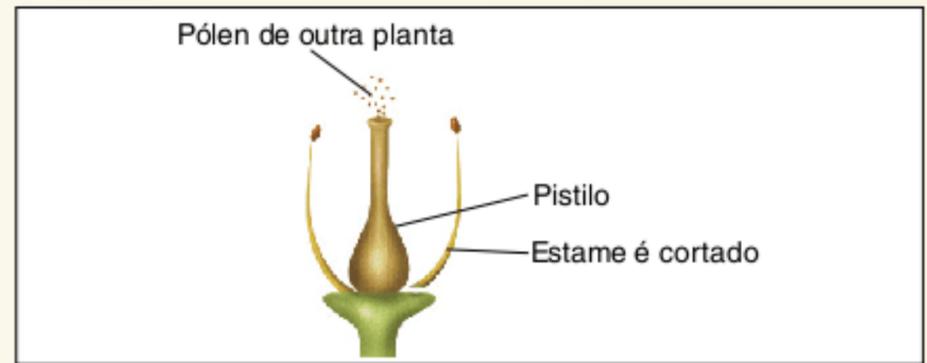
A flor de ervilha é monóclina, isto é, tem estames (♂) e um pistilo (♀). Os estames produzem grãos de pólen. Na flor de ervilha, ocorre autopolinização, ou seja, os grãos de pólen atingem o pistilo da mesma flor. Isso determina uma autofecundação da flor, que gera fruto (vagem) contendo inúmeras sementes (grãos).

Mendel trabalhou com linhagens puras de ervilhas. Por exemplo, uma planta baixa, por autofecundação, gera sementes que, plantadas, desenvolvem-se como plantas baixas. Repetindo esse procedimento por várias gerações, ele obtinha uma linhagem pura de plantas baixas. Utilizando a mesma técnica, Mendel obtinha uma linhagem pura de plantas altas.



Procedimento adotado por Mendel para obter linhagens puras.

Mendel realizou a fecundação cruzada entre plantas de diferentes linhagens, cruzando plantas altas com plantas baixas, por exemplo. O procedimento consiste em retirar os estames de uma flor ainda jovem e aplicar, com um pincel, pólen de outra planta sobre o pistilo da flor.

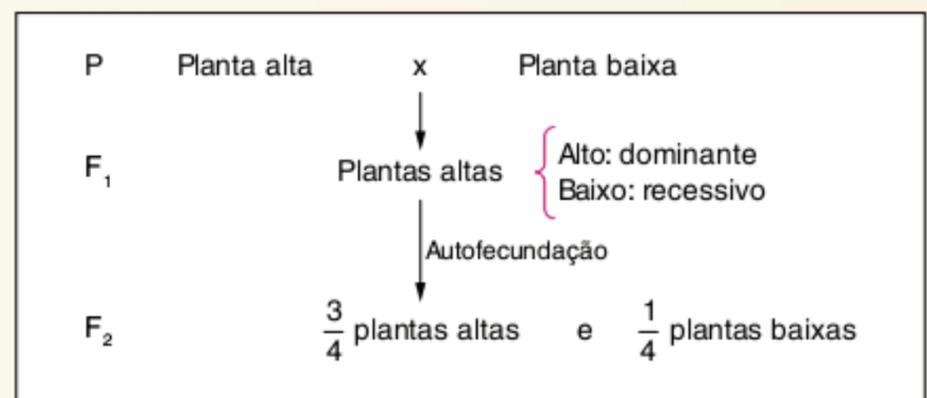


A retirada dos estames das flores impede que ocorra autofecundação.

Mendel realizou cruzamentos em uma sequência determinada. A geração parental (P) é constituída por indivíduos de linhagens puras, que são cruzados. Os descendentes constituem a primeira geração filial (F<sub>1</sub>). Por autofecundação, os indivíduos de F<sub>1</sub> produzem descendentes, que constituem a segunda geração filial (F<sub>2</sub>).

Cruzando plantas altas com plantas baixas, ambas de linhagens puras, Mendel obteve em F<sub>1</sub> apenas plantas altas. O caráter baixa estatura não se manifestava e foi denominado **recessivo**. O caráter que se manifestou foi alta estatura, denominado **dominante**.

Com a autofecundação de F<sub>1</sub>, os resultados em F<sub>2</sub> foram de, aproximadamente,  $\frac{3}{4}$  de indivíduos altos e  $\frac{1}{4}$  de indivíduos baixos.



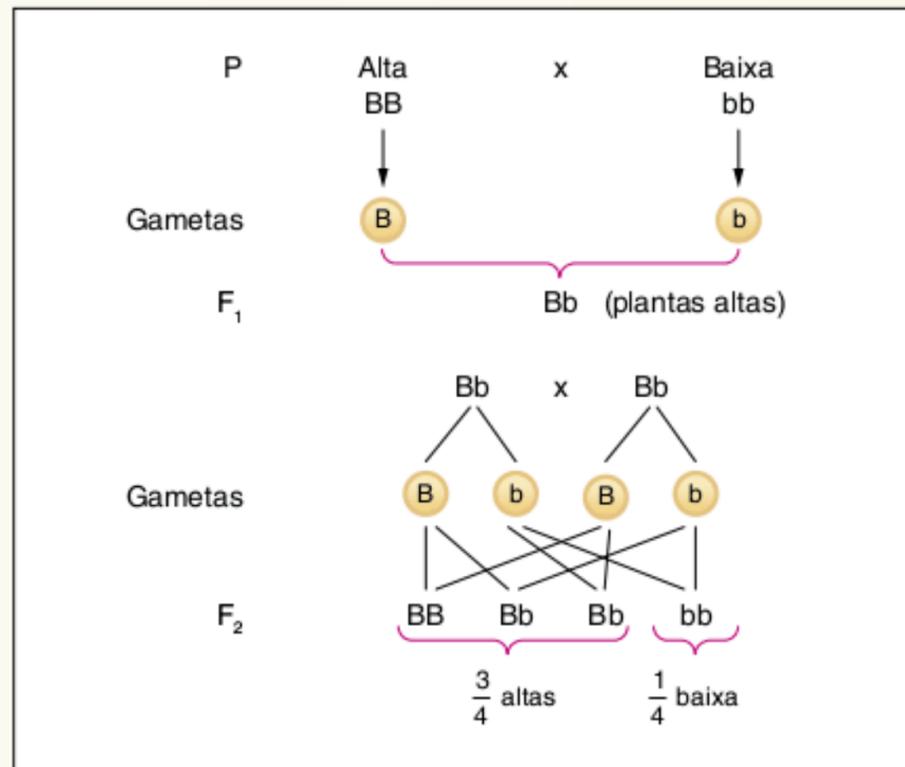
O cruzamento de indivíduos da geração parental (P) é realizado por meio de fecundação cruzada. A autofecundação da primeira geração filial (F<sub>1</sub>) dá origem à segunda geração filial (F<sub>2</sub>).

Em F<sub>1</sub>, os indivíduos não manifestavam baixa estatura, mas geravam alguns descendentes com essa característica. Mendel concluiu que os híbridos de F<sub>1</sub> não representavam uma simples fusão de características dos pais. Considerou que as características são determinadas por "**fatores**" (posteriormente, este termo foi substituído por "genes"). Em ervilha, havia um fator dominante, responsável pela estatura alta, e um fator recessivo, que determinava baixa estatura. Ele representou esses fatores por letras: b para baixa estatura e B para alta estatura.

Mendel considerou que um indivíduo apresentava dois fatores, responsáveis pela determinação de uma característica. Na formação dos gametas, ocorreria a separação desses fatores e cada gameta apresentaria apenas um fator. Isso corresponde ao que se denominou Primeira Lei de Mendel ou Lei da Pureza dos Gametas:

**Uma característica é determinada por dois fatores, que se separam na formação dos gametas.**

O cruzamento mendeliano pode ser assim representado:



Representação do cruzamento mendeliano.

É interessante notar que Mendel obteve esses resultados sem ter conhecimento acerca do DNA e da meiose.

## RESUMINDO

- **Probabilidade:** é definida como a relação entre o número de eventos favoráveis e o número de eventos igualmente possíveis.

$$\text{Probabilidade} = P = \frac{\text{número de eventos favoráveis}}{\text{número de eventos igualmente possíveis}}$$

- **Regra do "ou":** o cálculo da probabilidade de ocorrência de cada evento é feito com sua soma.
- **Regra do "e":** o cálculo da probabilidade de ocorrência de cada evento é feito com a **multiplicação** dos valores.
- **Genética clássica:** corresponde ao estudo da hereditariedade e dos aspectos fundamentais do DNA, da meiose e dos processos básicos da fecundação. Trata dos trabalhos realizados por Mendel.
  - **DNA:** é o material genético nuclear constituído por filamentos de cromatina condensados (durante a divisão celular), formando os **cromossomos**. Ao longo de um cromossomo, dispõem-se inúmeros **genes**, responsáveis por características do indivíduo. Alelos são genes que ocupam a mesma posição (**Locus**) em cromossomos homólogos e são responsáveis pela determinação da mesma característica. A carga genética que o indivíduo apresenta constitui seu **genótipo**. A característica que ele manifesta é o seu **fenótipo**, que depende da interação do genótipo com o ambiente.
  - **Genótipos:** pode haver dois tipos:
    - Homozigotos (puros) – com dois alelos iguais, como BB e bb.
    - Heterozigotos (híbridos) – com alelos diferentes, como em Bb.
  - **Dominância entre alelos:** há dominância entre alelos, sendo que o dominante (A) manifesta seu fenótipo em homo (AA) ou heterozigose (Aa). Já alelos recessivos apenas

manifestam-se em homozigose (aa). A dominância se refere à sua atuação no indivíduo e não à sua distribuição na população.

- **Hereditariedade:** células do organismo derivam do zigoto (2n), que apresenta pares de cromossomos homólogos. Metade dos cromossomos tem origem paterna e a outra metade tem origem materna. Há também o DNA mitocondrial, de origem exclusivamente materna (todas as mitocôndrias das células são procedentes do óvulo).
- **Gametas:** são gerados por meiose, que separa os alelos. Exemplo: Indivíduo heterozigoto (Bb) produz dois tipos de gametas: **B** e **b**. Indivíduos homozigotos (BB ou bb) produzem gametas de um único tipo: **B** ou **b**.
- **Cruzamentos:** acontece durante a reprodução de indivíduos e podem ser representados pelo produto entre os gametas gerados. Exemplo:
 

**Pais:** Aa x aa  
 ↓ ↓  
**Gametas:** (A + a) (a)  
**Descendentes do cruzamento =** Aa e aa
- **Cruzamento Mendeliano:** Mendel realizou cruzamentos que envolviam:
  - Geração parental (P): cruzamento entre homozigoto dominante (BB) com homozigoto recessivo (bb).
  - Primeira geração filial (F<sub>1</sub>): resultado do cruzamento de P; é constituída por indivíduos heterozigotos (Bb).
  - Segunda geração filial (F<sub>2</sub>): resultado do cruzamento de F<sub>1</sub> (heterozigotos); é constituída por indivíduos na proporção de 3:1, ou seja,  $\frac{3}{4}$  de portadores de fenótipo dominante

(entre eles AA e Aa) e  $\frac{1}{4}$  de portadores de fenótipo recessivo (com genótipo aa).

- **Determinação de dominância:** é feita a partir do fenótipo dos indivíduos, em duas possibilidades:
  - **Obtenção e cruzamento de linhagens puras:** linhagens puras (homozigotas com relação a uma característica) podem ser obtidas por meio de cruzamentos sucessivos de indivíduos com mesmo fenótipo. O cruzamento dessas linhagens puras gerará descendentes obrigatoriamente heterozigotos. Portanto, o fenótipo expresso é o caracterizado pelo alelo dominante.
  - **Observação do fenótipo dos descendentes:** quando um dos descendentes apresenta fenótipo diferente do observado nos pais, pode-se concluir que os pais possuem o alelo que manifesta a característica do descendente diferente, mas esse alelo não se manifestou neles. Portanto, o alelo que não se manifesta é o recessivo e os pais são heterozigotos, e o descendente é homozigoto recessivo.
- **Heredogramas:** são diagramas que representam gerações de indivíduos em grupos familiares, permitindo visualizar e compreender padrões hereditários. Podem ser chamados de genealogias ou *pedigrees*. Entre as convenções para sua construção, estão:
- Gerações são representadas com algarismos romanos (I, II, III etc.).
  - Indivíduos são indicados por algarismos arábicos (1, 2, 3,

4 etc.), dispostos da esquerda para a direita, colocados na ordem de nascimento por casal.

- Indivíduos do sexo feminino são representados por círculos e masculinos por quadrados; quando o sexo não é informado, representa-se o indivíduo por triângulo ou losango.
- Traço horizontal entre círculo e quadrado significa cruzamento.
- Dois traços paralelos representam cruzamento consanguíneo (há parentesco entre os componentes do casal).
- Traço horizontal acima de um grupo de indivíduos significa que eles são descendentes de um certo casal.
- Círculos e quadrados preenchidos correspondem à expressão de uma característica e sem preenchimento indicam a característica oposta.
- **Definição de genótipos:** são realizados cruzamentos-teste para determinação do genótipo de um indivíduo com fenótipo dominante. Para isso, um indivíduo com o genótipo desconhecido (dominante) é cruzado com fêmea recessiva (com genótipo homozigoto conhecido). Com a obtenção de grande número de descendentes, é possível elucidar o problema. Assim, há dois resultados possíveis: todos os descendentes apresentam fenótipos dominantes e caracterizam o genótipo desconhecido como homozigoto dominante (AA). Pode também haver descendentes com fenótipos de dois tipos: dominantes e recessivos, o que significa que o genótipo desconhecido apresenta um alelo recessivo, sendo heterozigoto (Aa).

## ■ QUER SABER MAIS?

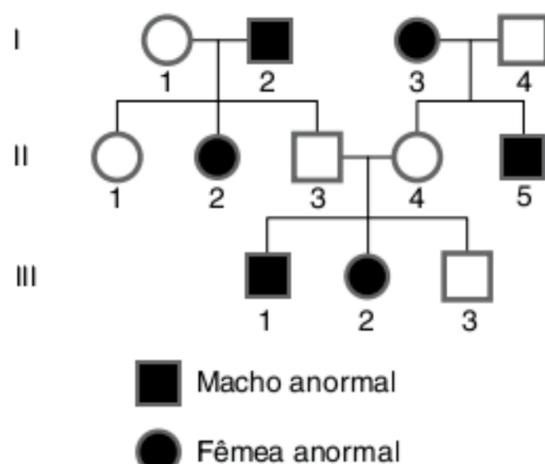


### SITES

- Notícia sobre polidactilia: Menina com 26 dedos bate recorde mundial de polidactilia. <<http://virgula.uol.com.br/ver/noticia/inacreditavel/2011/02/21/269677-menina-com-26-dedos-bate-recorde-mundial-de-polidactilia>>.
- Site que se dedica a aumentar a conscientização sobre a síndrome de Maroteaux-Lamy, uma doença genética rara e complexa. <[www.maroteaux-lamy.com/Portuguese/HCP/Inheritance.aspx](http://www.maroteaux-lamy.com/Portuguese/HCP/Inheritance.aspx)>.
- Reportagem da Revista *Ciência Hoje* sobre estudo feito no Brasil que mostra a contribuição genética europeia para a formação do povo brasileiro. <<http://cienciahoje.uol.com.br/noticias/2011/02/nossa-heranca-europeia>>.

## Exercícios complementares

**1 UFPI 2003** O heredograma adiante representa a herança de um fenótipo anormal na espécie humana.



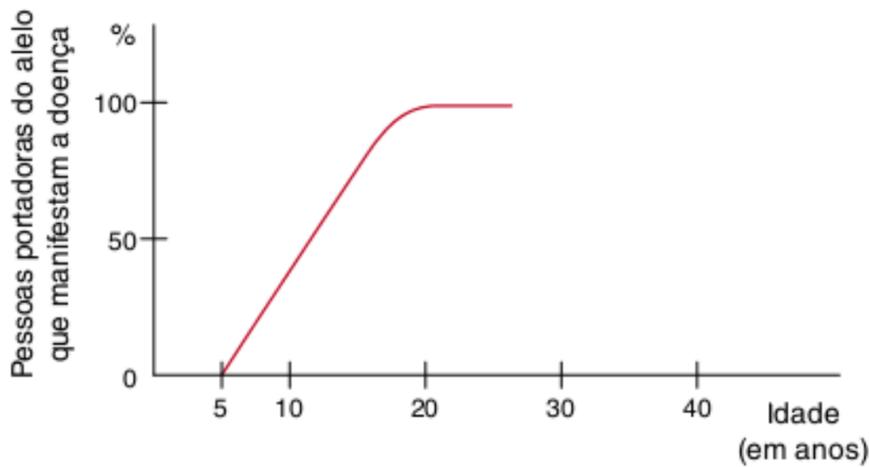
Analise-o e assinale a alternativa correta.

- (a) Os indivíduos II-3 e II-4 são homozigotos, pois dão origem a indivíduos anormais.
- (b) O fenótipo anormal é recessivo, pois os indivíduos II-3 e II-4 tiveram crianças anormais.
- (c) Os indivíduos III-1 e III-2 são heterozigotos, pois são afetados pelo fenótipo anormal.
- (d) Todos os indivíduos afetados são heterozigotos, pois a característica é dominante.
- (e) Os indivíduos I-1 e I-4 são homozigotos.

**2 Mackenzie 2003** Em drosófilas, o caráter asa curta é recessivo em relação ao caráter asa longa. Um macho puro de asa longa é cruzado com uma fêmea de asa curta. Um indivíduo de F1 é retrocruzado com a fêmea parental e se obtém 480 larvas. Supondo que todas sofram metamorfose, o número esperado de indivíduos de asa curta é de:

- (a) 480
- (b) 120
- (c) 180
- (d) 360
- (e) 240

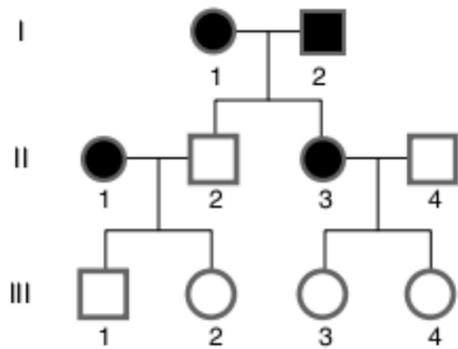
**3 UFRRJ 2003** Admita que uma determinada doença neurodegenerativa que provoca convulsões e leve à morte em pouco mais de 10 meses seja determinada por um gene dominante. Essa doença manifesta-se tardiamente como representado no gráfico a seguir.



Se um casal com 35 anos tiver um filho, a chance de a criança vir a manifestar a doença corresponde a:

- (a) 0%
- (b) 25%
- (c) 50%
- (d) 75%
- (e) 100%

**4 PUC-RS 2004** A Doença de Huntington (DH) é uma anomalia autossômica com caráter dominante cuja manifestação ocorre na fase adulta, com uma progressiva perda do controle motor e problemas psiquiátricos como demência e distúrbios afetivos. No heredograma a seguir, os indivíduos afetados por DH estão indicados em negro.



As afirmativas adiante referem-se aos possíveis genótipos dos indivíduos indicados no heredograma.

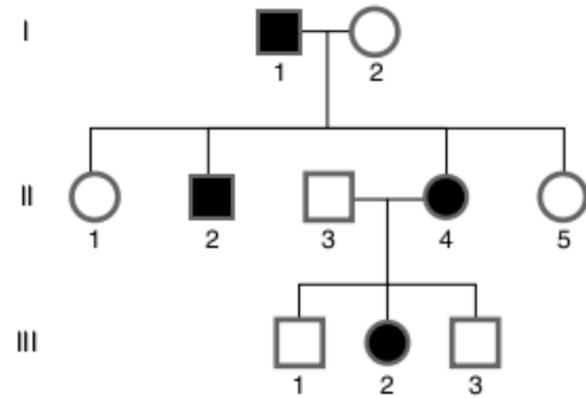
Assinale, nos parênteses, V para as verdadeiras e F para as falsas.

- Os indivíduos I-1, I-2, II-1 e II-3 são homocigotos.
- Os indivíduos II-1 e II-3 são heterocigotos.
- Os indivíduos II-2 e II-4 são heterocigotos.
- Os indivíduos III-1, III-2, III-3 e III-4 são homocigotos.

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

- (a) F – V – F – V
- (b) F – V – V – F
- (c) V – F – V – F
- (d) V – F – F – V
- (e) V – F – V – V

**5 UFSC 2004** A figura a seguir apresenta uma genealogia hipotética.



Com relação a essa figura, é correto afirmar que:

- 01 os indivíduos II-3 e II-4 representam, respectivamente, um homem e uma mulher.
- 02 os indivíduos I-1 e II-2, por exemplo, são indivíduos afetados pela característica que está sendo estudada, enquanto II-1 e III-3 não o são.
- 04 III-1 é neto(a) de I-1 e I-2.
- 08 III-2 é sobrinho(a) de II-5.
- 16 II-3 não tem nenhuma relação genética com I-2.
- 32 II-1 é mais jovem do que II-5.
- 64 com exceção de II-3, os demais indivíduos da segunda geração são irmãos.

Soma =

**6 UFRS 2004** João e Maria estão pensando em ter um filho. João tem um irmão albino e uma irmã com pigmentação normal. Seus pais não são albinos, porém João tem uma tia paterna albina e um primo, por parte de mãe, com a mesma característica. Já Maria tem um avô materno e uma irmã albinos e um irmão com pigmentação normal. Os pais de Maria também têm pigmentação normal.

Que informações permitem avaliar com maior precisão as chances de João e Maria terem um filho albino?

- (a) O fenótipo da irmã de João e o genótipo do avô de Maria.
- (b) O genótipo da tia de João e o genótipo do irmão de Maria.
- (c) O fenótipo do irmão de João e o fenótipo da irmã de Maria.
- (d) O genótipo do primo de João e o fenótipo da mãe de Maria.
- (e) O fenótipo do pai de João e o genótipo do pai de Maria.

**7 Puccamp 2004** Os radioisótopos, apesar de temidos pela população, que os associa a acidentes nucleares e danos ambientais, exercem importante papel na sociedade atual. São hoje praticamente indispensáveis à medicina, à engenharia, à indústria, à hidrologia, à antropologia e à pesquisa acadêmica em diversas áreas do conhecimento, seja por atuarem como traçadores radioativos ou como fontes de radiações.

O temor da população em relação aos radioisótopos relaciona-se à capacidade de esses elementos produzirem mutações nos seres vivos. No entanto, as mutações ocorrem naturalmente e têm uma grande importância evolutiva, porque:

- (a) geram a variabilidade sobre a qual a seleção natural pode agir.
- (b) geram as adaptações, que permitem a sobrevivência das espécies.
- (c) permitem a origem de novas espécies cada vez mais bem adaptadas.

- (d) são responsáveis por extinções em massa, como a dos trilobitas.
- (e) são o único processo evolutivo agindo atualmente no homem.

**8 UFRJ 2004** Alguns centros de pesquisa na Inglaterra estão realizando um programa de triagem populacional para detectar a fibrose cística, uma doença autossômica recessiva grave particularmente comum em caucasianos.

Toda pessoa na qual o alelo recessivo é detectado recebe orientação a respeito dos riscos de vir a ter um descendente com a anomalia. Um inglês heterozigoto para essa característica é casado com uma mulher normal, filha de pais normais, mas cujo irmão morreu na infância, vítima de fibrose cística.

Calcule a probabilidade de esse casal ter uma criança com fibrose cística. Justifique sua resposta.

**9 Unifor 2004** Um estudante, ao iniciar o curso de Genética, anotou o seguinte:

- I. Cada caráter hereditário é determinado por um par de fatores e, como estes se separam na formação dos gametas, cada gameta recebe apenas um fator do par.
- II. Cada par de alelos presentes nas células diploides separa-se na meiose, de modo que cada célula haploide só recebe um alelo do par.
- III. Antes da divisão celular se iniciar, cada molécula de DNA se duplica e, na mitose, as duas moléculas resultantes se separam, indo para células diferentes.

A Primeira Lei de Mendel está expressa em:

- (a) I, somente.
- (b) II, somente.
- (c) I e II, somente.
- (d) II e III, somente.
- (e) I, II e III.

**10 Unifor 2000** Na espécie humana, a polidactilia é uma anomalia condicionada por um alelo autossômico dominante. Um homem com polidactilia e uma mulher normal tiveram uma menina com polidactilia e um menino normal.

Sobre essa família, é correto afirmar que:

- (a) somente o homem é heterozigoto.
- (b) somente a mulher é homozigota.
- (c) somente o homem e a menina são homozigotos.
- (d) somente a mulher e o menino são homozigotos.
- (e) o homem e o menino são heterozigotos e a mulher e a menina são homozigotas.

**11 UFSM** Uma criança de aproximadamente 1 ano, com acentuado atraso psicomotor, é encaminhada pelo pediatra a um geneticista clínico. Este, após alguns exames, constata que a criança possui ausência de enzimas oxidases em uma das organelas celulares. Esse problema pode ser evidenciado no dia, ao se colocar  $H_2O_2$  em ferimentos. No caso dessa criança, a  $H_2O_2$  “não ferve”. O geneticista clínico explica aos pais que a criança tem uma doença de origem genética, é monogênica com herança autossômica recessiva. Diz também que a doença é muito grave, pois a criança não possui, em um tipo de organela de suas células, as enzimas que deveriam proteger contra a ação dos radicais livres.

Qual é o genótipo dos pais da criança descrita no texto e qual a probabilidade de o casal ter outro filho com essa mesma doença?

- (a)  $AA \times aa; \frac{1}{8}$
- (b)  $Aa \times aa; \frac{1}{2}$
- (c)  $Aa \times Aa; \frac{1}{4}$
- (d)  $Aa \times aa; \frac{1}{4}$
- (e)  $Aa \times Aa; \frac{1}{8}$

**12 UFC 1996** Os termos a seguir fazem parte da nomenclatura genética básica. Assinale as alternativas que trazem o significado correto de cada um desses termos.

- 01 Gene é sinônimo de molécula de DNA.
- 02 Genótipo é a constituição genética de um indivíduo.
- 04 Dominante é um dos membros de um par de alelos que se manifesta inibindo a expressão do outro.
- 08 Fenótipo é a expressão do gene em determinado ambiente.
- 16 Genoma é o conjunto de todos os alelos de um indivíduo.

Soma =

**13 Unifor 2003** Sementes de uma linhagem de milho, quando plantadas em solos diferentes, resultam em plantas com produtividades diferentes. Isso pode ser entendido, pois:

- (a) o fenótipo resulta da interação entre o genótipo e o meio ambiente.
- (b) o genótipo resulta da interação entre o fenótipo e o meio ambiente.
- (c) o meio ambiente seleciona as sementes com maior produtividade.
- (d) o solo sempre induz mutações alterando o genótipo das plantas.

**14 Uece 2005** Sobre o albinismo, podemos afirmar corretamente que se trata de uma doença de pele:

- (a) causada pelo gasto de toda a melanina, ocasionada pela exposição contínua ao sol.
- (b) de origem fúngica, resultando na despigmentação da pele, pelo consumo da melanina por fungos.
- (c) metabólica hereditária, resultando de disfunção gênica na produção de melanina.
- (d) metabólica alimentar, resultando de uma alimentação pobre no aminoácido tirosina.

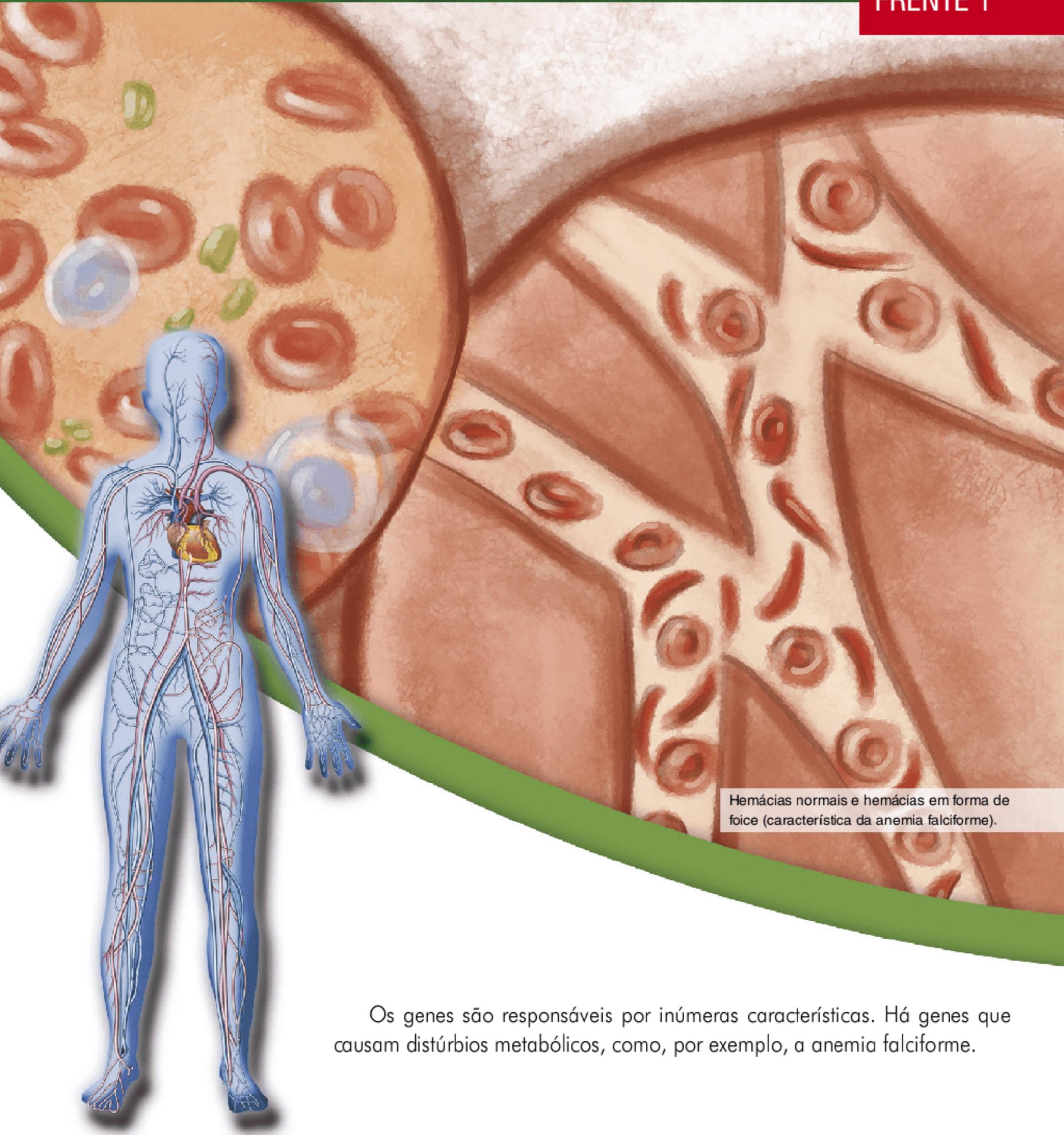
**15 Unifor 2002** Em certa espécie vegetal, o alelo dominante S determina síntese de clorofila, enquanto o alelo recessivo s determina albinismo. Porém, as plantas SS e Ss poderão ser albinas, como as plantas ss, se crescerem no escuro. Isso porque o \_\_\_\_ resulta da interação do \_\_\_\_ com o \_\_\_\_\_. Para completar essa frase corretamente, as lacunas devem ser preenchidas, respectivamente, por:

- (a) fenótipo – alelo – genótipo
- (b) fenótipo – genótipo – ambiente
- (c) fenótipo – alelo – ambiente
- (d) genótipo – ambiente – fenótipo
- (e) genótipo – fenótipo – ambiente

# As variações da Primeira Lei de Mendel

# 14

FRENTE 1



Hemácias normais e hemácias em forma de foice (característica da anemia falciforme).

Os genes são responsáveis por inúmeras características. Há genes que causam distúrbios metabólicos, como, por exemplo, a anemia falciforme.

## Introdução

A Primeira Lei de Mendel considera um par de alelos situado em cromossomos homólogos. No caso das cobaias utilizadas, há dois alelos: o dominante (B), que condiciona pelo preto, e o recessivo (b), responsável pela determinação de pelo branco (Fig. 1). Assim, em um indivíduo heterozigoto, a pelagem é preta. Esse indivíduo gera dois tipos de gametas (B e b), nas mesmas proporções (50% de cada).

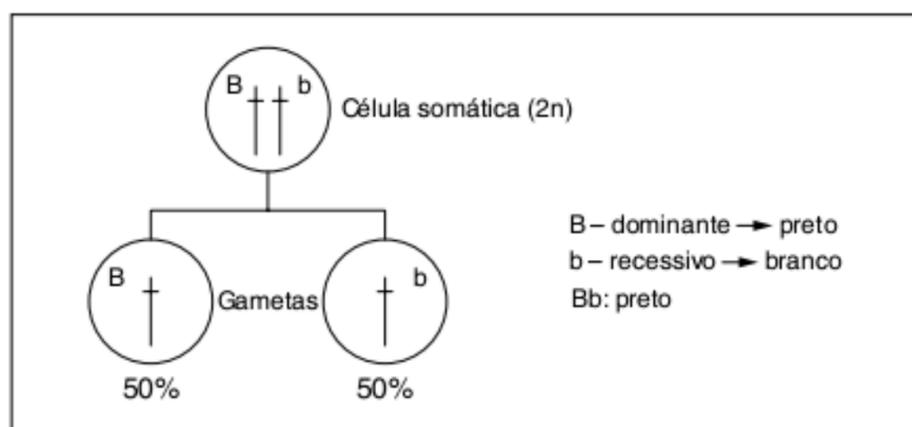


Fig. 1 Representação da Primeira Lei de Mendel. São mostrados dois cromossomos homólogos e um par de alelos.

Neste capítulo, veremos casos de características determinadas por um par de alelos, os quais também se separam na formação dos gametas. No entanto, veremos variações nesse modelo, como:

- genes que podem provocar a morte do indivíduo (alelos letais).
- genes que podem determinar mais de uma característica (pleiotropia).
- heterozigoto sem a manifestação usual de um alelo dominante (dominância incompleta e codominância).

Além disso, serão estudados os casos de gêmeos, de penetrância incompleta e de expressividade variável (Fig. 2).

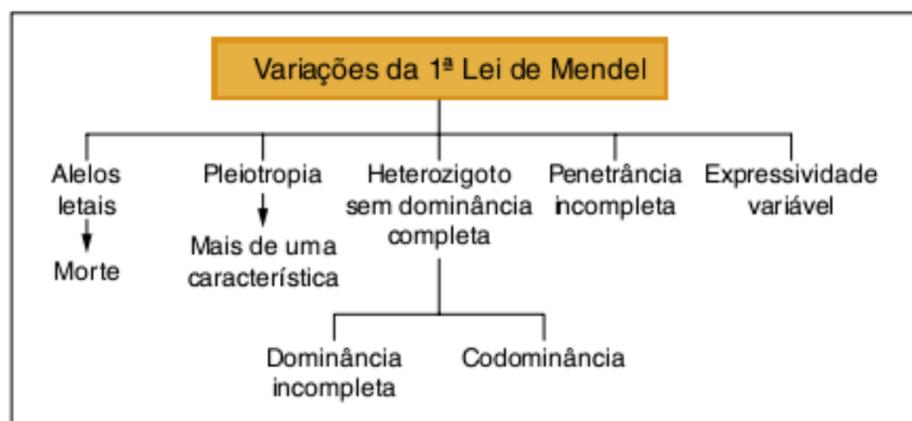


Fig. 2 Lista dos casos das variações da Primeira Lei de Mendel.

## Alelos letais

Há casos em que os genes podem provocar transtornos metabólicos capazes de ocasionar a morte do indivíduo. Considere uma planta com genes que determinam ausência de clorofila: o embrião emerge da semente e gera uma planta jovem, que morre quando as reservas são esgotadas.

Em camundongos, há um alelo recessivo (c), que determina pelo cinzento, e um alelo dominante (C), o que condiciona pelo amarelo. No cruzamento entre heterozigotos, a proporção

esperada na descendência é de  $\frac{3}{4}$  de amarelos para  $\frac{1}{4}$  de cinzentos (3:1). No entanto, verifica-se que a descendência apresenta uma proporção de  $\frac{2}{3}$  de amarelos para  $\frac{1}{3}$  de cinzentos (2:1). A explicação para esse resultado é que os indivíduos homozigotos dominantes (CC) são inviáveis e morrem antes do nascimento. O alelo C em homozigose é letal (também denominado deletério). Assim, são gerados apenas heterozigotos e homozigotos recessivos (Cc e cc), resultando na proporção de  $\frac{2}{3}$  para  $\frac{1}{3}$ , ou 2:1 (Fig. 3).

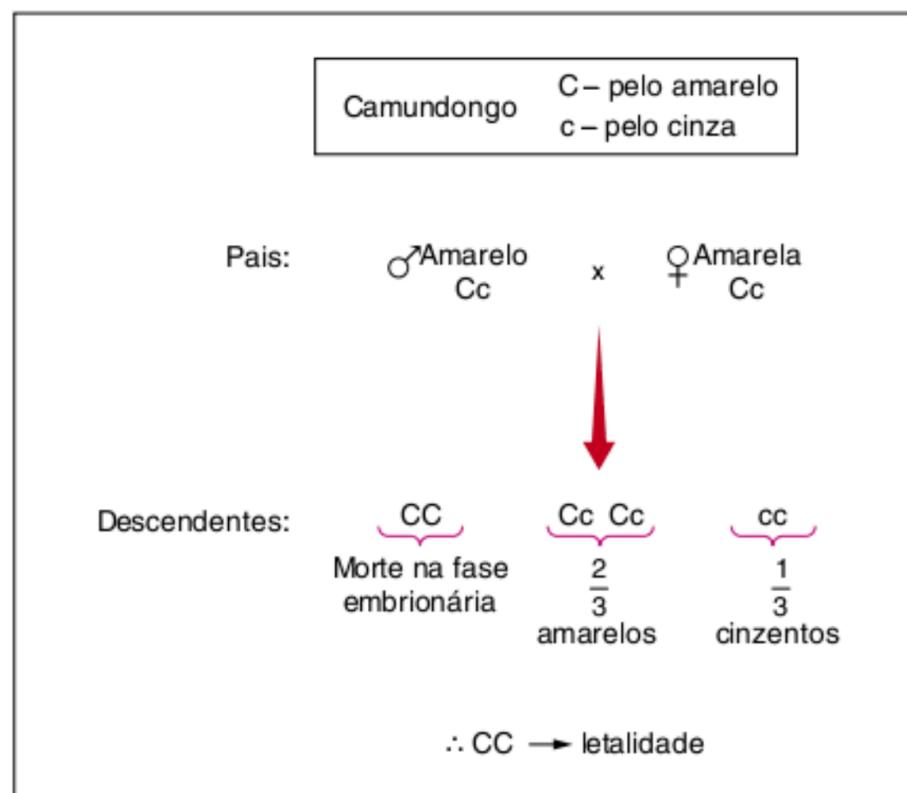


Fig. 3 A pelagem dos camundongos é condicionada por dois tipos de alelos (C e c). Embriões com fenótipo CC não completam seu desenvolvimento; isso interfere nas proporções fenotípicas dos cruzamentos.

## Pleiotropia

No caso dos camundongos, o alelo C condiciona duas características: coloração amarela do pelo (quando se encontra em heterozigose) e morte (quando em homozigose). Esse alelo é um exemplo de **pleiotropia**.

Pleiotropia é a capacidade de um alelo determinar mais de uma característica (Fig. 4). O alelo recessivo que condiciona a **fibrose cística** determina a produção de uma proteína alterada da membrana plasmática. Com isso, o transporte de água pela membrana é reduzido. Nas células glandulares, há a produção de secreções com pouca água, formando-se um muco mais denso. As glândulas sudoríparas eliminam suor com maior teor de sais e os pulmões têm acúmulo de secreção, favorecendo infecções bacterianas. O fígado e o pâncreas podem ter obstrução de seus canais, impedindo a eliminação de suas secreções. As gônadas também podem ter seus canais obstruídos, causando esterilidade. Todas essas características são causadas por um único alelo, que altera diversas características.

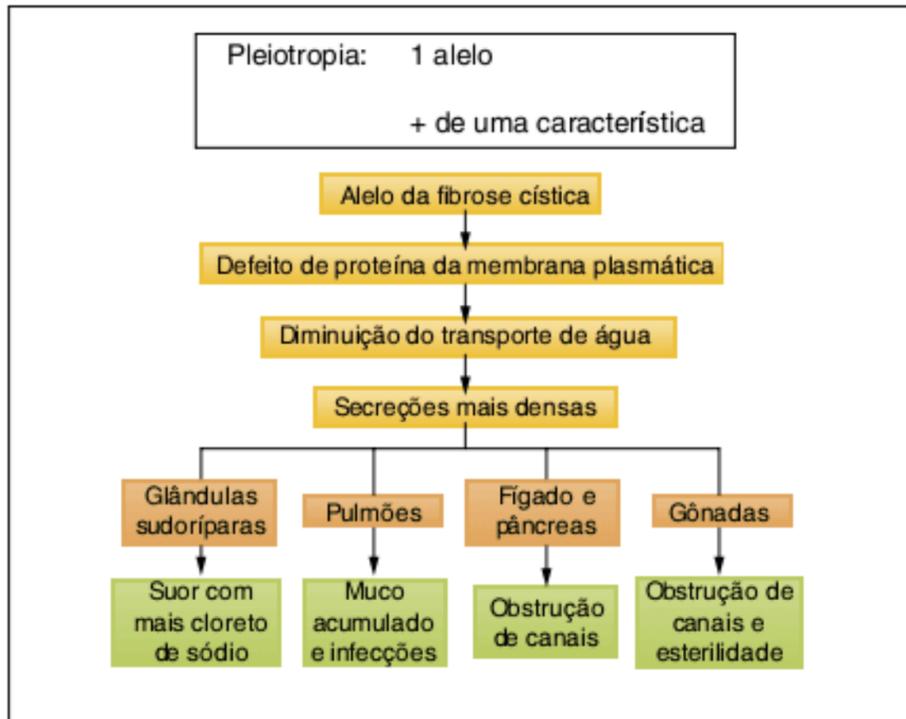


Fig. 4 A fibrose cística é condicionada por alelo recessivo. Os indivíduos portadores dessa doença apresentam muitas manifestações fenotípicas, que caracterizam a pleiotropia.

### Manifestação atípica do heterozigoto

Em cobaias, o heterozigoto Bb tem pelagem preta, pois o alelo dominante B expressa-se e o alelo recessivo b (que condiciona pelo branco) não se manifesta. No caso da flor de maravilha (*Mirabilis jalapa*), há dois alelos para a cor das flores: V (para vermelho) e B (para branco).

Indivíduos homocigotos VV têm flores vermelhas; homocigotos BB apresentam flores brancas. O heterozigoto VB tem flores róseas, cor intermediária entre o vermelho e o branco (Fig. 5). Esse é um caso denominado **dominância incompleta**, no qual o heterozigoto apresenta fenótipo intermediário.

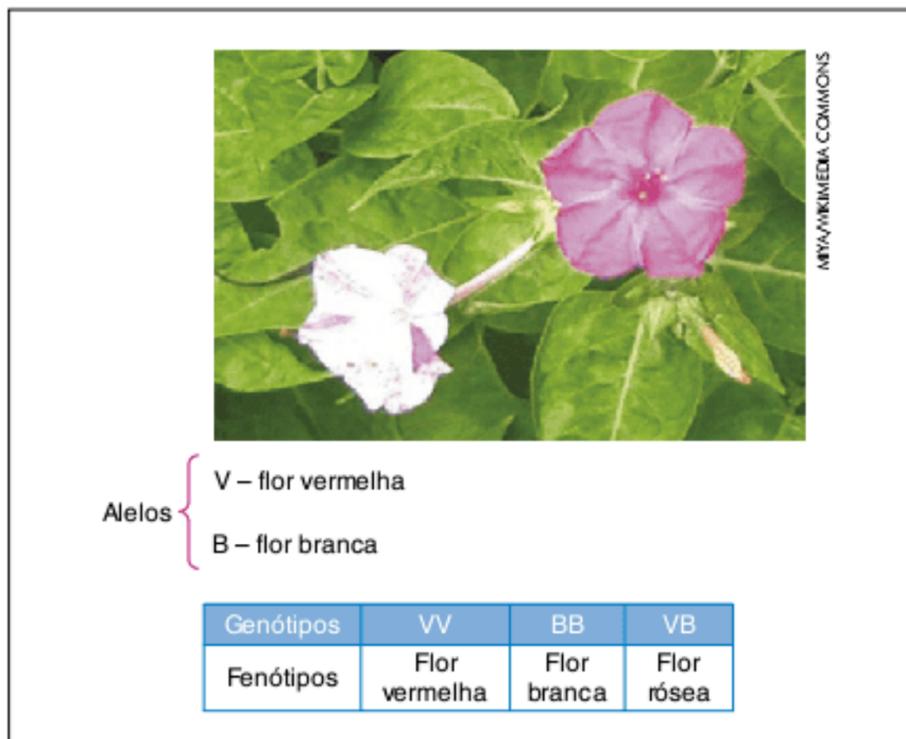


Fig. 5 A cor da flor de *Mirabilis jalapa* é condicionada por dois alelos: V (vermelha) e B (branca). São representados os genótipos e fenótipos possíveis.

Em uma sequência típica de cruzamento mendeliano, a geração parental (P) é constituída por indivíduos de flores vermelhas cruzados com indivíduos de flores brancas. A F1 resultante tem apenas descendentes com flores róseas. Com a

autofecundação de F1, obtém-se a F2, constituída por indivíduos com três fenótipos: flores vermelhas (25%), flores róseas (50%) e flores brancas (25%). A proporção fenotípica de F2 é, portanto, de 1:2:1 (Fig. 6). Nesse caso, há um comportamento atípico do heterozigoto, que exibe uma terceira característica, diferente das características expressas pelo homocigoto.

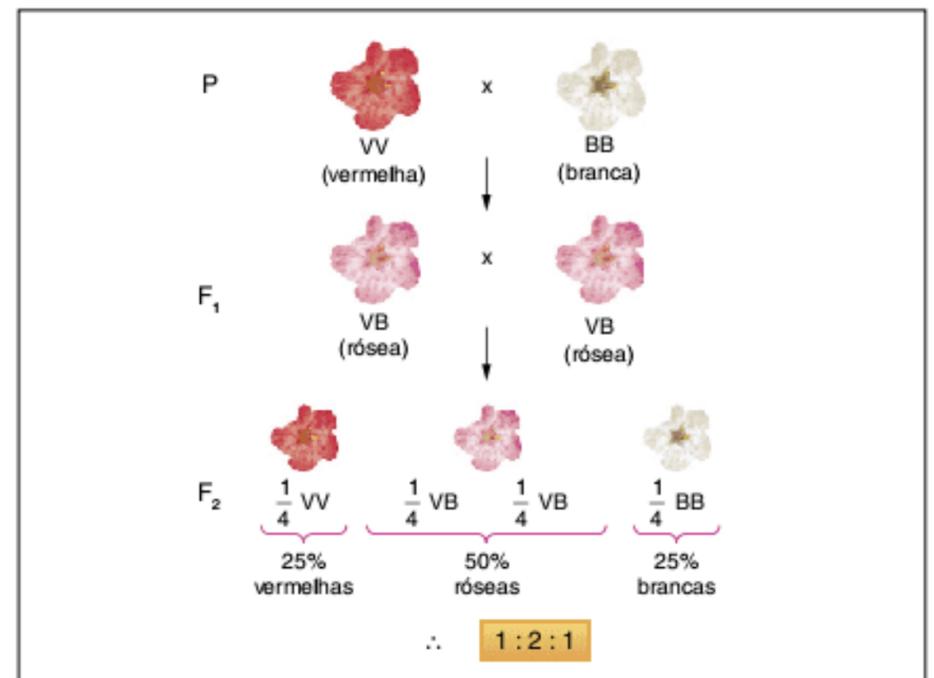


Fig. 6 O cruzamento entre indivíduos de *Mirabilis jalapa* produtores de flores vermelhas com produtores de flores brancas resulta em descendentes de flores róseas (heterozigotos). O cruzamento entre heterozigotos produz descendentes com três tipos de fenótipos (flores vermelhas, róseas e brancas) em uma proporção de 1:2:1.

No sistema sanguíneo ABO, o indivíduo de sangue AB é heterozigoto em alelo que condiciona tipo A e alelo que condiciona tipo B. No entanto, não se pode caracterizar o tipo AB como sendo um fenótipo intermediário entre tipo A e tipo B; é um fenótipo com características próprias. Nesse caso, o termo adequado para a herança é **codominância** e não dominância incompleta. O assunto é discutido com mais detalhes no próximo capítulo.

O cruzamento entre heterozigotos gera descendência com proporções definidas e pode identificar o tipo de herança envolvida (Tab. 1).

Tipo de herança	Proporção fenotípica
1ª Lei de Mendel	3 : 1
Alelos letais (dominantes)	2 : 1
Herança com dominância incompleta e codominância	1 : 2 : 1

Tab. 1 Proporções esperadas do cruzamento entre heterozigotos nos casos de Primeira Lei de Mendel e algumas de suas variações.

### Gemelaridade

O estudo dos gêmeos, em Genética, levanta problemas interessantes no âmbito da Primeira Lei de Mendel. Há dois tipos de gêmeos: univitelinos e bivitelinos. Gêmeos **univitelinos** são resultantes de um mesmo zigoto, sendo também denominados **monozigóticos**. Sua formação ocorre durante a fase embrionária de blástula, que se parte em duas, gerando dois embriões geneticamente idênticos e que compartilham a mesma placenta. O resultado do desenvolvimento desses embriões é a formação de indivíduos com a mesma carga genética (são também

denominados gêmeos idênticos) e com o mesmo sexo (Fig. 7). Em termos de resolução de problemas de genética, é como se os gêmeos univitelinos fossem um único indivíduo.

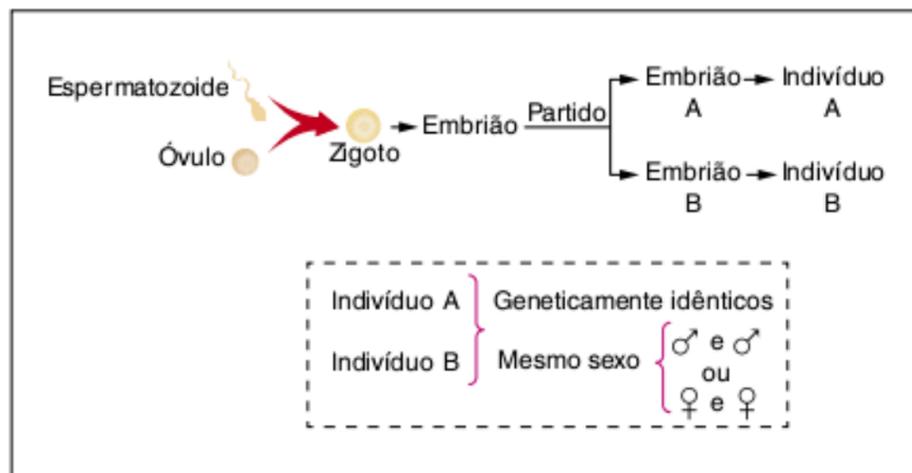


Fig. 7 Origem dos gêmeos univitelinos e o sexo que podem apresentar; são indivíduos geneticamente idênticos.

Gêmeos **dzigóticos** são também denominados **fraternos**, ou **bivitelinos**; são resultantes de zigotos diferentes, cada qual formando um embrião com sua própria placenta. Cada embrião se desenvolve, tornando-se indivíduos geneticamente diferentes um do outro (Fig. 8).

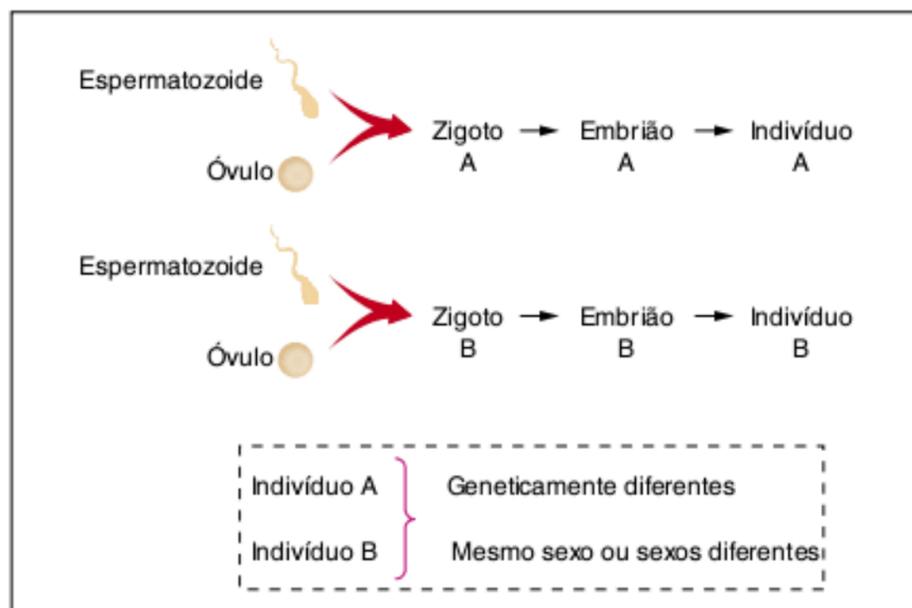


Fig. 8 Origem dos gêmeos bivitelinos e o sexo que podem apresentar; são indivíduos geneticamente diferentes.

Em relação ao sexo, os gêmeos fraternos são como dois irmãos comuns, podendo ter o mesmo sexo ou sexos diferentes (Tab. 2). São quatro possibilidades (não duas!):

- menino e menino;
- menino e menina;
- menina e menina;
- menina e menino.

Possibilidade de nascimento quanto ao sexo	Zigoto A	Zigoto B
1ª	Menino	Menino
2ª	Menino	Menina
3ª	Menina	Menina
4ª	Menina	Menino

Tab. 2 A tabela apresenta as possibilidades de um par de gêmeos bivitelinos em relação ao sexo que podem ter.

## Expressividade variável e penetrância incompleta

A polidactilia é determinada por um alelo autossômico dominante. O número normal de dedos é condicionado por alelo recessivo. Os indivíduos que apresentam o alelo para polidactilia podem ter um número variável de dedos extras, de um a quatro, razão pela qual essa herança é denominada **expressividade variável** (o número de dedos extras varia). Assim, o polidáctilo pode ter um ou mais dedos a mais em uma mão, em duas mãos, em um pé, em dois pés. Como o número de dedos extras pode mudar, esse alelo possui expressividade variável (Fig. 9).

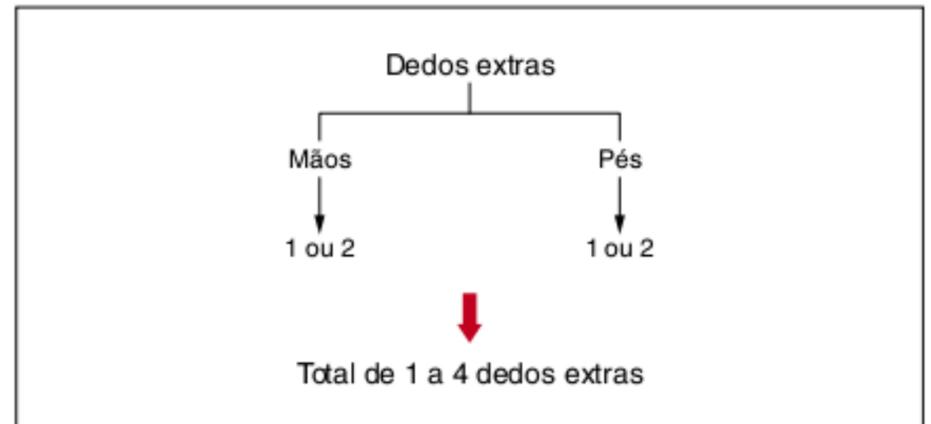


Fig. 9 Disposição dos dedos extras em indivíduos portadores de polidactilia.

No caso das cobaias, o alelo B não tem expressividade variável; todos os indivíduos portadores desse alelo são inteiramente pretos.

O alelo B também apresenta **penetrância completa**: todos os portadores (100%) do alelo B manifestam o fenótipo preto. Em seres humanos, há o alelo que condiciona camptodactilia, determinando a formação de dedos curtos e encurvados; trata-se de um alelo dominante (N) em relação ao alelo que condiciona dedos normais (n). No entanto, apenas 65% dos portadores do alelo N manifestam camptodactilia. Esse alelo tem, portanto, **penetrância incompleta**.

### Exercício resolvido

1 A camptodactilia é determinada por alelo autossômico dominante, com penetrância de 65%. Um homem heterozigoto para camptodactilia casa-se com mulher normal e recessiva, dotada de dedos normais. Calcule a probabilidade de o casal ter um descendente do sexo masculino que apresente camptodactilia.

**Resolução:**

$$\begin{array}{l}
 \text{Pais: } \begin{array}{cc} \text{♂} & \text{♀} \\ Nn & nn \end{array} \\
 \qquad \qquad \qquad \qquad \qquad \qquad \qquad \qquad \times \\
 \qquad \qquad \qquad \qquad \qquad \qquad \qquad \qquad \downarrow \\
 \text{Descendentes: } \qquad \qquad \qquad \frac{1}{2} Nn \quad \frac{1}{2} nn \\
 \\
 \text{Probabilidade de descendente masculino com camptodactilia:} \\
 \begin{array}{ccccccc}
 \text{♂} & \times & Nn & \times & \text{Penetrância} & & \\
 \frac{1}{2} & \times & \frac{1}{2} & \times & \text{incompleta} & = & 16,25\% \\
 & & & & 65\% & & 
 \end{array}
 \end{array}$$

## Revisando

**1** O que é abordado no âmbito da Primeira Lei de Mendel?

---

---

---

---

**2** O que são alelos letais?

---

---

---

---

**3** O que é pleiotropia?

---

---

---

---

**4** Observe com atenção as figuras a seguir e responda ao que se pede.



Figura I – Irmãs gêmeas.

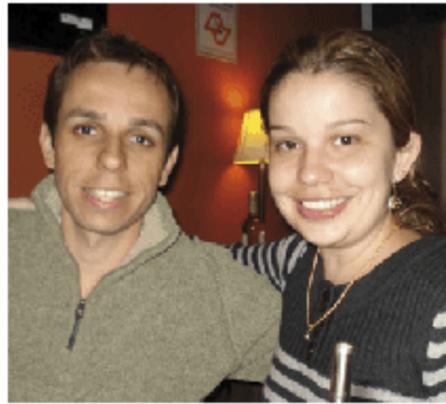


Figura II – Irmãos gêmeos.

a) Em qual das figuras é possível identificar gêmeos bivitelinos?

---

---

---

b) O que são gêmeos bivitelinos?

---

---

---

c) Cite duas outras denominações para gêmeos bivitelinos.

---

---

---

d) O que são gêmeos univitelinos?

---

---

---

e) Cite duas outras denominações para gêmeos univitelinos.

---

---

---

f) Em que momento ocorre a formação dos gêmeos univitelinos?

---

---

---

## Exercícios propostos

**1 UFC 2004** Alguns estudos com gêmeos idênticos mostraram que o QI, a altura e os talentos artísticos podem ser diferentes entre esses indivíduos. A melhor explicação para essas diferenças é que:

- (a) a hereditariedade e o ambiente não possuem influência sobre a expressão dos fenótipos.
- (b) o ambiente e os genes interagem no desenvolvimento e na expressão das características herdadas.
- (c) o genótipo dos gêmeos depende da interação da dieta e do controle hormonal.
- (d) as características QI, altura e talentos artísticos dependem apenas do ambiente.
- (e) os alelos responsáveis por essas características possuem efeito fenotípico múltiplo.

**2 Uece** Um homem e sua esposa, ambos normais, já tiveram um filho albino. Se eles gerarem gêmeos dizigóticos, a probabilidade de ambos serem albinos é:

- (a)  $\frac{1}{4}$       (b)  $\frac{1}{16}$       (c)  $\frac{1}{32}$       (d)  $\frac{1}{64}$

**3 Unifor 2005** Em certa espécie vegetal, a cor das flores é determinada por um par de alelos entre os quais não há dominância. Um jardineiro fez os seguintes cruzamentos de plantas de:

- I. flor vermelha x flor rosa.
- II. flor vermelha x flor branca.
- III. flor rosa x flor rosa.
- IV. flor rosa x flor branca.

São esperadas plantas com flores brancas somente nos cruzamentos:

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

**4 Unifor 2001** Cruzamentos entre galinhas provenientes de linhagens puras para a cor da plumagem, respectivamente, preta e branca, produziram apenas descendentes com plumagem azulada. Essas aves, cruzadas entre si, geraram descendentes com plumagem preta, azulada e branca na proporção 1:2:1. Este exemplo é um caso de:

- (a) epistasia dominante.
- (b) epistasia recessiva.
- (c) dominância incompleta.
- (d) dominância completa.
- (e) pleiotropia.

**5 UFRN** A planta “maravilha” – *Mirabilis jalapa* – apresenta duas variedades para a coloração das flores: a alba (flores brancas) e a rubra (flores vermelhas).

Cruzando-se as duas variedades, obtêm-se, em F1, somente flores róseas. Do cruzamento entre duas plantas heterozigotas, a percentagem fenotípica para a cor rósea é de:

- (a) 25%      (c) 75%  
(b) 50%      (d) 30%

**6 Fuvest** Uma mulher normal, casada com um portador de doença genética de herança autossômica dominante, está grávida de um par de gêmeos. Qual é a probabilidade de que pelo menos um dos gêmeos venha a ser afetado pela doença no caso de serem, respectivamente, gêmeos monozigóticos ou dizigóticos?

- (a) 25% e 50%
- (b) 25% e 75%
- (c) 50% e 25%
- (d) 50% e 50%
- (e) 50% e 75%

**7 UCSal** Dependendo do genótipo que apresenta, uma determinada planta pode ter folhas estreitas (EE), de largura intermediária (EL) ou largas (LL). Assinale o cruzamento a partir do qual é possível obter descendentes apenas com folhas de largura intermediária.

- (a) LL x LL
- (b) EE x EL
- (c) EE x LL
- (d) EL x LL
- (e) EL x EL

**8 Unes-PA** Na planta maravilha, não há dominância entre os alelos  $m^b$ , que condiciona a cor branca, e  $m^v$ , que determina a cor vermelha. A planta heterozigota é rósea. Realizou-se o cruzamento de planta de flor rósea com planta também de flor rósea e se obtiveram 32 descendentes. Qual o número, teoricamente esperado, de descendentes brancas, vermelhas e róseas na progênie?

- (a) 8 brancas, 8 vermelhas e 16 róseas.
- (b) 24 vermelhas e 8 brancas.
- (c) 24 róseas e 8 vermelhas.
- (d) 16 róseas e 8 vermelhas.
- (e) 24 róseas, 4 vermelhas e 4 brancas.

**9 UFC** A herança da cor da flor de *Mirabilis jalapa* é um exemplo de ausência de dominância. Do cruzamento entre duas plantas  $m^v m^b$ , qual a porcentagem esperada, respectivamente, de descendentes com flores vermelhas, rosas e brancas?

- (a) 100%, 0%, 0%      (d) 50%, 0%, 50%  
(b) 0%, 0%, 100%      (e) 25%, 50%, 25%  
(c) 0%, 100%, 0%

**10 Unicamp 2005** Gatos Manx são heterozigotos para uma mutação que resulta na ausência de cauda (ou cauda muito curta), presença de pernas traseiras grandes e um andar diferente dos outros. O cruzamento de dois gatos Manx produziu dois gatinhos Manx para cada gatinho normal de cauda longa (2:1), em vez de três para um (3:1), como seria esperado pela genética mendeliana.

- a) Qual a explicação para esse resultado?
- b) Dê os genótipos dos parentais e dos descendentes. (Utilize as letras B e b para as suas respostas).

**11 UFSCar 2004** Os machos de abelha originam-se de óvulos não fecundados e são haploides. As fêmeas resultam da fusão entre óvulos e espermatozoides e são diploides. Em uma linhagem desses insetos, a cor clara dos olhos é condicionada pelo alelo recessivo *a* de um determinado gene, enquanto a cor escura é condicionada pelo alelo dominante *A*. Uma abelha rainha de olhos escuros, heterozigótica *Aa*, foi inseminada artificialmente com espermatozoides de machos de olhos escuros. Espera-se que a prole dessa rainha tenha a seguinte composição:

	Fêmeas (%)		Machos (%)	
	Olhos escuros	Olhos claros	Olhos escuros	Olhos claros
(a)	50	50	50	50
(b)	50	50	75	25
(c)	75	25	75	25
(d)	100	—	50	50
(e)	100	—	100	—

**12 Puccamp 2005** A maioria das populações é composta de pessoas que manifestam perda progressiva da lactase intestinal após o desmame. Em consequência da falta dessa enzima, essas pessoas perdem a capacidade de digerir o açúcar do leite, a lactose.

*Ciência Hoje*, ago. 1999, p. 49. (Adapt.).

A alergia ao leite pode ser hereditária, causada pela deficiência da enzima lactase. Essa característica é autossômica e, nas populações, ocorrem três fenótipos relacionados à atividade da enzima: indivíduos sem atividade de lactase, indivíduos com atividade de lactase e indivíduos com atividade parcial da lactase. Essa distribuição é característica de um padrão de herança:

- (a) recessiva.
- (b) dominante.
- (c) epistática.
- (d) codominante.
- (e) quantitativa.

## TEXTO COMPLEMENTAR

### Para entender melhor a fibrose cística

Pesquisa desenvolvida na Unicamp analisou sete genes associados à fibrose cística em 181 pacientes atendidos no Ambulatório de Pediatria do Hospital de Clínicas (HC) da Unicamp. A pesquisa baseou-se nas funções, características e polimorfismos – variações genéticas – para averiguar a incidência e a associação dos genes com o quadro clínico da doença.

A fibrose cística é uma doença hereditária. Os sinais clínicos que a caracterizam são a doença pulmonar crônica e progressiva e a insuficiência pancreática. Ela afeta os aparelhos digestivo e respiratório. Dois por cento da população mundial são portadores assintomáticos de mutações no gene associado à fibrose cística. Muitos indivíduos com fibrose cística morrem jovens, em torno de 25 anos de idade. As crianças são mais afetadas e a expectativa de vida é de, aproximadamente, 15 anos.

Ao nascer, a criança com fibrose cística apresenta pulmões estruturalmente normais. Com o tempo, as sucessivas infecções e inflamações culminam com hipertensão pulmonar e insuficiência respiratória crônica. Problemas no sistema respiratório ocorrem em mais de 90% dos indivíduos com a doença, de forma progressiva e de intensidade variável. Essa intensidade de acometimento é o que determina o desenvolvimento da doença. Bactérias, vírus e fungos são os responsáveis pelas infecções pulmonares. As bactérias mais frequentes em adultos são a *Pseudomonas aeruginosa*, em 83% dos casos; *Staphylococcus aureus*, em 60% e *Haemophilus influenzae*, em 68% dos casos observados.

Em países de grande miscigenação racial, como o Brasil, a doença pode manifestar-se em todo o tipo de população. Não existe variação de incidência em função do sexo, mas mulheres com fibrose cística têm mais dificuldade para engravidar porque o

muco cervical mais espesso dificulta a passagem dos espermatozoides; já 98% dos homens são estéreis, embora tenham desempenho e potência sexual absolutamente normais.

“Os genes estudados estão envolvidos com a doença pulmonar que é a principal causa de mortalidade e agravamento clínico dos pacientes com fibrose cística. O diagnóstico precoce da doença pulmonar, baseado nas diversas associações desses genes, pode contribuir para a sobrevivência e melhora da qualidade de vida dos pacientes, pois permite o acompanhamento e manejo dos sintomas clínicos que compõem a doença”, revela o pesquisador.

### Gene candidato

De acordo com a pesquisa, o gene Cystic Fibrosis Transmembrane Conductance Regulator controla a produção da proteína CFTR, que regula a transferência de cloreto de sódio (sal) através das membranas celulares. Mais de 1.900 mutações foram descritas e divididas em seis classes de acordo com o mecanismo por meio do qual a proteína CFTR alterada se apresenta.

A doença desenvolve-se somente quando o indivíduo apresenta dois alelos mutados no gene, transmitidos pelo pai e pela mãe. Alelo é cada uma das várias formas alternativas do mesmo gene. Quando os dois alelos no gene CFTR são anormais, a transferência de cloreto de sódio é interrompida. Isso causa desidratação e aumento da viscosidade das secreções, principalmente nos pulmões.

A fibrose cística é causada por mutações no gene CFTR. Existe baixa correlação entre as mutações no gene CFTR e o quadro clínico dos pacientes. Estudos de fatores ambientais e genéticos podem contribuir para o melhor entendimento da fisiopatologia dessa doença.

Para a pesquisa, Marson selecionou sete genes para estudo, que são chamados de genes modificadores, pois modulam a gravidade da doença, juntamente ao fator ambiental e ao gene responsável pela doença – no caso, o gene CFTR –, e estão relacionados, principalmente, com o quadro pulmonar da doença.

De acordo com o estudo, as atuações do ambiente e dos genes modificadores influenciam juntamente as mutações do gene da fibrose cística, na gravidade da doença. Os polimorfismos analisados nos diferentes genes modificadores apresentaram associação com as variáveis clínicas utilizadas como marcadores.

“Todos os genes modificadores estudados tiveram associação com as variáveis clínicas. Eles influenciam na evolução da doença. Alguns tiveram relação com a resistência bacteriana a medicamentos, como é o caso de *Pseudomonas aeruginosa*”, disse.

Na Europa e Estados Unidos, segundo o pesquisador, há pesquisas sobre medicamentos para o tratamento da fibrose cística. Eles usam fármacos que “consertam” a proteína que causa a doença ou alteram a expressão da proteína. A diferença é que a população desses países é mais homogênea e as mutações genéticas são as mesmas. No Brasil, por causa da miscigenação, isso não se aplica da mesma forma e o estudo de novos fármacos está em fase inicial no país.

O pesquisador pretende criar uma tabela ou diretriz que auxilie no manejo ambulatorial e tratamento dos pacientes. A ideia de condicionar o tratamento e manejo do paciente ao seu perfil genético é nova.

“Se a genotipagem do paciente indicar que ele tem propensão à bactéria *Pseudomonas aeruginosa*, por exemplo, a indicação será para evitar o contato com pessoas ou locais onde a proliferação da bactéria é mais elevada”, explica o biólogo.

Entretanto, ressalta o pesquisador, o Sistema Único de Saúde (SUS) não cobre a pesquisa genética, por ela ser dispendiosa. Atualmente, o tratamento da doença pulmonar crônica decorrente da fibrose cística é com antibióticos e outros fármacos.

“Isso, em longo prazo, torna-se oneroso. Se você avaliar o quanto de antibiótico o paciente terá que tomar ao longo dos anos, a pesquisa genética apresenta melhor custo-benefício, tanto ao governo, quanto ao paciente. Estudar a clínica associada com diferentes genes pode ser uma nova diretriz para o tratamento, o manejo e o acompanhamento do paciente. Há um ganho significativo em sua sobrevivência, pois podemos ‘prever’ como a doença irá se desenvolver no futuro”, diz o pesquisador.

Edmilson Montalti. *Journal da Unicamp*. Campinas, ano 2012, n. 532, 2 jul. 2012 a 29 jul. 2012. (Adapt.).

## RESUMINDO

### Variações da Primeira Lei de Mendel

Há variações no modelo em que as características são determinadas por um par de alelos:

**Alelos letais (deletérios):** podem provocar a morte do indivíduo e afetar a proporção da prole, passando de 3:1 para 2:1 (em função de homocigotos do alelo letal morrerem).

**Pleiotropia:** caso em que o alelo condiciona mais de uma característica fenotípica no indivíduo.

**Dominância incompleta:** heterocigoto sem a manifestação usual de um alelo dominante. Nesse caso, o heterocigoto apresenta uma característica intermediária entre o dominante e o recessivo. Exemplo: flor de maravilha.

**Codominância:** o heterocigoto apresenta um fenótipo com características próprias, não intermediárias aos dominantes e recessivos. Exemplo: sistema sanguíneo ABO.

**Gêmeos:** pode haver gêmeos **univitelinos** (resultantes de um mesmo zigoto) e com genomas e sexos idênticos e **bivitelinos** (resultantes de zigotos diferentes), cada um sendo geneticamente distinto do outro.

**Penetrância incompleta:** característica determinada por alelo autossômico dominante, mas que não apresenta 100% da prole que o possui com fenótipos determinados por ele. Pode haver manifestação em apenas uma porcentagem da prole. Exemplo: camptodactilia (dedos curtos e tortos, que se manifestam em apenas 65% da população com o alelo).

**Expressividade variável:** o alelo determina um fenótipo que pode variar. Exemplo: polidactilia.

### Proporções dos cruzamentos entre heterocigotos:

Tipo de herança	Proporção fenotípica
Primeira Lei de Mendel	3:1
Alelos letais (dominantes)	2:1
Herança com dominância incompleta	1:2:1

## ■ QUER SABER MAIS?



### SITES

- Centro de Estudos do Genoma Humano, ligado ao Instituto de Biociências da USP. Lá são desenvolvidas pesquisas ligadas ao estudo do genoma humano, doenças genéticas e células-tronco, além de atividades ligadas à educação e à transferência de tecnologia.  
<<http://genoma.ib.usp.br/>>.
- Pesquisadores conseguem determinar com sucesso a tonalidade dos cabelos de um indivíduo por meio de exame de DNA, método que pode ajudar a refinar a descrição de criminosos a partir do material genético deixado no local do crime.  
<<http://cienciahoje.uol.com.br/noticias/2011/01/cor-do-cabelo-revelada-nos-genes>>.

## Exercícios complementares

**1 Uerj 2004** Em determinado tipo de camundongo, a pelagem branca é condicionada pela presença do gene “A”, letal em homozigose. Seu alelo recessivo “a” condiciona pelagem preta. Para os filhotes vivos de um cruzamento de um casal de heterozigotos, esperam-se as seguintes proporções de camundongos de pelagem branca e preta, respectivamente:

- (a)  $\frac{1}{2}$  e  $\frac{1}{2}$       (b)  $\frac{1}{4}$  e  $\frac{3}{4}$       (c)  $\frac{2}{3}$  e  $\frac{1}{3}$       (d)  $\frac{3}{4}$  e  $\frac{1}{4}$

**2 UFMG 2007** É correto afirmar que as doenças infecciosas diferem das doenças genéticas porque podem:

- (a) atingir mais de um indivíduo de uma mesma família.  
(b) manifestar-se após o nascimento.  
(c) ser diagnosticadas antes de os sinais clínicos aparecerem.  
(d) ter maior incidência em determinadas estações do ano.

**3 UFV 2005** Frutos com fenótipo “Violeta” são os únicos resultantes de herança do tipo dominância incompleta entre cruzamentos de plantas com fruto “Roxo” e plantas com fruto “Branco”. Foram obtidas, de um cruzamento entre heterozigotas, 48 plantas. Espera-se que a proporção fenotípica do fruto entre as plantas descendentes seja:

- (a) Violeta ( 0 ): Roxo (36): Branco (12).  
(b) Violeta (12): Roxo (24): Branco (12).  
(c) Violeta (24): Roxo (12): Branco (12).  
(d) Violeta (36): Roxo (12): Branco ( 0 ).  
(e) Violeta (48): Roxo ( 0 ): Branco ( 0 ).

**4 UFMG 2003** Analise esta tabela:

Média das diferenças nas características entre gêmeos monozigóticos e dizigóticos			
Características	Gêmeos monozigóticos (MZ)		Gêmeos dizigóticos (DZ)
	Criados juntos	Criados separados	
Altura (cm)	1,70	1,80	1,80
Peso (kg)	1,90	3,50	4,50
Comprimento da cabeça (mm)	2,90	2,95	6,20

Com base nos dados dessa tabela e em outros conhecimentos sobre o assunto, é correto afirmar que:

- (a) o peso é a característica que apresenta maior influência genética.  
(b) as diferenças entre gêmeos MZ indicam diferenças genéticas entre eles.  
(c) a influência ambiental pode ser avaliada em gêmeos MZ.  
(d) o comprimento da cabeça apresenta maior influência ambiental.

**5 UFMS** Nas galinhas da raça minorca, existe uma variedade conhecida pelos criadores por andaluz. Quando se cruzam galinhas dessa classe entre si, produzem-se descendentes nas seguintes proporções: 1 branca, 2 azuladas, 1 preta. Que descendentes podemos esperar dos cruzamentos a seguir?

- I. Azulada x Branca  
II. Preta x Azulada  
III. Branca x Preta

- (a) I. 50% pretas, 25% brancas, 25% azuladas  
II. 50% brancas, 50% pretas  
III. 25% brancas, 75% pretas  
(b) I. 50% azuladas, 50% brancas  
II. 50% pretas, 50% azuladas  
III. 100% azuladas  
(c) I. 50% pretas, 25% brancas, 25% azuladas  
II. 50% pretas, 50% brancas  
III. 75% azuladas, 25% pretas  
(d) I. 75% azuladas, 25% brancas  
II. 100% pretas  
III. 75% pretas, 25% azuladas  
(e) Os dados fornecidos são insuficientes.

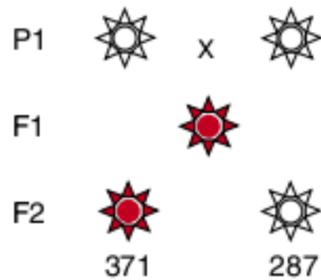
**6 UNIR** Em cães mexicanos conhecidos como *hairless*, a ausência de pelos é determinada por um alelo dominante H, cuja homozigose é letal. No cruzamento de animais sem pelos, a proporção esperada de filhotes com pelos é de:

- (a)  $\frac{1}{2}$       (b)  $\frac{1}{3}$       (c)  $\frac{1}{4}$       (d)  $\frac{2}{3}$       (e)  $\frac{3}{4}$

**7 FGV** Sabe-se que um homem e uma mulher são heterozigotos para um alelo recessivo que condiciona o albinismo. Se eles tiverem gêmeos dizigóticos, qual a probabilidade de as duas crianças serem albinas?

- (a) 25%    (b)  $\frac{1}{32}$     (c)  $\frac{1}{16}$     (d)  $\frac{1}{2}$     (e)  $\frac{1}{8}$

**8** O esquema a seguir representa o cruzamento entre duas variedades puras de ervilha-de-cheiro (*Lathyrus odoratus*) de flor branca. A F1 resultante apresentou 100% das ervilhas com flores avermelhadas. Após autofecundação das plantas F1, foram produzidas 371 plantas com flores avermelhadas e 287 com flores brancas na geração F2.



Analisar esse padrão de herança e assinalar a afirmativa correta.

- (a) Trata-se de um exemplo típico da Primeira Lei de Mendel.  
 (b) Pelos resultados, deduz-se que é um padrão de herança intermediária.  
 (c) A proporção fenotípica 9:7 é um padrão de segregação independente.  
 (d) O gene para a cor avermelhada é codominante em relação ao alelo.  
 (e) O exemplo é de interação gênica já que está envolvido apenas um loco.

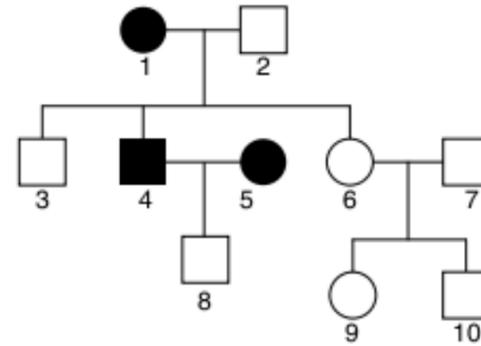
**9** Em *Mirabilis jalapa* (maravilha), o caráter tonalidade da cor das folhas e ramos é transmitido geneticamente através do citoplasma dos óvulos. Três fenótipos são observados: verde, verde pálido, variegadas (pigmentação irregular). A tabela a seguir apresenta o resultado de seis possíveis cruzamentos.

Cruzamento	Fenótipo dos indivíduos doadores do gameta envolvido no cruzamento		Fenótipo dos descendentes
	Doador do óvulo	Doador do pólen	
I	verde	verde pálido	verde
II	verde pálido	verde	verde pálido
III	verde	variegada	verde
IV	variegada	verde	variegada
V	verde pálido	variegada	verde pálido
VI	variegada	verde pálido	variegada

De acordo com a tabela e com seus conhecimentos, é incorreto afirmar:

- (a) A propagação vegetativa de uma planta verde deve produzir plantas verdes.  
 (b) Genes estão envolvidos na determinação dos fenótipos.  
 (c) É uma herança ligada ao sexo em vegetais.  
 (d) O fenótipo pode ser influenciado por fatores ambientais.

**10** No heredograma a seguir, os indivíduos marcados apresentam um tipo de cegueira noturna.



A probabilidade de o casal 4x5 ter uma criança de sexo feminino e de visão normal é de:

- (a)  $\frac{1}{6}$     (b)  $\frac{1}{4}$     (c)  $\frac{1}{8}$     (d)  $\frac{1}{3}$

# Alelos múltiplos

# 15

FRENTE 1



A cor da pelagem de coelhos é determinada por um único par de alelos. No entanto, há quatro padrões de pelagem: aguti (escuro), chinchila (cinza-claro), himalaia (branco, com extremidades escuras) e albino. Como isso é possível?

## Conceito de alelos múltiplos (polialelia)

Cada coelho possui um par de alelos responsáveis pela determinação da cor de sua pelagem; isso se enquadra, portanto, no âmbito da Primeira Lei de Mendel. Entretanto, na população de coelhos, há quatro alelos; é isso o que identifica a herança do tipo alelos múltiplos: na **população**, há mais de duas formas alélicas (o **indivíduo**, no entanto, apresenta dois alelos) (Fig. 1).

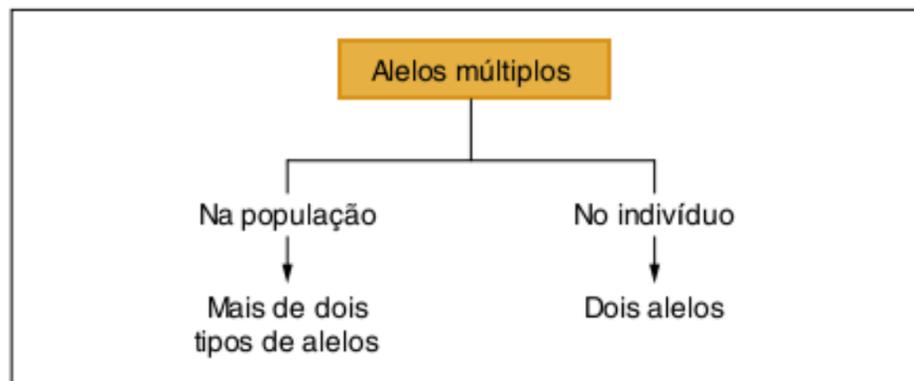


Fig. 1 Ocorrência de alelos múltiplos na população em geral e em cada indivíduo.

No caso dos coelhos, há quatro alelos: **C**, **C<sup>ch</sup>**, **C<sup>h</sup>** e **c**. O alelo **C** condiciona pelagem escura (ou aguti) e é dominante em relação aos demais. O alelo **C<sup>ch</sup>** determina pelagem cinza-claro (chinchila) e é dominante em relação aos alelos **C<sup>h</sup>** e **c**. O alelo **C<sup>h</sup>** condiciona pelagem himalaia (branca, com extremidades escuras), sendo dominante em relação ao **c**. O alelo **c** condiciona albinismo e é recessivo em relação aos outros (Fig. 2).

Pelagem de coelhos (> significa "dominância")	
C	> C <sup>ch</sup> > C <sup>h</sup> > c
	Aguti Chinchila Himalaia Albina
Genótipos	Fenótipos (pelagem)
CC, CC <sup>ch</sup> , CC <sup>h</sup> , Cc	Aguti (escuro)
C <sup>ch</sup> C <sup>ch</sup> , C <sup>ch</sup> C <sup>h</sup> , C <sup>ch</sup> c	Chinchila (cinza-claro)
C <sup>h</sup> C <sup>h</sup> , C <sup>h</sup> c	Himalaia (branco, com extremidades escuras)
cc	Albina (sem pigmentação)

Fig. 2 Genótipos e fenótipos relacionados à pelagem de coelhos.

Esses alelos podem estar distribuídos em dez categorias genóticas. O cálculo do número das categorias genóticas é feito pela fórmula:

$$C = \frac{n(n+1)}{2}$$

Na fórmula, **n** representa o número de alelos envolvidos na herança; no caso da pelagem de coelhos, **n** = 4. Assim, temos:

$$C = \frac{4(4+1)}{2} = \frac{20}{2} = 10 \text{ categorias genóticas}$$

## O sistema sanguíneo ABO

No início do século XX, o médico austríaco Karl Landsteiner desenvolveu um estudo para identificar tipos sanguíneos

em seres humanos. Os resultados dessa investigação foram fundamentais na prevenção de acidentes em transfusões sanguíneas. Era frequente pacientes receberem transfusão de sangue e acabarem morrendo por causa de obstruções em vasos, provocadas por aglutinação do sangue recebido.

Em primeiro lugar, serão discutidos alguns aspectos imunológicos relacionados ao sangue e, posteriormente, serão analisados os aspectos genéticos dos tipos sanguíneos.

## Sangue e imunologia

Para a finalidade do que estamos tratando neste capítulo, serão consideradas apenas duas partes componentes do sangue: plasma e hemácias (glóbulos vermelhos). No plasma, há proteínas de defesa, os **anticorpos**, que podem ligar-se a um "corpo estranho" ao organismo (um **antígeno**). Na superfície externa das hemácias, podem ser encontradas moléculas de carboidratos associadas a proteínas; essas estruturas moleculares atuam como antígenos, sendo reconhecidas como "corpos estranhos" se as hemácias do indivíduo forem transferidas para a corrente sanguínea de um indivíduo não compatível.

A membrana de hemácias humanas pode apresentar duas categorias de antígenos (ou aglutinógenos): antígeno A e antígeno B, indicados abreviadamente por **A** e **B**, respectivamente.

- No plasma do indivíduo que possui antígeno A, são encontrados anticorpos (ou **aglutininas**) específicos que atuam contra o antígeno B, são os anti-B.
- O plasma de um indivíduo com hemácias dotadas de antígeno B tem anticorpos (ou **aglutininas**) anti-A.

Há quatro tipos sanguíneos no sistema ABO, baseados na ocorrência dos antígenos A e B na superfície das hemácias (Tab. 1).

Tipo sanguíneo	Hemácias: com aglutinógenos	Plasma: com aglutininas
A		
B		
AB		Sem
O	Sem	

Tab. 1 As diferenças entre os tipos sanguíneos relacionam-se à existência de tipos específicos de aglutinógenos e de aglutininas.

Tipo A: tem antígeno A e plasma com aglutinina anti-B.

Tipo B: tem antígeno B e plasma com aglutinina anti-A.

Tipo AB: tem antígeno A e antígeno B; o plasma não apresenta aglutinina anti-A nem anti-B.

Tipo O: não tem antígeno A nem antígeno B; o plasma tem aglutinina anti-A e anti-B.

Os anticorpos anti-A e anti-B já se encontram dispersos no sangue do indivíduo. Eles foram elaborados pelo sistema imunitário, estimulado pelo contato do organismo com vários agentes, como bactérias, protozoários e vermes.

### Tipagem sanguínea

A determinação do tipo sanguíneo do indivíduo é feita misturando gotas de seu sangue com gotas de soro próprio para esse teste. Há dois tipos de soro: o que contém anti-A e o que contém anti-B.

Duas gotas de sangue do indivíduo são colocadas em uma lâmina de microscopia; sobre uma gota, é depositado soro anti-A; e na outra gota de sangue, coloca-se soro anti-B. Verifica-se, então, com o auxílio do microscópio, se ocorreu ou não aglutinação do sangue (Fig. 3).

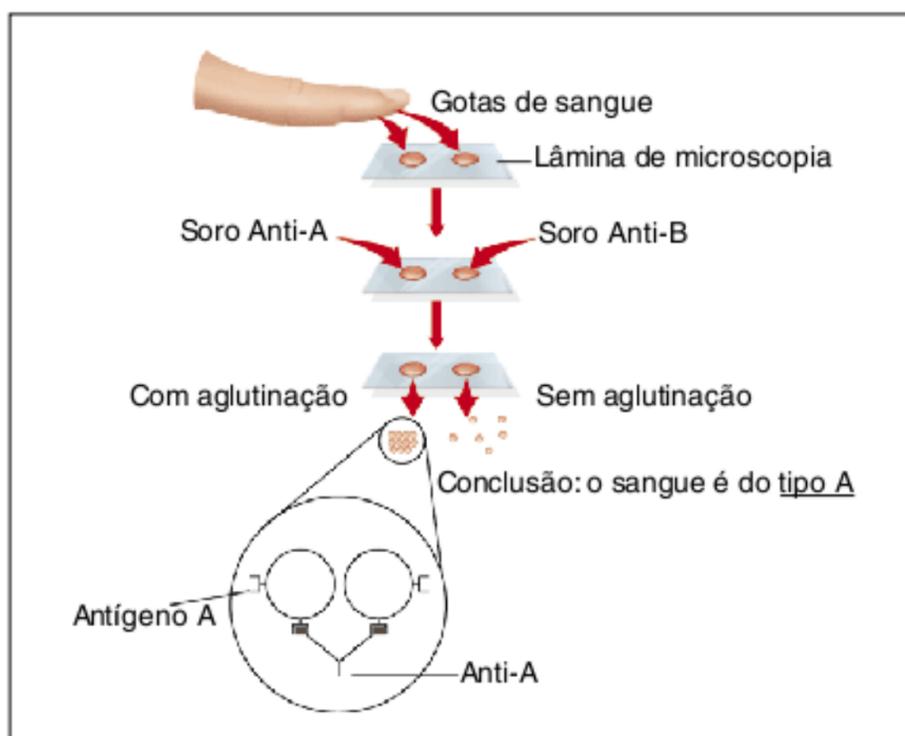


Fig. 3 No caso exemplificado, o sangue é do tipo A, que aglutina apenas em presença de soro anti-A. Isso pode ser observado no detalhe, no qual o antígeno reage com os anticorpos e coagula a gota de sangue.

O sangue do tipo A aglutina-se com a presença do soro anti-A, mas não se altera com o contato com o soro anti-B. Esse procedimento determina os demais tipos sanguíneos (Tab. 2).

Tipo sanguíneo	Anti-A	Anti-B
A	Aglutina	Não aglutina
B	Não aglutina	Aglutina
AB	Aglutina	Aglutina
O	Não aglutina	Não aglutina

Tab. 2 Tipagem sanguínea obtida pela ocorrência ou não de aglutinação em presença de soros anti-A e anti-B.

### Transfusão sanguínea

A situação ideal é que um indivíduo receba sangue do mesmo tipo que o seu em uma transfusão. Se isso não for possível,

deve-se ter cuidado para que o receptor do sangue não desencadeie a aglutinação das hemácias do doador (Tab. 3). O receptor não pode ter anticorpos contra o antígeno do doador. Assim, um receptor de tipo A possui aglutininas anti-B e não pode receber sangue do tipo B nem do tipo AB. Um receptor de tipo B tem aglutininas anti-A, portanto, não pode receber sangue tipo A nem tipo AB.

Doador	Receptor NÃO pode ter anticorpos:	Anti-B
Tipo A	Anti-A	A e AB
Tipo B	Anti-B	B e AB
Tipo AB	Anti-A Anti-B	AB
Tipo O	—	A, B, AB, O

Tab. 3 Doadores e receptores no sistema sanguíneo ABO.

Já o receptor AB não tem aglutininas anti-A nem anti-B e pode receber sangue de qualquer tipo (é o **receptor universal**). Já o receptor do tipo O tem aglutininas anti-A e anti-B e não pode receber transfusão com sangue A, B ou AB; só pode receber sangue tipo O. Por outro lado, sangue tipo O não possui antígenos A ou B em suas hemácias, podendo ser doado para todos os tipos sanguíneos (é o **doador universal**). Essas informações podem ser condensadas com as seguintes informações:

- Cada grupo pode doar para o próprio grupo.
- Portadores de sangue tipo O podem doar para todos os outros grupos sanguíneos (A, B e AB), sendo doadores universais.
- Portadores do tipo sanguíneo AB podem receber de todos os outros grupos (A, B e O), sendo receptores universais (Fig. 4).

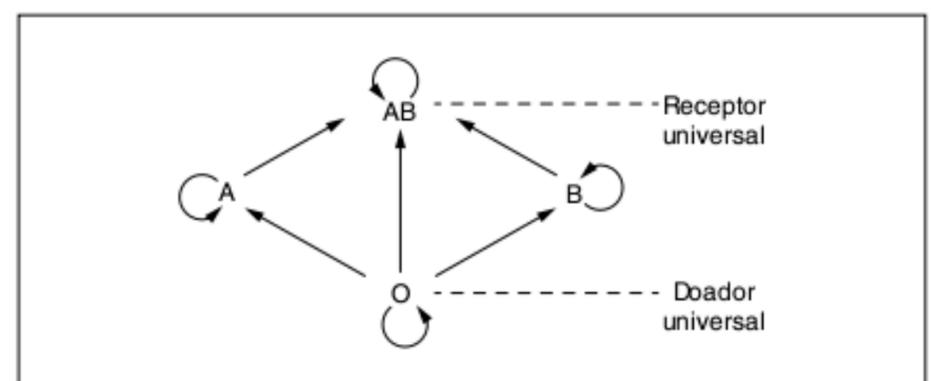


Fig. 4 Diagrama representativo das transfusões sanguíneas possíveis.

### A genética do sistema ABO

Na população humana, encontram-se três alelos:  $I^A$ ,  $I^B$  e  $i$ . O  $i$  é **recessivo**, enquanto  $I^A$  e  $I^B$  são **codominantes** (Fig. 5). O alelo  $i$  determina tipo O, o alelo  $I^A$  condiciona tipo A e o alelo  $I^B$  é responsável pelo tipo B. Um indivíduo heterozigoto  $I^A I^B$  pertence ao grupo sanguíneo AB; não se trata de um fenótipo intermediário entre o tipo A e o tipo B, mas sim dos dois fenótipos sendo expressos simultaneamente, caracterizando um caso de codominância.

Outros sistemas sanguíneos, como o Rh, serão apresentados a seguir.

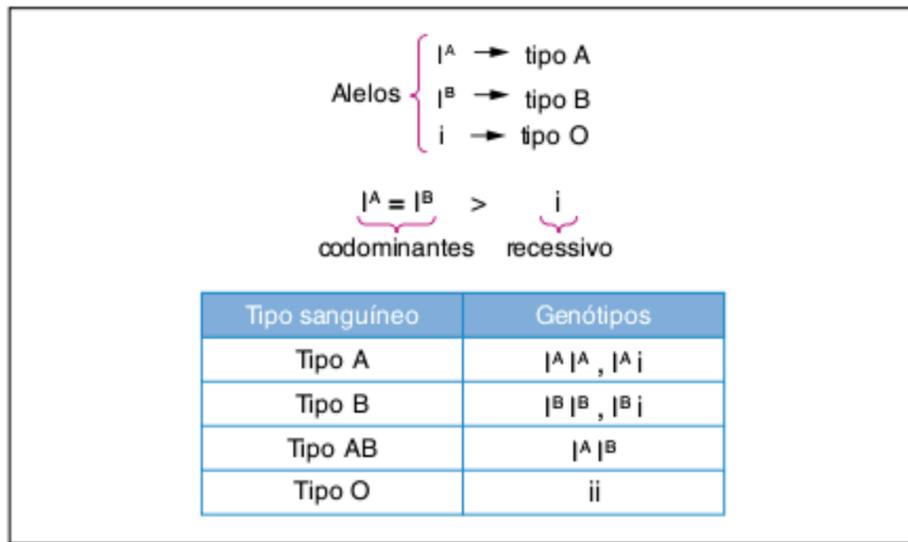


Fig. 5 Genótipos e fenótipos (tipos sanguíneos) do sistema ABO.

### Características do sistema Rh

O macaco *rhesus*, ou reso, espécie atualmente denominada *Macaca mulatta*, é um primata do grupo dos *Platyrrhini*, dotado de cauda preênsil. Não pertence ao mesmo grupo dos macacos antropóides, como o chimpanzé, o gorila e o orangotango, parentes mais próximos do ser humano. No entanto, há algum parentesco evolutivo entre os humanos e o macaco *rhesus*, revelado pelas similaridades bioquímicas do DNA entre as duas espécies. Essa semelhança bioquímica também se relaciona com o sistema sanguíneo Rh, que tem importantes aplicações clínicas.

O macaco *rhesus* apresenta hemácias dotadas de um **antígeno** (ou **aglutinogênio**) próprio, denominado **Rh**. Cerca de 85% das pessoas também possuem esse antígeno Rh e, por isso, são classificadas como tendo tipo sanguíneo **Rh positivo** (**Rh<sup>+</sup>**); os demais 15% da população humana não apresentam esse antígeno e são, portanto, do tipo sanguíneo **Rh negativo** (**Rh<sup>-</sup>**) (Fig. 6).

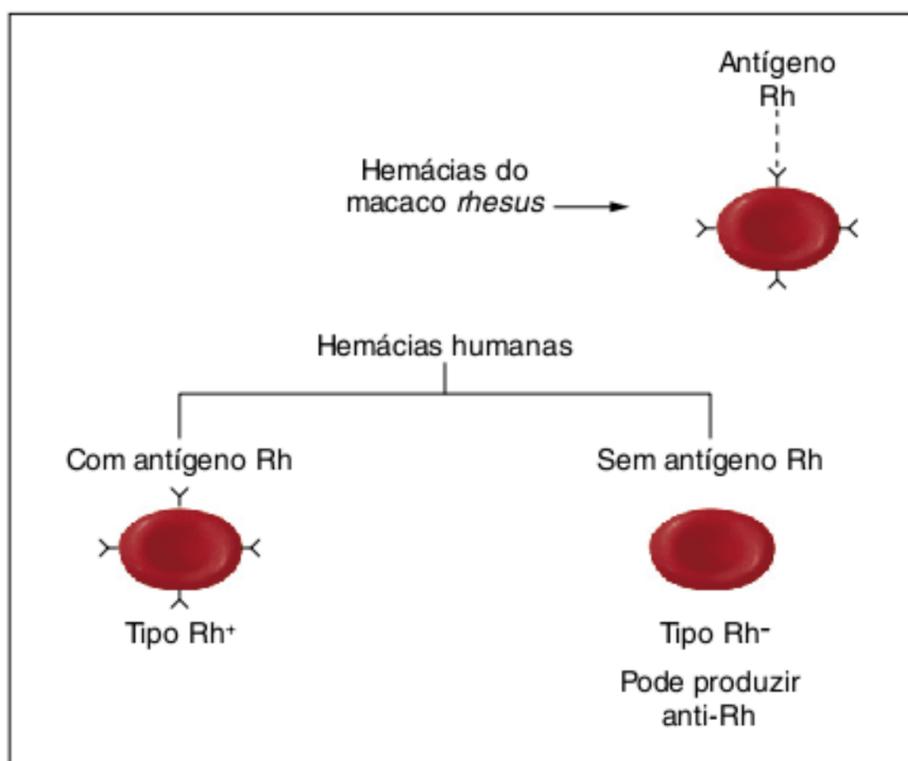


Fig. 6 As hemácias do macaco *rhesus* apresentam o antígeno Rh, também presente em seres humanos Rh positivo (Rh<sup>+</sup>), mas ausente em indivíduos Rh negativo (Rh<sup>-</sup>).

### Tipagem sanguínea

Anticorpos anti-Rh não são encontrados naturalmente no organismo de uma pessoa, sendo eles presentes apenas em indivíduos que tenham tido o sistema imune sensibilizado por

contato prévio com um sangue de tipagem diferente. Assim, um indivíduo Rh<sup>-</sup> produzirá **anticorpos**, ou **aglutininas**, **anti-Rh** se receber hemácias Rh<sup>+</sup> em sua circulação; já um indivíduo portador de sangue Rh positivo não produz anti-Rh.

A tipagem sanguínea no sistema é realizada com a utilização de um soro que contém **anticorpos anti-Rh**. Para a determinação do tipo sanguíneo segundo esse sistema, uma amostra de sangue obtida de uma pessoa deve ser misturada ao soro; caso ocorra aglutinação, o sangue será do tipo Rh<sup>+</sup>, pois houve interação entre os anticorpos anti-Rh e os antígenos Rh da superfície das hemácias; não ocorrendo aglutinação, o sangue será Rh negativo, revelando a falta de interação dos anticorpos com as hemácias, desprovidas de antígenos Rh (Fig. 7).

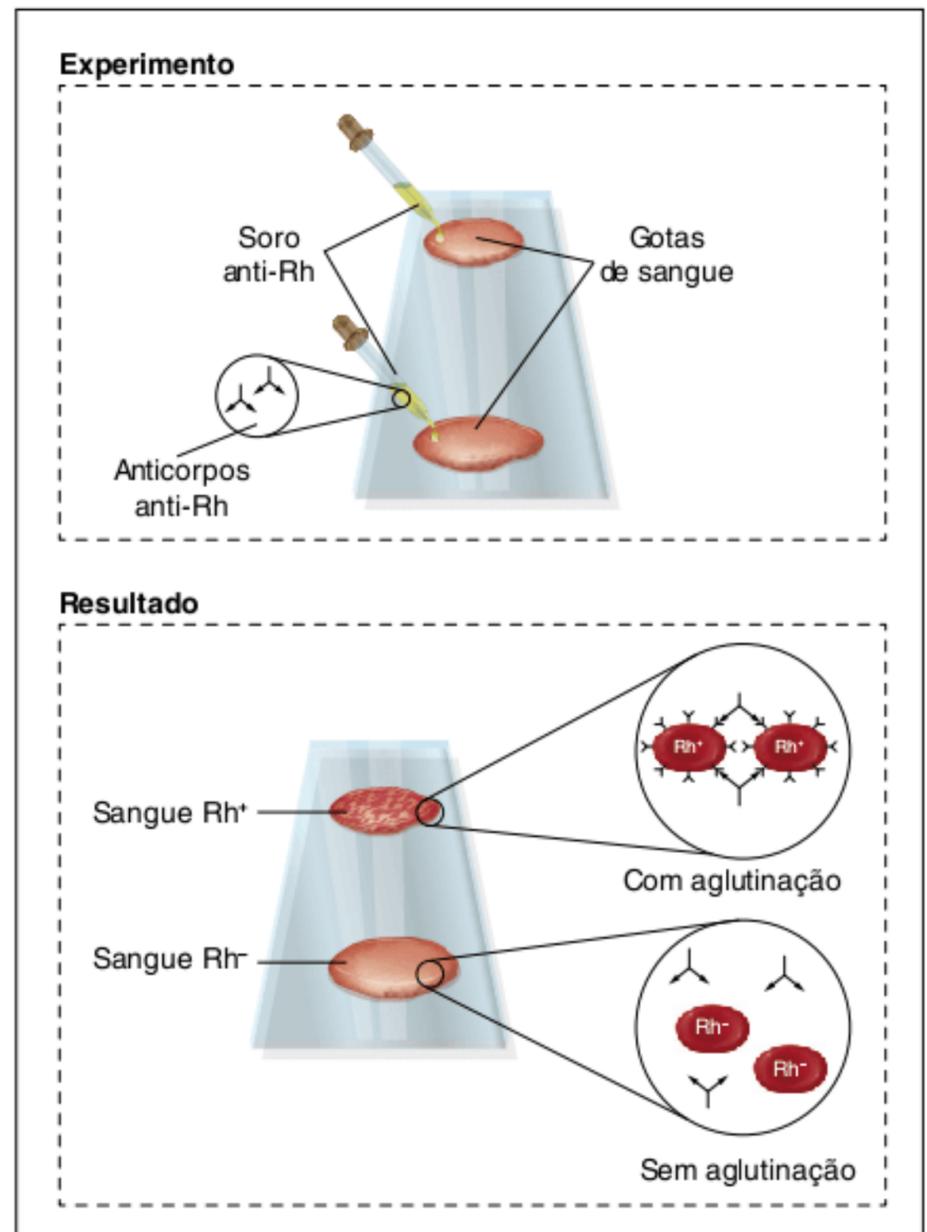


Fig. 7 Procedimento de tipagem sanguínea no sistema Rh e detalhe do processo de aglutinação de hemácias. Moléculas de anti-Rh interagem com o antígeno Rh de hemácias Rh<sup>+</sup>, provocando aglutinação. Esse processo não ocorre com hemácias Rh<sup>-</sup>.

### Transfusão sanguínea

Um indivíduo Rh<sup>+</sup> pode receber sangue do mesmo tipo (Rh<sup>+</sup>), assim como também pode receber sangue Rh negativo, cujas hemácias não apresentam antígenos Rh em sua superfície e não desencadeiam resposta imunitária. Isso significa que no sistema Rh de tipagem sanguínea, indivíduos com sangue **tipo Rh<sup>+</sup> são receptores universais**.

Um indivíduo Rh<sup>-</sup> pode receber sangue do seu mesmo tipo (Rh<sup>-</sup>). No entanto, não deve receber sangue Rh positivo, cujas hemácias apresentam antígenos Rh em sua superfície, pois o receptor produzirá anticorpos anti-Rh e desenvolverá

**memória imunitária**, o que poderá causar danos mais severos se o indivíduo receber uma segunda transfusão com sangue Rh positivo. Pessoas com sangue **tipo Rh<sup>-</sup>** podem doar para indivíduos com tipo Rh<sup>+</sup> e Rh<sup>-</sup>; por isso, um indivíduo Rh<sup>-</sup> é considerado como **doador universal** (Fig. 8).



Fig. 8 Na transfusão, indivíduos Rh<sup>+</sup> podem receber sangue de indivíduos Rh<sup>+</sup> e Rh<sup>-</sup> (receptor universal). Já indivíduos Rh<sup>-</sup> só podem receber sangue de indivíduos Rh<sup>-</sup> (doador universal).

### A genética do sistema Rh

O sistema Rh apresenta **dois alelos principais**: R e r, sendo **R (dominante)** o que condiciona Rh<sup>+</sup> e **r (recessivo)** aquele que em homozigose determina Rh<sup>-</sup>. Assim, são possíveis os seguintes genótipos.

Tipo sanguíneo	Genótipos
Rh positivo	RR, Rr
Rh negativo	rr

Tab. 4 Genótipos possíveis no sistema Rh.

### A doença hemolítica do recém-nascido (DHRN)

Esse distúrbio, também conhecido como **eritroblastose fetal (EF)**, é decorrente da incompatibilidade entre o sangue da mãe e o sangue do filho.

Essa doença se desenvolve em fetos cuja mãe Rh negativo tenha tido contato com sangue Rh<sup>+</sup> anteriormente (o que pode ocorrer por meio de uma transfusão sanguínea inadequada, com sangue Rh positivo).

O caso típico ocorre com casais em que o **homem é Rh positivo** e a **mulher é Rh negativo**. Ao gerar filhos Rh<sup>+</sup> (genótipo R<sub>-</sub>), a mãe pode ser sensibilizada contra as hemácias do filho, produzindo anticorpos anti-Rh. Normalmente, o primeiro filho nascido Rh<sup>+</sup> não é afetado pela doença, mas caso o casal tenha um segundo ou terceiro filho com tipo sanguíneo Rh<sup>+</sup>, haverá elevada probabilidade de a criança nascer com DHRN, caso não seja feito o tratamento adequado (Fig. 9).

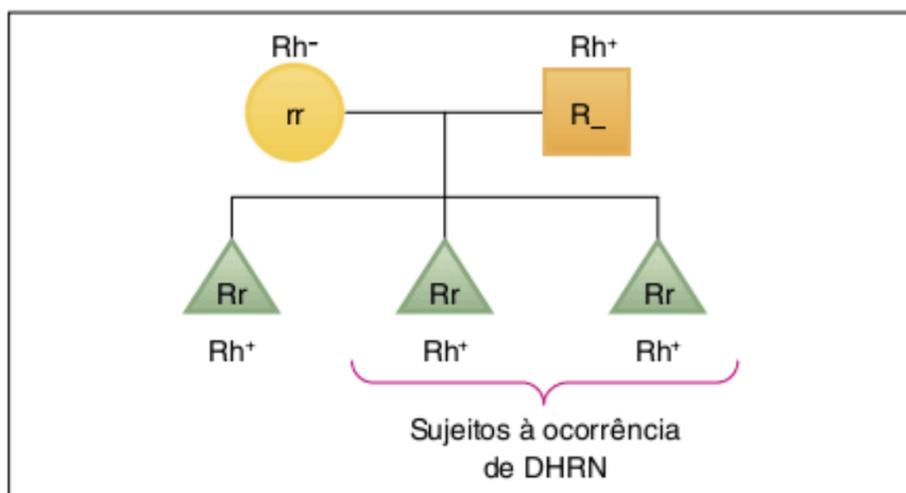


Fig. 9 A eritroblastose fetal só ocorre quando a mãe possui Rh<sup>-</sup>, o pai Rh<sup>+</sup> e os filhos Rh<sup>+</sup>. Gravidez com filhos Rh<sup>-</sup> (rr) não interferem no sistema imunitário da mãe.

A sensibilização da mãe acontece durante a gravidez do primeiro filho Rh<sup>+</sup>. Ao final da gestação, o feto apresenta ruptura de um grande número de hemácias (fato que originou uma das designações da doença: “hemolítica do recém-nascido”). Algumas hemácias do filho atravessam a placenta e passam para a circulação materna; essas hemácias são reconhecidas como corpos estranhos pelo sistema imunitário da mãe, que passa a produzir **anti-Rh**. Normalmente, essa primeira criança nasce sem que nenhum dano ocorra, pois não houve tempo suficiente para a produção elevada de anticorpos pela mãe. Mas, como consequência do contato do sistema imune da mãe com o sangue Rh<sup>+</sup> do recém-nascido, a mulher foi imunizada (sensibilizada) e desenvolveu **memória imunitária**.

Em uma segunda ou terceira gestação de filho Rh<sup>+</sup>, hemácias Rh<sup>+</sup> do filho podem atravessar a placenta e passar para a circulação materna. A mãe produzirá grande quantidade de anti-Rh, e esses anticorpos, capazes de atravessar a placenta, atacam as hemácias Rh<sup>+</sup> do feto, causando hemólise (Fig. 10).

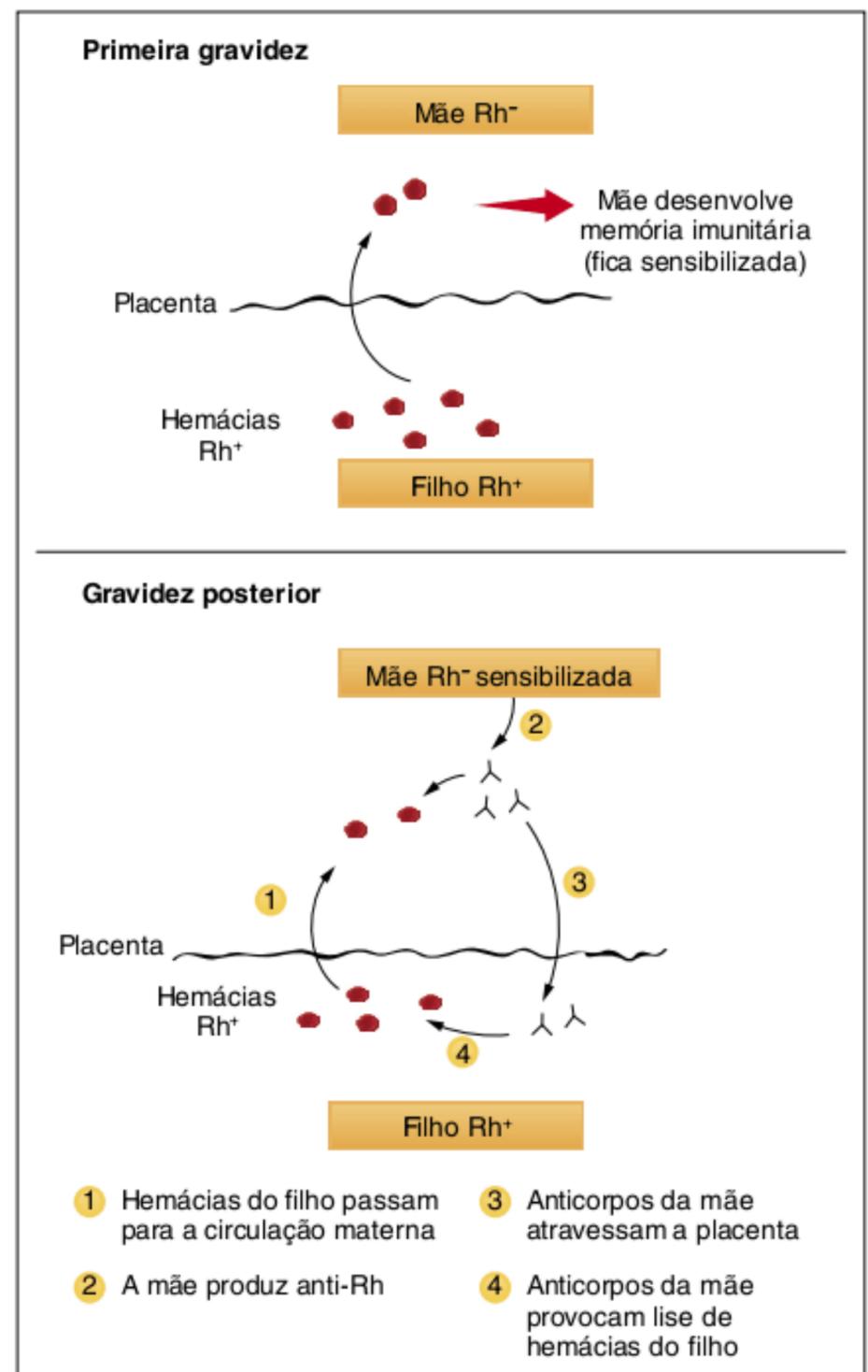


Fig. 10 A mulher Rh<sup>-</sup> é sensibilizada durante gestação de filho Rh<sup>+</sup>. Em outras gestações com filho Rh<sup>+</sup>, a mulher produz rapidamente grande quantidade de anticorpos anti-Rh, que podem afetar as hemácias do filho.

A ruptura de hemácias acarreta comprometimento no transporte de gás oxigênio, o que pode afetar o cérebro do bebê, podendo levar à morte da criança ou causar danos neurológicos, como paralisia de alguma região do corpo, cegueira, retardo mental etc. O organismo do feto reage à destruição de hemácias, liberando na circulação **eritroblastos**, ou seja, hemácias ainda imaturas e dotadas de núcleo, de onde vem a outra designação do distúrbio: “eritroblastose fetal”.

Feito o diagnóstico de DHRN, o tratamento da criança consiste em uma rápida transfusão com sangue Rh negativo; isso evita que as hemácias do bebê sejam atacadas pelos anticorpos anti-Rh da mãe ainda presentes no organismo do recém-nascido. Depois de alguns dias, os anticorpos maternos serão destruídos e deixarão de atuar. A criança passará também a produzir em sua medula óssea hemácias do tipo Rh positivo, de acordo com o seu genótipo.

A prevenção do problema consiste em constatar se o casal tem probabilidade de gerar filhos com DHRN (homem Rh<sup>+</sup> e mulher Rh<sup>-</sup>). Constatando-se isso, após o nascimento do primeiro filho Rh<sup>+</sup>, a mulher recebe uma injeção com soro anti-Rh, promovendo a destruição de hemácias Rh<sup>+</sup> que ela recebeu do filho, evitando que ela seja sensibilizada. Dessa maneira, minimizam-se as chances de que um segundo filho Rh<sup>+</sup> tenha o problema.

Em casos que tanto a mãe quanto o filho são Rh<sup>-</sup> ou ambos Rh<sup>+</sup>, não há possibilidade de desenvolvimento da doença.

## Sistema sanguíneo MN

O mesmo pesquisador que desvendou o sistema sanguíneo Rh descobriu outros tipos sanguíneos que não apresentam relevância nas transfusões sanguíneas. No **sistema MN**, também descoberto por Landsteiner, na década de 1920, **há dois alelos na população: M e N**, tratando-se de um caso de **codominância**. Assim, podem ser observados os seguintes fenótipos e genótipos.

Fenótipos	Genótipos
Tipo M	MM
Tipo N	NN
Tipo MN	MN

Tab. 5 Genótipos correspondentes aos tipos sanguíneos do sistema MN.

Esse sistema sanguíneo já foi muito empregado na identificação de parentesco, como auxiliar na elucidação de casos de **paternidade**. Na verdade, os testes de tipos sanguíneos podem apenas descartar ou não a possibilidade de um indivíduo ser o pai da criança. Atualmente, o **teste de DNA** é o mais empregado nesse tipo de análise e sua eficácia é muito maior.

## Revisando

1 Quais consequências são observadas em uma população que apresenta alelos múltiplos para uma determinada característica?

---

---

---

---

---

---

---

---

2 Qual a importância da identificação de tipos sanguíneos (sistema ABO) em seres humanos?

---

---

---

---

---

---

---

---

3 Como se determina o tipo sanguíneo de um indivíduo? Explique.

---

---

---

---

---

---

---

---





**11** O que é e como ocorre a eritroblastose fetal?

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

**12** Que tipo de casal deve se prevenir contra a eritroblastose fetal? Por quê?

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

**13** Como pode ser feita a prevenção contra a eritroblastose fetal?

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

**14** Qual o tratamento que pode ser realizado em bebês que desenvolveram a eritroblastose fetal?

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

**15** Que outro sistema sanguíneo pode ser observado em humanos? Cite seus alelos e o tipo de dominância entre eles. Qual a interferência que ele exerce sobre as transfusões sanguíneas?

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

# Exercícios propostos

**1 UFF** Considere uma certa espécie de planta que pode apresentar flores com três tipos de cor: azul, azul-clara e branca. Essas cores são determinadas por combinações de dois alelos de um único *locus*. Na expressão fenotípica de tais cores, não há relação de dominância entre os alelos, sendo que a manifestação em homozigose de um dos alelos – aa, cor branca – é letal na fase adulta.

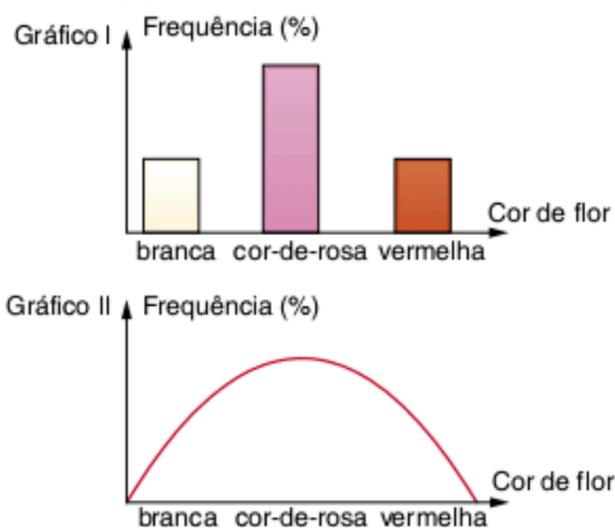
Sabe-se que:

- a flor de cor branca nunca se abre;
  - em um jardim de plantas com flores de cor azul, não nascem plantas com flores de cor azul-clara.
- a) Realizou-se o cruzamento entre as plantas com flores azuis-claras e, a partir das sementes obtidas, formou-se um jardim. Determine a cor das flores que têm menor possibilidade de se abrirem nesse jardim. Justifique a resposta.
- b) Realizaram-se os cruzamentos possíveis entre as plantas com flores das cores mencionadas, presentes em igual quantidade. A partir das sementes obtidas, formou-se outro jardim. Determine a cor das flores que têm maior possibilidade de se abrirem nesse jardim. Justifique a resposta.

**2 UFRJ** Uma determinada característica depende de um *locus* que possui 4 alelos (A1, A2, A3, A4). Outra característica também depende de 4 genes (B1, B2 e C1, C2), porém são dois pares de alelos localizados em pares de cromossomos homólogos diferentes.

Um desses dois tipos de determinismo genético apresenta um número maior de genótipos possíveis na população. Identifique esses genótipos.

**3 Unifesp 2006** Os gráficos I e II representam a frequência de plantas com flores de diferentes cores em uma plantação de cravos (I) e rosas (II).



Os padrões de distribuição fenotípica são devidos a:

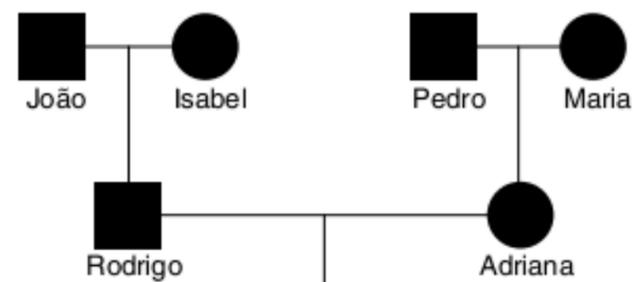
- (a) I: 1 gene com dominância;  
II: 1 gene com dominância incompleta.
- (b) I: 1 gene com dominância incompleta;  
II: vários genes com interação.
- (c) I: 1 gene com dominância incompleta;  
II: 1 gene com alelos múltiplos.

- (d) I: 3 genes com dominância incompleta;  
II: vários genes com interação.
- (e) I: 2 genes com interação;  
II: 2 genes com dominância incompleta.

**4 CEFET-CE 2008** Uma mulher do grupo sanguíneo AB casa-se com um homem de grupo sanguíneo B, filho de pai O. A probabilidade de esse casal ter uma filha do grupo B é de:

- (a) 25%  
(b) 100%  
(c) 75%  
(d) 50%  
(e) zero.

**5 PUC-SP 2008** Na genealogia a seguir, são apresentadas seis pessoas.



Considere os seguintes dados referentes ao sistema sanguíneo ABO de quatro dessas pessoas.

- João e Pedro apresentam aglutinogênios (antígenos) A e B nas hemácias;
- Isabel e Maria apresentam aglutininas (anticorpos) anti-A e anti-B no plasma.

Os dados permitem-nos prever que a probabilidade de:

- (a) Rodrigo pertencer ao grupo A é de 50%.  
(b) Adriana pertencer ao grupo B é de 25%.  
(c) Rodrigo pertencer ao grupo O é de 25%.  
(d) Rodrigo e Adriana terem um descendente pertencente ao grupo O é nula.  
(e) Rodrigo e Adriana terem um descendente pertencente ao grupo AB é nula.

**6 UEL** Uma criança necessita urgentemente de uma transfusão de sangue. Seu pai tem sangue do tipo B e sua mãe do tipo O. Que outro(s) tipo(s) de sangue, além do tipo O, poderia(m) ser utilizado(s) na transfusão, mesmo sem a realização de teste, sabendo-se que o avô paterno da criança tem sangue do tipo AB e sua avó paterna tem sangue do tipo O?

- (a) Tipo AB.  
(b) Tipo A.  
(c) Tipo B.  
(d) Tipo A e tipo B.  
(e) Nenhum outro tipo.

**7 UEPG 2008** Os grupos sanguíneos, que foram descobertos há pouco mais de cem anos, são determinados geneticamente, como um caráter mendeliano. A respeito dessa temática, assinale o que for correto.

- 01 De acordo com o sistema de grupos sanguíneos ABO, são possíveis oito genótipos diferentes.
- 02 Em relação ao sistema sanguíneo ABO, no cruzamento A com B podem ocorrer descendentes sem anticorpos (aglutininas) no plasma.
- 04 Nas transfusões de sangue, o aglutinogênio presente nas hemácias (antígeno) do doador deve ser compatível com a aglutinina presente no plasma (anticorpo) do receptor.
- 08 Existem diferentes grupos sanguíneos na espécie humana, reunidos no sistema ABO. Quando gotas de sangue de pessoas distintas são misturadas sobre uma lâmina de vidro, pode haver ou não aglutinação das hemácias. A aglutinação é característica da reação antígeno-anticorpo.
- 16 Um homem do grupo sanguíneo AB e uma mulher cujos avós paternos e maternos pertencem ao grupo sanguíneo O poderão ter apenas filhos do grupo O.

Soma =

**8 UFSC 2007** Considere um gene que apresenta 3 alelos, aqui denominados “alfa”, “beta” e “gama”. Considere que os alelos “alfa” e “beta” são codominantes e “gama” é recessivo em relação a ambos. Tal gene deve determinar:

- 01 três fenótipos, correspondentes a cinco genótipos.
- 02 três fenótipos, cada um correspondente a um genótipo.
- 04 quatro fenótipos, cada um correspondente a dois genótipos.
- 08 seis fenótipos, correspondentes a quatro genótipos.
- 16 quatro fenótipos, correspondentes a seis genótipos.

Soma =

**9 UFG (Adapt.)** É necessário o conhecimento do tipo sanguíneo em caso de transfusão. Em relação ao sistema ABO, julgue as afirmativas a seguir.

- Indivíduos do grupo sanguíneo O podem doar sangue para pessoas do seu próprio tipo sanguíneo e para os demais.
- Indivíduos do grupo AB podem receber sangue de qualquer tipo.
- Indivíduos portadores de sangue do tipo A possuem aglutinogênios A.
- Indivíduos do grupo B possuem aglutinina anti-A.

**10 UFMG 2006** Nas situações em que vítimas de acidentes necessitam de transfusão de sangue, sem que se conheça o tipo sanguíneo de cada uma delas, é recomendável utilizar-se o tipo “O negativo”.

É correto afirmar que, nesse caso, tal tipo sanguíneo é o mais adequado porque, nas hemácias do doador, estão:

- (a) presentes os antígenos correspondentes aos anticorpos do receptor.
- (b) ausentes os anticorpos correspondentes aos antígenos do receptor.
- (c) ausentes os antígenos correspondentes aos anticorpos do receptor.
- (d) presentes os anticorpos correspondentes aos antígenos do receptor.

**11 UFPE** A respeito dos grupos sanguíneos, avalie as proposições a seguir.

- Grupo sanguíneo: A  
Antígenos: A  
Anticorpos: Anti-B  
Doa: A, AB  
Recebe: A, O
- Grupo sanguíneo: B  
Antígenos: B  
Anticorpos: Anti-A  
Doa: B, AB  
Recebe: B, O
- Grupo sanguíneo: AB  
Antígenos: A e B  
Anticorpos: Anti-A e Anti-B  
Doa: AB  
Recebe: AB, A, B, O
- Grupo sanguíneo: O  
Antígenos: O  
Anticorpos: Não tem  
Doa: O, A, B, AB  
Recebe: O
- Grupo sanguíneo: A  
Antígenos: A  
Anticorpos: Anti-A  
Doa: A, AB  
Recebe: A, O

**12 UFPel 2007** Um dos principais problemas em cirurgias de emergência – a falta de sangue compatível com o da vítima para transfusões – pode estar prestes a ser resolvido. Uma equipe internacional de pesquisadores descobriu uma maneira de converter sangue dos tipos A, B e AB, que hoje podem ser doados apenas com restrição, no tipo O. Os cientistas descreveram o uso de novas enzimas que “limpam” esses tipos sanguíneos de seus antígenos, tornando-os viáveis para qualquer tipo de transfusão. Esta possibilidade liberaria os hospitais da dependência do tipo O.

O Estado de S. Paulo.

Disponível em: <<http://noticias.universia.com.br/destaque/noticia/2007/04/03/424998/grupo-cria-sangue-doador-universal.html>>.

Acesso em: 20 abr. 2007. (Adapt.)

Com base no texto e em seus conhecimentos, desconsiderando o fator RH, é correto afirmar que, através da nova tecnologia,

- (a) uma pessoa com sangue tipo “O” poderia receber sangue de qualquer outro grupo sanguíneo, pois os sangues tipo “A”, “B” e “AB” não apresentariam aglutinogênios “A” e “B” nas hemácias; não ocorreriam, portanto, reações de aglutinação.
- (b) uma pessoa com sangue tipo “O” poderia receber sangue de qualquer outro grupo sanguíneo, pois os sangues tipo “A”, “B” e “AB” não apresentariam aglutininas anti-A e anti-B no plasma; não ocorreriam, portanto, reações de aglutinação.
- (c) uma pessoa com sangue tipo “A” poderia receber sangue, além do tipo “O” e “A”, dos tipos “B” e “AB”, pois os anticorpos anti-A e anti-B, presentes nas hemácias do sangue desses grupos sanguíneos, seriam neutralizados.

- (d) uma pessoa com sangue tipo "B" poderia receber sangue, além do tipo "O" e "B", dos tipos "A" e "AB", pois os aglutinogênios "A" e "B", presentes no plasma do sangue desses grupos sanguíneos, seriam neutralizados.
- (e) todos os grupos sanguíneos seriam doadores universais, pois seriam eliminados os aglutinogênios anti-A e anti-B das hemácias e as aglutininas A e B do plasma; não ocorreriam mais reações de aglutinação.

**13 UFRGS 2010** A cor da pelagem em coelhos é causada por quatro alelos diferentes do gene c: os alelos selvagem, chinchila, himalaia e albino. O alelo tipo selvagem é totalmente dominante em relação aos demais; o alelo chinchila apresenta dominância incompleta em relação ao alelo albino e codominância em relação ao alelo himalaia. O alelo himalaia, por sua vez, é totalmente dominante em relação ao alelo albino. De acordo com essas informações, quantos diferentes fenótipos podem ser encontrados para a pelagem de coelhos?

- (a) 2 (c) 4 (e) 6  
(b) 3 (d) 5

**14 UFU 2007** Considere as informações a seguir.

A incompatibilidade entre os grupos sanguíneos humanos deve-se a reações imunológicas entre anticorpos presentes no plasma sanguíneo (aglutininas) e glicoproteínas presentes nas superfícies dos eritrócitos (aglutinogênios). Assim, o sistema ABO apresenta dois tipos de aglutinogênios, denominados A e B, e dois tipos de aglutininas, anti-A e anti-B.

Analise o quadro que se segue.

Grupos sanguíneos	Agglutinogênios	Agglutininas
A	I	III
B	II	IV
AB	AB	Ausente
O	Ausente	V

Marque a alternativa que o preenche corretamente.

- (a) I – A; II – B; III – anti-A; IV – anti-B; V – ausente.  
(b) I – B; II – A; III – anti-B; IV – anti-A; V – anti-A e anti-B.  
(c) I – A; II – B; III – anti-B; IV – anti-A; V – anti-A e anti-B.  
(d) I – A; II – B; III – anti-A; IV – anti-B; V – anti-A e anti-B.

**15 UEL** Os tipos sanguíneos do sistema ABO de três casais e três crianças são mostrados a seguir.

CASAIS

I. AB × AB

II. B × B

III. A × O

CRIANÇAS

a) A

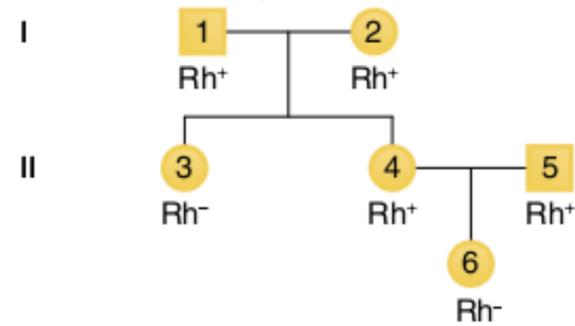
b) O

c) AB

Sabendo-se que cada criança é filha de um dos casais, a alternativa que associa corretamente cada casal a seu filho é:

- (a) I – a; II – b; III – c. (d) I – c; II – a; III – b.  
(b) I – a; II – c; III – b. (e) I – c; II – b; III – a.  
(c) I – b; II – a; III – c.

**16 Ufla 2010** O sistema Rh em seres humanos é controlado por um gene com dois alelos, dos quais o alelo dominante R é responsável pela presença do fator Rh nas hemácias, e portanto, fenótipo Rh<sup>+</sup>. O alelo recessivo r é responsável pela ausência do fator Rh e fenótipo Rh<sup>-</sup>.



Com base no heredograma apresentado, determine os genótipos dos indivíduos 1, 2, 3, 4, 5 e 6, respectivamente.

- (a) RR, Rr, Rr, RR, Rr, RR.  
(b) Rr, Rr, rr, Rr, Rr, rr.  
(c) Rr, Rr, Rr, rr, RR, Rr.  
(d) Rr, Rr, rr, RR, Rr, rr.

**17 Mackenzie 2009** O quadro representa os resultados dos testes de tipagem sanguínea para um homem, para seu pai e para sua mãe. O sinal + indica que houve aglutinação e o sinal – indica ausência de aglutinação.

	Anti-A	Anti-B	Anti-Rh
Homem	–	+	+
Pai	+	+	+
Mãe	–	–	–

Assinale a alternativa correta.

- (a) Esse homem tem anticorpos contra o sangue de sua mãe.  
(b) O pai desse homem é doador universal.  
(c) Esse homem apresenta aglutinogênio A em suas hemácias.  
(d) Esse homem poderia ter um irmão pertencente ao tipo O, Rh<sup>-</sup>.  
(e) Esse homem poderia ter tido eritroblastose fetal ao nascer.

**18 UFSC 2009** Ao final da gravidez, é comum haver pequenas rupturas placentárias que permitem a passagem de hemácias fetais para o sangue materno. A mãe, assim, pode ser sensibilizada e, dependendo de seu tipo sanguíneo e do tipo sanguíneo do feto em relação ao sistema Rh, gerar uma doença denominada eritroblastose fetal. Com relação ao fenômeno descrito e suas consequências, é correto afirmar que:

- 01 a mãe tem que ser Rh negativo.  
02 o pai tem que ser Rh positivo.  
04 a criança é, obrigatoriamente, homocigota.  
08 a mãe é, obrigatoriamente, homocigota.  
16 o pai pode ser heterocigoto.  
32 a criança é Rh negativo.  
64 o pai pode ser homocigoto.

Soma =

**19 UFPE 2007** No segundo parto de uma mulher, o feto apresentou o quadro de hemólise de hemácias, esse conhecido por doença hemolítica do recém-nascido (DHRN) ou por eritroblastose fetal. Considerando o fato de que essa mulher não foi

submetida à transfusão de sangue em toda a sua vida anterior, e teve seu primeiro filho sem qualquer anormalidade, analise os genótipos descritos no quadro apresentado, e assinale a alternativa que indica, respectivamente, os genótipos da mãe, do primeiro filho e do segundo filho.

Genótipos		
Mãe	1° filho	2° filho
(a) Rh <sup>-</sup>	Rh <sup>-</sup>	Rh <sup>+</sup>
(b) Rh <sup>-</sup>	Rh <sup>+</sup>	Rh <sup>-</sup>
(c) Rh <sup>-</sup>	Rh <sup>+</sup>	Rh <sup>+</sup>
(d) Rh <sup>+</sup>	Rh <sup>-</sup>	Rh <sup>+</sup>
(e) Rh <sup>+</sup>	Rh <sup>+</sup>	Rh <sup>-</sup>

**20 UFRN (Adapt.)** Quando uma garçõete grávida se aproximou de um professor de Biologia, ele perguntou-lhe se seria seu primeiro filho. Ela o informou de que já era sua terceira gestação. Na primeira, o seu filho nasceu normal e, na segunda, a criança teve eritroblastose fetal. Nessa situação, os genótipos do pai das crianças, da mãe, do primeiro e do segundo filho seriam:

- (a) Pai – RR; mãe – Rr; 1° filho – Rr; 2° filho – Rr.
- (b) Pai – Rr; mãe – Rr; 1° filho – rr; 2° filho – Rr.
- (c) Pai – RR; mãe – rr; 1° filho – Rr; 2° filho – Rr.
- (d) Pai – Rr; mãe – rr; 1° filho – rr; 2° filho – Rr.

**21 Mackenzie** O quadro a seguir mostra os resultados das tipagens ABO e Rh de um casal e de seu filho. O sinal + indica reação positiva e o sinal – indica reação negativa.

	Soro anti-A	Soro anti-B	Soro anti-Rh
Pai	+	–	+
Mãe	–	+	–
Criança	–	–	+

Considere as seguintes afirmações.

- I. Essa mulher poderá dar à luz uma criança com eritroblastose fetal.
- II. Em caso de transfusão sanguínea, a criança poderá receber sangue tanto da mãe quanto do pai.
- III. O genótipo do pai pode ser I<sup>A</sup>I<sup>A</sup>RR.

Assinale:

- (a) se somente III estiver correta.
- (b) se somente II estiver correta.
- (c) se somente I estiver correta.
- (d) se somente I e III estiverem corretas.
- (e) se somente II e III estiverem corretas.

**22 Fuvest** Lúcia e João são do tipo sanguíneo Rh positivo e seus irmãos, Pedro e Marina, são do tipo Rh negativo. Quais dos quatro irmãos podem vir a ter filhos com eritroblastose fetal?

- (a) Marina e Pedro. (c) Lúcia e Marina. (e) João e Marina.
- (b) Lúcia e João. (d) Pedro e João.

**23 PUC-MG** Um casal possui o seguinte genótipo para o fator Rh: Pai = Rr; Mãe = rr. Considerando apenas o fator Rh, a probabilidade de esse casal vir a ter um filho do sexo masculino, com ocorrência de eritroblastose fetal, é:

- (a) 1 (b)  $\frac{1}{2}$  (c)  $\frac{1}{3}$  (d)  $\frac{1}{4}$  (e)  $\frac{1}{8}$

**24 Ufal** Um casal teve uma criança com eritroblastose fetal. Assinale a alternativa que identifica corretamente os grupos sanguíneos dessa família.

- (a) Mãe – Rh<sup>+</sup>; Pai – Rh<sup>-</sup>; Criança – Rh<sup>+</sup>
- (b) Mãe – Rh<sup>+</sup>; Pai – Rh<sup>-</sup>; Criança – Rh<sup>-</sup>
- (c) Mãe – Rh<sup>-</sup>; Pai – Rh<sup>+</sup>; Criança – Rh<sup>+</sup>
- (d) Mãe – Rh<sup>-</sup>; Pai – Rh<sup>+</sup>; Criança – Rh<sup>-</sup>
- (e) Mãe – Rh<sup>-</sup>; Pai – Rh<sup>-</sup>; Criança – Rh<sup>+</sup>

**25 Fatec** A doença hemolítica do recém-nascido é um problema causado pela incompatibilidade sanguínea entre mãe e feto. Assinale a alternativa que contém a família na qual é possível a ocorrência da citada doença.

- (a) Mãe: I<sup>A</sup>i rh rh  
Pai: I<sup>B</sup>i Rh rh  
1° bebê: I<sup>A</sup>I<sup>B</sup> Rh rh  
2° bebê: I<sup>B</sup>i Rh rh
- (b) Mãe: I<sup>A</sup>I<sup>A</sup> Rh rh  
Pai: I<sup>B</sup>I<sup>B</sup> rh rh  
1° bebê: I<sup>A</sup>I<sup>B</sup> Rh rh  
2° bebê: I<sup>A</sup>I<sup>B</sup> rh rh
- (c) Mãe: ii rh rh  
Pai: ii rh rh  
1° bebê: ii rh rh  
2° bebê: ii rh rh
- (d) Mãe: ii Rh rh  
Pai: I<sup>B</sup>i Rh rh  
1° bebê: I<sup>B</sup>i Rh rh  
2° bebê: ii Rh rh
- (e) Mãe: I<sup>A</sup>i rh rh  
Pai: ii Rh rh  
1° bebê: I<sup>A</sup>i rh rh  
2° bebê: ii rh rh

**26 PUC-MG** Indivíduos sem antígeno Rh nas hemácias são considerados recessivos. Carlos, que tem Rh<sup>+</sup> e é homozigoto, casou-se com Elaine, que tem Rh<sup>-</sup>. Ambos possuem o mesmo grupo sanguíneo. Fazendo um exame pré-natal e relatando esse fato ao médico, este ficou:

- (a) despreocupado e não fez qualquer recomendação relativa ao fato.
- (b) despreocupado, não fez qualquer recomendação, apenas solicitando ao casal que o procurasse no momento da segunda gestação.
- (c) preocupado, recomendando que, logo após o parto, a mãe recebesse soro anti-Rh. Numa segunda gravidez, entretanto, disse que esse procedimento não seria mais necessário.
- (d) bastante preocupado, inclusive pela informação de compatibilidade de grupo sanguíneo, recomendando bastante atenção em cada gravidez, de maneira que, após cada parto, a mãe receba o soro anti-Rh.
- (e) bastante preocupado, dizendo ao casal que a gravidez era de altíssimo risco e eles não poderiam mais ter outro filho.

**27** A afirmação que uma mulher Rh<sup>-</sup> não deve casar-se com um homem Rh<sup>+</sup>:

- (a) é correta, pois todos os filhos desse casal serão abortados.
- (b) é correta, pois todos os filhos desse casal terão uma doença grave fetal caracterizada por uma anemia profunda (eritroblastose fetal).
- (c) é incorreta, pois o primeiro filho em geral não tem a anemia, mesmo sendo Rh<sup>+</sup>, bem como todos os filhos Rh<sup>-</sup> não serão atingidos pela doença e esta só atinge uma pequena fração de casos em outras gestações de filhos Rh<sup>+</sup>.
- (d) é incorreta, pois filhos Rh<sup>+</sup>, mesmo no caso de glóbulos vermelhos atingirem a circulação materna em sucessivas gestações, não serão atingidos pela eritroblastose fetal.
- (e) é incorreta, pois não existe influência do fator Rh positivo ou negativo nos casos de eritroblastose fetal.

**28 Ufes** A incompatibilidade materno-fetal ao antígeno Rh pode determinar uma doença denominada eritroblastose fetal. Se uma mulher foi orientada a usar a vacina anti-Rh logo após o nascimento do primeiro filho, podemos dizer que seu fator Rh, o do seu marido e o da criança são, respectivamente:

- (a) negativo; negativo; negativo.
- (b) negativo; negativo; positivo.
- (c) negativo; positivo; positivo.
- (d) positivo; negativo; positivo.
- (e) positivo; positivo; negativo.

**29 UFPE** A eritroblastose fetal é uma doença hemolítica adquirida e apresentada por alguns recém-nascidos, sendo

observado, além da anemia, icterícia e aumento do baço e fígado. Essa condição é provocada por incompatibilidade sanguínea do fator Rh, exclusivamente:

- (a) quando a mãe é Rh<sup>+</sup> e o filho Rh<sup>-</sup>.
- (b) quando a mãe é Rh<sup>-</sup> e o filho Rh<sup>+</sup>.
- (c) quando a mãe é Rh<sup>-</sup> e o pai Rh<sup>+</sup>.
- (d) quando a mãe é Rh<sup>+</sup> e o pai Rh<sup>-</sup>.
- (e) independente do Rh materno, o filho é Rh<sup>-</sup>.

**30 Fatec** Quanto ao surgimento da eritroblastose fetal, ou doença hemolítica do recém-nascido, podemos afirmar que ela ocorre quando o pai e a mãe, respectivamente, apresentam:

- (a) Rh positivo e Rh negativo.
- (b) Rh negativo e Rh positivo.
- (c) Rh positivo e Rh positivo.
- (d) Rh negativo e Rh negativo.
- (e) Rh positivo e Rh neutro.

**31 Cesgranrio** Uma mulher Rh<sup>-</sup> casou-se e teve um filho. Em uma segunda gestação, a criança apresentou um quadro de eritroblastose fetal. Com estes dados, indique qual a opção que apresenta o fenótipo para o fator Rh da mãe, do pai e da criança, respectivamente.

- (a) Mãe Rh negativo, pai Rh positivo e criança Rh positivo.
- (b) Mãe Rh positivo, pai Rh positivo e criança Rh negativo.
- (c) Mãe Rh positiva, pai Rh negativo e criança Rh negativa.
- (d) Mãe Rh positivo, pai Rh negativo e criança Rh positivo.
- (e) Mãe Rh negativo, pai Rh positivo e criança Rh negativo.

## TEXTOS COMPLEMENTARES

### Nova luz no sistema ABO

Após realizar estudos sorológicos e moleculares em pacientes com leucemia, pesquisadores da Faculdade de Medicina da Universidade de São Paulo (FMUSP) conseguiram identificar novas variantes dos alelos do sistema ABO.

De acordo com a coordenadora do estudo, Marcia Zago Novaretti, professora do Departamento de Hematologia, a descoberta ajuda a compreender o sistema ABO, que é o mais importante grupo sanguíneo da medicina para transfusões e transplantes. Os resultados foram publicados na revista *Genetics and Molecular Research*.

Segundo a professora, a literatura internacional já registrava que pacientes com leucemia podem ter enfraquecimento dos antígenos ABO, ou seja, mostrar uma reatividade mais fraca na tipagem ABO.

“Com os recursos atuais e com a clonagem do gene ABO, estudamos molecularmente pacientes com leucemia para verificar se essa diferenciação se dava em nível molecular ou era apenas

um achado sorológico”, disse Marcia à Agência Fapesp. O artigo é um desdobramento de um projeto de Auxílio à Pesquisa que teve apoio da Fapesp e foi encerrado em 2004.

Ao estudar, sob o ponto de vista sorológico e molecular, 108 pacientes com diferentes tipos de leucemia, os pesquisadores encontraram 22 novas variantes de ABO, além das 116 conhecidas. A maior das novas variações se localiza no alelo O.

Participaram do estudo, realizado no Hospital das Clínicas da USP, 51 homens e 57 mulheres, com idade média de 43,4 anos, portadores de leucemia mieloide ou linfóide, crônica ou aguda.

“O estudo pode ajudar a compreender um pouco melhor as leucemias. Não sabemos se essa descoberta será de alguma utilidade em termos de prognósticos, mas ela pode indicar o caminho para estudos que verifiquem se a doença evolui de forma diferente nesses pacientes com essas mutações”, afirmou Marcia.

O estudo é o primeiro relato de um grande número de amostras de pacientes com leucemia genotipados para ABO. “Os

resultados mostraram um alto nível de atividade recombinante no gene ABO nos pacientes com leucemia”, disse.

De acordo com a professora da FMUSP, o sistema ABO, localizado no braço longo do cromossomo nove, tem mais de 160 alelos e não está presente apenas na linhagem de células que compõem os elementos do sangue, mas também no endotélio (parte interior dos vasos sanguíneos), em outros tipos de células e até mesmo em secreções. “A complexidade do sistema exigia que realizássemos estudos moleculares”, explicou.

### Associação com doenças

Como o sistema ABO persistiu ao longo da evolução da espécie, os cientistas estimam que ele tenha alguma função específica, que, no entanto, ainda não foi esclarecida. Ao entender melhor o funcionamento do sistema, poderão surgir pistas de quais seriam as variantes ou mutações críticas para especificidade e atividade dos antígenos ABO.

“Sabemos que há associação do sistema ABO com algumas doenças. Indivíduos de grupo O, por exemplo, têm úlceras duodenais com mais frequência. Além disso, o sistema pode ter uma expressão aberrante em algumas células malignas – isto é, a distribuição do grupo sanguíneo pode ser desigual entre indivíduos com uma determinada doença”, destacou Marcia.

Segundo ela, depois da classificação sorológica, com a realização da tipagem testada para antígenos, todas as amostras tiveram o DNA extraído. Em seguida, passou-se ao estudo molecular com o PCR alelo-específico – técnica usada para detectar mutações específicas – seguida pelo sequenciamento do gene ABO.

A autora afirma que estudos moleculares sistemáticos do gene ABO em grupos diferentes de pacientes possivelmente deverão levar ainda à descoberta de novas variantes ABO.

Fábio de Castro. Agência FAPESP, 26 fev. 2008. Disponível em: <<http://agencia.fapesp.br/8466>>.

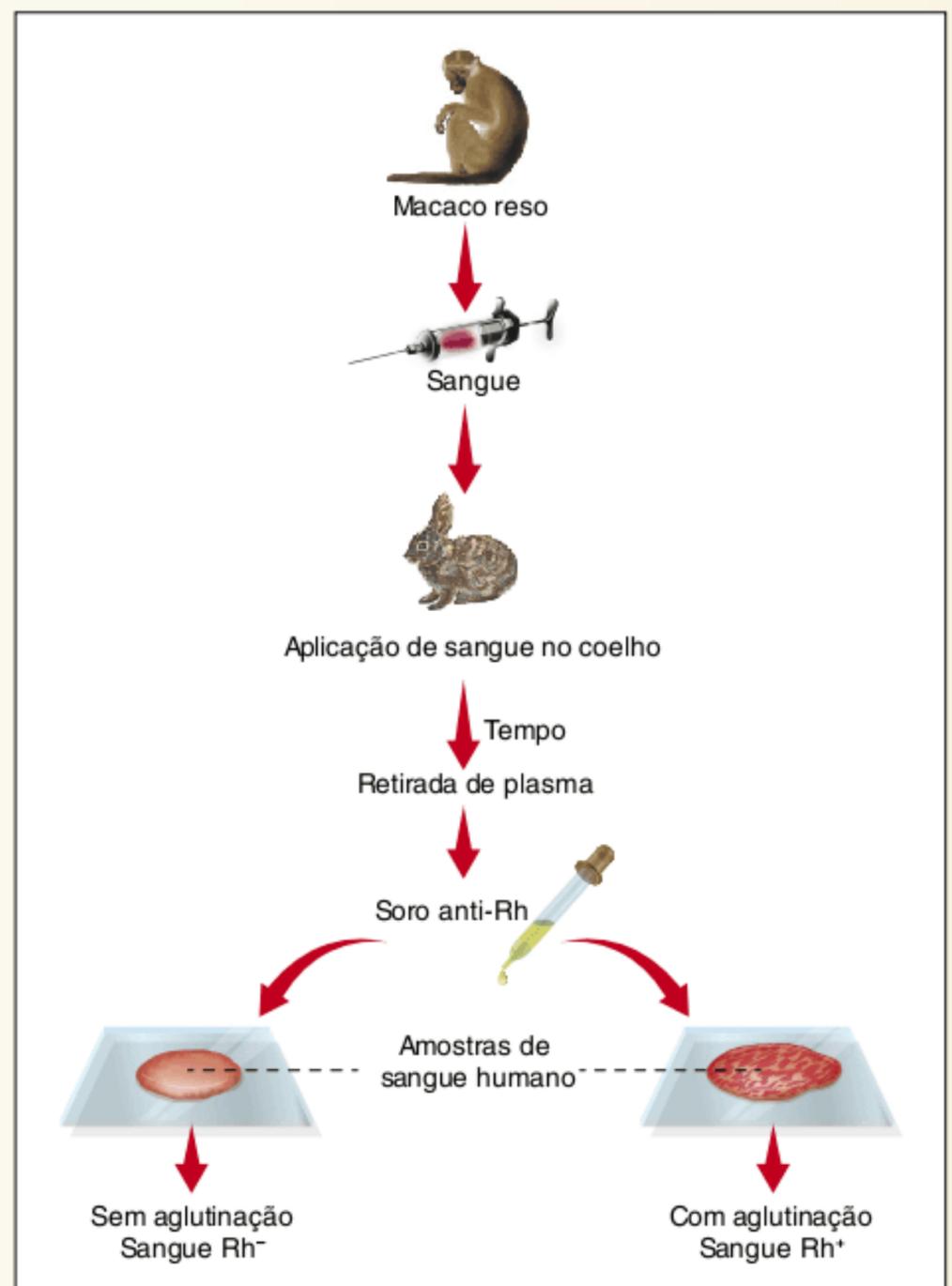
## A descoberta do sistema Rh

Desde o início do século XX, experiências eram feitas para entender o porquê de as transfusões sanguíneas serem bem-sucedidas em alguns casos e em outros não. O médico Karl Landsteiner percebeu que, ao misturar sangue de diferentes pessoas, em alguns casos ocorria a formação de grumos grosseiros e, em outros casos, não. O médico chamou tais reações de aglutinação.

Na década de 1940, Landsteiner e seu colega Wiener descobriram o sistema Rh. Injetaram hemácias do macaco reso em um coelho, que passou a produzir anticorpos contra as hemácias do macaco. Foi retirado então o plasma do coelho, que continha anticorpos **anti-reso (anti-Rh)**. Esse produto constituiu um soro, que foi empregado na elaboração de testes com sangue de pessoas. Indivíduos cujo sangue aglutinava em presença do soro foram classificados como tendo **sangue Rh positivo (reso positivo)** e os que apresentavam sangue sem essa aglutinação foram classificados como tendo **sangue Rh negativo (reso negativo)**.

A descoberta desse novo sistema sanguíneo, batizado de sistema Rh em função do macaco que foi usado no experimento, possibilitou compreender por que havia problemas em algumas transfusões, mesmo quando o teste para o sistema ABO tinha sido realizado corretamente.

Assim, em uma transfusão sanguínea, ambos os sistemas devem ser testados para averiguar a compatibilidade entre doador e receptor. O quadro a seguir indica as transfusões que podem ser realizadas, de acordo com o sistema ABO e Rh combinados.



Esquema simplificado do processo de produção de soro anti-Rh e de tipagem sanguínea.

Receptor	Doador							
	O <sup>-</sup>	O <sup>+</sup>	A <sup>-</sup>	A <sup>+</sup>	B <sup>-</sup>	B <sup>+</sup>	AB <sup>-</sup>	AB <sup>+</sup>
O <sup>-</sup>	✓							
O <sup>+</sup>	✓	✓						
A <sup>-</sup>	✓		✓					
A <sup>+</sup>	✓	✓	✓	✓				
B <sup>-</sup>	✓				✓			
B <sup>+</sup>	✓	✓			✓	✓		
AB <sup>-</sup>	✓		✓		✓		✓	
AB <sup>+</sup>	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓

O portador de sangue O<sup>-</sup> é considerado como doador universal, pois pode doar para portadores de todos os outros tipos. Já os portadores de sangue AB<sup>+</sup> são considerados receptores universais, pois podem receber sangue de qualquer outro tipo.

## RESUMINDO

**Alelos múltiplos** (ou **polialelia**) tratam da situação em que há mais de 2 alelos na população para determinar uma determinada característica. Cada indivíduo tem um par de alelos responsáveis pela determinação da sua característica, mas na população existem outros, que, se combinados, podem gerar mais genótipos diferentes e, assim, outros fenótipos.

O cálculo do número de categorias genóticas existentes em uma população é:

$C = \frac{n(n+1)}{2}$ , sendo n o número de alelos envolvidos na herança.

### O sistema sanguíneo ABO

#### Sangue e imunologia:

- **Anticorpos** presentes no plasma podem ligar-se a “corpos estranhos” ao organismo, chamados de **antígenos**. Hemácias estranhas ao corpo são reconhecidas como antígenos pelos anticorpos. Isso acontece, pois elas apresentam em sua superfície externa moléculas de carboidratos associadas a proteínas que podem ser incompatíveis com os anticorpos.
- Membrana de hemácias humanas podem apresentar duas categorias de antígenos: antígeno A (A) e antígeno B (B).
- No plasma humano, podem ser encontrados dois tipos de anticorpos: no indivíduo que possui antígeno A, são encontrados anticorpos B (anti-B), que atuam contra o antígeno B. No indivíduo que possui antígeno B, são encontrados anticorpos A (anti-A), que atuam contra o antígeno A.
- Há quatro tipos sanguíneos no sistema ABO, baseados na ocorrência dos antígenos A e B:
  - Tipo A: com antígeno A e anticorpos B (anti-B).
  - Tipo B: com antígeno B e anticorpos A (anti-A).
  - Tipo AB: com antígenos A e B e sem anticorpos A (anti-A) e B (anti-B).

– Tipo O: não apresenta antígenos A e B, mas possui anticorpos A (anti-A) e B (anti-B).

- **Tipagem sanguínea:** realizada com a mistura de gotas de sangue com soros que contêm anti-A e anti-B. O sangue aglutina-se com a presença de anticorpos incompatíveis: sangue tipo A aglutina-se com soro anti-A e não se altera ao contato com soro anti-B. Assim são determinados os demais tipos sanguíneos.
- **Transfusão sanguínea:** deve ser realizada com a compatibilidade do sangue do doador e do receptor. O receptor não pode ter anticorpos contra o antígeno do doador. Assim:
  - Todo grupo pode doar para o mesmo grupo.
  - Portadores do tipo O podem doar sangue para todos os grupos (doador universal).
  - Portadores do tipo AB podem receber sangue de todos os outros grupos (receptor universal).
- **Genética do sistema ABO:** são observados três alelos: I<sup>A</sup>, I<sup>B</sup> e i, sendo i recessivo e I<sup>A</sup> e I<sup>B</sup> codominantes. Assim:
  - O alelo i determina tipo O quando em homozigose (ii);
  - O alelo I<sup>A</sup> condiciona tipo A quando em heterozigose com o alelo i (I<sup>A</sup>i);
  - O alelo I<sup>B</sup> é responsável pelo tipo B quando em heterozigose com o alelo i (I<sup>B</sup>i);
  - Os indivíduos heterozigotos I<sup>A</sup>I<sup>B</sup> pertencem ao grupo sanguíneo AB.

### Sistema sanguíneo Rh

No macaco *rhesus*, há hemácias dotadas de um antígeno denominado Rh. Nos humanos, esse antígeno Rh também está presente, sendo que cerca de 85% das pessoas o possui (tipo sanguíneo Rh positivo – Rh<sup>+</sup>), e 15% não (tipo sanguíneo Rh negativo – Rh<sup>-</sup>).

• **Tipagem sanguínea do sistema Rh**

- A tipagem sanguínea no sistema é realizada com a utilização de um soro que contém anticorpos anti-Rh e que é misturado a uma amostra de sangue da pessoa.
- Ocorre aglutinação: sangue do tipo Rh<sup>+</sup> (houve interação entre os anti-Rh e os antígenos Rh da superfície das hemácias).
- Não ocorre aglutinação: sangue tipo Rh<sup>-</sup> (não houve interação dos anticorpos com as hemácias, desprovidas de antígenos Rh).
- Anticorpos anti-Rh não são encontrados naturalmente no organismo de uma pessoa, sendo eles presentes apenas em indivíduos que tenham sido sensibilizados por contato prévio com um sangue de tipagem diferente.
- Indivíduo Rh<sup>-</sup> produz anticorpos (ou aglutininas) anti-Rh se receber hemácias Rh<sup>+</sup> em sua circulação.
- Indivíduo portador de sangue Rh<sup>+</sup> não produz anti-Rh.

• **Transfusão sanguínea**

- A transfusão sanguínea entre indivíduos, considerando o sistema Rh, deve seguir alguns preceitos:
- Indivíduos Rh<sup>+</sup> podem receber sangue do mesmo tipo (Rh<sup>+</sup>) e também do tipo Rh negativo – tipo Rh<sup>+</sup> são receptores universais.
- Indivíduos Rh<sup>-</sup> podem receber sangue do seu mesmo tipo (Rh<sup>-</sup>) e não devem receber sangue tipo Rh positivo (o receptor passa a produzir anticorpos anti-Rh e desenvolve memória imunitária) – tipo Rh<sup>-</sup> são doadores universais.

• **A genética do sistema Rh**

- O sistema apresenta dois alelos principais, R (dominante) e r (recessivo), que conferem aos indivíduos dois tipos de fenótipo (tipo sanguíneo) e 3 genótipos:

Tipo sanguíneo	Genótipos
Rh positivo	RR, Rr
Rh negativo	rr

• **A doença hemolítica do recém-nascido (DHRN), ou eritroblastose fetal (EF)**

- Corresponde à incompatibilidade entre o sangue da mãe e o sangue do filho.
- Desenvolve-se em fetos que sejam Rh<sup>+</sup> e tenham mães com sangue Rh<sup>-</sup> (e que tenham tido contato com sangue Rh<sup>+</sup> anteriormente).
- Ocorre comumente com casais formados por homem com sangue Rh positivo e mulher com sangue Rh negativo.
- Ao gerar filhos Rh<sup>+</sup> (genótipo R<sub>1</sub>), a mãe pode ser sensibilizada contra as hemácias do filho, produzindo anticorpos anti-Rh. Ela pode ser sensibilizada também através de uma transfusão sanguínea inadequada, com sangue Rh positivo.
- Ao final da gestação, o feto apresenta ruptura de hemácias (por isso é chamada de “doença hemolítica do recém-nascido”); o problema ocorre porque algumas hemácias do filho atravessam a placenta e passam para a circulação materna.
- As hemácias do filho são reconhecidas como corpos estranhos pelo sistema imunitário da mãe, que passa a produzir anti-Rh.
- O primeiro filho nascido Rh<sup>+</sup>, normalmente, não é afetado pela doença.
- Caso o casal tenha um segundo ou terceiro filho com tipo sanguíneo Rh<sup>+</sup>, haverá elevada probabilidade de a criança nascer com DHRN, caso não seja feito o tratamento adequado, pois a mulher foi imunizada (sensibilizada) e desenvolveu memória imunitária.

• **Tratamento da criança**

- Transfusão com sangue Rh negativo no bebê logo ao nascer – evita que as hemácias do bebê sejam atacadas pelos anticorpos anti-Rh da mãe presentes no organismo do recém-nascido.
- Após certo período:
  - os anticorpos maternos serão destruídos e deixarão de atuar;
  - a criança produzirá novas hemácias do tipo Rh positivo, de acordo com o seu genótipo.

• **Prevenção da doença**

- Constatar probabilidade de o casal gerar filhos com DHRN (homem Rh<sup>+</sup> e mulher Rh<sup>-</sup>).
- Após o nascimento do primeiro filho Rh<sup>+</sup>, inocular na mulher o soro anti-Rh, promovendo a destruição de hemácias Rh<sup>+</sup> que ela recebeu do filho, evitando que ela seja sensibilizada.
- Em casos em que tanto a mãe quanto o filho são Rh<sup>-</sup> ou ambos Rh<sup>+</sup>, não há possibilidade de desenvolvimento da doença.

**Sistema sanguíneo MN**

Há outro sistema sanguíneo na população humana, mas ele não apresenta relevância nas transfusões sanguíneas. O **sistema MN** possui dois alelos na população: **M** e **N**, tratando-se de um caso de **codominância**. Assim, podem ser observados os seguintes fenótipos e genótipos:

Fenótipos	Genótipos
Tipo M	MM
Tipo N	NN
Tipo MN	MN

## ■ QUER SABER MAIS?



### SITES

- Pesquisa identifica dois genes que, quando inativados ao mesmo tempo em células cancerosas da mama, sinalizam a disseminação da doença. O estudo abre caminho para o diagnóstico precoce de metástases.  
<<http://cienciahoje.uol.com.br/noticias/2010/10/alerta-de-um-par-desconhecido>>.
- Reportagem: "Australiano com sangue raro já salvou mais de 2 milhões de bebês". O australiano James Harrison, dono de um tipo sanguíneo raro, já salvou a vida de 2 milhões e 200 mil recém-nascidos, incluindo a do próprio neto.  
<[www.bbc.co.uk/portuguese/noticias/2010/03/100323\\_sangue\\_australia\\_nf.shtml](http://www.bbc.co.uk/portuguese/noticias/2010/03/100323_sangue_australia_nf.shtml)>.
- Reportagem: "O que é fator RH nulo? Qual a diferença entre o RH nulo e o negativo?"  
<<http://revistagalileu.globo.com/Galileu/0,6993,ECT656760-1716-5,00.html>>.

## Exercícios complementares

**1 UFSCar 2004** A transfusão de sangue tipo AB para uma pessoa com sangue tipo B:

- pode ser realizada sem problema, porque as hemácias AB não possuem antígenos que possam interagir com anticorpos anti-A presentes no sangue do receptor.
- pode ser realizada sem problema, porque as hemácias AB não possuem antígenos que possam interagir com anticorpos anti-B presentes no sangue do receptor.
- pode ser realizada sem problema, porque, apesar de as hemácias AB apresentarem antígeno A e antígeno B, o sangue do receptor não possui anticorpos contra eles.
- não deve ser realizada, pois os anticorpos anti-B presentes no sangue do receptor podem reagir com os antígenos B presentes nas hemácias AB.
- não deve ser realizada, pois os anticorpos anti-A presentes no sangue do receptor podem reagir com os antígenos A presentes nas hemácias AB.

**2 PUC-MG** O soro sanguíneo de um indivíduo do grupo O foi colocado em quatro tubos de ensaio, I, II, III e IV, aos quais foram adicionadas, separada e respectivamente, hemácias de indivíduos dos grupos sanguíneos AB, A, B e O.

Marque, na alternativa a seguir, a opção que corresponde à condição de aglutinação (+) ou não aglutinação (-) de hemácias resultante de reação antígeno-anticorpo.

- Tubo I (-), Tubo II (+), Tubo III (-) e Tubo IV (+).
- Tubo I (-), Tubo II (+), Tubo III (+) e Tubo IV (-).
- Tubo I (+), Tubo II (-), Tubo III (-) e Tubo IV (+).
- Tubo I (+), Tubo II (+), Tubo III (+) e Tubo IV (-).
- Tubo I (-), Tubo II (-), Tubo III (-) e Tubo IV (+).

**3 PUC-PR 2004** Num laboratório foram realizados, em cinco indivíduos, exames de sangue para a determinação da tipagem sanguínea dos Sistemas ABO e Rh. Foram obtidas reações com a aplicação dos reagentes anti-A, anti-B e anti-Rh.

Os resultados obtidos foram:

Indivíduo	Soro anti-A	Soro anti-B	Soro anti-Rh
1	aglutinou	não aglutinou	não aglutinou
2	aglutinou	aglutinou	aglutinou
3	não aglutinou	aglutinou	não aglutinou
4	não aglutinou	não aglutinou	não aglutinou
5	aglutinou	aglutinou	não aglutinou

Com base no quadro, conclui-se que são classificados, respectivamente, como receptor e doador universal:

- 4 e 2
- 4 e 3
- 1 e 5
- 2 e 4
- 5 e 1

**4 Fuvest** A cor dos pelos nas cobaias é condicionada por uma série de alelos múltiplos com a seguinte escala de dominância:

$$C(\text{preta}) > C1(\text{marrom}) > C2(\text{creme}) > c(\text{albino})$$

Uma fêmea marrom teve 3 ninhadas, cada uma com um macho diferente. A tabela a seguir mostra a constituição de cada ninhada.

Ninhada	Número de descendentes			
	Pretos	Marrons	Crems	Albinos
1	5	3	0	2
2	0	4	2	2
3	0	5	0	4

A partir desses dados, é possível afirmar que o macho responsável pela ninhada:

- 1 era marrom homocigoto.
- 1 era preto homocigoto.
- 2 era albino heterocigoto.
- 2 era creme heterocigoto.
- 3 era marrom homocigoto.

**5 UFRGS** Se um caráter tem três alelos possíveis, podendo haver seis genótipos, e um segundo caráter apresenta oito genótipos possíveis, quando ambos forem estudados simultaneamente, podem ocorrer:

- (a) 7 genótipos.      (c) 24 genótipos.      (e) 96 genótipos.
- (b) 12 genótipos.    (d) 48 genótipos.

**6 UFRGS 2004** Coelho podem ter quatro tipos de pelagem: chinchila, himalaia, aguti e albina, resultantes das combinações de quatro diferentes alelos de um mesmo loco. Num experimento, animais com diferentes fenótipos foram cruzados várias vezes. Os resultados, expressos em número de descendentes, constam na tabela a seguir.

Cruzamento	Fenótipos parentais	Fenótipos da progênie			
		Hi	Ch	Ag	Al
1	Ag X Al	12	0	11	0
2	Ag X Hi	0	0	23	0
3	Ag X Ch	0	14	15	0
4	Ag X Ch	6	6	12	0
5	Ch X Ch	9	30	0	0
6	Hi X Al	18	0	0	0

Onde: Al = albino; Hi = himalaia; Ch = chinchila; Ag = aguti.

Se o animal progenitor aguti do cruzamento 1 for utilizado para a obtenção de filhotes com o progenitor chinchila do cruzamento 4, que proporção de descendentes poderemos prever?

- (a) 1 aguti : 1 chinchila.
- (b) 1 aguti : 1 himalaia.
- (c) 9 aguti : 3 himalaia : 3 chinchila : 1 albino.
- (d) 2 aguti : 1 chinchila : 1 himalaia.
- (e) 3 aguti : 1 chinchila.

**7 UFRGS 2005** Suponha que em uma certa espécie diploide exista um caráter relacionado com uma série de quatro alelos (alelos múltiplos). Em um determinado indivíduo da espécie referida, o número máximo de alelos representados relacionados ao caráter em questão será igual a:

- (a) 2      (b) 4      (c) 6      (d) 8      (e) 10

**8 UFRGS 2007** Em uma espécie de peixes de aquário, aparecem três padrões distintos de coloração na nadadeira dorsal: negra, rajada e amarela. Esses padrões são resultantes das combinações de três diferentes alelos de um mesmo loco.

No quadro a seguir, estão representados três cruzamentos entre peixes com padrões de coloração distintos para nadadeiras e suas respectivas gerações F1 e F2.

Cruzamento	Geração F1	Geração F2 (número de indivíduos)
1. rajada x amarela	100% rajadas	50 rajadas; 17 amarelas
2. negra x amarela	100% negras	100 negras; 35 amarelas
3. negra x rajada	100% negras	65 negras; 21 rajadas

Se um macho da F1 do cruzamento 3 cruza com uma fêmea da F1 do cruzamento 1, quais as proporções de coloração das nadadeiras dorsais esperadas para os descendentes?

- (a) 50% de indivíduos com nadadeiras negras e 50% de indivíduos com nadadeiras rajadas.
- (b) 75% de indivíduos com nadadeiras negras e 25% de indivíduos com nadadeiras amarelas.
- (c) 75% de indivíduos com nadadeiras negras e 25% de indivíduos com nadadeiras rajadas.
- (d) 50% de indivíduos com nadadeiras negras e 50% de indivíduos com nadadeiras amarelas.
- (e) 100% de indivíduos com nadadeiras negras.

**9 FGV 2009**

**Australiana muda de grupo sanguíneo após transplante**

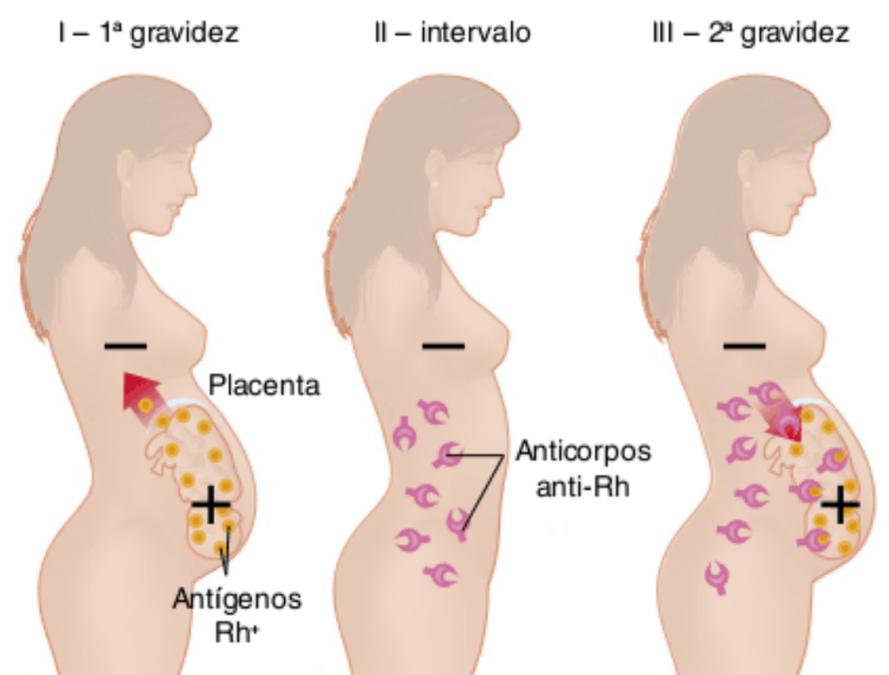
A australiana Demi-Lee Brennan, 15, mudou de grupo sanguíneo, O Rh<sup>-</sup>, e adotou o tipo sanguíneo de seu doador, O Rh<sup>+</sup>, após ter sido submetida a um transplante de fígado, informou a equipe médica do hospital infantil de Westmead, Sydney. A garota tinha nove anos quando fez o transplante. Nove meses depois, os médicos descobriram que havia mudado de grupo sanguíneo, depois que as células-tronco do novo fígado migraram para sua medula óssea. O fato contribuiu para que seu organismo não rejeitasse o órgão transplantado.

Folha online, 24 jan. 2008.

Sobre esse fato, pode-se dizer que a garota:

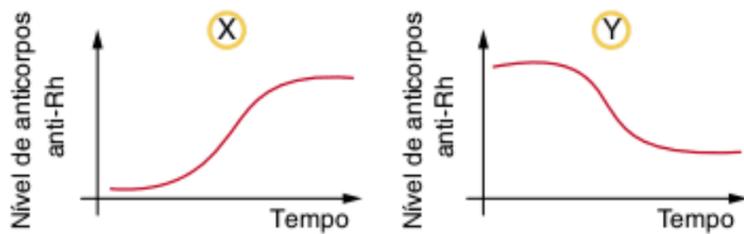
- (a) não apresentava aglutinogênios anti-A e anti-B em suas hemácias, mas depois do transplante passou a apresentá-los.
- (b) apresentava aglutininas do sistema ABO em seu plasma sanguíneo, mas depois do transplante deixou de apresentá-las.
- (c) apresentava o fator Rh, mas não apresentava aglutininas anti-Rh em seu sangue, mas depois do transplante passou a apresentá-las.
- (d) quando adulta, se engravidar de um rapaz de tipo sanguíneo Rh<sup>-</sup>, poderá gerar uma criança de tipo sanguíneo Rh<sup>+</sup>.
- (e) quando adulta, se engravidar de um rapaz de tipo sanguíneo Rh<sup>+</sup>, não corre o risco de gerar uma criança com eritroblastose fetal.

**10 PUC-MG** Interpretando a figura a seguir sobre a doença hemolítica do recém-nascido (DHR), assinale a afirmativa incorreta.



- (a) A placenta normalmente funciona como uma barreira que separa as células sanguíneas fetais e maternas.
- (b) Após a 1ª gravidez, os antígenos fetais não serão capazes de induzir a produção de anticorpos anti-Rh pela mãe.
- (c) Em III, após o contato com o antígeno Rh<sup>+</sup>, a mãe produz anticorpos anti-Rh que podem ser transferidos para a corrente sanguínea fetal.
- (d) Se, logo após o parto da 1ª gravidez, a mãe recebesse anticorpos anti-Rh, a DHR poderia ser evitada.

**11 UFRN** Os dois gráficos a seguir representam as quantidades de anticorpos anti-Rh presentes no sangue de uma mulher (Rh<sup>-</sup>) em gestações distintas.



Pela observação dos gráficos e considerando que essa mulher teve um filho em cada gestação e nunca recebeu transfusão de sangue, é correto concluir que:

- (a) em X, a mãe transferiu anticorpos anti-Rh para o 1º filho Rh<sup>-</sup>, o qual teve eritroblastose fetal.
- (b) em X, a mãe foi sensibilizada com o sangue Rh<sup>+</sup> do 2º filho, o qual não teve eritroblastose fetal.
- (c) em Y, a mãe transferiu anticorpos anti-Rh para o 2º filho Rh<sup>+</sup>, o qual teve eritroblastose fetal.
- (d) em Y, a mãe foi sensibilizada com o fator Rh<sup>-</sup> do 1º filho, o qual não teve eritroblastose fetal.

**12 UFV** Após uma primeira gravidez bem-sucedida, uma mãe abortou três vezes. Seu caso foi diagnosticado, em consulta médica, como eritroblastose fetal. Em relação à patologia observada nessa família, assinale a alternativa correta.

- (a) A mãe é Rh positivo.
- (b) Os abortados certamente eram Rh negativo.
- (c) Esse casal jamais poderá ter outros filhos.
- (d) A criança é Rh negativo.
- (e) O pai é Rh positivo.

**13 Unicamp** Na eritroblastose fetal, ocorre destruição das hemácias, o que pode levar recém-nascidos à morte.

- a) Explique como ocorre a eritroblastose fetal.
- b) Como evitar sua ocorrência?
- c) Qual o procedimento usual para salvar a vida do recém-nascido com eritroblastose fetal?

**14 Mackenzie** Uma criança tem genótipo igual ao do pai, que é receptor universal e teve eritroblastose fetal. Então, é incorreto afirmar que:

- (a) a mãe é certamente Rh<sup>-</sup>.
- (b) o pai possui genótipo I<sup>A</sup>I<sup>B</sup>.
- (c) a mãe pode pertencer ao tipo sanguíneo O.
- (d) essa criança é certamente heterozigota para o fator Rh.
- (e) a mãe pode ter genótipo I<sup>A</sup>i.

**15 UFGRS** Assinale a alternativa que completa corretamente as lacunas no texto a seguir.

Uma mulher é do tipo sanguíneo Rh<sup>-</sup>, homocigota recessiva e seu marido é Rh<sup>+</sup>. Se ele for \_\_\_\_\_, \_\_\_\_\_ Rh<sup>+</sup>. A mãe reconhecerá os glóbulos vermelhos do embrião como estranhos e produzirá anticorpos anti-Rh. Isso só acontecerá quando houver passagem do sangue do embrião para a circulação materna.

- (a) homocigoto – nenhum dos filhos será
- (b) heterocigoto – todos os filhos serão
- (c) homocigoto – todos os filhos serão
- (d) heterocigoto – nenhum dos filhos será
- (e) homocigoto – metade dos filhos será

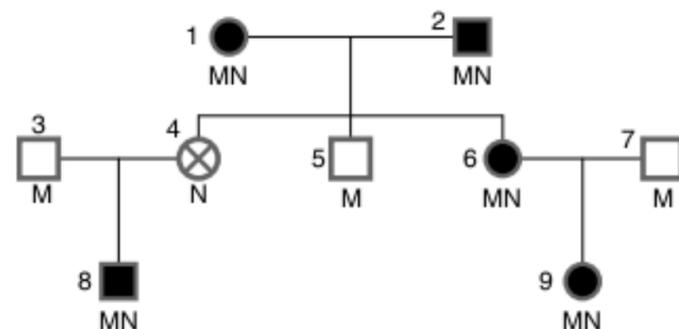
**16 Unesp** Uma mulher com útero infantil, Rh<sup>+</sup> homocigota, casa-se com um homem Rh<sup>-</sup>. Impedida de ter filhos, o casal decide ter um “bebê de proveta” e contrata uma “mãe de aluguel” para receber em seu útero o zigoto formado por aquele casal. O que o casal não sabia é que a “mãe de aluguel” tivera três filhos, sendo que o último apresentara a doença hemolítica do recém-nascido. A probabilidade de o “bebê de proveta” nascer com a doença hemolítica do recém-nascido é:

- (a) mínima, visto que seu pai é Rh<sup>-</sup>.
- (b) mínima, visto que sua mãe genética é Rh<sup>+</sup>.
- (c) alta, já que o “bebê de proveta”, com absoluta certeza, será Rh<sup>+</sup>.
- (d) nula, visto que a doença hemolítica do recém-nascido só ocorre quando a mãe é Rh<sup>-</sup> e o pai Rh<sup>+</sup>.
- (e) alta, pois a “mãe de aluguel” é Rh<sup>+</sup>.

**17 UEL** Uma mulher Rh<sup>+</sup>, cujo pai é Rh<sup>-</sup>, é casada com um homem Rh<sup>+</sup>, cuja mãe é Rh<sup>-</sup>. A probabilidade de esse casal vir a ter uma criança Rh<sup>-</sup> é de:

- (a) 100%
- (b) 75%
- (c) 50%
- (d) 25%
- (e) 0%

**18 Cesgranrio** Observe o esquema a seguir.



A observação do esquema, que representa a genealogia de uma família em relação aos grupos sanguíneos MN, nos permite afirmar que:

- (a) sangue MN é característica determinada por gene dominante.
- (b) os indivíduos 4 e 5 são heterocigotos.
- (c) o casal 3 e 4 poderá ter filhos dos três tipos de grupos sanguíneos.
- (d) se o indivíduo 5 casar-se com uma mulher de sangue N, todos os filhos serão heterocigotos.
- (e) um próximo filho do casal 6 e 7 poderá ser do grupo N.



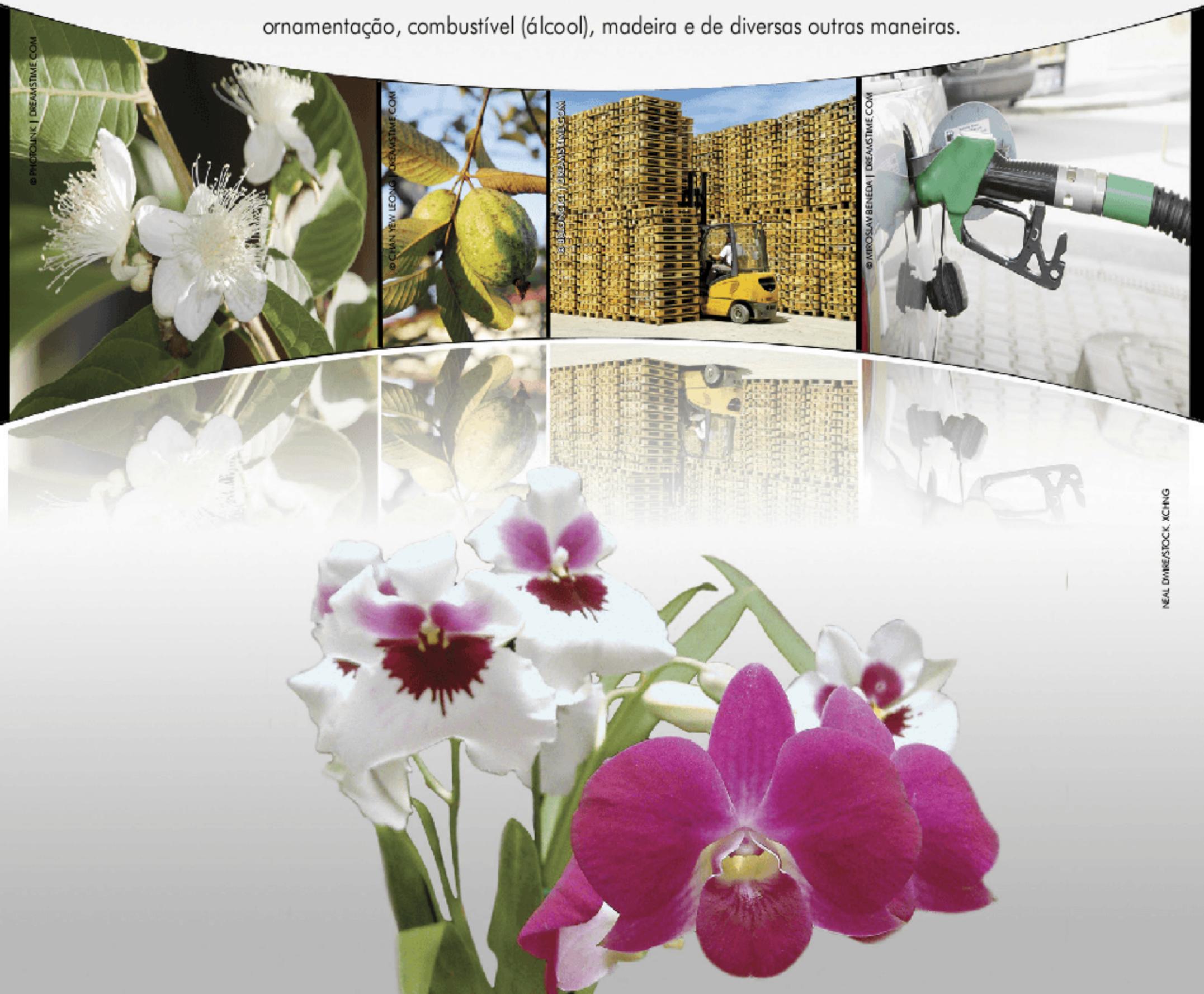
# Frente 2

# 13

FRENTE 2

## Angiospermas

As angiospermas são plantas que formam frutos e flores e têm a maior diversidade de espécies entre as plantas. Elas fazem parte da nossa vida, como fonte de alimento, ornamentação, combustível (álcool), madeira e de diversas outras maneiras.



© PHOTONIK | DREAMSTIME.COM

© CHAN YEW LEONG | DREAMSTIME.COM

© SHONNIGER | DREAMSTIME.COM

© MIROSLAV BENEŠ | DREAMSTIME.COM

NEAL DWIRE/STOCK.XCHNG

## Características gerais

Milho, trigo, goiabeira, algodoeiro e soja são alguns exemplos de plantas de grande utilidade para o ser humano e que fazem parte do grupo das angiospermas, termo que significa “urna com sementes”, em referência ao fruto. Esses vegetais são **vasculares** e seu corpo possui raiz, caule e folhas; sua estrutura reprodutora típica e exclusiva é a **flor**, que gera **fruto** e **sementes**. Dessa maneira, as angiospermas se diferenciam das gimnospermas por apresentarem fruto e flor; as gimnospermas não formam fruto e suas estruturas reprodutoras são os estróbilos.

O estróbilos de gimnospermas tem um eixo com placas dotadas de esporângios (esporofilos) dispostos helicoidalmente. Em angiospermas, a flor tem um eixo extremamente curto, praticamente como se fosse uma estrutura plana; seus componentes dispõem-se em círculos concêntricos. No entanto, há angiospermas consideradas mais primitivas e que apresentam componentes da flor dispostos helicoidalmente; é o caso da vitória-régia e da magnólia (Fig. 1).

## Flor

Uma flor típica de angiospermas não tem arranjo helicoidal de seus componentes. Apresenta um pedúnculo floral, que se expande, formando o receptáculo floral (Fig. 2).

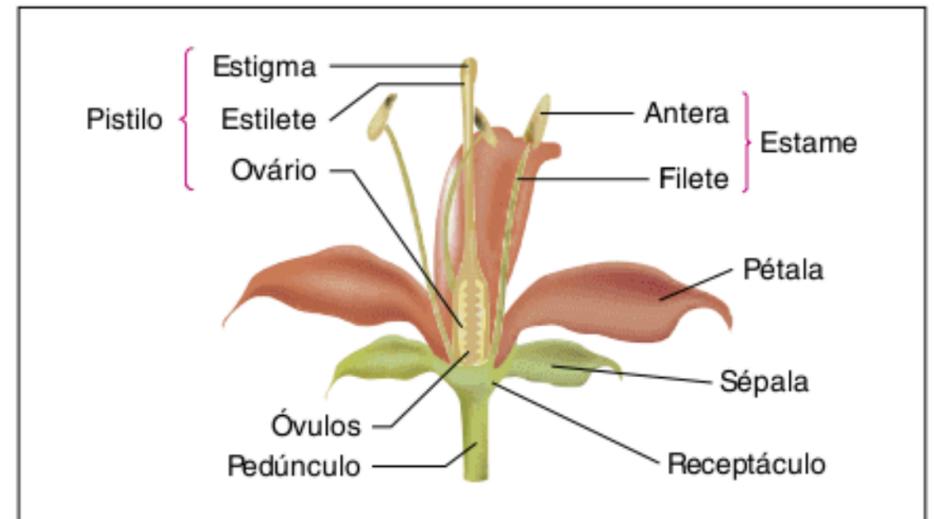


Fig. 2 Flor típica de angiosperma. Uma flor pode apresentar pedúnculo, receptáculo e verticilos florais.

Uma flor apresenta quatro **verticilos** ligados ao receptáculo; cada verticilo é um conjunto de peças florais semelhantes. Os verticilos são: **cálice**, **corola**, **androceu** e **gineceu**.

O **cálice** é constituído por **sépalas**, folhas geralmente verdes e que protegem as estruturas reprodutoras. A **corola** é formada por **pétalas**, folhas geralmente coloridas e que podem apresentar odor; as pétalas protegem os elementos reprodutores e são capazes de atrair animais **polinizadores**, como morcegos, insetos ou pássaros. O conjunto constituído por cálice e corola é denominado **perianto**; quando as sépalas e as pétalas são semelhantes no aspecto e na cor, são denominadas **tépalas**, e seu conjunto recebe o nome de **perigônio**.

O **androceu** é formado por **estames**, os elementos masculinos da flor. Cada estame tem um filamento (filete) e uma extremidade arredondada, denominada **antera**. No interior da antera, ocorre a produção e a liberação de **grãos de pólen**, que correspondem ao gametófito masculino jovem.

O **gineceu** normalmente é formado por um **pistilo** (ou **carpelo**), o elemento feminino da flor; há espécies em que o gineceu é constituído por vários pistilos. Cada pistilo tem três partes: o **estigma** (que recebe pólen), o **estilete** (porção mais alongada) e o **ovário** (situado na base). Dentro do ovário, há um óvulo ou vários óvulos, dependendo da espécie. O óvulo maduro contém o gametófito feminino (ou saco embrionário).

Há flores que têm pistilos e estames; são denominadas **monóclinas**, ou hermafroditas. Flores que possuem só pistilos ou só estames são denominadas **diclinas**, sendo observadas as femininas e as masculinas (Fig. 3).

O pólen é transportado da antera até o estigma do pistilo; esse é o processo de polinização. O grão de pólen desenvolve-se, formando o **tubo polínico**, que alcança o óvulo. A fecundação do óvulo é do tipo **sifonogâmica** e determina a formação da semente. Através da participação de hormônios, o **ovário** desenvolve-se e origina o **fruto**. Assim, temos:

- semente é o óvulo fecundado e desenvolvido.
- fruto é o ovário desenvolvido.



Fig. 1 Vitória-régia (imagem superior) e magnólia (imagem inferior) apresentam flores com elementos florais dispostos helicoidalmente.

Atualmente, as angiospermas são também designadas como **antófitas** (que significa “plantas com flores”), ou **magnoliófitas** (uma referência à magnólia).

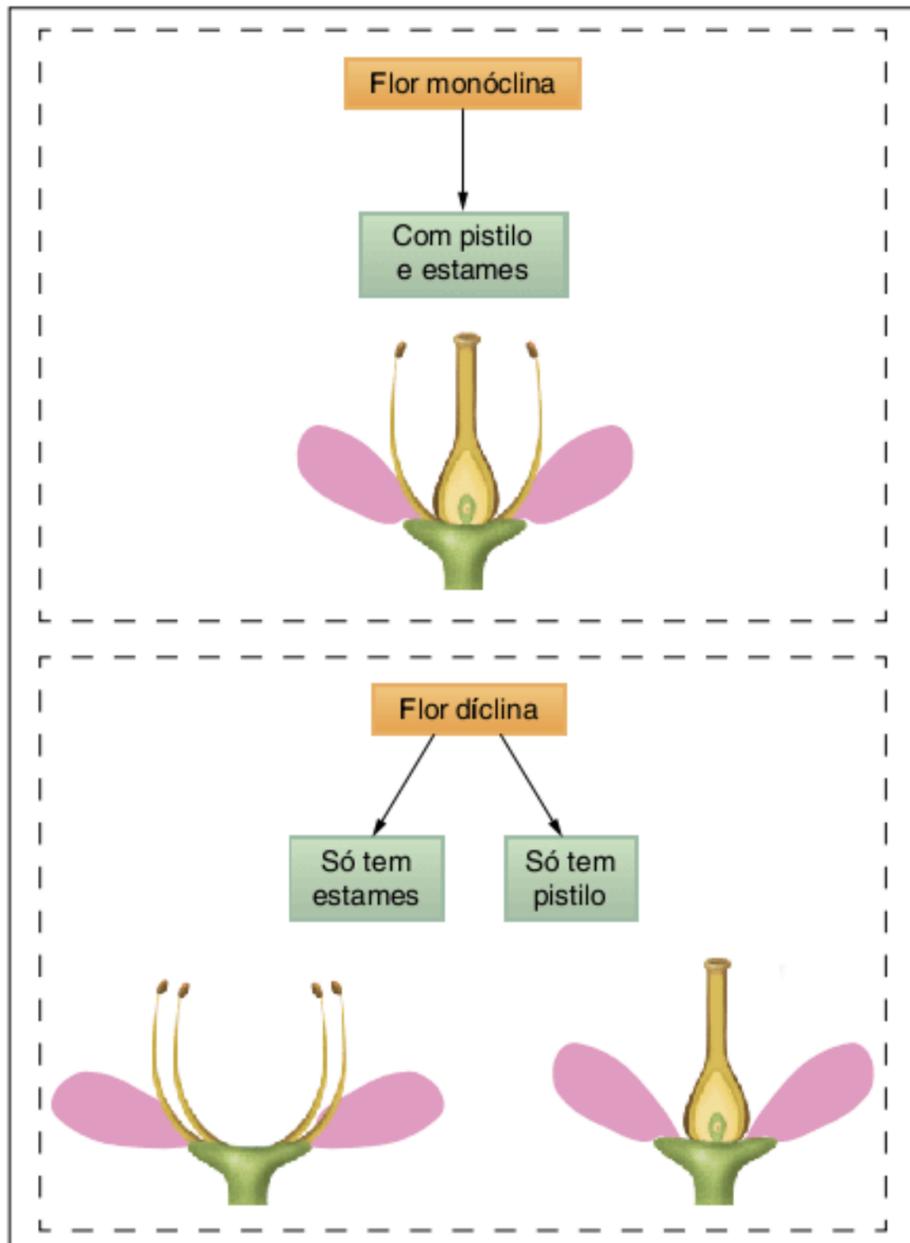


Fig. 3 Flor monóclina tem elementos masculinos e femininos. Flor díclina tem apenas elementos masculinos ou femininos.

## Ciclo reprodutivo

### Metagênese

Angiospermas apresentam **metagênese**, com esporófito ( $2n$ ) desenvolvido e gametófito ( $n$ ) muito reduzido; o grão de pólen, por exemplo, corresponde ao gametófito masculino e é muito pequeno. O esporófito é o vegetal propriamente dito, com raiz, caule e folha; sua estrutura reprodutora é a flor (Fig. 4).

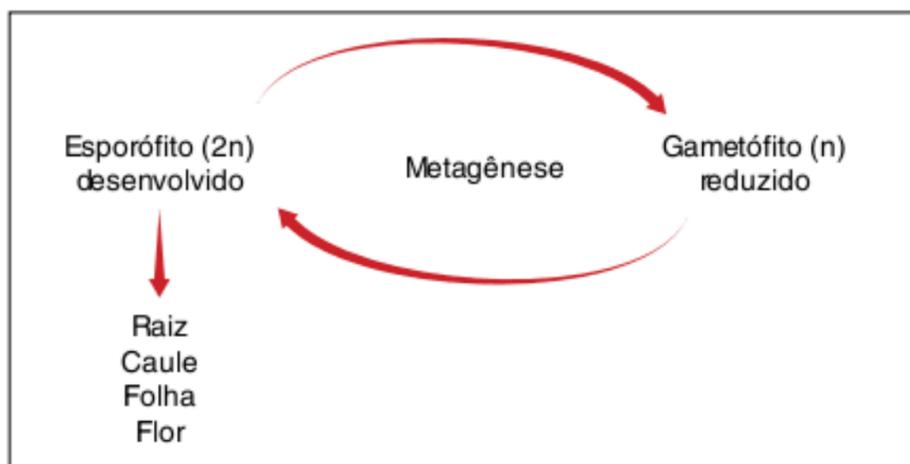


Fig. 4 Metagênese em angiospermas. O esporófito das angiospermas é a geração desenvolvida, enquanto o gametófito é bastante reduzido.

### Esporos e gametófitos

Na antera, encontram-se os **microsporângios**, também conhecidos como **sacos polínicos**, onde se dá a produção de **micrósporos** ( $n$ ), por meiose. O óvulo imaturo é um

**megasporângio**, onde ocorre a formação de **megásporo** ( $n$ ), por meiose. Nota-se que os componentes masculinos são menores (micro) que os femininos (mega) (Fig. 5). Assim, as angiospermas, como as gimnospermas, apresentam **heterosporia**.

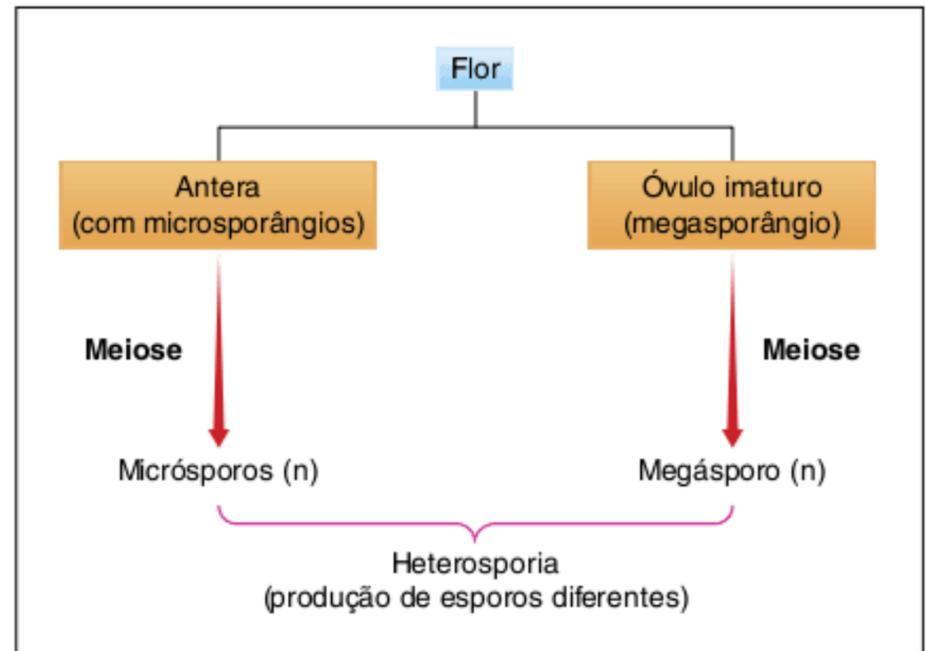


Fig. 5 Angiospermas apresentam esporos gerados por meiose. Micrósporos são produzidos no interior da antera e os megásporos dentro de óvulos.

Cada micrósporo sofre mitose e origina um grão de pólen (o gametófito masculino jovem), que possui dois núcleos (Fig. 6).

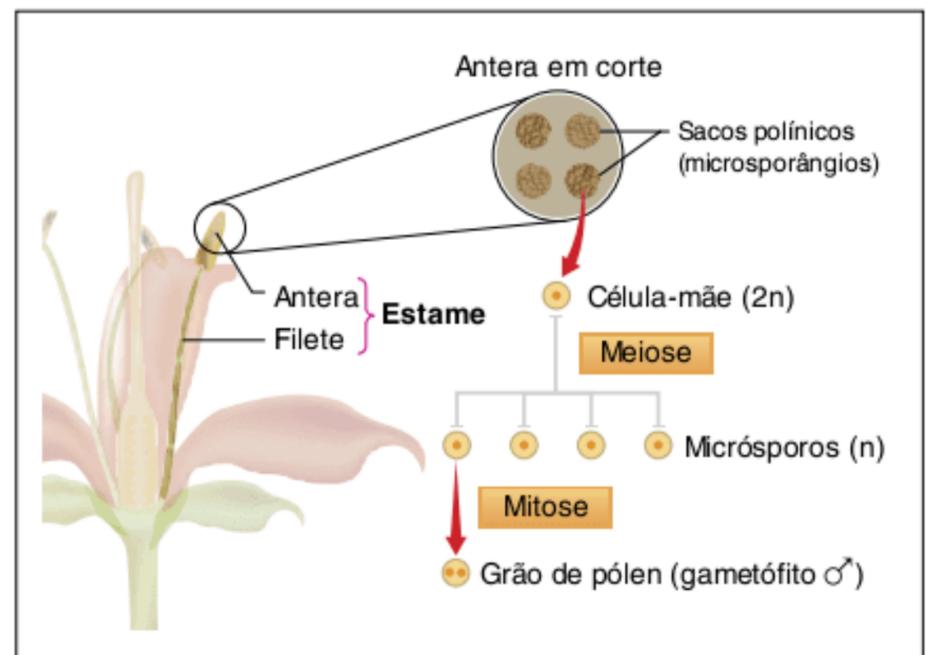


Fig. 6 A antera do estame tem sacos polínicos, onde ocorre a formação de grãos de pólen.

A formação do megásporo se dá por meio de uma célula diploide chamada "**mãe de megásporo**". Tal célula sofre meiose, formando, portanto, 4 novas células haploides. Nessas, apenas uma permanece (megásporo), sendo que as outras degeneram.

O megásporo restante sofre mitoses até gerar **8 núcleos** ( $n$ ), que formarão **7 células**, organizadas no gametófito feminino (ou saco embrionário). A **oosfera** (o gameta feminino que, fecundado, gerará o embrião), **2 sinérgides** (dispostas ao lado da oosfera), **3 antípodas** (localizadas na base do saco embrionário, no lado oposto à sua abertura) e também uma grande célula dotada de dois núcleos (polares), chamada **mesocisto** (localizada no centro do saco embrionário) (Fig. 7).

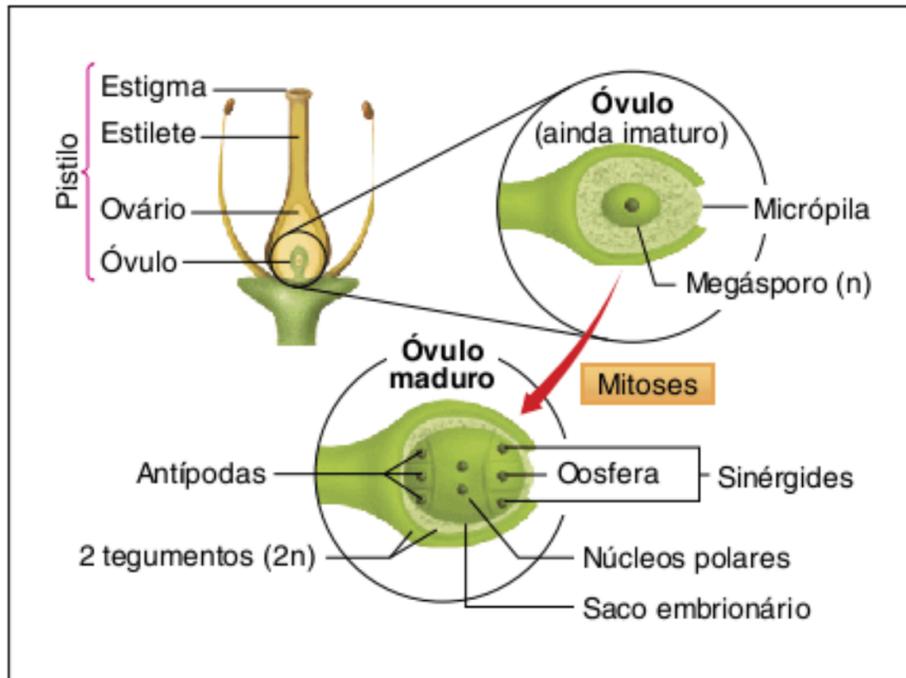


Fig. 7 Processo de formação do óvulo maduro, com o gametófito feminino em seu interior.

### Fecundação

O grão de pólen, que chega ao estigma, desenvolve-se, formando o tubo polínico, que cresce em direção ao óvulo. Durante seu desenvolvimento, um dos núcleos comanda o crescimento do tubo polínico: é o **núcleo vegetativo**.

O outro núcleo do grão de pólen sofre mitose e origina dois **núcleos gaméticos** (ou **espermáticos**), que correspondem aos gametas masculinos (Fig. 8).

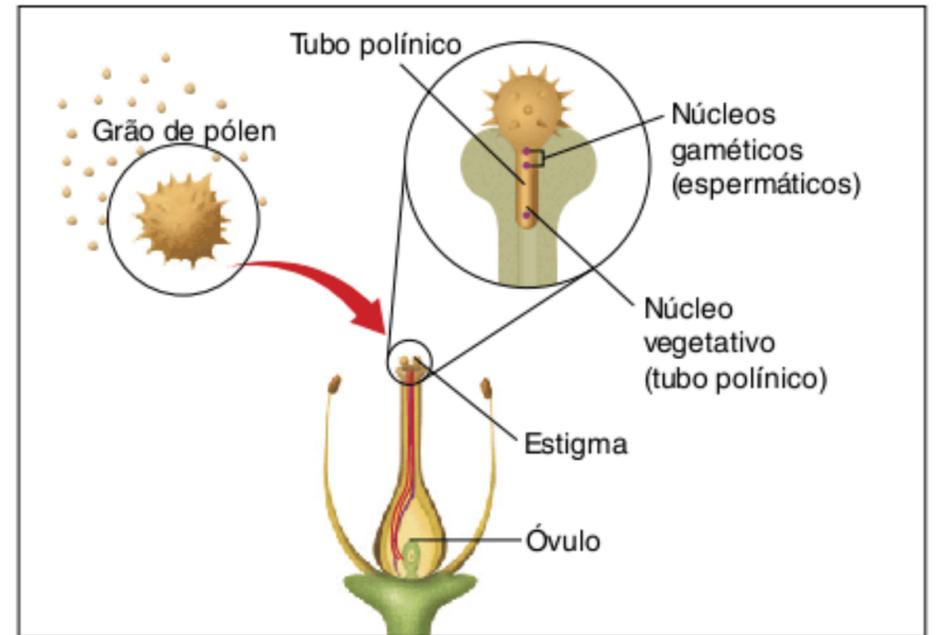


Fig. 8 No interior do pistilo, o grão de pólen origina o tubo polínico, que cresce em direção ao óvulo.

A fecundação do óvulo resulta na formação da semente. O tubo polínico encontra o óvulo e libera seus núcleos espermáticos através de uma das sinérgides. Ocorre, então, uma dupla fecundação, com dois encontros. Um núcleo gamético une-se à **oosfera** e forma-se um zigoto ( $2n$ ), que gera um **embrião** ( $2n$ ). O outro núcleo gamético une-se aos dois núcleos polares, formando uma célula triploide ( $3n$ ), que sofre mitose e gera o **endosperma** ( $3n$ ), o tecido de reserva da semente. Os dois tegumentos ( $2n$ ) do óvulo originam os dois tegumentos da semente (Fig. 9).

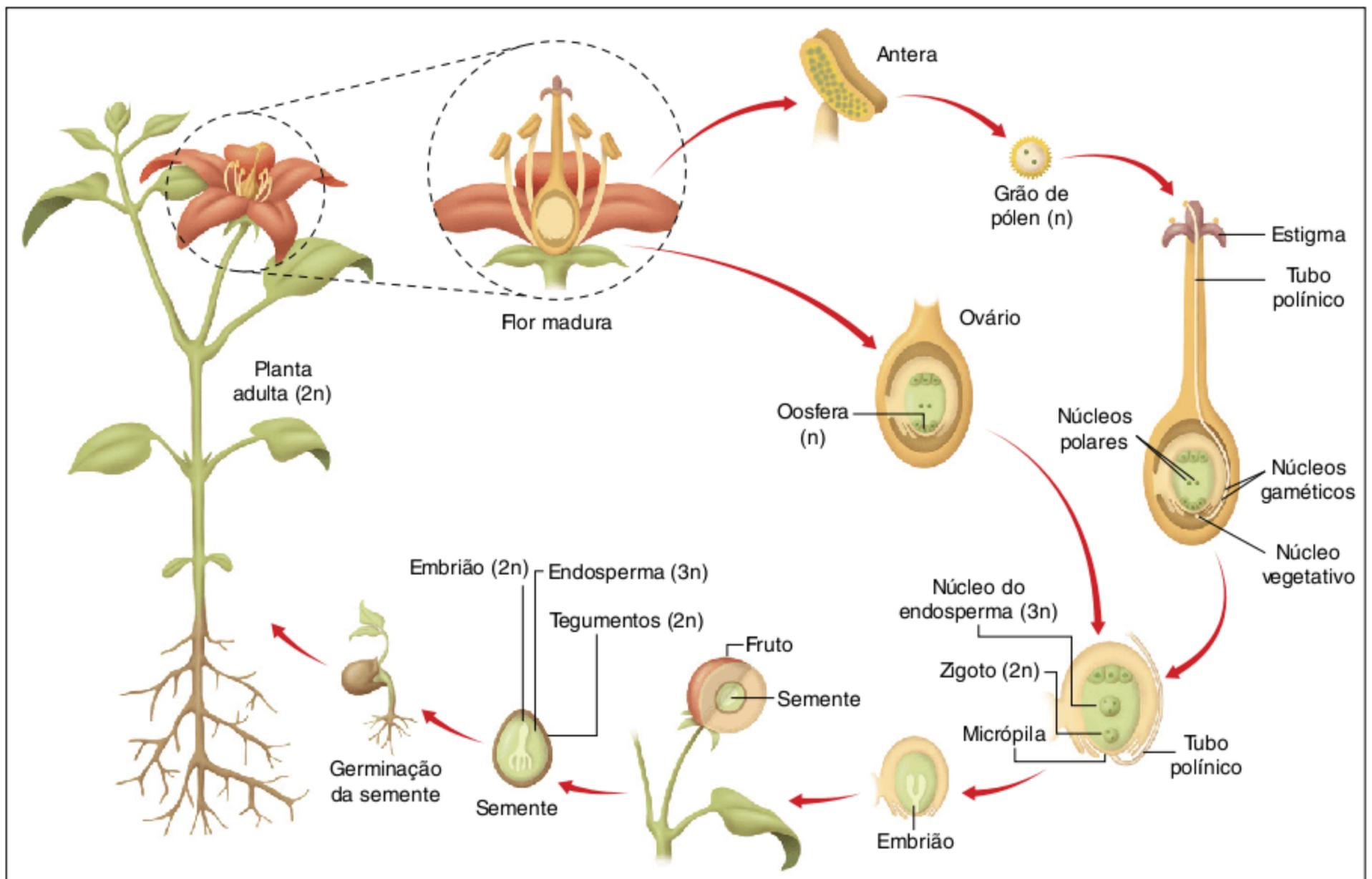


Fig. 9 Ciclo de vida de uma angiosperma. Com o crescimento do tubo polínico, o óvulo é fecundado, originando a semente. Os componentes de uma semente de angiosperma são: embrião, endosperma e tegumentos.

## Comparação entre gimnospermas e angiospermas

Gimnospermas e angiospermas têm muitas semelhanças reprodutivas, como a metagênese, meiose espórica, heterosporia e formação de semente. No entanto, esses dois grupos têm diferenças importantes, mostradas na tabela 1.

Características	Gimnospermas	Angiospermas
Fruto	Ausente	Presente
Flor	Ausente	Presente
Número de tegumentos	1	2
Endosperma	Haploide (n)	Triploide (3n)
Fecundação	Simples	Dupla

Tab. 1 Diferenças entre gimnospermas e angiospermas.

## Classificação das angiospermas

Atualmente as angiospermas são classificadas em três grupos: monocotiledôneas, dicotiledôneas basais (como a magnólia) e as eudicotiledôneas (a maioria das dicotiledôneas). Mas, tradicionalmente, as angiospermas são divididas em duas grandes classes: **monocotiledôneas** e **dicotiledôneas**. A classificação leva em conta os **cotilédones**, folhas modificadas que podem conter reservas. Vamos apresentar, a seguir, características que distinguem os grupos tradicionais de angiospermas (mono e dicotiledôneas).

### Dicotiledôneas

Um critério fundamental na identificação de dicotiledôneas é a presença de dois cotilédones na semente. Como exemplo, pode ser citada a mamona. No caso dela, os cotilédones são delgados e a semente possui endosperma; no feijão, não há endosperma e as reservas estão acumuladas nos dois cotilédones hipertrofiados (Fig. 10).

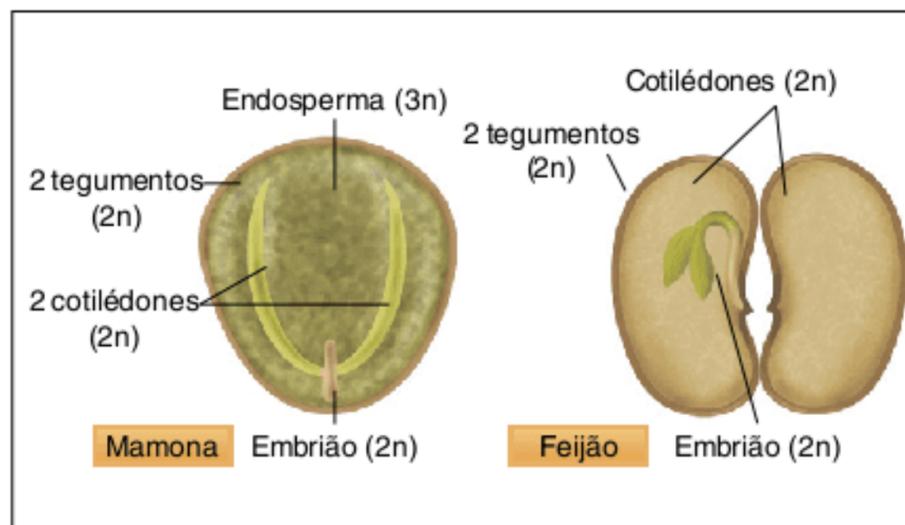


Fig. 10 Sementes de dicotiledôneas. À esquerda, semente de mamona, com dois cotilédones delgados e endosperma. À direita, semente de feijão, com dois cotilédones bastante espessos e sem endosperma.

A semente de feijão pode ser aberta com certa facilidade, separando-a em duas partes; cada metade contém um cotilédono hipertrofiado e em uma das metades nota-se a presença do embrião.

As **dicotiledôneas** apresentam raízes com um eixo principal, do qual saem ramificações; esse tipo é denominado **raiz axial**, ou **pivotante**. As folhas possuem nervuras (estruturas que contêm vasos condutores de seiva) em disposição **reticulínervea**, tendo uma nervura central ligada a uma rede de nervuras menores. O caule das dicotiledôneas tem vasos condutores que formam agrupamentos conhecidos como feixes **liberoleñosos**, os quais apresentam uma distribuição regular. Muitas dicotiledôneas têm seu caule crescendo em circunferência e seus vasos formam anéis concêntricos.

As flores das dicotiledôneas têm verticilos organizados em múltiplos de cinco e, por isso, são denominadas flores **pentâmeras**; há algumas dicotiledôneas com flores tetrâmeras, com verticilos em múltiplos de quatro (Tab. 2).

Características	Dicotiledôneas	Monocotiledôneas
Raiz (sistema radicular)	<b>Axial</b> (pivotante). 	<b>Fasciculada</b> . 
Disposição dos vasos no caule	<b>Regular</b> . Câmbio Xilema Floema 	<b>Irregular</b> (difusa). Xilema Floema 
Nervuras nas folhas	<b>Nervuras reticulares</b> . 	<b>Nervuras paralelas</b> . 
Flores	<b>Pentâmeras</b> : Verticilos em múltiplos de cinco. Há espécies com flores tetrâmeras. 	<b>Trímeras</b> : Verticilos em múltiplos de três. 
Exemplos	Eucalipto, goiabeira, ipê, batata, mogno. Inclui a família das <b>leguminosas</b> (seu fruto é a vagem): feijão, soja, lentilha, amendoim, grão-de-bico, ervilha, pau-brasil.	Palmeira, bananeira, lírio, orquídea, bromélia. Inclui a família das <b>gramíneas</b> : cana-de-açúcar, capim e cereais (arroz, milho, trigo, centeio, cevada e aveia).

Tab. 2 Principais características de dicotiledôneas e monocotiledôneas.

As leguminosas, como o feijão e a soja, constituem uma família das mais importantes entre as dicotiledôneas. Outros exemplos de dicotiledôneas são o jacarandá, a laranjeira, o eucalipto, a goiabeira etc.

### Monocotiledôneas

O grupo das monocotiledôneas inclui bananeiras, palmeiras, bromélias, orquídeas, lírio e gramíneas. A família das gramíneas tem grande importância ecológica, evolutiva e econômica. Como exemplos, temos cana-de-açúcar, capim e cereais (arroz, milho, trigo, centeio, cevada e aveia).

No caso do milho, o grão é o fruto, o qual contém uma semente. A semente possui **dois tegumentos** (2n), um embrião (2n) e o endosperma (3n). O embrião tem um cotilédone, também conhecido como **escutelo** (Fig. 11).

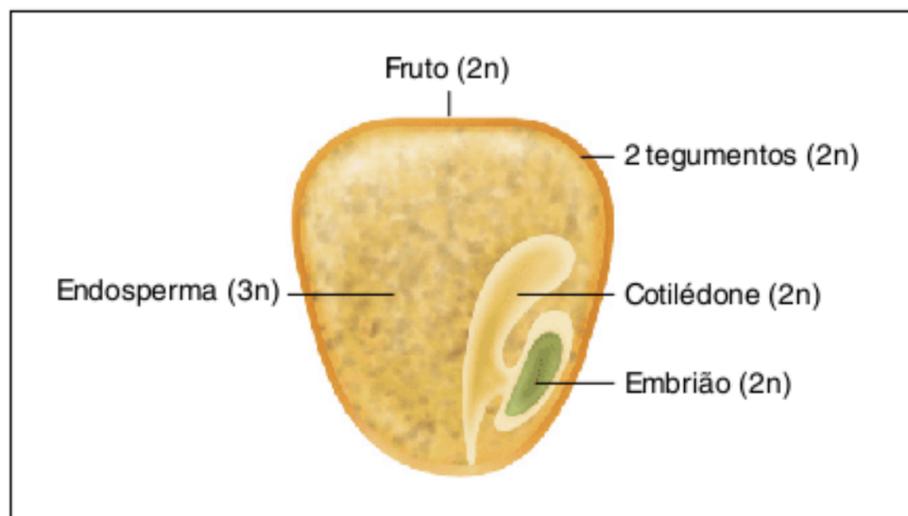


Fig. 11 O grão de milho corresponde a um fruto; a semente em seu interior tem dois tegumentos, endosperma e embrião com um cotilédone.

Com a germinação da semente de uma monocotiledônea, forma-se uma planta jovem, dotada de raízes, caule e folhas. A raiz principal degenera precocemente e são geradas muitas raízes a partir da base do caule; essas raízes depois ramificam-se. Não ocorre, portanto, uma raiz central, como se dá com as dicotiledôneas; assim, as monocotiledôneas têm um feixe de raízes que se ramificam, denominadas **raízes fasciculadas** ou **raízes em cabeleira**.

Os vasos condutores no caule têm uma distribuição irregular, isto é, os feixes liberolenhosos são difusos. As folhas são **paralelinérveas**, com nervuras dispostas lado a lado.

Algumas monocotiledôneas têm flores vistosas, como o lírio e as orquídeas; seus verticilos aparecem em múltiplos de três, ou seja, as flores são **trímeras** (Tab. 2).

### Polinização

Polinização é o transporte de pólen da antera para o estigma; depois da polinização ocorre a fecundação, resultando na formação das sementes. Em algumas espécies, ocorre **autopolinização**, isto é, o pólen atinge o estigma presente na mesma planta. Esse processo restringe a variabilidade genética da população. No entanto, a **polinização cruzada** é mais frequente; nesse tipo de polinização, o pólen de uma planta é transportado para o estigma de outra planta. A polinização cruzada contribui para o aumento da variabilidade genética da espécie (Fig. 12).

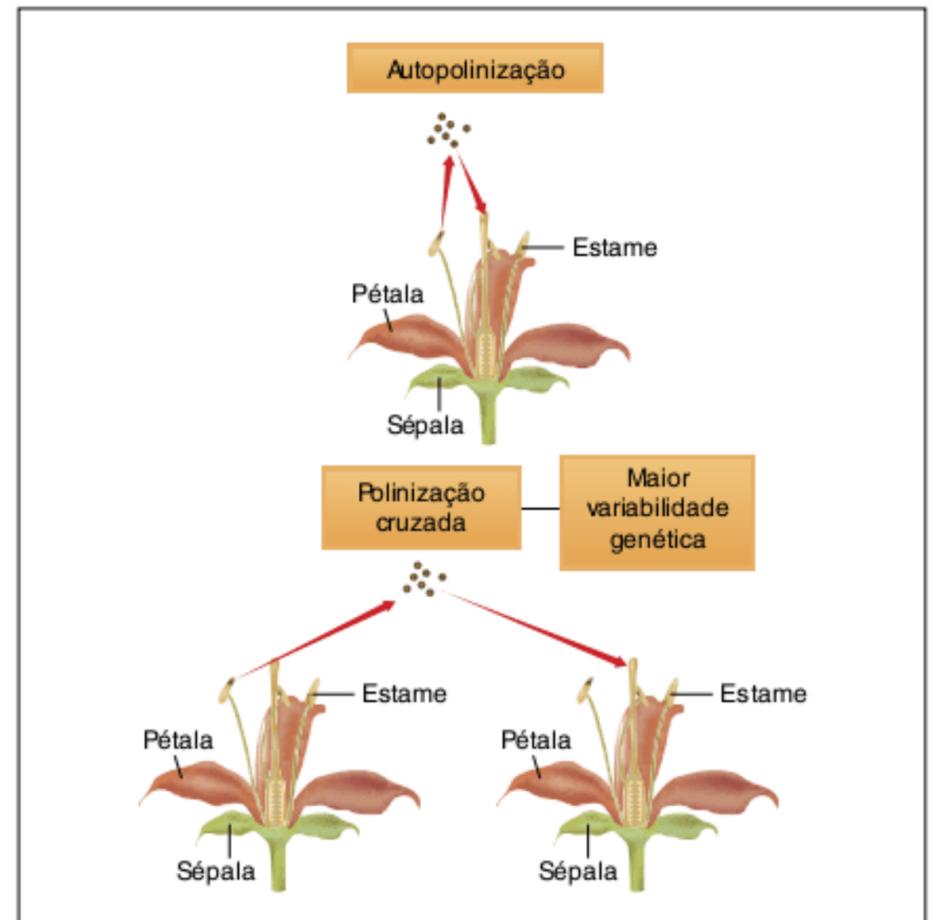


Fig. 12 Tipos gerais de polinização. Angiospermas podem apresentar autopolinização ou polinização cruzada.

Em muitas plantas com **flores monóclinas** (com estames e pistilos), a autopolinização é evitada com o amadurecimento em períodos distintos da parte masculina e da parte feminina; também ocorre uma diferença de altura (o pistilo costuma ser mais elevado) ou pode existir uma barreira entre estigma e pistilo (fenômeno conhecido como **herkogamia**).

A polinização natural em angiospermas pode ocorrer por agentes diferentes: vento (**anemofilia**), aves (**ornitofilia**), insetos (**entomofilia**) ou morcegos (**quiropterofilia**). Há vários tipos de insetos polinizadores, como abelhas, borboletas, mariposas e besouros. Uma espécie pode ser polinizada por um tipo próprio de polinizador; se uma flor é polinizada por morcego, não ocorre polinização por outro agente. No entanto, o ser humano pode executar polinização, transferindo pólen de uma flor a outra; é a chamada **polinização artificial** (Fig. 13).

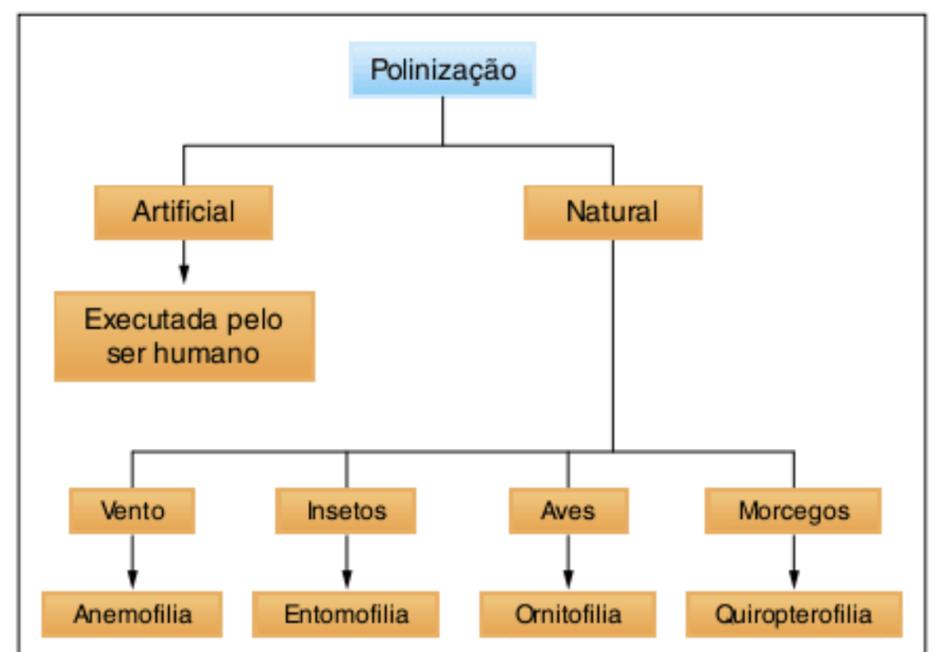


Fig. 13 Tipos de polinização (artificial e natural) de acordo com o agente polinizador.

As plantas apresentam adaptações relacionadas à polinização. A ação dos animais polinizadores geralmente está relacionada a elementos de atração, como cor vistosa e odor. Já alguns tipos de grão de pólen possuem projeções aladas que auxiliam na polinização pelo vento.

O inseto normalmente obtém uma recompensa pela visita à flor, como alimento, constituído por **néctar** (uma secreção líquida e açucarada) ou pólen comestível. Quando o animal deixa a flor, acaba levando, involuntariamente, pólen aderido ao corpo. Ao visitar outra flor, deixa cair pólen no estigma e a polinização se completa (Fig. 14).

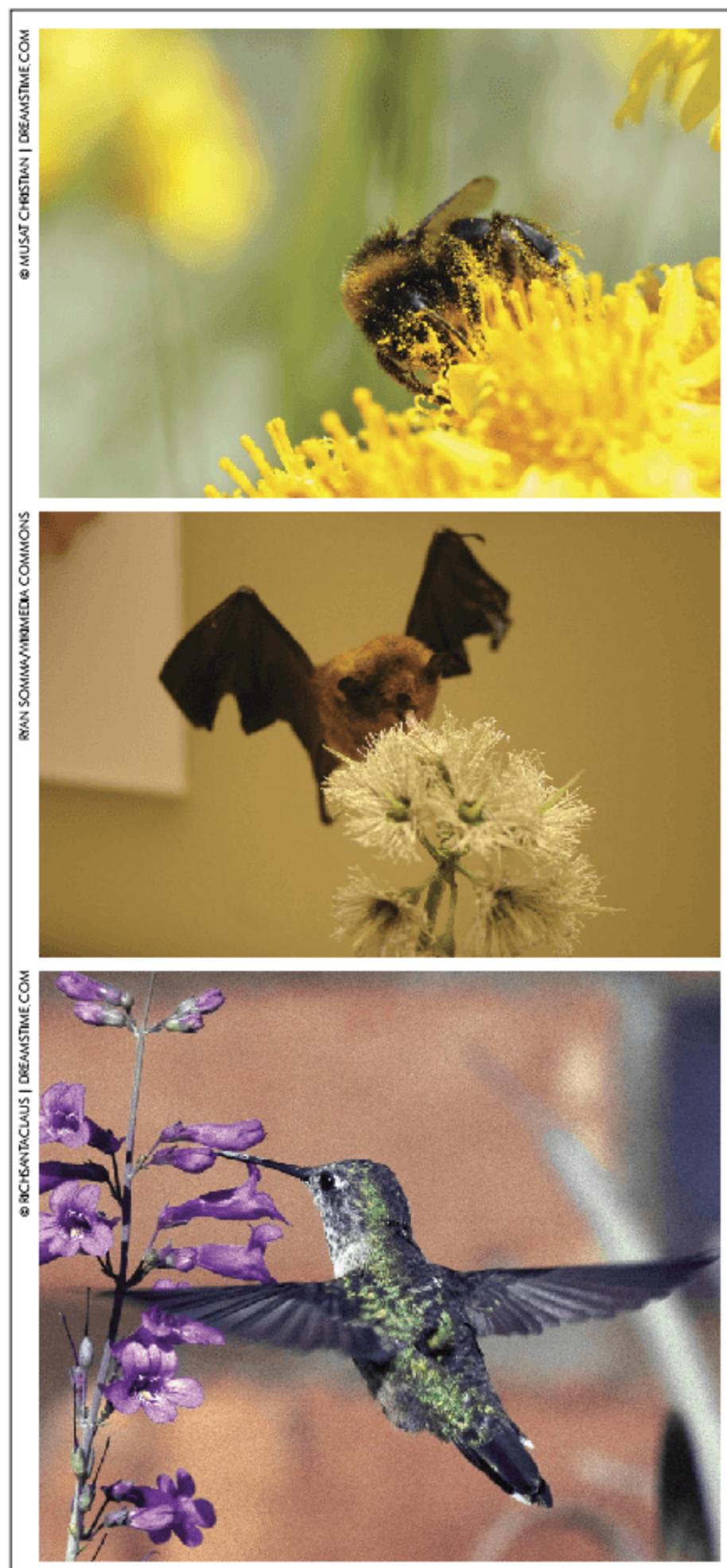


Fig. 14 A polinização natural pode ser efetuada por insetos, morcegos ou aves.

Há polinizadores noturnos, como alguns insetos e morcegos. As flores visitadas por esses animais têm cor clara e odor intenso. O alimento obtido pelos morcegos é o néctar (Fig. 14).

Flores polinizadas por aves, como o beija-flor, normalmente não têm odor e apresentam a corola vistosa, com as pétalas unidas, formando um tubo alongado. O néctar fica acessível aos animais dotados de bico longo. Durante a alimentação, a cabeça da ave toca os estames e fica impregnada com pólen; ao visitar outra flor, a ave deixa o pólen sobre o estigma (Fig. 14).

A polinização efetuada pelo vento ocorre em flores sem odor, desprovidas de pétalas vistosas e de néctar. O pólen tem aspecto de pó e é produzido em grande quantidade; o estigma dessas flores tem grande superfície (Tab. 3).

Tipo de polinização	Corola vistosa	Odor	Néctar	Pólen
Anemofilia	-	-	-	Tem o aspecto de pó e é abundante. Para sua captação, o estigma da flor é amplo, aumentando sua superfície.
Entomofilia	+	+	+	Pegajoso e produzido em pequena quantidade. Uma parte do pólen é comestível.
Ornitofilia	+	-	+	Pegajoso e produzido em pequena quantidade.
Quiropterofilia	+ (clara)	++ (intenso)	+	Pegajoso e produzido em pequena quantidade.

(+) indica presença; (-) indica ausência.

Tab. 3 Características das flores de acordo com o tipo de polinização.

## Fruto

Angiospermas apresentam características exclusivas: flor e fruto. Discutiremos neste tópico algumas características importantes do fruto.

### Conceito e classificação

O fruto corresponde ao ovário da flor desenvolvido. A semente resulta da fecundação e do desenvolvimento do embrião.

O fruto também é designado como **pericarpo**. No caso de um pêssego, o caroço (parte interna) é o **endocarpo**, que contém em seu interior a semente; a casca do fruto é o **epicarpo** e a porção suculenta é o **mesocarpo**. Na laranja, a casca é o epicarpo e o endocarpo corresponde à porção suculenta onde ficam imersas as sementes; o mesocarpo é toda a porção esbranquiçada sob a casca e também as faixas que dividem a laranja em gomos (mais separadas na tangerina) (Fig. 15).

Pêssego e laranja são frutos carnosos, com uma polpa suculenta. O pêssego é do tipo **drupa**, pois tem sementes no interior do caroço; a laranja é uma **baga**, com várias sementes soltas no interior da porção suculenta.

Frutos **secos** não são dotados de interior suculento, como a vagem das leguminosas e o carrapicho, que adere ao corpo de animais ou à roupa de uma pessoa (Fig. 16).

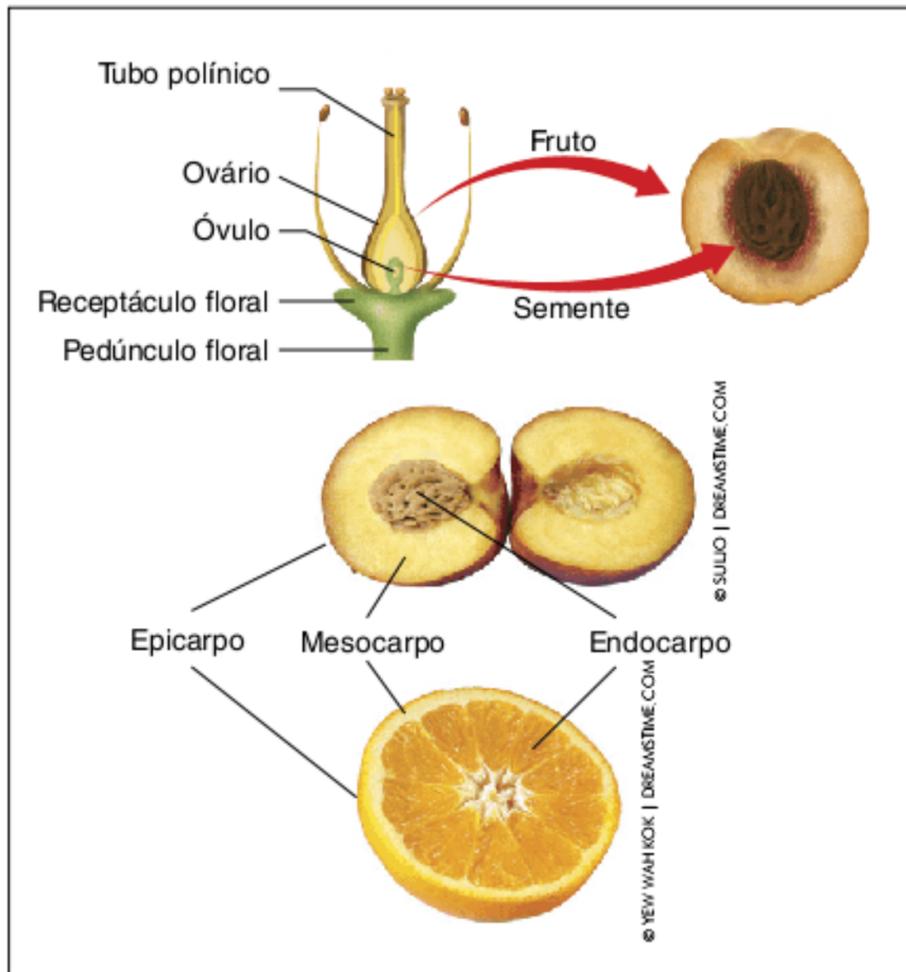


Fig. 15 O fruto (pericarpo) origina-se do desenvolvimento do ovário. O fruto apresenta epicarpo, endocarpo e mesocarpo. No pêssego, o endocarpo é o caroço, e na laranja, é a porção suculenta.

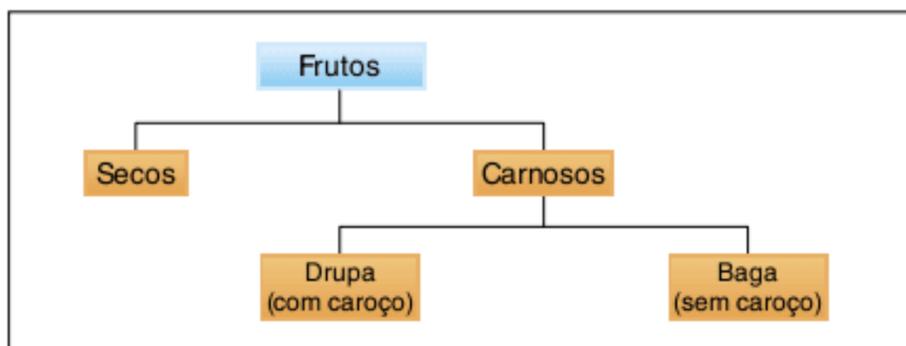


Fig. 16 Tipos principais de frutos: secos e carnosos.

### Funções do fruto

O fruto fica ao redor da semente e contribui para sua proteção e dispersão no ambiente. No caso do pêssego, é evidente a função protetora que o fruto exerce, pois o caroço (parte interna do fruto) funciona como uma muralha ao redor da semente.

O fruto também colabora enormemente na dispersão das sementes. A dispersão é fundamental para a espécie; se todas as sementes geradas por uma planta germinassem junto dela, as plantas-filhas teriam elevada competição intraespecífica, acarretando menor sobrevivência da descendência. O fruto dispersa a semente através de agentes como o vento, a água e os animais (Fig. 17).

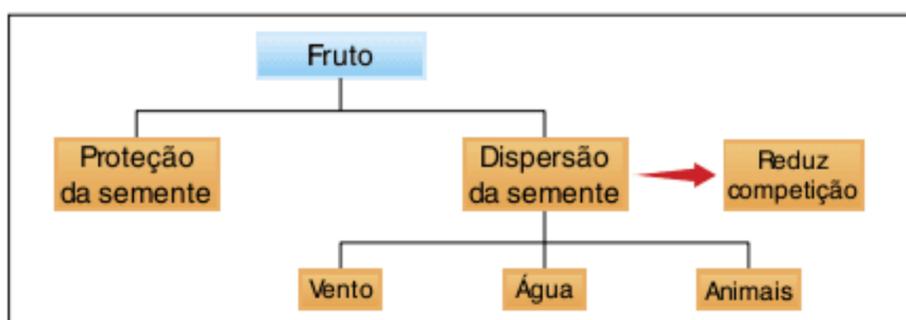


Fig. 17 O fruto protege a semente e contribui para a sua dispersão, processo que apresenta importantes vantagens para a espécie.

O dente-de-leão, por exemplo, forma uma estrutura globosa, constituída por inúmeros frutos alados, isto é, dotados de expansões que permitem sua propagação pelo vento. O coco-da-baía tem um fruto fibroso, envolvendo uma semente central, dotada de embrião; a água de coco e sua porção branca correspondem ao endosperma da semente. O fruto do coco pode ser transportado pela água e ser levado a um local bem distante de onde foi gerado.

Os animais podem dispersar sementes de duas maneiras: ingerindo o fruto e, com ele, as sementes, expelidas através das fezes, ou tendo o fruto aderido ao corpo, como o caso do picão ou do carrapicho (Fig. 18).



Fig. 18 A dispersão de sementes com a participação de frutos pode ocorrer pelo vento (dente-de-leão; imagem superior), por animais (picão, que se adere ao corpo; imagem inferior à esquerda) e pela água (coco-da-baía; imagem inferior à direita). Animais podem ingerir frutos que contêm sementes, as quais são eliminadas com as fezes.

Há casos relacionados a flores e frutos bem diferentes do padrão que descrevemos até aqui. A margarida, por exemplo, não constitui uma flor; ela é uma **inflorescência**, estrutura formada por muitas flores agrupadas em um mesmo ramo e que constitui, nesse caso, o disco central amarelo. O antúrio e o copo-de-leite também são exemplos de inflorescência (o tubo amarelo central).

Algumas inflorescências geram frutos que se mantêm muito próximos e acabam se fundindo, como é o caso do abacaxi e da framboesa. Esse aglomerado de frutos fundidos procedentes de inflorescência é denominado **infrutescência**, ou **fruto múltiplo**. Cada fruto é originado de uma flor diferente (Fig. 19).

O abacaxi é formado por frutos que não possuem sementes, ou frutos **partenocárpicos**. Também é o caso da banana e certas variedades de uva, limão e laranja, frutos sem semente. A planta da banana é um organismo triploide (3n) e não é capaz de efetuar meiose, indispensável na reprodução sexuada, através da qual são geradas as sementes (Fig. 20). Variedades de plantas partenocárpicas só apresentam reprodução assexuada, com baixa variabilidade genética.



Fig. 19 A margarida é constituída por pequenas flores bastante agrupadas; um exemplo de inflorescência. O abacaxi é formado por muitos frutos fundidos (infrutescência).



Fig. 20 A banana (um exemplo de fruto partenocárpico) não apresenta sementes; em seu interior há óvulos não fecundados.

Um **pseudofruto** é uma estrutura que tem a aparência de um fruto, mas sua origem não é a partir do ovário. Normalmente, os pseudofrutos resultam do desenvolvimento do pedúnculo floral (o caju, por exemplo) ou do receptáculo floral, como é o caso do morango, da maçã e da pera (Fig. 21).

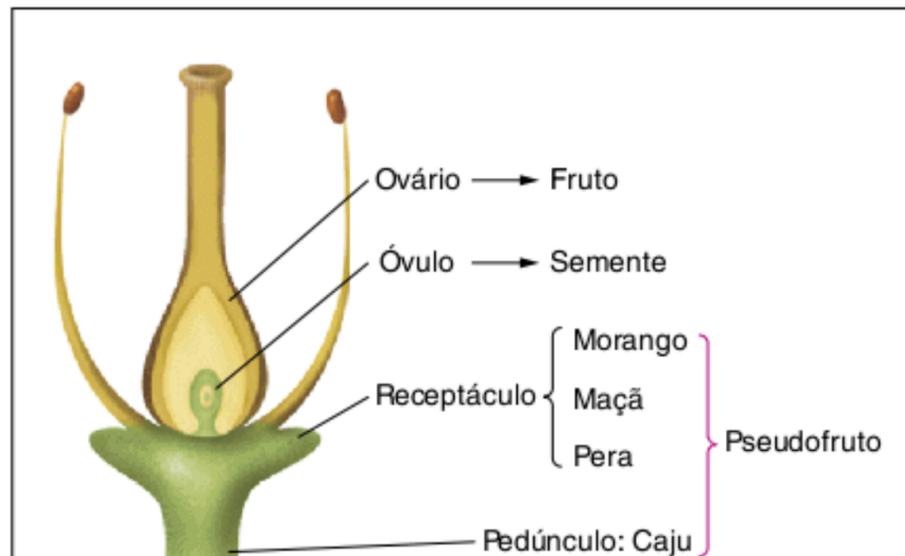


Fig. 21 Pseudofrutos são procedentes do desenvolvimento do pedúnculo floral ou do receptáculo floral.

O caju corresponde ao pseudofruto e a castanha ao fruto verdadeiro, em cujo interior fica a semente. No caso da maçã e da pera, a parte comestível é o pseudofruto, proveniente do receptáculo hipertrofiado da flor; o fruto verdadeiro fica no centro e contém várias sementes (Fig. 22).

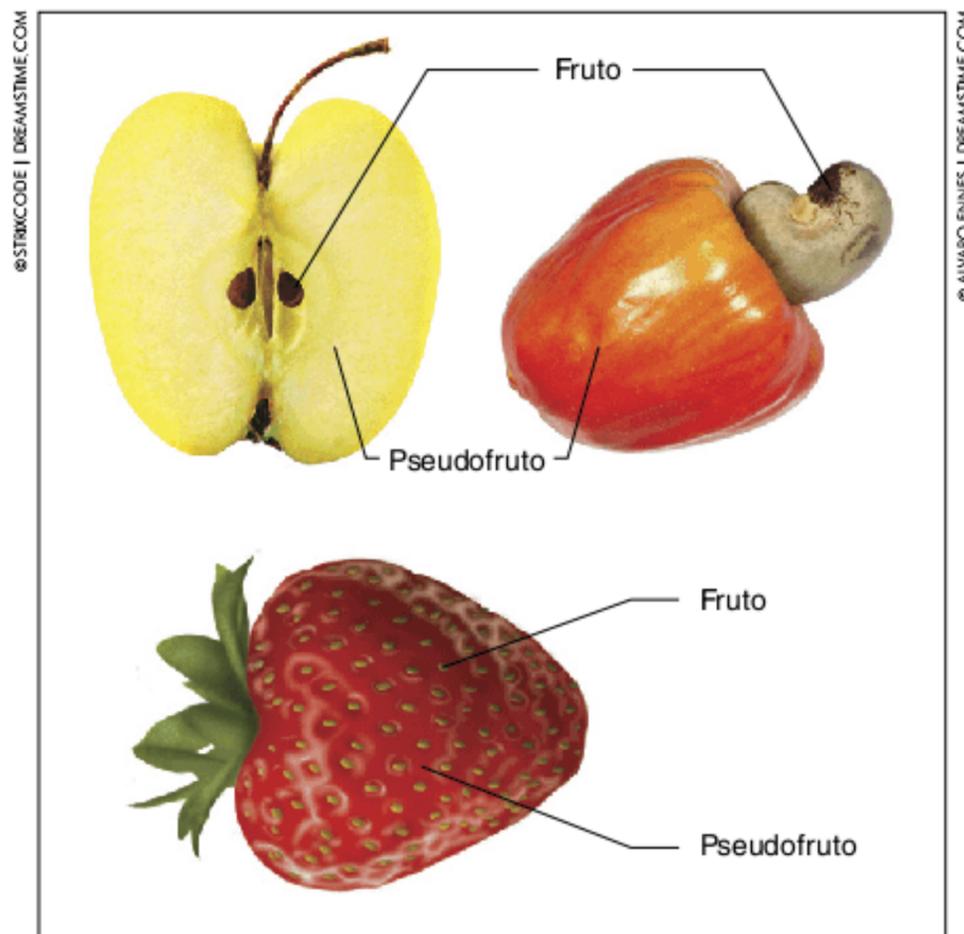


Fig. 22 Maçã, caju e morango são pseudofrutos. Os pontos escuros na superfície do morango são pequenos frutos.

O morango deriva de uma flor com vários pistilos dotada de receptáculo que apresenta uma elevação. Com a polinização seguida de fecundação, a flor do morango gera vários frutos pequenos, cada qual com uma semente. O receptáculo fica hipertrofiado e gera o pseudofruto comestível, com inúmeros frutos em sua superfície, denominado **fruto agregado**, crescendo de uma única flor.

## Revisando

**1** Cite as partes componentes de uma angiosperma.

---

---

---

---

---

---

---

---

**2** Quais as partes de uma angiosperma que derivam da flor?

---

---

---

---

---

---

---

---

**3** Qual é o significado do termo "angiosperma"?

---

---

---

---

---

---

---

---

**4** Cite duas características presentes em angiospermas e ausentes em gimnospermas.

---

---

---

---

---

---

---

---

**5** Cite dois sinônimos de angiospermas.

---

---

---

---

---

---

---

---

**6** Cite os quatro verticilos florais e indique seus componentes.

---

---

---

---

---

---

---

---

**7** Quais são as partes constituintes do estame e do pistilo?

---

---

---

---

---

---

---

---

**8** Qual é o tipo de fecundação das angiospermas?

---

---

---

---

**9** O que é semente?

---

---

---

---

**10** Defina fruto.

---

---

---

---

**11** O que diferencia flores monóclinas de flores díclinas?

---

---

---

---

**12** Angiospermas apresentam metagênese. Qual é o vegetal desenvolvido? Qual é o vegetal reduzido?

---

---

---

---

**13** Onde ocorre a produção dos micrósporos e dos megásporos nas angiospermas?

---

---

---

---

**14** Como é denominado o gametófito masculino jovem?

---

---

---

---

**15** Quais são os dois principais componentes do óvulo maduro?

---

---

---

---

**16** Como é denominada a célula central, próxima da abertura do óvulo?

---

---

---

---

---

**17** Como são denominados os núcleos da região central do saco embrionário?

---

---

---

---

---

**18** Quais são as estruturas correspondentes aos gametas masculinos nas angiospermas?

---

---

---

---

---

**19** Cite as estruturas componentes de uma semente de angiosperma e indique sua composição cromossômica.

---

---

---

---

---

**20** Qual é a origem do endosperma da semente das angiospermas?

---

---

---

---

---

**21** Em relação às gimnospermas e às angiospermas, identifique em qual grupo ocorre dupla fecundação e em qual grupo se dá fecundação simples.

---

---

---

---

---

**22** O que é cotilédone?

---

---

---

---

---

**23** As angiospermas podem ter quantos cotilédones? Como é a denominação específica para cada caso?

---

---

---

---

---

**24** Nas angiospermas sem endospermas, onde se localizam as reservas? Dê exemplos.

---

---

---

---

---

**25** Cite uma família de monocotiledôneas. Exemplifique com uma planta.

---

---

---

---

---

**26** Cite uma família das dicotiledôneas. Exemplifique com uma planta.

---

---

---

---

---

**27** Caracterize as monocotiledôneas quanto à raiz, à disposição de vasos no caule, às folhas e às flores.

---

---

---

---

---

**28** Caracterize as dicotiledôneas em relação à raiz, à disposição de vasos no caule, às folhas e às flores.

---

---

---

---

---

**29** Cite os quatro principais agentes de polinização em angiospermas e indique sua denominação.

---

---

---

---

---

**30** Compare a polinização feita pelo vento com a polinização executada por animais em relação à abundância de pólen e seu aspecto.

---

---

---

---

---

**31** Quais são os possíveis alimentos obtidos por um polinizador? Quais são os elementos de atração?

---

---

---

---

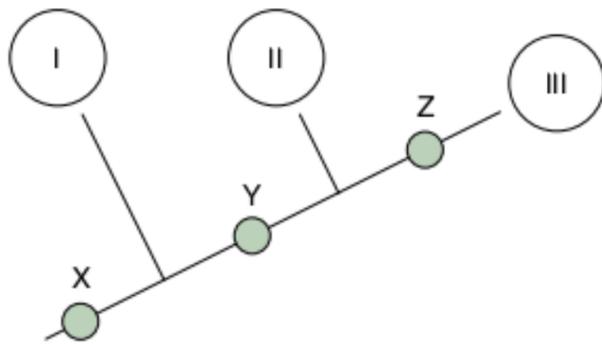
---

## Exercícios propostos

**1 Fuvest 2006** As angiospermas se distinguem de todas as outras plantas pelo fato de apresentarem:

- (a) alternância de geração haploide e diploide.
- (b) estômatos nas folhas.
- (c) flores.
- (d) sementes.
- (e) vasos condutores de seiva.

**2 PUC-MG** Observe a figura a seguir, que trata da provável filogenia para os vegetais.



Correspondendo X à presença de fases gametofíticas e plastos, Y à presença de vasos condutores e Z à presença de sementes, é correto afirmar que I, II e III correspondem, respectivamente, a:

- (a) pteridófitas, gimnospermas e angiospermas.
- (b) angiospermas, gimnospermas e pteridófitas.
- (c) briófitas, gimnospermas e angiospermas.
- (d) briófitas, pteridófitas e fanerógamas.
- (e) fungos, briófitas e pteridófitas.

**3 PUC-PR 2005** Considere o seguinte conjunto de características dos vegetais.

- |                      |               |
|----------------------|---------------|
| I. Feixes condutores | III. Sementes |
| II. Frutos           | IV. Flores    |

Assinale a opção que representa o grupo vegetal que reúne esses caracteres.

- (a) Líquens. (c) Pteridófitas. (e) Briófitas.
- (b) Gimnospermas. (d) Angiospermas.

**4 UFSM** Uma flor com perianto e díclina (unissexual feminina) apresenta:

- (a) cálice, corola e androceu. (d) cálice e androceu apenas.
- (b) corola e gineceu apenas. (e) corola e androceu apenas.
- (c) cálice, corola e gineceu.

**5 UFSM** O fitoterápico laxtol apresenta, em sua composição:

- |                         |                       |
|-------------------------|-----------------------|
| 1. pó de folhas de sene | 4. semente de coentro |
| 2. semente de cássia    | 5. fruto de alcaçuz   |
| 3. fruto de tamarindo   |                       |

Dentre os componentes citados, quais apresentam característica(s) exclusiva(s) das angiospermas?

- (a) Apenas 3 e 5. (d) Apenas 1, 3 e 5.
- (b) Apenas 2 e 4. (e) 1, 2, 3, 4 e 5.
- (c) Apenas 1, 2 e 4.

**6 PUC-RS 2003** Se as plantas angiospermas evoluíram a partir de gimnospermas ancestrais apenas no início do período Cretáceo, há aproximadamente 144 milhões de anos, então, os dinossauros dos períodos Triássico e Jurássico não poderiam ter apresentado hábito alimentar:

- (a) frugívoro. (d) onívoro.
- (b) carnívoro. (e) detritívoro.
- (c) coprófago.

**7 Udesc 2009** As angiospermas constituem um grande grupo de plantas, cujas características são:

- (a) presença de flores que podem ser hermafroditas, ou masculinas, ou femininas.
- (b) presença de estróbilos femininos e estróbilos masculinos, sem formação de flores.
- (c) produção de sementes sem proteção de um fruto.
- (d) reprodução dependente da água para a fertilização e flores exclusivamente monoicas.
- (e) alternância de gerações e fase esporofítica haploide.

**8 CFTMG 2005** Associe os grupos de plantas às suas respectivas características.

### GRUPO DE PLANTAS

1. Angiospermas
2. Briófitas
3. Gimnospermas
4. Pteridófitas

### CARACTERÍSTICAS

- endosperma haploide
- endosperma triploide
- avasculares
- primeiros vegetais vasculares
- assifonógama vascular

A sequência correta é:

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

**9 UFRS 2004** Indique a alternativa que preenche corretamente as lacunas do parágrafo a seguir, na ordem em que elas aparecem.

Nas angiospermas, a parte interna da semente é formada pelo embrião e pelo endosperma secundário. Este último é um tecido de reserva que se origina da união de \_\_\_\_\_ núcleo(s) polar(es) do óvulo, com \_\_\_\_\_ núcleo(s) espermático(s) do grão de pólen, constituindo-se em um exemplo de tecido \_\_\_\_\_

- (a) um – um – diploide
- (b) dois – um – triploide
- (c) dois – nenhum – diploide
- (d) dois – dois – tetraploide
- (e) um – nenhum – haploide

**10 PUC-MG 2006** As angiospermas representam o extremo atual de uma tendência evolutiva que passa pelas traqueófitas: geração esporofítica desenvolvida e gametofítica reduzida. São características exclusivas das angiospermas, exceto:

- (a) dupla fecundação.
- (b) endosperma triploide.
- (c) produção de sementes.
- (d) presença de ovários e frutos.

**11 UFRS 2006** Assinale com V (verdadeiro) ou F (falso) as afirmações que seguem, referentes às angiospermas.

- Seus óvulos e sementes estão contidos em um carpelo.
- Elas apresentam um endosperma diploide.
- Elas apresentam dupla fertilização.
- Sua geração predominante é gametofítica.
- Elas são dioicas ou monoicas.

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

- (a) V – F – V – F – V.
- (b) F – V – F – F – V.
- (c) V – V – F – V – F.
- (d) F – F – V – V – F.
- (e) V – V – F – V – V.

**12 CFTMG 2005** Associe as classificações das plantas com suas respectivas espécies.

**CLASSIFICAÇÕES**

- |                  |                    |
|------------------|--------------------|
| 1. dicotiledônea | 3. monocotiledônea |
| 2. gimnosperma   | 4. pteridófita     |

**ESPÉCIES**

- samambaia
- pinheiro
- feijão
- cana-de-açúcar
- Ginkgo biloba*

A sequência correta é:

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

**13 PUC-MG 2005** As figuras mostram representantes de dois grupos distintos das angiospermas.

Morfologicamente, porém, algumas estruturas podem apresentar diferenças nesses dois grupos.



Nas quatro estruturas representadas: raiz, caule, folha e flor, há diferenças morfológicas internas ou externas, para a identificação desses dois grupos, em:

- (a) todas elas.
- (b) três delas apenas.
- (c) duas delas apenas.
- (d) uma delas apenas.

**14 UFRRJ** Considere os vegetais:

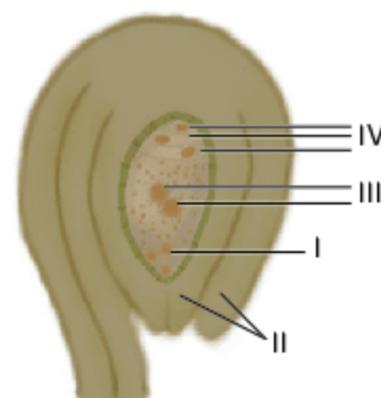
- I. *Solanum lycopersicum* (tomate)
- II. *Phaseolus vulgaris* (feijão)
- III. *Solanum tuberosum* (batata)
- IV. *Zea mays* (milho)
- V. *Oryza sativa* (arroz)

Levando em conta as regras de nomenclatura e considerando a existência de duas espécies de monocotiledôneas entre os vegetais mencionados, é correto afirmar, em relação ao grupo de espécies vegetais acima, que:

- (a) apresentam apenas três gêneros.
- (b) apresentam três plantas com nervuras paralelas.
- (c) apresentam três plantas com sistema radicular fasciculado.
- (d) apresentam pelo menos dois reinos.
- (e) apresentam três plantas com sistema radicular pivotante.

**15 Puccamp 2004** O amendoim é uma planta originária da América do Sul. Sua importância econômica está relacionada ao fato de as sementes possuírem sabor agradável e serem ricas em óleo, proteínas, carboidratos, sais minerais e vitaminas. Os ácidos graxos insaturados presentes no amendoim ainda servem de veículo de transporte para a vitamina E, pois esta é lipossolúvel.

O esquema a seguir mostra a estrutura de um óvulo de angiosperma, grupo ao qual pertence o amendoim.



O embrião da semente origina-se a partir de:

- (a) I, somente.
- (b) I e III, somente.
- (c) III e IV, somente.
- (d) I, III e IV, somente.
- (e) I, II, III e IV.

**16 UFSM 2003** Notícia de algum jornal do futuro...

*Inicia a Campanha Nacional de Vacinação contra sarampo e tuberculose*

O destaque da campanha de vacinação, neste ano, é a utilização de cerejas coloridas, sem sementes. Segundo a bióloga Josefa da Silva, responsável pela equipe que desenvolveu os novos frutos, técnicas especiais de cruzamento foram aplicadas em dois tipos de cerejeiras transgênicas, resultando na obtenção de plantas triploides ( $3n = 72$ ), incapazes de produzir sementes. Apesar de passar por todas as etapas do ciclo

reprodutivo, não há a formação de endosperma, e o processo cessa nas primeiras divisões celulares do zigoto. As novas cores (amarela, verde, roxa e branca) haviam sido obtidas, anteriormente, por mutação no gene responsável pela produção de pigmento na casca do fruto. As formas mutantes para esse loco, diz a pesquisadora, não interferem na eficiência das plantas transgênicas como produtoras de vacinas. Elas continuam apresentando, nos frutos, as substâncias que, depois de liberadas pela digestão, ligam-se à membrana plasmática dos linfócitos e sofrem endocitose, determinando o desenvolvimento da resposta imunológica.

Outra inovação dessas cerejas é a resistência às moscas *Anastrepha fraterculus* que, nos últimos anos, estabeleceram-se como pragas importantes do cultivo de cerejas-vacina. Da mesma forma, as plantas apresentam resistência aos nematoides que atacavam a raiz principal do sistema axial desses vegetais. Com o cultivo das novas variedades de cerejas resistentes, espera-se que essas pragas mantenham-se afastadas dos pomares de vacinas por algum tempo.

Se o texto tivesse um caráter mais científico, a expressão “pigmento na casca do fruto” poderia ser substituída por “pigmento no(a) .....”, numa referência à camada de revestimento mais externa desse órgão vegetal.

Assinale a alternativa que completa corretamente a lacuna.

- (a)  Mesocarpo
- (b)  Periderme
- (c)  Periderme
- (d)  Pericarpo
- (e)  Epicarpo

**17 UFMG 2005 (Adapt.)** A cana-de-açúcar foi introduzida no Brasil pelos portugueses, no início da colonização, e sua exploração constitui um importante setor da economia do país.

É incorreto afirmar que a cana-de-açúcar:

- (a) reproduz vegetativamente, por meio do caule.
- (b) é, filogeneticamente, relacionada com o milho e o arroz.
- (c) produz flores vistosas polinizadas por pássaros.
- (d) é utilizada para a fabricação de álcool.

**18 UEL** A banana não tem sementes porque na realidade:

- (a) é um pseudofruto, ou seja, não é um fruto verdadeiro.
- (b) é um fruto múltiplo, que não foi polinizado.
- (c) é um fruto carnoso, partenocárpico.
- (d) é um fruto do tipo drupa.
- (e) a banana não é um fruto.

**19 UFPE 2005** Um fruto verdadeiro é originado do desenvolvimento de um ovário, enquanto um pseudofruto tem origem a partir do desenvolvimento de outras partes da flor e não do ovário. Assinale a alternativa que indica apenas frutos verdadeiros.

- (a) Abacaxi, ameixa e pêssego.
- (b) Morango, uva e tomate.
- (c) Caju, laranja e mamão.
- (d) Maçã, trigo e milho.
- (e) Melancia, mamão e feijão.

**20 Unicamp 2010** Atualmente, o Brasil está na corrida pela segunda geração do etanol, o álcool combustível, produzido a partir da cana-de-açúcar, tanto do caldo, rico em sacarose, quanto do bagaço, rico em celulose. O processo para a produção do etanol é denominado fermentação alcoólica.

- a) Qual dos dois substratos, caldo ou bagaço da cana, possibilita produção mais rápida de álcool? Por quê?
- b) O milho é outra monocotiledônea que também pode ser usada na produção de álcool. Cite duas características das monocotiledôneas que as diferenciem das dicotiledôneas, atualmente denominadas eudicotiledôneas.

**21 Enem 2010** Os frutos são exclusivos das angiospermas, e a dispersão das sementes dessas plantas é muito importante para garantir seu sucesso reprodutivo, pois permite a conquista de novos territórios. A dispersão é favorecida por certas características dos frutos (ex.: cores fortes e vibrantes, gosto e odor agradáveis, polpa suculenta) e das sementes (ex.: presença de ganchos e outras estruturas fixadoras que se aderem às penas e aos pelos de animais, tamanho reduzido, leveza e presença de expansões semelhantes a asas). Nas matas brasileiras, os animais da fauna silvestre têm uma importante contribuição na dispersão de sementes e, portanto, na manutenção da diversidade da flora.

A. Chiaradia. *Minimanual de pesquisa*: Biologia. Jun. 2004. (Adapt.).

Das características de frutos e sementes apresentadas, quais estão diretamente associadas a um mecanismo de atração de aves e mamíferos?

- (a) Ganchos que permitem a adesão a pelos e penas.
- (b) Expansões semelhantes a asas que favorecem a flutuação.
- (c) Estruturas fixadoras que se aderem às asas das aves.
- (d) Frutos com polpa suculenta que fornecem energia aos dispersores.
- (e) Leveza e tamanho reduzido das sementes, que favorecem a flutuação.

## Coleções incompletas

Chocante! O termo é usado por George Shepherd, do Departamento de Botânica do Instituto de Biociências da Universidade Estadual de Campinas (Unicamp), para fazer referência ao fato de que o Brasil não conhece o número de espécies vegetais que possui.

“Qualquer número usado é praticamente uma questão de chute”, explica o pesquisador. Apesar de Shepherd estimar que devam existir no país entre 45 mil e 50 mil espécies de plantas, alguns estudos falam em 35 mil e outros em até 75 mil. Ou seja, as variações são consideráveis.

“Temos ainda uma profunda ignorância sobre a nossa flora, apesar de a situação ter melhorado nos últimos anos”, afirma o experiente botânico, para quem a questão tem mais a ver com a quantidade do que com a qualidade dos taxonomistas. [...]

Em estudo preparado em 2003 para o Ministério do Meio Ambiente, sobre a biodiversidade brasileira em relação às plantas terrestres, o pesquisador da Unicamp procurou mapear o conhecimento atual – e o desejado – da flora nacional.

Os números foram apresentados para os quatro grandes grupos vegetais: briófitas, pteridófitas, gimnospermas e angiospermas. No caso dos grupos dos pinheiros (gimnospermas), a situação, segundo Shepherd, está sob controle, pois existem apenas entre 14 e 16 espécies dessa categoria taxonômica no Brasil, todas já conhecidas.

“Nos três grupos restantes, o cenário é outro: há poucos pesquisadores para muito desconhecimento”, diz. No caso das plantas com flores (angiospermas), o Brasil tem quase 50 mil espécies, o que representa de 16% a 20% do total mundial. “E temos apenas cerca de 200 sistematas [pesquisadores que estudam os grupos, no caso, vegetais] voltados para esse grupo”. Apesar do pequeno número, é a categoria taxonômica mais estudada no país.

Entre as briófitas e as pteridófitas, a situação é ainda pior. No primeiro caso, as espécies delicadas e pequenas desse grupo somam menos de 3 mil. As pteridófitas, que preferem ambientes úmidos como a mata Atlântica e a floresta Amazônica, estão em torno de 1,4 mil espécies.

## Beleza e curiosidades das orquídeas

### Polinizações exóticas e risco de extinção

Orquídeas apresentam reprodução sexuada, com propagações vegetativas ocorrendo de maneira muito rara na natureza. Seus frutos são em forma de cápsulas, capazes de armazenar milhões de sementes cada um. Tal abundância de sementes consiste em uma estratégia de sobrevivência da orquídea, pois as sementes não possuem reservas (endospermas), e com maior número há maior probabilidade de algumas delas germinarem – o que só ocorre quando encontram ambientes com condições favoráveis.

A dispersão de sementes desse grupo só não é mais complexa que os mecanismos de polinização, que faz das orquídeas uma das plantas mais sofisticadas do reino das plantas. Elas possuem um

Segundo Shepherd, o número de pesquisadores exclusivamente dedicados a essas pequenas plantas não ultrapassa os dez. “Nos últimos anos foram publicados, pelo Jardim Botânico de Nova York, dois importantes livros sobre as briófitas brasileiras”, lembra o botânico da Unicamp. No Brasil, não foram produzidos trabalhos com a mesma importância no período.

### Colaboração internacional

Além da falta de especialistas em plantas brasileiras, aqueles que estudam precisam vencer uma série de obstáculos logísticos. Um deles é o fato de que as principais coleções antigas sobre a fauna brasileira estão no exterior, principalmente na Europa e, em alguns casos, nos Estados Unidos.

“Isso realmente ocorre. Nos últimos tempos, algumas instituições colocaram os desenhos de plantas na internet, para consulta *on-line*. Isso ajuda muito, apesar de não resolver por completo o problema dos que precisam estudar com detalhe as chamadas espécies tipos [usadas na descrição inicial daquela espécie]”, explica Shepherd.

Para o pesquisador, escocês radicado no Brasil, a cooperação com outros países é a saída para que esse obstáculo geográfico possa ser transposto. “Os herbários internacionais estão cada vez menos emprestando material antigo, mas por terem medo de que se percam por completo, não porque não querem auxiliar ou divulgar a informação”, diz.

Como forma de solucionar as lacunas do conhecimento científico no campo da botânica, Shepherd conclama para que seja feito um grande esforço para aquilo que realmente importe para o Brasil e para os demais países da América do Sul, que também apresentam floras semelhantes à brasileira.

“Não tem como falar em preservação antes de se conhecer o que se vai preservar. E, além disso, precisamos fazer um grande esforço para que as nossas coleções, em termos nacionais, sejam cada vez menos deficientes”, afirma Shepherd.

Eduardo Geraque. Agência FAPESP, 21 fev. 2006.  
Disponível em: <[www.agencia.fapesp.br/5100](http://www.agencia.fapesp.br/5100)>.

órgão reprodutivo único, com estame e pistilo fundidos na mesma coluna: são hermafroditas. Mesmo com os dois sexos presentes na mesma flor, a polinização só é possível com ajuda da fauna. A polinização de orquídeas é feita por grande parte dos grupos de insetos (borboletas, besouros, mariposas, abelhas, moscas), algumas aves (como beija-flores) e também mamíferos (como os morcegos), o que resulta em importantes relações interespecíficas das plantas com a fauna.

Podem ser citados exemplos clássicos de interação que ilustram a importância de ambientes equilibrados para a reprodução das orquídeas. Um deles é a interdependência de castanheiras e

de um tipo de orquídea (*Cattleya* sp.) com a reprodução da abelha que é polinizadora das duas espécies. O macho das abelhas, que não produz feromônios (odores), visita as flores da orquídea, buscando perfume delas para chamar a atenção da parceira e se reproduzir. O desmatamento impossibilita a sobrevivência da orquídea, o que conseqüentemente resulta no fim da abelha e também na queda de produção de castanhas.

Outro bom exemplo é o das orquídeas terrestres *Ophrys* spp., do Mediterrâneo. As flores dessas espécies imitam com perfeição a fêmea dos insetos que as polinizam. A morfologia das flores é diferente para cada espécie e cada uma libera um odor semelhante à fêmea do inseto, o que engana o macho. Ele copula com a flor e assim transfere o pólen para outras flores, completando a fecundação.

No Brasil, muitos pesquisadores estudam as particularidades da polinização que ocorre nas orquídeas nativas, e

salientam que muitas espécies únicas estão em vias de ir à extinção. O desmatamento é a causa principal, pois impede a proliferação e a germinação de novos indivíduos, mas a coleta predatória coloca ainda mais espécies na lista de extinção. O problema consiste no fato de que “orquidófilos” sempre buscam novas variedades e espécies com características únicas. Normalmente são espécies raras ou mesmo plantas que expressam mutações gênicas que as tornam diferentes. A retirada desses indivíduos da população diminui a variabilidade genética das populações. Os cultivadores se defendem, argumentando que colaboram para a conservação das espécies, pois mantêm seu cultivo de maneira controlada. A conscientização real surgiu apenas nos últimos 10 anos, salientando que há a necessidade de reproduzir novas plantas, mas sem retirá-las da natureza. Mas o fato é que a pressão ainda está longe de acabar, especialmente no caso das espécies de bela floração.



*Cattleya alajorii*.



*Ophrys cretica*



*Ophrys lunulata zingaro*.



*Ophrys scolopax*.



*Ophrys royanensis*.

## RESUMINDO

Angiospermas possuem raiz, caule, folhas, flores, frutos e sementes. A flor dá origem a fruto e sementes. Gimnospermas não possuem flor nem fruto. As angiospermas são também denominadas antófitas, ou magnoliófitas.

Uma flor típica tem 4 verticilos: cálice, corola, androceu e gineceu. O cálice é formado por sépalas e a corola é constituída por pétalas. O androceu possui estames; o gineceu é formado por pistilos (carpelos). Um estame tem filete e antera, a qual produz grãos de pólen. Um pistilo tem estigma, estilete e ovário; dentro do ovário, há o óvulo. O transporte de pólen é conhecido por polinização. A fecundação é do tipo sifonogâmica e envolve o crescimento do tubo polínico. Semente é o óvulo fecundado e desenvolvido.

As flores podem ser monóclinas, com pistilos e estames na mesma flor, ou díclinas, que têm pistilo ou têm estames.

As angiospermas formam esporos por meiose. Os microsporângios são os sacos polínicos situados dentro da antera e produzem micrósporos. O óvulo imaturo é o megasporângio, que forma o megásporo.

O micrósporo sofre mitose e origina o grão de pólen (gametófito masculino jovem). O megásporo sofre mitose e gera o gametófito feminino, ou saco embrionário, dotado de uma oosfera e dois núcleos polares. O óvulo maduro tem dois tegumentos ( $2n$ ) e um saco embrionário.

O grão de pólen desenvolve-se, formando o tubo polínico; possui um núcleo vegetativo e dois núcleos gaméticos, ou espermáticos. Não há anterozoides; os núcleos gaméticos correspondem aos gametas masculinos.

Angiospermas têm dupla fecundação. Um núcleo gamético une-se à oosfera, formando o zigoto, que se desenvolve no embrião. Outro núcleo gamético une-se aos dois núcleos polares; forma-se uma célula triploide, que origina o endosperma ( $3n$ ).

A semente de uma angiosperma tem endosperma ( $3n$ ), também chamado de albume, dois tegumentos ( $2n$ ) e um embrião ( $2n$ ).

Cotilédone é uma folha que pode disponibilizar nutrientes ao embrião. Monocotiledôneas têm um cotilédone, e dicotiledôneas dois cotilédones. Algumas sementes de dicotiledôneas não têm endosperma e as reservas ficam nos cotilédones; é o caso do feijão e da ervilha.

Atualmente as angiospermas são classificadas em três grupos: monocotiledôneas, dicotiledôneas basais e eudicotiledôneas.

Tradicionalmente, as angiospermas são divididas em duas grandes classes: monocotiledôneas e dicotiledôneas.

Monocotiledôneas incluem bananeira, orquídea, lírio, palmeira e a família das gramíneas (cana-de-açúcar e cereais). Tipicamente têm raiz fasciculada, caule dotado de vasos com disposição difusa, folhas paralelinérveas e flores trímeras.

Dicotiledôneas incluem eucalipto, goiabeira, laranjeira e a família das leguminosas (como feijão, soja e ervilha). Apresentam raiz axial (ou pivotante), caule dotado de vasos com disposição regular, folhas reticulínérveas e flores pentâmeras ou tetrâmeras.

Polinização é o transporte de pólen da antera até o estigma. Pode ser feita com a ajuda do ser humano (polinização artificial) ou pode ocorrer sem sua participação (polinização natural). Há polinização cruzada e autopolinização (esta propicia menor variabilidade genética). A polinização cruzada pode ser feita, por exemplo, por vento (anemofilia), insetos (entomofilia), aves (ornitofilia) ou morcegos (quiropterofilia). Na polinização feita pelo vento, o pólen é seco e abundante; o estigma tem grande superfície e as flores não têm odor, néctar nem cor vistosa. Na polinização efetuada por animais, o pólen é aderente e produzido em menor quantidade; há elementos de atração (cor/odor) e a flor normalmente possui algum alimento utilizado pelo visitante (néctar/pólen comestível). Flores polinizadas à noite geralmente têm cor clara e odor intenso.

O fruto é o ovário desenvolvido; também é denominado pericarpo, sendo dividido em epicarpo, mesocarpo e endocarpo. No pêssego, o endocarpo corresponde ao caroço, em cujo interior encontram-se sementes. Os frutos podem ser secos ou carnosos.

As principais funções do fruto são a proteção e a dispersão da semente. A dispersão das sementes, com a participação dos frutos, pode ser efetuada pelo vento, pela água ou pelos animais. Ela diminui a competição intraespecífica, elevando a chance de sobrevivência dos descendentes.

Inflorescência é um conjunto de flores agrupadas e infrutescência é um conjunto de frutos agrupados; uma infrutescência é proveniente de uma inflorescência. Fruto partenocárpico não possui sementes; seu desenvolvimento ocorre sem que tenha havido fecundação de óvulos. Pseudofrutos são provenientes do desenvolvimento do pedúnculo floral ou do receptáculo floral.

## ■ QUER SABER MAIS?



### SITES

- Reportagem sobre o maior cajueiro do mundo, localizado em Pamamirim (RN) e considerado patrimônio histórico e ambiental. Ele está sendo alvo de polêmicas em função da vizinhança que sugere a poda de seus galhos. <http://jfluz.blogspot.com/2011/01/cajueiro-gigante-e-centro-de-polemica.html>
- Concorrente do maior cajueiro do mundo entra em disputa para tornar-se o maior do Brasil. Ele foi descoberto em Cajueiro da Praia (PI). [www.cidadeverde.com/alcide/alcide\\_txt.php?id=23574](http://www.cidadeverde.com/alcide/alcide_txt.php?id=23574)

## Exercícios complementares

**1 UFSM 2007** A ciência e a tecnologia têm contribuído na busca de novas alternativas para o combate à diabetes tipo 2, associada ao sedentarismo e à obesidade. Veja alguns avanços na área:

- insulina inalada;
- obtenção da exenatida, composto sintetizado a partir da saliva do "Monstro-de-Gila";
- uso da genipina, proteína extraída da gardênia.

Isto É, jun. 2006. p. 77. (Adapt.).

Na figura, está representado um ramo de gardênia fértil.



Assinale verdadeira (V) ou falsa (F) nas afirmativas a seguir.

- Pelos elementos representados no desenho, não se pode afirmar que a gardênia é uma angiosperma.
- As sépalas representadas caracterizam um dos verticilos de proteção.
- Em um dos verticilos reprodutivos, mais especificamente o gineceu, origina-se o fruto representado na figura.
- O tipo de nervação e o número de peças florais do verticilo representado são características das monocotiledôneas.

A sequência correta é:

- (a) V – F – F – V.    (c) V – F – V – V.    (e) F – V – V – F.  
 (b) V – V – F – F.    (d) F – F – V – V.

**2 Fuvest 2002** Considere o ciclo de vida de uma angiosperma.

- a) Podemos afirmar que, em certa etapa do desenvolvimento, essa planta é heterotrófica. Quando isso ocorre e qual a fonte de alimento utilizada?
- b) Ao quantificarmos a respiração e a fotossíntese realizadas, desde a germinação até a fase adulta, esperamos verificar que, comparativamente, a planta realizou mais fotossíntese do que respirou, respirou tanto quanto realizou fotossíntese ou respirou mais do que realizou fotossíntese? Por quê?

**3 UFRJ 2005** Na conquista do meio terrestre pelos vegetais, as adaptações referentes à reprodução foram fundamentais. No contexto da propagação dos gametas, indique se são as angiospermas ou as pteridófitas as que apresentam menor dependência da água. Justifique sua resposta.

**4 UFSCar** O grande sucesso das gimnospermas e das angiospermas pode ser atribuído a duas importantes adaptações ao ambiente terrestre. Responda:

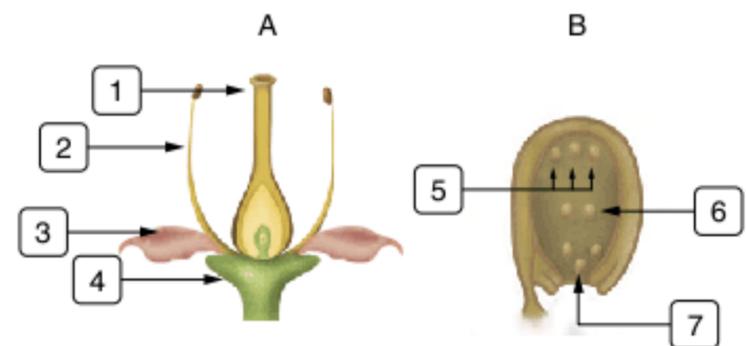
- a) Quais são estas duas adaptações?
- b) Qual dessas adaptações permitiu a classificação das fanerógamas em gimnospermas e angiospermas? Justifique.

**5 Unicamp** O projeto “Flora Fanerogâmica do Estado de São Paulo”, financiado pela Fapesp (Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo), envolveu diversas instituições de pesquisa e ensino.

O levantamento realizado no estado comprovou a existência de cerca de oito mil espécies de fanerógamas.

- a) Cite duas características exclusivas das fanerógamas.
- b) As fanerógamas englobam dois grupos taxonomicamente distintos, sendo que um deles é muito frequente no estado e o outro representado por um número muito pequeno de espécies nativas. Qual dos grupos é pouco representado?
- c) Que outro grupo de plantas vasculares não foi incluído nesse levantamento?

**6 Unioeste** Os esquemas a seguir representam as estruturas típicas de uma flor e de um óvulo maduro, indicados por A e B, respectivamente.

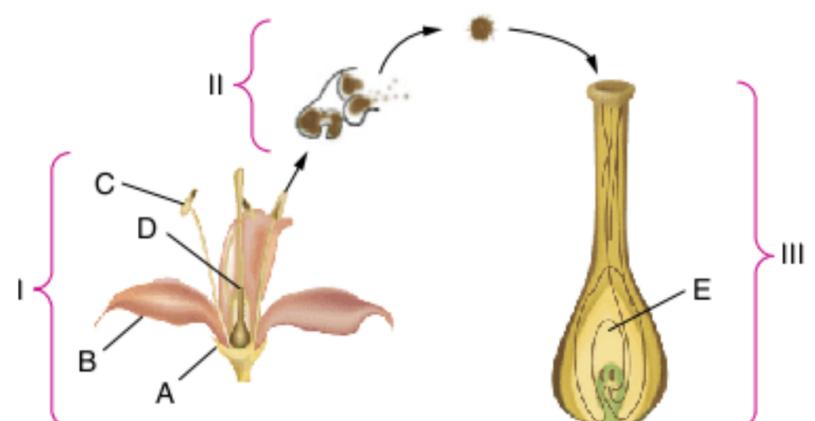


Com relação aos esquemas, é correto afirmar que:

- 01 1 representa o pistilo, composto de estigma, estilete e ovário.
- 02 2 representa o estame, composto de filete e antera.
- 04 os conjuntos de 3 e 4 formam o cálice e a corola, respectivamente.
- 08 5 representa as sinérgides que, quando fecundadas, formam o endosperma tetraploide.
- 16 6 representa as antípodas, que participam da nutrição do embrião.
- 32 7 representa a oosfera que, quando fecundada, gera o embrião diploide.

Soma =

**7 UFSC** Depois de maduras, as plantas fanerogâmicas florescem. As flores são os elementos que possibilitam a reprodução sexuada. Elas exibem uma imensa diversidade de formas, cores, tamanhos e aromas.

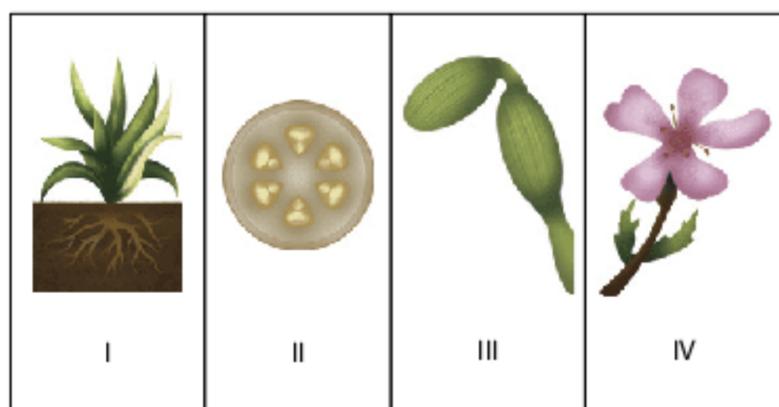


A partir da análise da figura e das características estruturais e funcionais das flores, assinale a(s) proposição(ões) verdadeira(s).

- 01 Em I, temos a estrutura floral típica das angiospermas.
- 02 Em A e B temos, respectivamente, o cálice e a corola, que são acessórios que protegem C e D, além de serem elementos de atração de animais, principalmente insetos e pássaros.
- 04 A figura II representa a antera em corte transversal, mostrando os sacos polínicos que encerram os grãos de pólen.
- 08 Nas figuras II e III, está representado o processo de polinização, que ocorre depois da fecundação.
- 16 Em III, temos a representação esquemática do gineceu, formado pelo pistilo, cuja parte principal é o óvulo, que origina e aloja o ovário.
- 32 Em III, a letra E representa o óvulo, contendo o saco embriônico, que aloja o gameta feminino denominado oosfera.

Soma =

**8 UFV** O dono de um viveiro de plantas pediu ao seu empregado que separasse algumas monocotiledôneas das dicotiledôneas na vitrine. Para auxiliá-lo, o patrão lhe deu as dicas de que “a semente de milho tem dois cotilédones e a semente de feijão apenas um” e uma pequena cartela guia, porém incompleta e sem nomes, conforme representada a seguir.

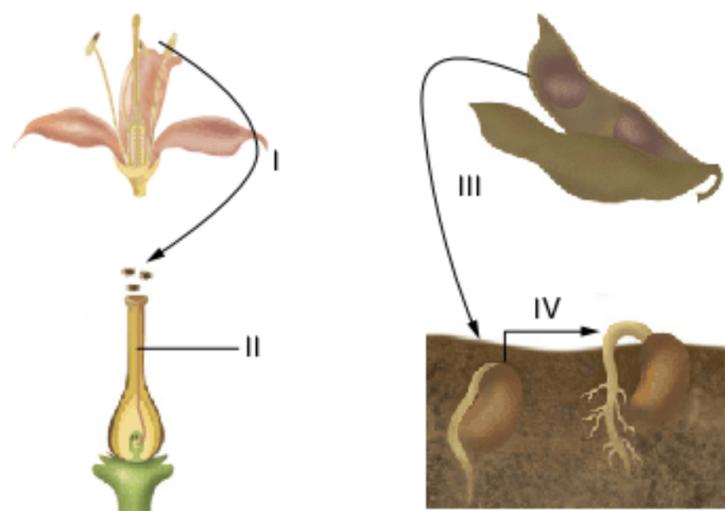


Para ajudar o pobre empregado a cumprir corretamente a sua tarefa, resolva os itens seguintes.

- a) As dicotiledôneas estão indicadas pelos números:
- b) As plantas com flores trímeras devem ficar na vitrine juntamente com as:
- c) Que tipo de nervura deverá haver nas folhas das plantas para que elas não fiquem juntas com as que têm raízes fasciculadas?
- d) Pode não ser uma dica prática, mas o empregado poderá considerar que o caule de milho tem a disposição dos feixes liberolenhosos difusa e o caule do feijão tem estes feixes regulares?
- e) Mesmo que a cartela guia seja completada, cite um bom argumento técnico de botânica para que o dono da loja mude de ramo.

**9 UFJF** As angiospermas representam cerca de 70% das plantas conhecidas. Esta diversidade se deve, em parte, ao seu eficiente sistema reprodutivo.

As figuras a seguir ilustram algumas etapas do ciclo reprodutivo destas plantas.



Analise a sequência apresentada e responda:

- a) Qual a etapa indicada em I, II, III e IV?
- b) Devido à grande diversidade morfológica das flores das angiospermas, vários agentes podem estar envolvidos na etapa indicada em I. Indique dois agentes envolvidos na etapa I e apresente uma característica morfológica da flor, necessária para a efetiva atuação de cada um desses agentes.
- c) Qual a consequência para a planta se, como resultado de algum fenômeno natural, ou induzido pelo homem, um dos agentes citados acima deixar de existir?

**10 UFSCar 2003** Sobre flores, responda:

- a) as flores coloridas das angiospermas são interpretadas como uma aquisição evolutiva que aumenta a eficiência da reprodução sexuada. De que modo isso ocorre?
- b) que fator ambiental contribui para a reprodução sexuada de flores não coloridas, como as do capim?

**11 UFRJ** As flores que se abrem à noite, como, por exemplo, a dama-da-noite, em geral, exalam um perfume acentuado e não são muito coloridas. As flores diurnas, por sua vez, geralmente apresentam cores mais intensas.

Relacione essa adaptação ao processo de reprodução desses vegetais.

**12 UFU 2007** Na história evolutiva das plantas, ficou marcada a transição do meio aquático para o meio terrestre. Nesse ambiente, os organismos enfrentam problemas diferentes dos existentes em ambientes aquáticos.

Com referência a esse assunto:

- a) explique três características que surgiram nas plantas e que podem ser consideradas adaptativas à vida no ambiente terrestre.
- b) qual grupo de fanerógamas é o mais diversificado no ambiente terrestre e quais características possibilitaram o seu predomínio nesse ambiente?

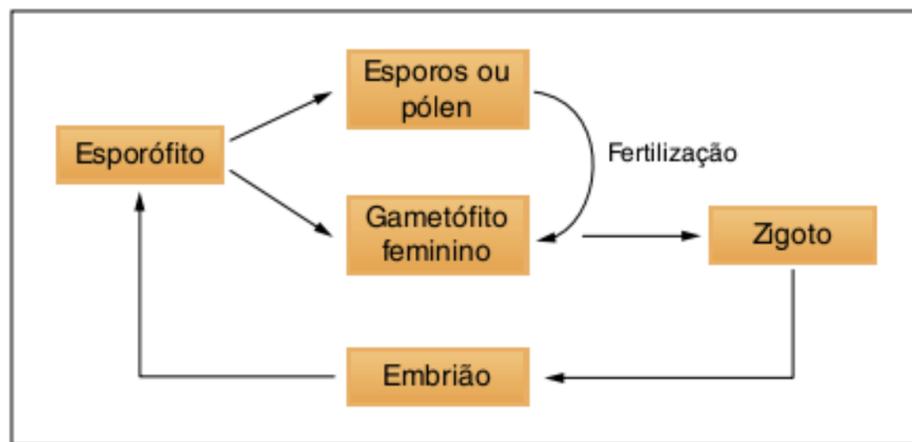
**13 UFSC 2004** Atualmente, a Terra é dominada pelo grupo vegetal das angiospermas, com cerca de 250.000 espécies espalhadas por todo o mundo. A maior parte dos alimentos de origem vegetal é derivada de plantas desse grupo.

Com respeito às angiospermas é correto afirmar que:

- 01 são os únicos vegetais que produzem sementes.
- 02 as monocotiledôneas são uma divisão deste grupo, cujos representantes apresentam raiz axial, ou pivotante, flores tetrâmeras, sementes com dois cotilédones e crescimento acentuado em espessura.
- 04 suas flores originam estruturas chamadas frutos que auxiliam na dispersão de suas sementes.
- 08 em algumas espécies, o fruto pode se desenvolver sem que ocorra o processo de fecundação, originando os chamados frutos partenocárpicos.
- 16 suas flores podem ser polinizadas por algumas aves, mamíferos e insetos.
- 32 alguns de seus frutos são comestíveis, como, por exemplo, o chuchu e o tomate.

Soma =

**14 UnB** O ciclo de vida dos vegetais terrestres pode ser esquematizado conforme o diagrama adiante.



Com relação a esse tema, julgue os itens a seguir.

- A duração da fase esporofítica, nos vegetais, aumenta progressivamente dos vegetais inferiores (briófitos) para os superiores (angiospermas).
- A meiose ocorre no esporófito.
- Para que a fertilização ocorra nos pteridófitos, é necessária a presença de água.
- A fase diploide (2n), nos vegetais, vai da fertilização aos esporos (o pólen).

**15 Unifesp** Mamíferos e angiospermas são considerados grupos de grande sucesso adaptativo, em parte, devido aos seus mecanismos de reprodução. Com relação à reprodução sexuada:

- a) descreva como ocorre a fecundação num mamífero.
- b) descreva como ocorre a fecundação numa angiosperma.

**16 Unioeste** Com relação ao Reino *Metaphyta*, é correto afirmar que:

- 01 nas angiospermas, o fruto é o ovário desenvolvido.
- 02 o báculo, o prótalo e os soros são estruturas características das briófitas.
- 04 os vegetais fanerógamos caracterizam-se pela presença de flores e sementes.
- 08 nas gimnospermas, o óvulo se situa em folhas carpelares abertas.
- 16 as briófitas possuem o esporófito haploide e o gametófito diploide.
- 32 a banana é um fruto partenocárpico.
- 64 as briófitas são vegetais vasculares.

Soma =

# 14

## Morfologia externa das plantas

FRENTE 2



MIHAI SECEANU/ISTOCK.XCHING

MARIELA SANTOS

As angiospermas apresentam a arquitetura corporal adaptada a diferentes condições ambientais, incluindo meio aquático e locais com pequena disponibilidade de água.

## Generalidades

Muitas pessoas estão habituadas a tirar mudas de plantas, cortando pedaços de caule e enterrando-os. Com o tempo, desenvolve-se uma planta completa e com as mesmas características da planta-mãe. Esse é um processo de reprodução assexuada, menos frequente na natureza. Entre as angiospermas, há a reprodução sexuada, que culmina com a produção da semente, estrutura dotada de um embrião descendente da planta-mãe. O embrião é protegido pelo tegumento, mais externo, e fica imerso nas reservas alimentares, que podem conter amido, proteínas e lipídeos.

Uma semente colocada em solo úmido absorve água, ativando o metabolismo do embrião. Para isso, também são necessárias outras condições, como temperatura adequada e gás oxigênio. Assim, tem início a germinação: o embrião vai emergindo da semente e gradualmente desenvolve-se uma planta jovem. A planta possui uma raiz, derivada da radícula do embrião. A radícula é uma raiz ainda imatura que emerge da semente no início da germinação, permitindo a retirada de água e nutrientes do solo e assegurando a fixação da planta jovem à terra. Na extremidade oposta à raiz, forma-se o caule, ao qual se prendem as folhas. As raízes enviam água e nutrientes minerais às demais partes da planta, enquanto as folhas realizam fotossíntese, produzindo açúcares, que são necessários em todos os tecidos vivos do vegetal (Fig. 1).

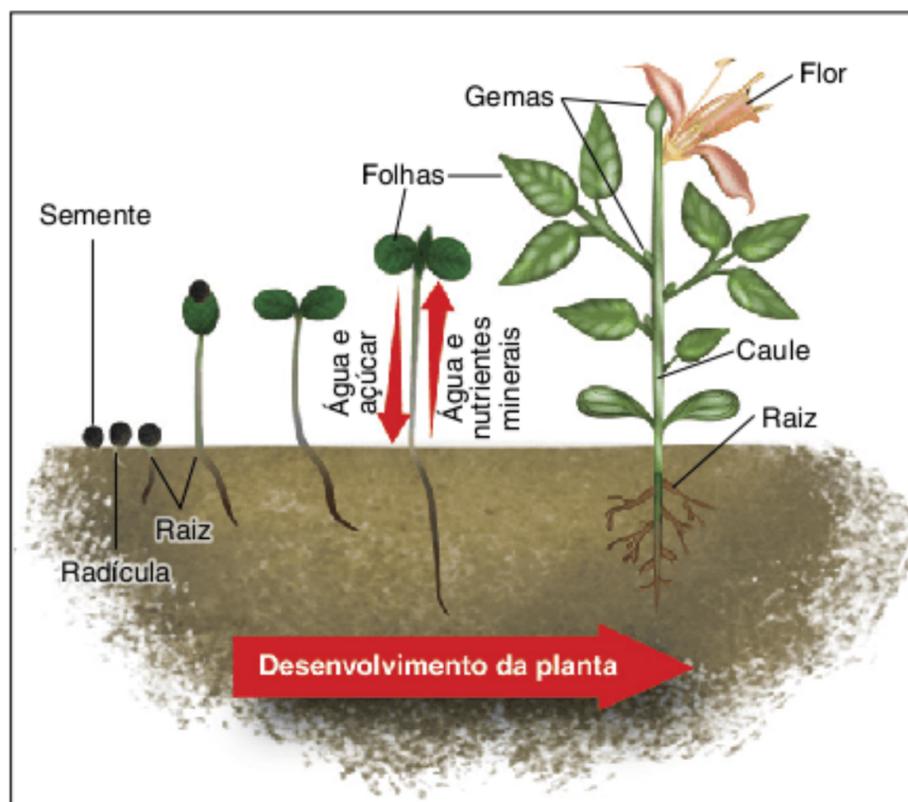


Fig. 1 Germinação e formação de planta adulta. A primeira parte que emerge da semente é a radícula, que se desenvolve formando a raiz. Com o desenvolvimento da planta, notam-se partes de uma angiosperma adulta.

O caule tem inúmeras gemas, localizadas junto à base de cada folha e na extremidade do caule. Uma gema é formada por células de tecido meristemático, com grande capacidade mitótica. O desenvolvimento de uma gema pode determinar o crescimento do caule (gema situada na extremidade superior da planta) ou a formação de ramos, conhecidos como “galhos” (gemas localizadas nas laterais da planta). Dependendo de uma ação hormonal específica, a gema pode gerar uma flor e, com a reprodução sexuada, ocorre a formação de frutos e sementes (Fig. 1).

## Raiz

A raiz fixa a planta ao solo e dele retira água e nutrientes minerais, necessários às atividades metabólicas de toda a planta. Analisaremos a seguir a origem, as partes e os tipos de raiz que têm aparência e funções diferentes.

### Partes de uma raiz

Uma raiz típica apresenta as regiões: coifa, zona meristemática, zona de distensão (ou zona lisa), zona pilífera e zona das ramificações (ou suberosa) (Fig. 2).

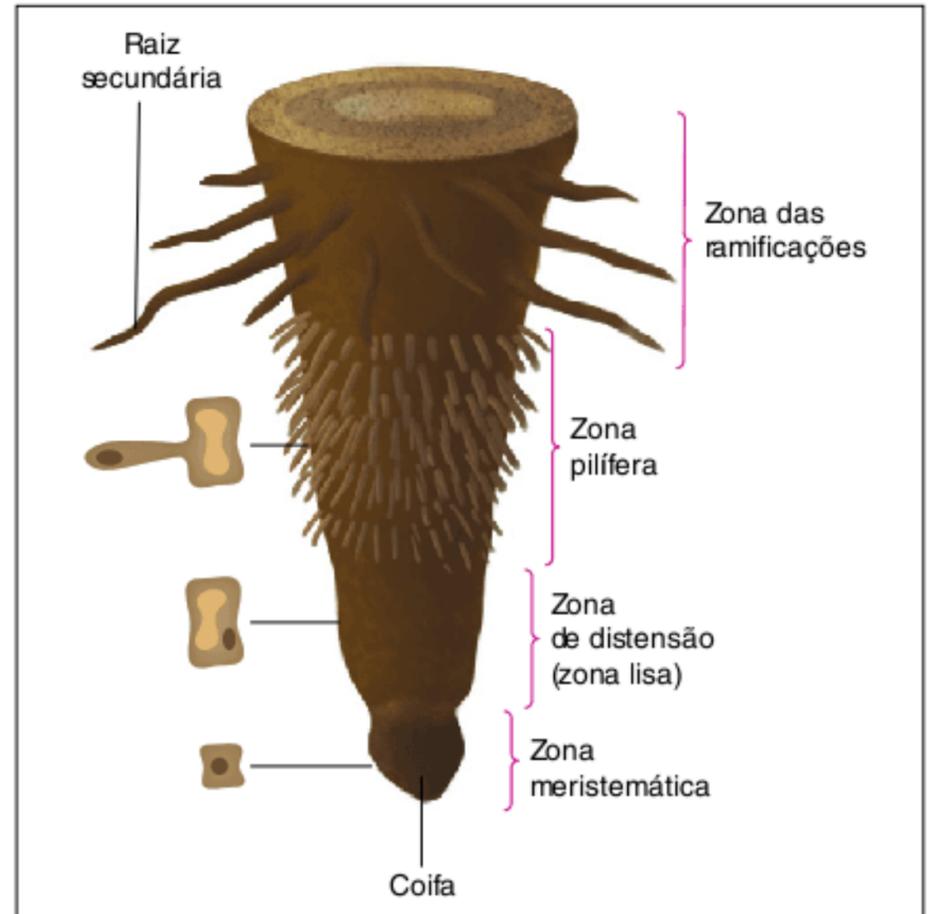


Fig. 2 A organização de uma raiz típica de angiosperma.

A **zona meristemática** é constituída por tecido meristemático, cujas células são pequenas, têm grande atividade mitótica e são do tipo indiferenciadas, isto é, não executam papéis especializados, como transporte, revestimento ou fotossíntese. A atividade das células meristemáticas produz o crescimento longitudinal da raiz, o que faz com que ela penetre no solo. A extremidade da zona meristemática é protegida por um “capuz” denominado **coifa** (ou **caliptra**), estrutura que protege o meristema do atrito contra as partículas do solo e da decomposição realizada por bactérias.

Algumas células produzidas a partir das mitoses das células meristemáticas ficam mais afastadas da extremidade e sofrem aumento de volume. Isso ocorre na **zona de distensão** (ou **zona lisa**), que também contribui para o crescimento longitudinal da raiz.

Acima da zona lisa, encontra-se a **zona pilífera**, caracterizada pela presença dos pelos responsáveis pela absorção de água e nutrientes minerais do solo. Os **pelos absorventes**, como são chamados, são estruturas unicelulares com um prolongamento, em cuja extremidade encontra-se o núcleo. A presença desses pelos na estrutura da raiz aumenta consideravelmente a superfície de contato com o solo.

A **zona das ramificações** (ou **zona suberosa**) localiza-se acima da zona pilífera e caracteriza-se pelo aumento de diâmetro e pela formação de ramificações, as **raízes secundárias**, as

quais formam outros ramos. A presença das ramificações aumenta a superfície de absorção do sistema radicular e melhora a capacidade de fixação da planta ao solo.

As raízes podem ser classificadas de acordo com dois aspectos: quanto à **origem de formação** e quanto ao **hábitat**.

## Origem

Vimos que uma semente em germinação gera a radícula, que origina a raiz adulta. No entanto, há as **raízes adventícias**, que não são provenientes da radícula; elas podem ser formadas por folhas ou caules. Uma folha de violeta, por exemplo, se for cortada e colocada em um recipiente com água, gera, em poucos dias, grande número de raízes adventícias.

O caule da samambaia, por exemplo, é do tipo rizoma e dele saem raízes adventícias laterais (Fig. 3).

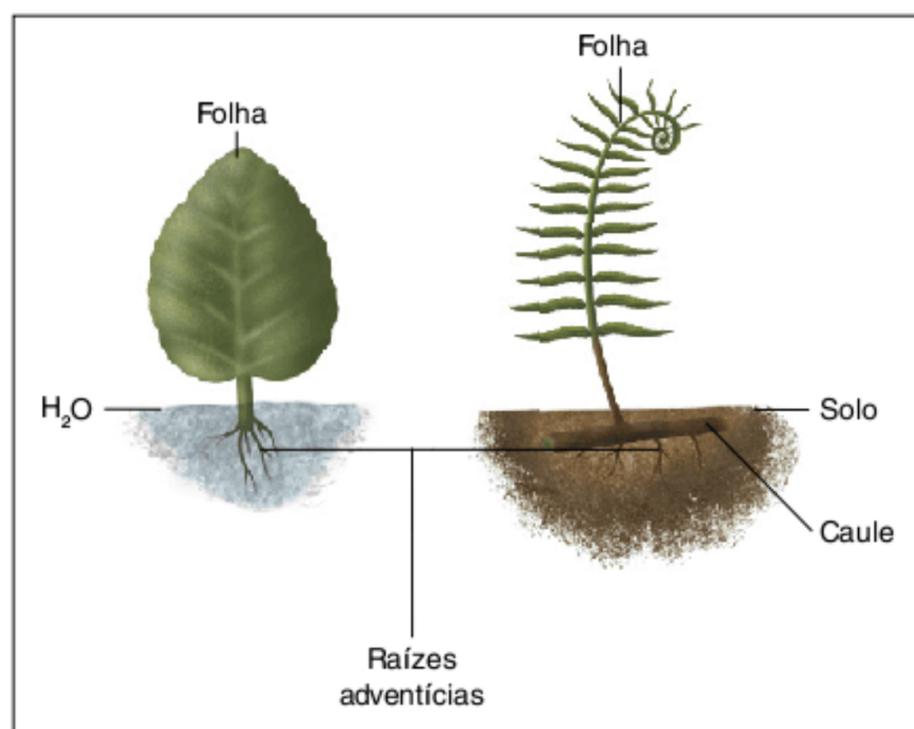


Fig. 3 Raízes adventícias são provenientes de folhas ou de caules.

## Hábitat

Raízes de plantas recebem classificações diversas de acordo com o hábitat nos quais se desenvolvem. As raízes dos diferentes habitats podem ser divididas em **aquáticas**, **aéreas** e **subterrâneas**. Veremos alguns exemplos a seguir.

### Aquáticas

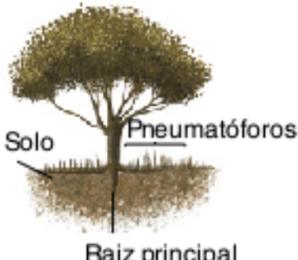
- **Raiz aquática:** as raízes de plantas aquáticas desenvolvem-se submersas na água. Normalmente, essas plantas possuem folhas e/ou caule flutuantes, mas também existem espécies que se desenvolvem totalmente submersas. Como exemplos de raízes aquáticas, podem ser citadas as das ninfeias (Fig. 4), e de plantas que sobrevivem totalmente submersas, como a Cabomba, muito utilizada em aquários.



Fig. 4 Exemplar de ninfeia (*Nymphaea* sp.); possui folhas e flores flutuantes.

## Aéreas

- **Raiz-escora (suporte):** originadas do caule e emitidas em direção ao solo, assim aumenta o apoio do próprio caule. São, portanto, responsáveis por ajudar na sustentação da planta. Exemplo: as raízes que saem da base do milho (Tab. 1) e da cana-de-açúcar.
- **Raiz sugadora:** é característica de plantas parasitas, que retiram seiva de uma planta hospedeira (Tab. 1). A raiz sugadora tem uma dilatação denominada **apressório**, que se liga à hospedeira. O interior do apressório tem estruturas filamentosas, os **haustórios**, que atingem os vasos condutores da hospedeira. Há dois tipos de plantas parasitas: as hemiparasitas e as holoparasitas. As hemiparasitas, como a erva-de-passarinho, também conhecidas como parasitas parciais, são plantas clorofiladas (realizam fotossíntese) cujos haustórios retiram da hospedeira água e nutrientes minerais (seiva bruta, transportada pelo xilema). As **holoparasitas**, ou parasitas totais, como o cipó-chumbo, são plantas aclorofiladas (não realizam fotossíntese), cujos **haustórios** retiram da hospedeira água e substâncias orgânicas (seiva elaborada, transportada pelo floema).
- **Raiz estrangulante:** ocorre no mata-pau, planta da família das figueiras; envolve o tronco de uma planta hospedeira, mas não suga sua seiva. Essa raiz atinge o solo, absorve água e sais minerais e os envia às folhas, que estão se desenvolvendo sobre a copa da hospedeira. O mata-pau não é parasita, pois é capaz de realizar fotossíntese e retirar nutrientes do solo. No entanto, quando o tronco da árvore hospedeira cresce em espessura, seus vasos são esmagados pelas raízes estrangulantes do mata-pau. A planta hospedeira acaba morrendo e, com o tempo, seu tronco e outras partes são utilizadas como alimento por cupins, fungos e bactérias, até desaparecerem por completo. O mata-pau toma conta do espaço antes ocupado pela hospedeira. Trata-se de uma relação ecológica de competição interespecífica (Tab. 1).
- **Raiz respiratória:** também conhecida como **pneumatóforo**, constitui ramos de raízes que crescem verticalmente para fora do solo (Tab. 1). Apresenta fendas (os pneumatódios) através das quais ocorrem trocas gasosas com o ar. Essas estruturas são encontradas em algumas espécies dos manguezais, como a *Avicennia* sp. O solo de manguezais é pobre em gás oxigênio, sendo recoberto pela água na maré alta.
- **Raiz tabular:** é lateralmente achatada, como uma tábua. Esse tipo de raiz ocorre em árvores de grande porte e ajuda na fixação e estabilidade da árvore, aumentando sua base de apoio. O xixá, a figueira e a sapopema são bons exemplos de plantas raízes tabulares. (Tab. 1).
- **Raiz grampiforme (aderente):** origina-se do caule (adventícias) e tem como função prender o vegetal em estruturas-suporte, sejam elas plantas ou não (Tab. 1). A raiz emite uma espécie de grampo que prende a planta, como a hera em muros e estacas. O imbé (*Philodendron* sp.) tem raízes aéreas que envolvem o tronco de uma árvore hospedeira; algumas de suas raízes ficam pendentes e acabam crescendo em direção ao solo. O cipó corresponde a esse tipo de raiz.

Tipos de raízes	Características e exemplos	Ilustração
Escora	Origina-se do caule e aumenta a base de fixação da planta. Ex.: milho.	
Sugadora (haustório)	Retira seiva de uma planta hospedeira. Ex.: cipó-chumbo (retira água e açúcares) e erva-de-passarinho (retira água e sais minerais).	
Estrangulante	Envolve o tronco de uma árvore hospedeira, que, quando cresce em circunferência, tem seus vasos condutores interrompidos, podendo provocar sua morte. Ex.: mata-pau.	
Respiratória (pneumatóforo)	Cresce para fora do solo e tem fendas (pneumatódios) que realizam trocas gasosas com o ar. Ex.: <i>Avicennia</i> sp., planta comum em manguezais.	
Tabular	Apresenta aspecto de placas, que crescem acima da superfície do solo. Aumenta a sustentação mecânica e realiza trocas gasosas. Ex.: figueira.	
Grampiforme	Permite aderência a uma superfície, como rochas, muros ou troncos de árvores. Ex.: hera e imbé.	
Velame	Tem envoltório esponjoso que permite obter umidade presente no ar. Ex.: orquídea.	

Tab. 1 Tipos principais de raízes aéreas.

- **Raiz velame:** é encontrada em muitas epífitas, como as orquídeas, que se apoiam em árvores e conseguem acesso à luz. Raízes de orquídeas ligam-se à superfície do caule de uma árvore, mas não retiram seiva nem provocam seu

esmagamento. Essas raízes têm um envoltório esponjoso, capaz de absorver gotículas de água que ficam em suspensão no ar; quando chove, a água escorre pelo tronco da hospedeira e as raízes da orquídea absorvem esse líquido, que também contém nutrientes minerais (Tab. 1).

**Subterrâneas**

- **Raiz axial (pivotante):** as angiospermas podem ser divididas em dois grupos, diferenciados, entre outras características, pelo tipo de raiz. O grupo das **dicotiledôneas** e também as **gimnospermas** têm **raiz axial**, ou **pivotante**, que apresenta a raiz principal maior, em diâmetro e comprimento, do que as raízes laterais, sendo muito mais desenvolvida (Tab. 2). Como exemplo, podem ser citados os pinheiros (gimnosperma) e o manacá-da-serra (angiosperma).
- **Raiz fasciculada:** já as **monocotiledôneas**, outro grupo pertencente às **angiospermas**, possuem raiz do tipo fasciculada, que não apresenta uma raiz principal (Tab. 2).
- **Raiz tuberosa:** converte-se em órgão de reserva para a planta e armazena grande quantidade de substâncias nutritivas na forma de amido ou sacarose. Exemplos: mandioca (macaxeira), cenoura, rabanete, mandioquinha, beterraba, nabo e batata-doce (Tab. 2).

Tipos de raízes	Características e exemplos	Ilustração
Fasciculada (em cabeleira)	Constituída por várias raízes formadas a partir da base do caule; cada uma dessas raízes ramifica-se. Ocorre em monocotiledôneas.	
Axial (pivotante)	Apresenta um eixo (raiz principal) de onde saem ramificações (raízes secundárias). Ocorre em dicotiledôneas e gimnospermas.	
Tuberosa	Acumula grande quantidade de reservas alimentares. Ex.: mandioca, mandioquinha, batata-doce, cenoura, rabanete, beterraba e nabo.	

Tab. 2 Tipos principais de raízes subterrâneas.

**Caule**

A principal função do caule é a de estabelecer a ligação entre raízes e folhas, permitindo um fluxo de seiva por meio de seus vasos condutores. O caule e seus ramos fornecem suporte mecânico para as folhas, possibilitando a exposição à luz, utilizada na fotossíntese.

Há diversos tipos de caules, que podem representar importantes adaptações das plantas ao seu ambiente. Os caules podem ser divididos em dois grandes grupos: **aéreos** e **subterrâneos**; caules aéreos, por sua vez, podem ser **erectos** ou **rastejantes** (desenvolvem-se apoiados no solo).

## Caules aéreos

### Rastejantes

Não possuem tecidos de sustentação com a rigidez suficiente para permitir a manutenção independente de sua verticalidade. É o caso dos caules de melancia e de abóbora (Fig. 5). O caule do morango também é rastejante, sendo denominado estolho, ou estolão. Esse caule forma inúmeras gemas, cada qual com capacidade de originar uma nova planta completa.

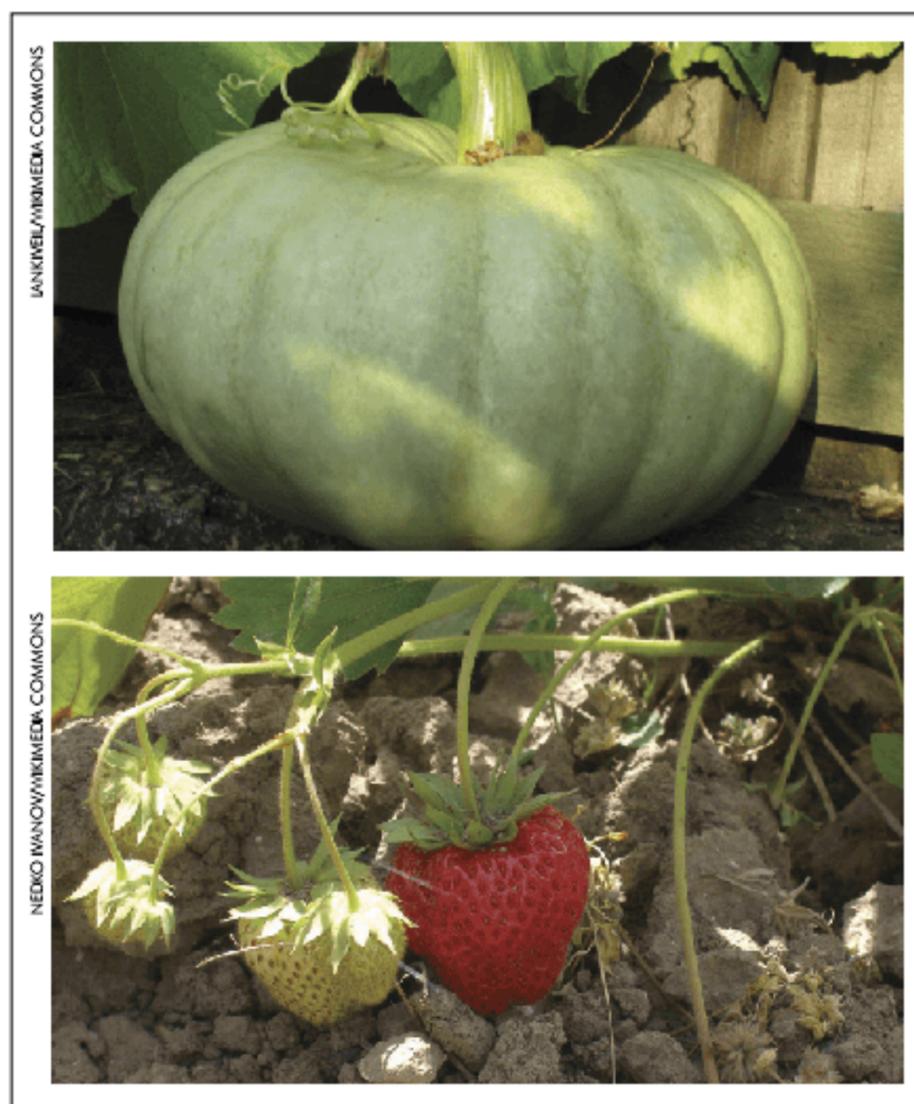


Fig. 5 A aboboreira e o morangueiro apresentam caules que se desenvolvem prostrados no solo.

### Eretos

São de diversos tipos: **haste**, **tronco**, **colmo**, **estipe** e **cladódio**.

- **Haste:** é um caule delgado e clorofilado, como o da planta do arroz (Tab. 3), do feijão, do trigo e do dente-de-leão.
- **Tronco:** é o caule típico de árvores; tem casca revestida de súber (tecido conhecido como cortiça) e possui muitos ramos (galhos), que sustentam as folhas. Árvores com tronco são típicas de muitas gimnospermas e angiospermas dicotiledôneas (Tab. 3).
- **Colmo:** tem formato cilíndrico e apresenta anéis conhecidos como nós. Cada nó pode apresentar meristema (chamado de **meristema intercalar**) e gerar folhas. São exemplos o milho e a cana-de-açúcar (Tab. 3).

- **Estipe:** também tem formato cilíndrico e nós em forma de anéis, no entanto difere do colmo, porque suas folhas são formadas apenas na extremidade. São exemplos de estipe o coqueiro (Tab. 3) e as palmeiras, da família *Arecaceae*. O palmito produzido por uma palmeira localiza-se na extremidade do caule e corresponde à gema apical da planta. O estipe só tem ramos situados perto da extremidade, que contém flores, as quais originam frutos e sementes.
- **Cladódio:** é o típico caule dos cactos, com grande quantidade de água armazenada e folhas modificadas em espinhos. Essas são características adaptativas à prolongada escassez de água no ambiente, pois espinhos apresentam uma superfície reduzida, o que diminui a perda de água por transpiração (Tab. 3).

Tipos de caules	Características e exemplos	Ilustração
Haste	Delgado e clorofilado. Ex.: arroz, trigo e feijão.	
Tronco	Espesso, ramificado, recoberto por súber (cortiça). Ex.: mangueira, ipê e pinheiro.	
Colmo	Cilíndrico, com nós paralelos ao longo do eixo; folhas ligadas ao caule em toda a sua extensão. Ex.: milho e cana-de-açúcar (ambos com colmo cheio); bambu (com colmo oco).	
Estipe	Cilíndrico, com nós paralelos ao longo do eixo; folhas somente na extremidade. Os ramos produzidos têm flores. Ex.: coqueiro e palmeira.	
Cladódio	Clorofilado, com água armazenada. Ex.: cacto.	

Tab. 3 Tipos principais de caules eretos.

## Caules subterrâneos

Há três principais modalidades de caules subterrâneos: **rizoma**, **tubérculo** e **bulbo**.

### Rizoma

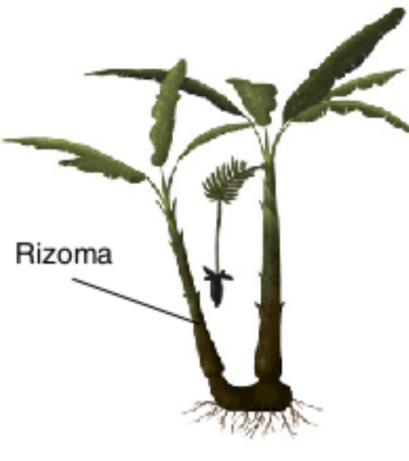
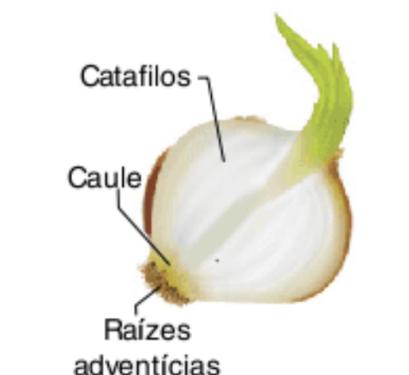
É paralelo à superfície; dele saem raízes adventícias e folhas. Isso ocorre na samambaia e na bananeira (Tab. 4). Já o cilindro vertical que se vê em uma bananeira é formado pela base de suas folhas enroladas.

### Tubérculo

É um caule compacto e rico em reservas, como a batata e o inhame; já a batata-doce é uma raiz tuberosa. Os tubérculos distinguem-se das raízes tuberosas pela presença de gemas em sua superfície, sendo que as gemas podem brotar (Tab. 4) e iniciar o desenvolvimento de uma planta completa em um processo de reprodução assexuada.

### Bulbo

É um caule subterrâneo dilatado, com estrutura bem diversificada. Os exemplos mais conhecidos são a cebola e o alho. Há outros casos, como açucena, gladiolo e açafrão. A cebola tem uma base, conhecida como “prato”, à qual ficam ligadas raízes e folhas ricas em reservas, os **catáfilos**. No centro do prato, há uma pequena gema, que pode se desenvolver, gerando uma planta completa (Tab. 4).

Tipos de caules	Características e exemplos	Ilustração
Rizoma	Desenvolve-se paralelamente à superfície do solo. Ex.: bananeira, samambaia e gengibre.	
Tubérculo	Acumula reservas e apresenta gemas. Ex.: batata-inglesa e cará.	
Bulbo	Dilatado; pode ter folhas ricas em reservas. Ex.: cebola e alho.	

Tab. 4 Tipos principais de caules subterrâneos.

## Folha

A principal função da folha é a realização de fotossíntese; sua ampla superfície (útil na absorção de luz) e a presença de células clorofiladas contribuem para o desempenho dessa atividade. As folhas de uma planta realizam intensas trocas gasosas com o ambiente, e é por elas que há perda de maior quantidade de vapor, no processo de transpiração.

As folhas de **dicotiledôneas** típicas têm uma lâmina (o **limbo**) e um cabo (**pecíolo**) ligado ao caule. No limbo, encontram-se **células clorofiladas** em abundância e **nervuras com disposição em rede** (são folhas reticulínervas) (Fig. 6).

As folhas típicas de **monocotiledôneas** têm limbo dotado de **nervuras paralelas** (são folhas paralelinervas); normalmente, há uma **bainha**, estrutura que envolve o caule (Fig. 6). O eixo vertical das bananeiras é constituído pelas bainhas enroladas das folhas da planta.

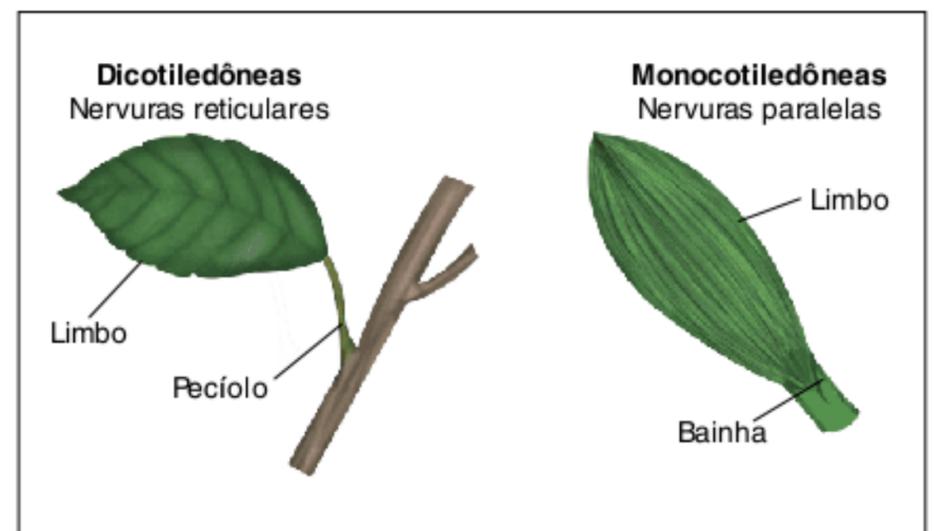


Fig. 6 Uma diferença marcante entre folhas de dicotiledôneas e de monocotiledôneas é o tipo de nervura que apresentam: reticulares naquelas com dois cotilédones e paralelas naquelas com um cotilédone.

Os pinheiros do gênero *Pinus* têm folhas com formato de agulha, denominadas **acículas**, assim, diz-se que o pinheiro é uma aciculifoliada. Esse tipo de folha tem grande superfície exposta ao ar e, por isso, em estações quentes, há grande perda de água através da transpiração. Quando essas plantas ocupam locais com inverno rigoroso, o aspecto das folhas é adaptativo, pois evita que a neve se acumule na planta (Fig. 7).

Há vários tipos de folhas modificadas, como **espinhos** (cactos), **sépalas** e **pétalas** (em flores) e **cotilédones** (nas sementes). As **brácteas**, algumas vezes coloridas, também são folhas modificadas, situadas na base das flores, como ocorre com o copo-de-leite e o antúrio.

Plantas carnívoras apresentam folhas que atraem pequenos animais e os capturam, realizando posteriormente a digestão (Fig. 7).

**Gavinhas** são estruturas que se enrolam em um suporte. Podem ser folhas modificadas, como nas ervilhas (Fig. 7), ou ramos caulinares, como no chuchu e no maracujá.

Os espinhos do limoeiro e da laranjeira são ramos modificados, pois provêm do desenvolvimento da gema situada na base da folha; já os do cacto são folhas modificadas.

A grande diversidade de raízes, caules e folhas presentes nas plantas demonstra que elas podem habitar praticamente todos os tipos de ambientes, por mais inóspitos que eles sejam.



Fig. 7 As acículas de pinheiros (imagem à esquerda) têm formato de agulha e constituem adaptação à neve. Algumas plantas carnívoras têm folhas que aprisionam e digerem pequenos animais (imagem ao centro). Gavinhas (imagem à direita), como as de ervilhas, enrolam-se em um suporte.

Os muitos tipos de raízes demonstram capacidade de absorver nutrientes de solos áridos e úmidos (e mesmo da água) e até de retirar nutrientes de outros vegetais.

Os caules conferem sustentação, apoio e possibilidade de reserva de nutrientes.

Já as variações nas folhas demonstram adaptações à vida em diversos tipos de clima, sempre potencializando a realização de

fotossíntese e a reprodução da planta, visto que elas participam também da composição do mais diversificado tipo de flor.

A grande diversidade que o Reino Vegetal apresenta demonstra adaptabilidade aos diversos biomas do planeta, consequência, sem dúvida, de inúmeras mutações genéticas e processos de seleção natural, ocorridos ao longo de milhares de anos.

## Revisando

- 1 Quais são os principais tipos de raízes dos vegetais? Exemplifique.  
\_\_\_\_\_
- 2 Qual a diferença entre raiz fasciculada e raiz axial?  
\_\_\_\_\_
- 3 Qual é a diferença observada na raiz de plantas monocotiledôneas e dicotiledôneas?  
\_\_\_\_\_
- 4 Dê exemplos de:
 

a) raízes comestíveis.	b) caules comestíveis.
_____	_____
- 5 Cite 4 tipos de caule, descreva-os e dê um exemplo de cada.  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_
- 6 Dê exemplos de vegetais que apresentam as seguintes especializações da raiz, do caule ou das folhas:
 

a) espinhos.	c) cladódio.
_____	_____
b) gavinhas.	d) pneumatóforo.
_____	_____
- 7 Quais as principais diferenças entre as folhas de monocotiledôneas e as de dicotiledôneas?  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_
- 8 Quais as funções das gavinhas e dos espinhos?  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_



Considerando-se que o manguezal é um ecossistema típico de região litorânea com alta concentração de matéria orgânica, baixa concentração de oxigênio, alta umidade e salinidade, espera-se que a vegetação local apresente adaptações de raízes do tipo:

- (a) tabular. (c) tuberosa. (e) pivotante.  
(b) estrangulante. (d) pneumatófora.

**8 UFRGS 2007** Assinale a alternativa que contém somente raízes utilizadas na alimentação.

- (a) Mandioca – rabanete – cenoura – beterraba.  
(b) Rabanete – cebola – batata-inglesa – alcachofra.  
(c) Batata-inglesa – inhame – mandioca – beterraba.  
(d) Gengibre – beterraba – alho – batata-inglesa.  
(e) Cebola – mandioca – beterraba – inhame.

**9 UFSM** Numere a 2ª coluna de acordo com a primeira.

Coluna 1

- caules subterrâneos, como os das bananeiras.
- caules modificados, como os dos cactos.
- caules não ramificados com folhas do ápice.
- caules paralelos ao solo com gemas de espaço em espaço.

Coluna 2

- cladódios  
 rizomas  
 estipes  
 estoloníferos

A sequência correta é:

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

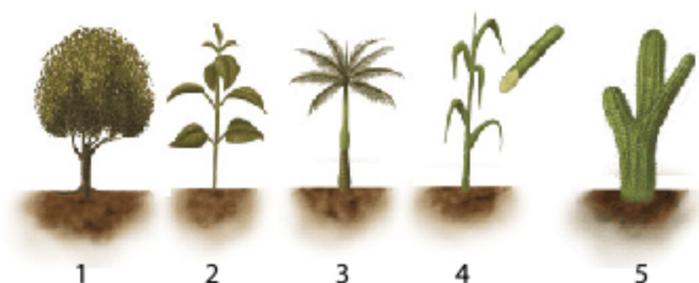
**10** As plantas relacionadas na coluna da esquerda possuem caules cujos nomes estão relacionados na coluna da direita.

- |                   |              |
|-------------------|--------------|
| a) palmeira       | I. colmo     |
| b) cana-de-açúcar | II. bulbo    |
| c) cacto          | III. estipe  |
| d) bananeira      | IV. cladódio |
| e) cebola         | V. rizoma    |

Assinale a resposta cuja associação está correta.

- (a) A – I / B – III / C – II / D – V / E – IV  
(b) A – IV / B – II / C – I / D – V / E – III  
(c) A – II / B – I / C – V / D – III / E – IV  
(d) A – III / B – V / C – II / D – I / E – IV  
(e) A – III / B – I / C – IV / D – V / E – II

**11 UFPE** Observe a figura a seguir, em que são mostrados caules eretos.



Qual das alternativas apresenta, na ordem, as denominações corretas?

- (a) Estipe, haste, tronco, cladódio e colmo.  
(b) Cladódio, haste, estipe, colmo e tronco suculento.  
(c) Tronco, haste, estipe, colmo e cladódio.  
(d) Tronco, colmo, cladódio, haste e estipe.  
(e) Estipe, cladódio, haste, colmo e tronco.

**12 UEL 2009** As plantas vasculares colonizaram a paisagem terrestre durante o período Devoniano Inferior, há cerca de 410 a 387 milhões de anos. A ocupação do grande número de habitats demandou grande variedade de formas e adaptações nas plantas. Com base na morfologia dos diferentes tipos de caules, assinale a alternativa que contém caules adaptados à reprodução assexuada e à fotossíntese, respectivamente.

- (a) Rizoma e bulbo. (d) Cladódio e estolão.  
(b) Colmo e bulbo. (e) Estolão e cladódio.  
(c) Estolão e rizoma.

**13 UFPI** Nos seres vivos, é notável a correlação entre forma e função. São exemplos de adaptação morfológica das folhas para a realização da fotossíntese:

- sua textura.
- sua pouca espessura.
- sua grande superfície de exposição.

Da análise das afirmativas acima, podemos assegurar que:

- (a) apenas I está correta. (d) II e III estão corretas.  
(b) apenas II está correta. (e) I, II e III estão corretas.  
(c) apenas III está correta.

**14** O que são brácteas? Para que servem? Dê exemplos de vegetais que apresentam brácteas. Quais são as outras modificações das folhas?

**15 PUC-RS** O desenho adiante representa um tipo de planta que, ao longo do processo evolutivo, sofreu a transformação das suas folhas em espinhos, tendo em vista condições ambientais e relacionamento com outros seres à sua volta.



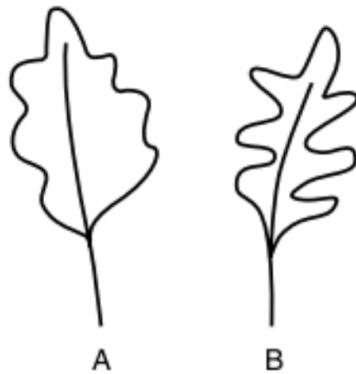
Essa modificação atendeu fundamentalmente às necessidades decorrentes dos fenômenos de:

- (a) circulação e parasitismo. (d) excreção e mutualismo.  
(b) absorção e inquilinismo. (e) evaporação e predatismo.  
(c) fixação e comensalismo.

**16 UFC** É característica típica das plantas terrestres vasculares a presença de folhas, que constituem expansões laminares verdes, especializadas na função fotossintética. No entanto, em ambientes áridos, encontram-se muitas vezes plantas sem evidência de folhas, mas com espinhos, como as cactáceas. Essa característica tem relação com o habitat porque permite:

- (a) uma adaptação temporária até que o ambiente mude.
- (b) um aumento da taxa de fotossíntese e de matéria orgânica formada.
- (c) um aumento das velocidades de fotossíntese e transpiração.
- (d) uma adaptação especial voltada à diminuição na perda d'água.
- (e) um aumento da temperatura interna da planta e da produção de carboidratos.

**17 Fuvest** Duas plantas da mesma espécie, que vivem em ambientes distintos, apresentam folhas morfologicamente diferentes, representadas nas figuras A e B.



- a) Indique, justificando, qual das folhas corresponde à planta que vive em campo aberto e qual corresponde à planta que vive no interior de uma floresta.
- b) Se recortarmos um quadrado de mesma área de cada uma dessas folhas e extrairmos a clorofila, de qual amostra se espera obter maior quantidade desse pigmento? Por quê?

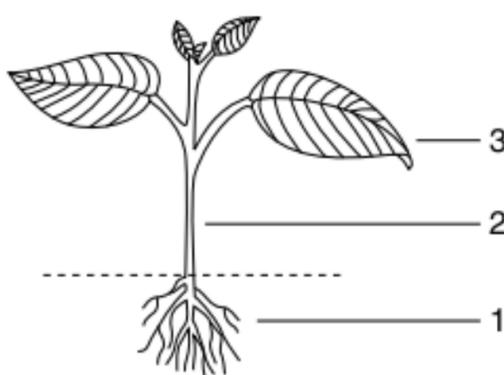
**18 Puccamp** Tubérculos que possuem botões vegetativos, como as batatas-inglesas; escamas que acumulam substâncias nutritivas, como as das cebolas; e cladódios que apresentam reserva de água, como os dos cactos, são, respectivamente, tipos de:

- (a) raiz, caule e folha.
- (b) raiz, folha e caule.
- (c) raiz, raiz e caule.
- (d) caule, folha e folha.
- (e) caule, folha e caule.

**19 UFSM** As plantas parasitas obtêm alimento do hospedeiro através dos \_\_\_\_\_, que são \_\_\_\_\_ especializadas. Selecione a alternativa que completa corretamente as lacunas.

- (a) haustórios – raízes
- (b) pneumatódios – folhas
- (c) pneumatóforos – raízes
- (d) haustórios – folhas
- (e) pneumatóforos – folhas

**20 Ufla** A figura representa uma planta e seus órgãos vegetativos 1, 2 e 3.



1. Citar:
  - a) uma função do órgão vegetativo 1.
  - b) um tecido característico deste mesmo órgão.
2. Citar:
  - a) uma função do órgão vegetativo 2.
  - b) um tecido característico deste mesmo órgão (não repetir os citados em 1).

**21 Faap** Na feira ou na quitanda, tomate, cenoura, pepino e cebola são considerados “legumes”. A bem da verdade, legume é o fruto produzido pelas leguminosas, como a vagem do feijão. Os legumes anteriores são, respectivamente:

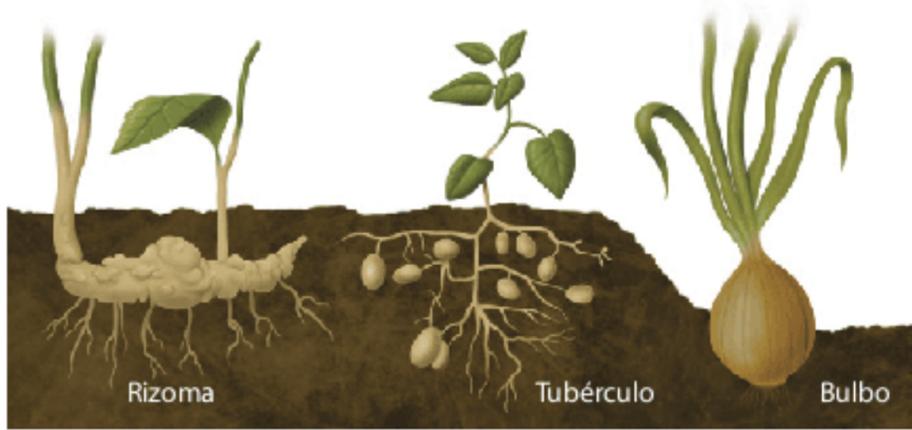
- (a) fruto, raiz, fruto e caule.
- (b) fruto, caule, fruto e raiz.
- (c) fruto, fruto, caule e raiz.
- (d) caule, fruto, caule e fruto.
- (e) fruto, fruto, fruto e caule.

**22 Udesc** As angiospermas possuem três tipos básicos de órgãos: raiz, caule e folha. Em relação a esses órgãos, assinale a alternativa correta.

- (a) As folhas apresentam função de sustentação.
- (b) A raiz é a porção do eixo principal de um vegetal, geralmente clorofilada, subterrânea e que apresenta gemas laterais.
- (c) Em plantas aquáticas, as raízes promovem a fotossíntese e a liberação de oxigênio para o meio externo.
- (d) No caule, são observados os estômatos, que regulam a quantidade de sais que a planta absorve.
- (e) Podemos observar caules aéreos, subterrâneos ou aquáticos, de acordo com as características dos vegetais.

**23 UFC** O corpo dos vegetais superiores é composto de 2 (dois) conjuntos básicos de estruturas: vegetativas e reprodutivas. Enquanto as estruturas vegetativas garantem a manutenção do indivíduo como uma unidade dentro da população, as estruturas reprodutivas são responsáveis pela propagação deste indivíduo e pela consequente manutenção do estoque genético da espécie. No que se refere às estruturas vegetativas, resolva os itens a seguir.

- a) Quais as funções do caule e da raiz na planta? Cite pelo menos duas funções de cada órgão.
- b) Quais as características morfológicas (ou fisiológicas) de cada um desses órgãos? Cite pelo menos duas características de cada um.
- c) Normalmente, os caules e as raízes desenvolvem-se, respectivamente, acima e abaixo do solo. Acontece que determinadas plantas apresentam um padrão de crescimento um tanto quanto diferente. Cite 2 (dois) exemplos de caules subterrâneos e 2 (dois) exemplos de raízes aéreas.



A figura anterior destaca partes da estrutura de três diferentes cultivares (vegetais). Com base em seus conhecimentos, é correto afirmar, exceto:

- (a) Rizoma é uma estrutura encontrada em samambaia e em bananeiras.

- (b) Tubérculos são raízes que apresentam nódulos ricos em substâncias nutritivas.  
 (c) No bulbo como os da cebola, folhas modificadas e armazenadoras revestem uma pequena porção interna de caule.  
 (d) Rizomas, tubérculos e bulbos são estruturas tipicamente subterrâneas.

25 CFTPR Diferentes órgãos das plantas têm importância econômica para o homem. As partes da mandioca e da cana-de-açúcar utilizadas para a produção de álcool são, respectivamente:

- (a) caule e caule.  
 (b) raiz e caule.  
 (c) caule e raiz  
 (d) raiz e raiz.  
 (e) raiz e fruto.

## TEXTO COMPLEMENTAR

### A matemática das flores

Olhe para uma pinha, um cacto ou um girassol e repare nas intrincadas espirais que eles apresentam. Os desenhos que parecem um prodigioso acaso da natureza são, para os matemáticos, o resultado de forças mecânicas que agem no crescimento das plantas. Já se sabia que as espirais expressam uma progressão numérica conhecida como sequência de Fibonacci, em que cada número é a soma dos dois precedentes: 1, 1, 2, 3, 5, 8, 13...

Agora, os matemáticos Patrick Shipman e Alan Newell, da Universidade do Arizona, nos Estados Unidos, criaram um modelo matemático para explicar esse fenômeno (*Physical Review Letters*, 23 de abril). A cabeça arredondada dos cactos, por exemplo, é coberta de pequenas protuberâncias, cada uma com um espinho. Começando pelo centro e conectando os pontos de cada espinho

até seu vizinho, chega-se a uma espiral com 2, 5 ou 8 galhos – a sequência de Fibonacci. Cada nova folha emerge de um ponto que consiste de uma capa que cobre um núcleo.

À medida que a planta cresce, a capa se desenvolve mais rápido que o núcleo, e assim as espirais se formam para acomodar a superfície extra. Os espinhos ficam na intersecção das espirais. Formam-se três tipos de espirais, que dividem a superfície da planta em triângulos de lados curvos, com propriedades especiais. Alguns biólogos comentaram que esse modelo pode ser útil nas pesquisas sobre a formação de padrões nos organismos vivos, mais do que apenas produzir desenhos elegantes.

Carlos Fioravanti. Pesquisa FAPESP.

## RESUMINDO

Uma semente germina em determinadas condições ambientais. São então formadas as estruturas da planta: a raiz (derivada da radícula do embrião), o caule (ao qual as folhas se prendem) e as folhas. A origem das diferentes partes da planta é no tecido meristemático (com grande capacidade mitótica) dependendo de ação hormonal específica.

- **Raiz:** fixa a planta ao solo e dele retira água e nutrientes minerais. Origina-se da radícula, mas também pode ser chamada de adventícia, quando é formada a partir de outras estruturas da planta, como folhas ou caules.
  - Partes de uma raiz:
    - **Coifa:** protege a zona meristemática do atrito com o solo e da decomposição.

- **Zona meristemática:** constituída por tecido meristemático indiferenciado.
- **Zona de distensão (zona lisa):** contribui para o crescimento longitudinal da raiz.
- **Zona pilífera:** possui pelos responsáveis pela absorção de água e nutrientes minerais do solo.
- **Zona das ramificações (suberosa):** caracteriza-se pelo aumento de diâmetro e pela formação de ramificações (**raízes secundárias**).
- Tipos de raízes: recebem classificações de acordo com o habitat nos quais se desenvolvem:
  - **Aquáticas:** de plantas que se desenvolvem totalmente ou parcialmente submersas na água. Ex.: ninfeias e cabomba (de aquário).

- **Aéreas:**
    - **Raiz-escora, ou suporte:** responsáveis por ajudar na sustentação da planta. Ex.: milho.
    - **Raiz sugadora:** característica de plantas parasitas (retiram seiva de uma planta hospedeira). Apresentam estruturas sugadoras chamadas **apressório** (se liga à hospedeira) e **haustórios** (atingem os vasos condutores). Há dois tipos de plantas parasitas: hemiparasitas e holoparasitas. Ex.: erva-de-passarinho e cipó-chumbo.
    - **Raiz estrangulante:** envolve o tronco de uma planta hospedeira sem sugar sua seiva. Ex.: mata-pau.
    - **Raiz respiratória:** conhecida como **pneumatóforos**, constitui ramos de raízes que crescem verticalmente para fora do solo buscando ar. Ex.: espécies dos manguezais.
    - **Raiz tabular:** lateralmente achatada, como uma tábua. Ajuda na fixação e estabilidade da árvore, aumentando sua base de apoio. Ex.: figueira.
    - **Raiz grampiforme, ou aderente:** raiz adventícia que tem como função prender o vegetal em estruturas suporte. Ex.: hera e cipó.
    - **Raiz velame:** pode ser vista em orquídeas. Possui envoltório esponjoso, capaz de absorver gotículas de água que ficam em suspensão no ar.
  - **Subterrâneas:**
    - **Raiz axial:** raiz principal maior em diâmetro e comprimento do que as raízes laterais, sendo muito mais desenvolvida. Típica do grupo das **dicotiledôneas** e **gimnospermas**. Ex.: pinheiros (gimnosperma) e manacá-da-serra (angiosperma).
    - **Raiz fasciculada:** ramifica-se em um feixe de raízes secundárias, terciárias. Típica de monocotiledôneas. Ex.: ervas e gramíneas.
    - **Raiz tuberosa:** converte-se em órgão de reserva para a planta (armazena amido ou sacarose). Ex.: mandioca, cenoura, rabanete, mandioquinha, beterraba e nabo.
  - **Caule:** estabelece a ligação entre raízes e folhas, permitindo fluxo de seiva. Fornece suporte mecânico para as folhas, possibilitando a exposição à luz, utilizada na fotossíntese. Caules podem ser divididos em dois grandes grupos: aéreos (erectos ou rastejantes) e subterrâneos.
    - **Caules aéreos rastejantes:** não possuem tecidos de sustentação com rigidez. Ex.: melancia, abóbora e morango.
    - **Caules aéreos erectos:**
      - **Haste:** caule delgado e clorofilado, como o da planta do arroz, do feijão e do trigo.
      - **Tronco:** caule típico de árvores, tem casca revestida de cortiça.
      - **Colmo:** tem formato cilíndrico e anéis conhecidos como nós. De cada nó podem brotar folhas. Ex.: milho e cana-de-açúcar.
      - **Estipe:** tem o formato cilíndrico e nós em forma de anéis. Folhas são formadas apenas na extremidade. Ex.: coqueiro e palmeiras (família *Arecaceae*).
      - **Cladódio:** típico dos cactos, com grande quantidade de água armazenada e folhas modificadas em espinhos.
  - **Caules subterrâneos:**
    - **Rizoma:** paralelo à superfície; dele saem raízes adventícias e folhas. Ex.: samambaia e bananeira.
    - **Tubérculo:** compacto e rico em reservas. Apresentam gemas em sua superfície e delas podem brotar novas plantas. Ex.: batata e inhame.
    - **Bulbo:** dilatado, com estrutura bem diversificada. Tem uma base, conhecida como “prato”, à qual ficam ligadas raízes e folhas ricas em reservas (**catáfilos**). Ex.: cebola e alho.
  - **Folhas:** têm como principal função realizar fotossíntese, efetuando intensas trocas gasosas com o ambiente.
    - **Partes de uma folha:**
      - **Dicotiledôneas:** possuem **limbo** (com **nervuras em rede**) e **pecíolo** (ligado ao caule). São folhas reticulínerevas.
      - **Monocotiledôneas:** possuem limbo (com **nervuras paralelas**) e uma **bainha** (que envolve o caule). São folhas paralelinérneas.
    - **Tipos de folhas:**
      - **Acículas:** folhas com formato de agulha, com grande superfície exposta ao ar. Ex.: pinheiro.
      - **Espinhos:** folhas modificadas, típica dos cactos, ou modificações dos ramos, no caso do limoeiro.
      - **Sépalas e pétalas:** folhas modificadas para a formação de flores.
      - **Brácteas:** folhas modificadas que podem ser coloridas situadas na base das flores. Ex.: copo-de-leite.
      - **Cotilédones:** folhas iniciais que protegem as sementes.
      - **Gavinhas:** folhas modificadas (como nas ervilhas) ou ramos caulinares (como no chuchu). São estruturas que se enrolam em um suporte.
- A diversidade de estruturas presentes nas plantas demonstra grande adaptação do Reino Vegetal aos mais diversos tipos de habitat, o que permite que as plantas habitem praticamente todo o planeta.

## ■ QUER SABER MAIS?



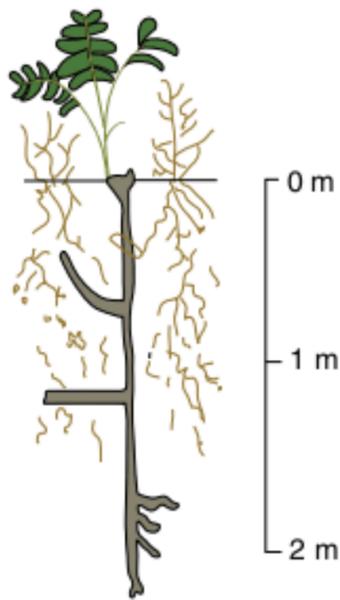
### SITES

- Estudo desenvolvido na Inglaterra aponta o homem como a principal causa de 20% das espécies vegetais correrem risco de extinção no mundo. O bioma considerado mais afetado é a Mata Atlântica.  
<http://cienciahoje.uol.com.br/noticias/2010/11/plantas-ameacadas-pela-acao-humana>
- Colunista mostra como surgem os tecidos tumorais em vegetais, também chamados de galhas.  
[http://cienciahoje.uol.com.br/colunas/por-dentro-das-celulas/cancer-em-plantas/?searchterm=morfologia vegetal](http://cienciahoje.uol.com.br/colunas/por-dentro-das-celulas/cancer-em-plantas/?searchterm=morfologia%20vegetal)

# Exercícios complementares

## 1 Uerj

### Barbatimão e gramínea convivem lado a lado no cerrado



Fonte: "Biological Sciences" – Curriculum Study: Versão Verde. Vol. III. São Paulo: Edart, 1980.

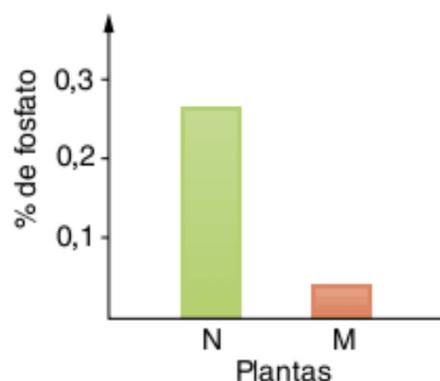
A figura anterior mostra o extraordinário desenvolvimento das raízes do barbatimão, em comparação com as raízes da gramínea. Até os 2 metros representados na figura, não aparecem sequer raízes absorventes do barbatimão, que estão em profundidade ainda maior.

- Indique a vantagem de as raízes do barbatimão atingirem vários metros de profundidade, em sua competição com as gramíneas.
- Cite duas outras características das plantas do cerrado que possibilitam sua adaptação às condições da seca.

## 2 UEL Plantas do gênero *Rhizophora* com raízes-escoras, que permitem melhor fixação em solo lodoso, e do gênero *Avicennia* com raízes respiratórias, que possibilitam a obtenção de oxigênio em solo alagado, são características:

- do cerrado.
- do pantanal.
- dos manguezais.
- da mata Atlântica.
- da floresta Amazônica.

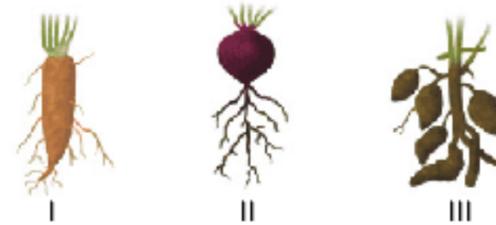
## 3 UFF 2005 Em estudos com *Arabidopsis thaliana*, um vegetal terrestre, foram utilizadas plantas jovens com genótipo mutante (M), que não apresentam a formação de uma estrutura presente na raiz, e plantas jovens com genótipo normal (N). As plantas foram cultivadas em solução nutritiva em condições adequadas ao crescimento, entretanto com metade da concentração de fosfato recomendada para essa espécie. Após um mês de cultivo, o teor de fosfato foi avaliado na matéria seca das plantas, fornecendo os resultados apresentados no gráfico a seguir.



- Qual das regiões da raiz foi afetada pela mutação? Justifique sua resposta.

- Suponha que as plantas jovens com genótipo normal, ao serem transferidas da solução nutritiva para o solo, tenham sido cortadas na região logo abaixo daquela afetada pela mutação nas plantas mutantes (M). Quais foram as regiões perdidas e como isso afeta o crescimento e funcionamento da raiz?

## 4 UEL As figuras a seguir mostram órgãos de reserva de três plantas diferentes.



A raiz principal transformou-se em órgão de reserva apenas em:

- I.
- II.
- I e II.
- I e III.
- II e III.

## 5 A casca dos troncos é revestida de um tecido chamado súber, também conhecido como cortiça. O súber é formado por várias camadas de células mortas e ocas, com paredes revestidas de suberina, substância impermeável. A partir dessas informações, que conclusões podem ser formadas a respeito das funções do súber?

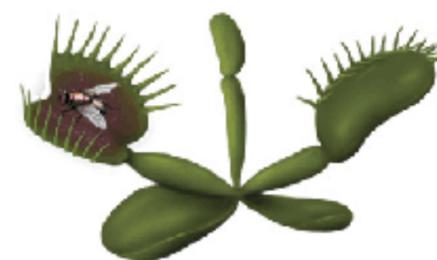
## 6 Unicamp 2004

O calor e a seca do verão de 2003 na França fizeram mais uma vítima fatal: morreu o carvalho que havia sido plantado em 1681 [...]. Provavelmente a árvore será cortada, mantendo-se apenas a base do seu tronco de 5,5 m de circunferência, o que atesta sua longa vida de 322 anos.

Reali Júnior. "O carvalho de Maria Antonieta em Versalhes morreu. De calor". O Estado de S. Paulo, 28 ago. 2003. (Adapt.).

- Se não houvesse registros da data do seu plantio, a idade da árvore poderia ser estimada através do número de anéis de crescimento presentes no seu tronco. Como são formados esses anéis? Quais os fatores que podem influenciar na sua formação?
- Seria possível utilizar essa análise em monocotiledôneas? Explique.

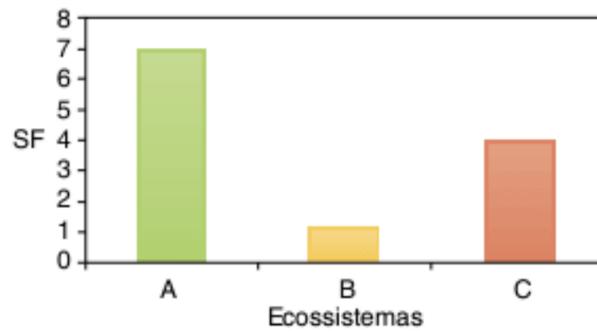
## 7 Cesgranrio O esquema a seguir mostra uma planta insetívora.



Esse mecanismo é uma adaptação que permite a sobrevivência desses vegetais em regiões cujos solos são pobres em compostos.

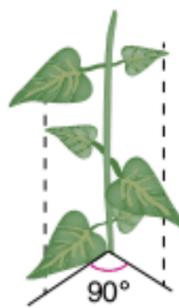
- hidrogenados.
- nitrogenados.
- carbonados.
- oxigenados.
- sulfatados.

**8 UFRJ 2003** A soma da área superficial de todas as folhas encontradas em 1 m<sup>2</sup> de terreno é denominada SF. O gráfico a seguir apresenta a SF de 3 ecossistemas distintos (A, B e C). Nesses três ambientes, a disponibilidade de luz não é um fator limitante para a fotossíntese.



Identifique qual dos três ecossistemas corresponde a um deserto, explicando a relação entre a SF e as características ambientais deste ecossistema.

**9 UFRJ 2001** A distribuição das folhas de uma planta ao longo dos nós presentes no caule segue padrões de organização conhecidos como filotaxia. Na “filotaxia oposta”, as folhas aparecem aos pares em cada nó e cada folha está diametralmente oposta à outra. Além disso, o par de um nó forma ângulo de 90° com os pares imediatamente superior e inferior. Em geral, os nós são também distantes entre si.

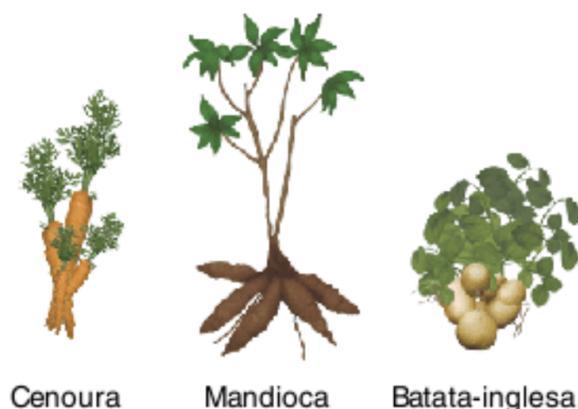


Explique a importância da filotaxia oposta para os processos metabólicos das plantas.

**10 Puccamp 2004** As folhas da carnaubeira, palmeira característica de algumas áreas da caatinga, são revestidas por uma espessa camada de cera. Outras plantas da mesma região também apresentam essa característica, considerada uma adaptação para:

- (a) impedir ataques de insetos.
- (b) atrair polinizadores.
- (c) diminuir a perda de água.
- (d) otimizar a respiração.
- (e) aumentar processos de gutação.

**11 UFMG 2004** Observe estas figuras.



Entre as funções que ocorrem nessas raízes e nesse caule comestíveis, não se inclui:

- (a) armazenagem de nutrientes.
- (b) reprodução sexuada.
- (c) reserva de água.
- (d) resistência ao frio.

**12 UEL 2003** Geralmente, caules subterrâneos que acumulam substâncias nutritivas, denominados tubérculos, são confundidos como sendo raízes tuberosas que também acumulam reservas de amido. Um caso típico desse equívoco seria o de classificar a batata-inglesa como raiz tuberosa. Qual das alternativas apresenta uma característica que diferencia um tubérculo de uma raiz tuberosa?

- (a) O tubérculo possui pelos absorventes para a absorção de água.
- (b) A raiz tuberosa possui gemas axilares para o crescimento de ramos.
- (c) O tubérculo possui coifa para proteger o meristema de crescimento.
- (d) A raiz tuberosa possui gemas apicais para desenvolver novas raízes.
- (e) O tubérculo possui gemas laterais para desenvolver ramos e folhas.

**13 UFRS** O quadro abaixo refere-se às adaptações morfológicas ocorrentes em algumas plantas.

Planta	Órgão	Adaptação morfológica
mangue-vermelho	I	pneumatóforo
II	folha	catáfilo
videira	caule	III
laranjeira	IV	espinho
V	raiz	haustório

Assinale a alternativa cujos elementos preenchem de forma correta os espaços I, II, III, IV e V, respectivamente.

- (a) raiz – cebola – gavinha – caule – erva-de-passarinho
- (b) caule – erva-de-passarinho – rizoma – folha – milho
- (c) raiz – milho – rizoma – folha – erva-de-passarinho
- (d) caule – cebola – rizoma – raiz – milho
- (e) folha – erva-de-passarinho – gavinha – caule – cebola

**14 Ufal** Cactos são plantas adaptadas a climas secos. Eles têm uma aparência bem característica devido ao caule verde e à grande quantidade de espinhos.

- a) Por que a transformação de folhas em espinhos é uma adaptação a ambientes secos?
- b) Por que o caule do cacto é verde?

**15 CFTMG 2007** No Reino Vegetal, existem espécies de caules subterrâneos e raízes aéreas. Dentre as espécies citadas, destacam-se, respectivamente:

- (a) orquídea e coco-da-baía.
- (b) cana-de-açúcar e goiabeira.
- (c) cenoura e erva-de-passarinho.
- (d) batata-inglesa e *Avicennia* do mangue.

# Apresentação dos tecidos vegetais



MARILIA SANTOS

Os aguapés são plantas aquáticas típicas de águas calmas, como lagos e rios de fluxo lento. Sua característica flutuante se deve ao parênquima aerífero, tecido cujas células possuem vacúolos para armazenamento de ar. Assim, há a diminuição da densidade relativa da planta, deixando-a mais leve e permitindo sua flutuação.

## Introdução

O corpo das plantas é organizado em tecidos, que são constituídos por células semelhantes. O estudo dos tecidos é chamado de Histologia.

Há dois grandes grupos de tecidos vegetais: meristemáticos e permanentes. Os **tecidos meristemáticos**, ou meristemas, são formados por células indiferenciadas, com grande capacidade mitótica; são responsáveis pelo crescimento da planta e pela formação dos tecidos permanentes, através do processo de diferenciação celular. Os **tecidos permanentes** podem ser classificados, de acordo com as funções que exercem, em quatro modalidades: revestimento, condução (vasos condutores), sustentação e parênquimas. Os parênquimas podem exercer diferentes papéis, como realização de fotossíntese, armazenamento (água, amido) ou preenchimento, ocupando espaços entre tecidos (Fig. 1).

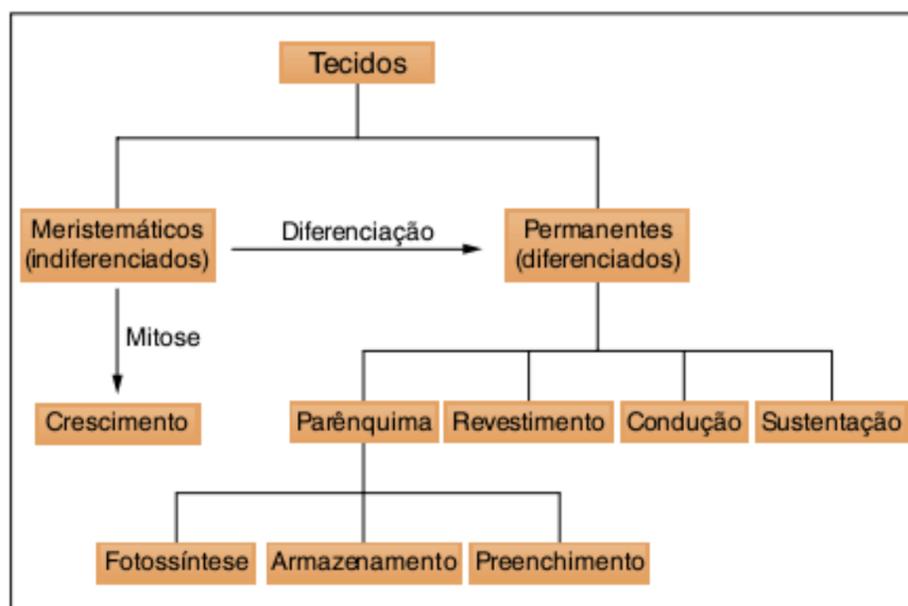


Fig. 1 Os principais tipos de tecidos vegetais.

## Os tecidos permanentes

Toda atividade da planta é executada por tecidos. Assim, é necessário ter uma visão geral dos principais tipos de tecidos e de como eles interagem na manutenção da vida de um vegetal.

## Tecidos de condução

São formados principalmente pelos vasos condutores de seiva: o **xilema** (lenho) e o **floema** (líber). A raiz retira água e nutrientes minerais do solo, formando no interior da planta uma solução chamada de seiva bruta (ou inorgânica), que é conduzida até as folhas pelo xilema. As folhas, então, realizam fotossíntese, produzindo açúcar e outros materiais orgânicos; a partir disso, forma-se nas folhas a seiva elaborada (ou orgânica), solução constituída principalmente por água e açúcar e transportada pelo floema até a raiz e outras partes da planta. No caule, o xilema é posicionado mais internamente que o floema (Fig. 2).

## Tecidos de sustentação

Correspondem ao esqueleto dos animais. Nas plantas, o xilema é um tecido que, além de conduzir seiva bruta, também contribui para a sustentação da planta. A madeira do interior do tronco de uma árvore é constituída, em grande parte, por xilema.

As plantas possuem outros dois tecidos de sustentação: **colênquima** e **esclerênquima**. O colênquima é mais flexível e corresponde à cartilagem dos animais; o esclerênquima é mais rígido, sendo equivalente aos ossos.

Apenas para termos uma noção da localização desses tecidos, serão dados alguns exemplos. O esclerênquima é encontrado junto aos vasos condutores do caule e das folhas (nas nervuras) e é integrante do caroço de frutos. Já o colênquima é abundante em caules flexíveis, como os da abóboreira, e no pecíolo de folhas.

## Tecidos de revestimento

Envolvem a planta, contribuindo para a proteção de estruturas e para a realização de trocas gasosas. Há dois tipos de tecidos de revestimento: **epiderme** e **súber**, este também denominado cortiça. A epiderme é bastante delgada e recobre folhas, frutos e partes jovens de caules e raízes. O súber, de aspecto mais rugoso, recobre partes do caule e da raiz que apresentam crescimento em circunferência (Fig. 2).



Fig. 2 No caule, o xilema tem posição interna enquanto o floema é mais externo. A epiderme reveste folhas e partes jovens do caule e da raiz; o súber recobre partes do caule e da raiz que cresceram em diâmetro.

## Parênquimas

São tecidos que preenchem espaços existentes entre os demais tecidos. O parênquima que realiza fotossíntese é denominado **parênquima clorofiliano**, clorênquima ou parênquima assimilador; é encontrado no interior de folhas e de caules jovens.

Alguns parênquimas são responsáveis pelo armazenamento de ar (**parênquima aerífero**), de água (**parênquima aquífero**) ou de amido (**parênquima amilífero**). O parênquima aerífero é comum em plantas flutuantes, como a vitória-régia e o aguapé. O cacto possui parênquima aquífero, que armazena água, permitindo ao vegetal sobreviver em ambientes secos. Já a mandioca e a batata têm parênquima amilífero, utilizado como reserva energética (Fig. 3).

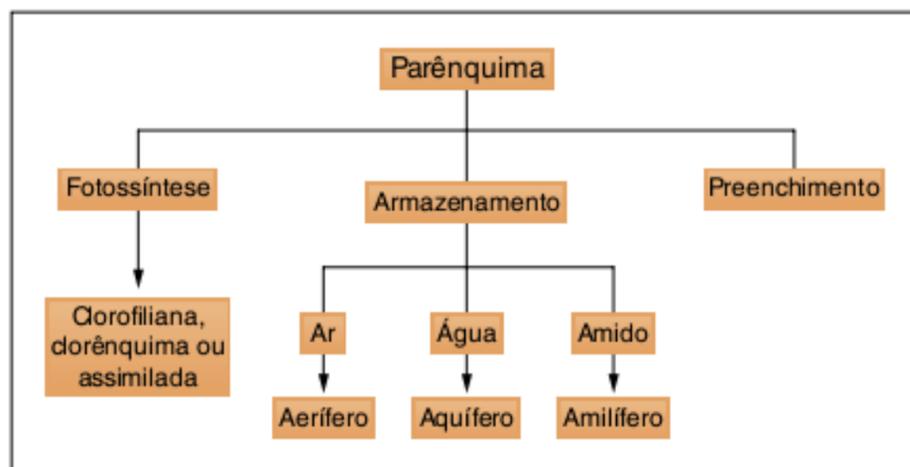


Fig. 3 Tipos principais de parênquima.

Há também tecidos responsáveis pela secreção de substâncias como o néctar das flores e o látex. Pinheiros têm tecidos que secretam uma resina que protege a planta contra insetos e contra a decomposição.

## Meristemas

Células meristemáticas são pequenas quando comparadas a células de tecidos mais especializados. Apresentam parede celular delgada, núcleo em posição central e citoplasma com numerosos vacúolos. (Fig. 4).

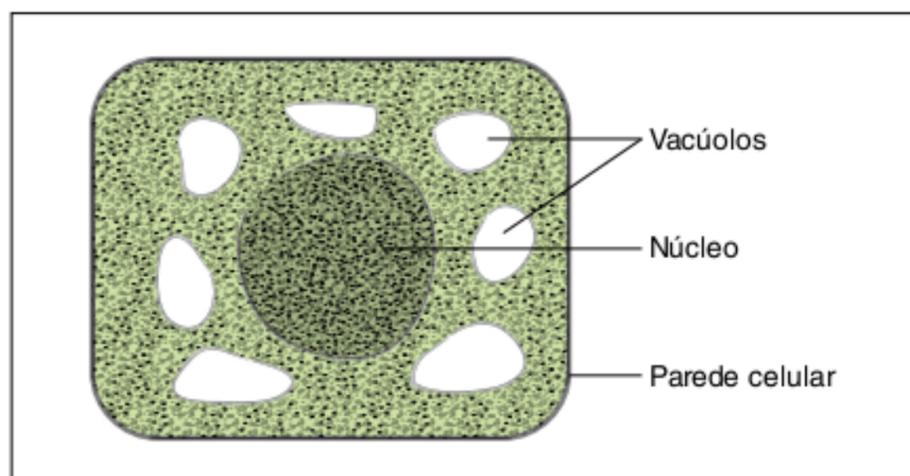


Fig. 4 Organização de célula meristemática. É possível reconhecer sua parede celular delgada e o núcleo em posição central.

Uma célula meristemática pode crescer sob estímulo hormonal. Seus vacúolos fundem-se em um único vacúolo, que passa a ocupar posicionamento central, provocando o deslocamento do núcleo para a periferia da célula. Ocorre também a deposição de materiais na face interna da parede celular, que se torna mais espessa (Fig. 5).

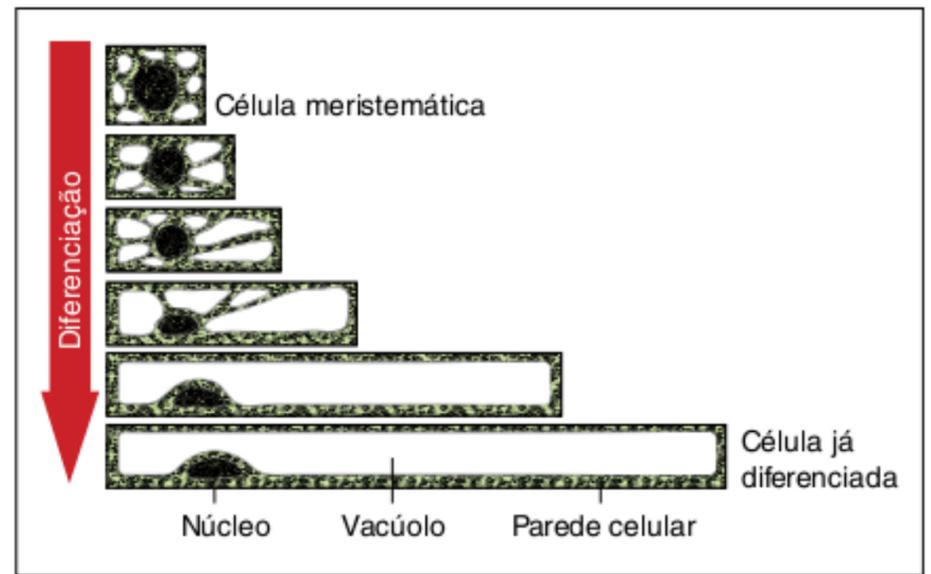
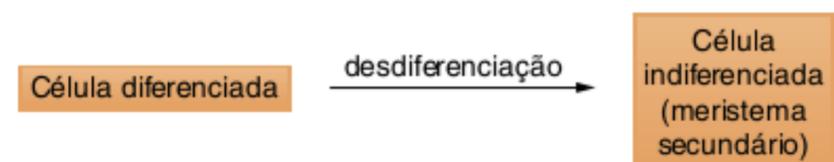


Fig. 5 Processo inicial de diferenciação celular. Algumas modificações ocorrem no processo inicial de diferenciação de células vegetais: formação de um vacúolo central, deslocamento do núcleo para a periferia e espessamento da parede celular.

Esse tipo de célula já tem certo grau de diferenciação, que pode se acentuar, originando células com funções definidas, como realização de fotossíntese, armazenamento de amido, sustentação, condução de seiva etc. Esse processo é denominado **diferenciação celular**.

Há casos em que uma célula diferenciada divide-se em várias células-filhas de menor tamanho e com aspecto muito próximo das células meristemáticas. Esse processo é denominado **desdiferenciação** e as células resultantes são componentes dos chamados **meristemas secundários**.



Muitos meristemas secundários são provenientes da desdiferenciação que ocorre em parênquimas.

As células que são indiferenciadas desde o estágio embrionário, provenientes de mitoses sucessivas, formam os chamados **meristemas primários**. Esses meristemas são encontrados, por exemplo, nas gemas laterais e nas extremidades do caule e da raiz (que é protegida pela coifa). Meristemas primários são responsáveis pelo crescimento longitudinal das estruturas onde se encontram, como o ápice do caule, o ápice de raiz e os ramos (provenientes do desenvolvimento de gemas laterais).

Já os meristemas secundários promovem crescimento em circunferência. Há dois exemplos muito importantes de meristemas secundários: o **câmbio vascular** e o **felogênio**, também conhecido como câmbio de casca.

O câmbio vascular e o felogênio têm formato cilíndrico e estão localizados em caules e raízes em processo de crescimento em circunferência. O felogênio é mais externo em relação ao câmbio. O câmbio divide suas células que se diferenciam em vasos condutores, sendo formado o xilema (componente da madeira) para dentro e o floema para fora (Fig. 6).

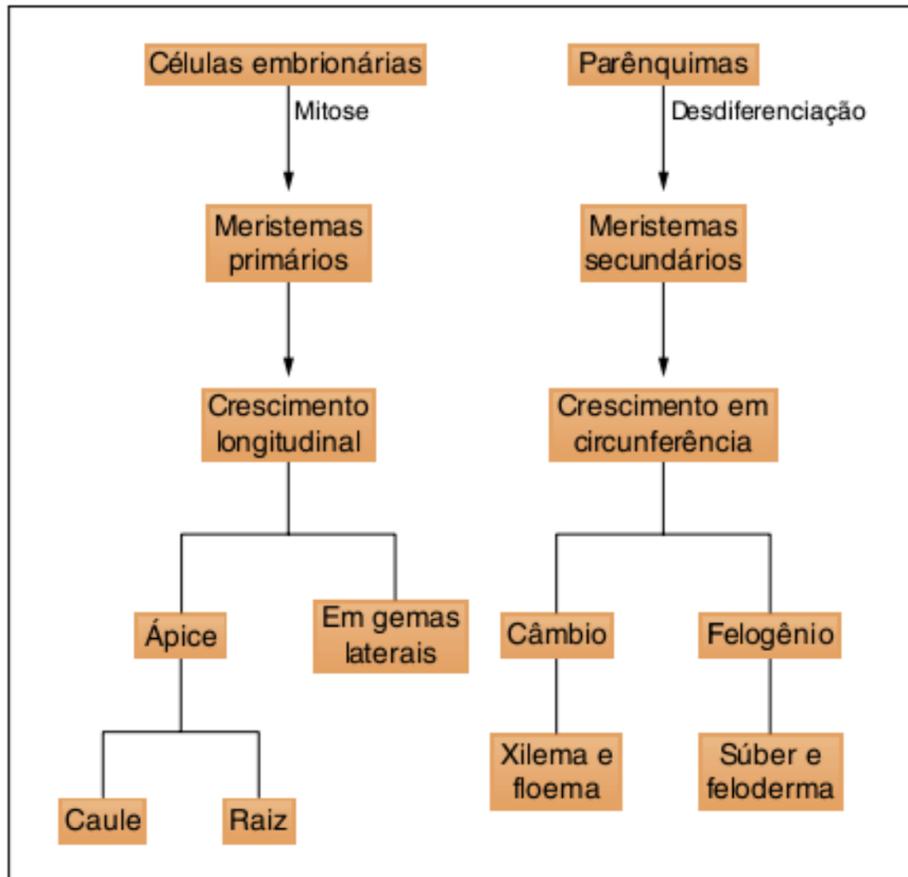


Fig. 6 Os dois tipos de meristema: sua origem e localização.

Com a formação de maior quantidade de vasos condutores, o tronco aumenta sua circunferência e acaba rompendo seu revestimento. O felogênio é responsável pela formação de

um novo revestimento, o súber (para fora) e o feloderma (para dentro). O **feloderma** é um tipo de parênquima. O conjunto constituído por súber, felogênio e feloderma é denominado **periderme** (Fig. 7).

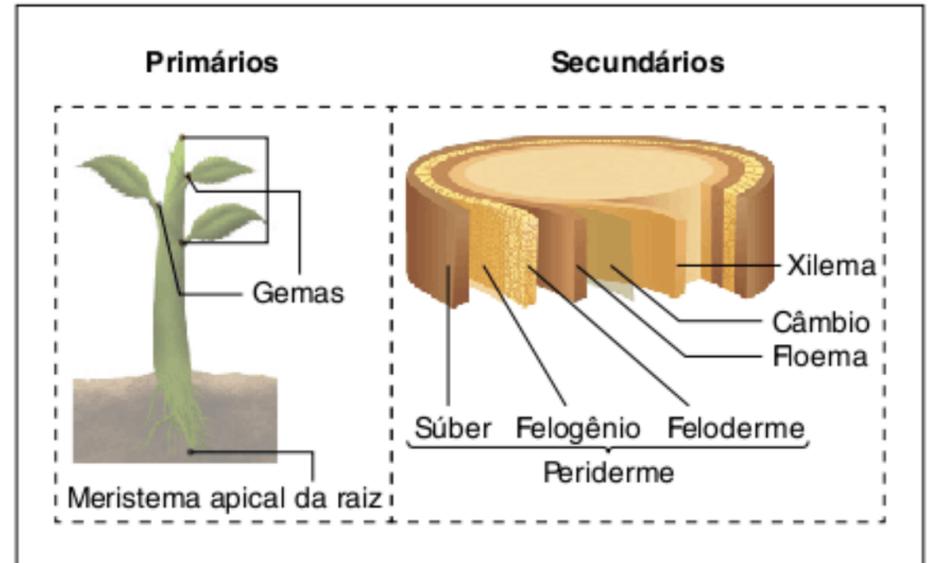


Fig. 7 À esquerda, a localização de alguns meristemas primários: na extremidade das raízes e nos componentes das gemas do caule. À direita, a localização de dois meristemas secundários: o câmbio e o felogênio.

Nos próximos capítulos, será feita uma análise mais detalhada dos tecidos, de modo integrado com a fisiologia vegetal.

## Revisando

1 Qual é o nome dado ao estudo dos tecidos?

---



---



---

2 Existem dois grandes grupos de tecidos vegetais: os meristemáticos e os permanentes. Sobre os tecidos meristemáticos, responda.

a) Como são formados?

---



---



---

b) Quais são suas funções?

---



---



---

3 Como são classificados os tecidos permanentes?

---



---



---

4 O que é xilema?

---



---



---

**5** Existem dois tipos de tecidos de revestimento. Que tecidos são esses? E quais são suas características?

---

---

---

---

**6** O que são parênquimas?

---

---

---

---

**7** Como é denominado o parênquima responsável pela realização da fotossíntese e onde é encontrado?

---

---

---

---

**8** Leia o texto a seguir para fazer a correlação correta entre a coluna da direita e a coluna da esquerda.

“Alguns parênquimas são responsáveis pelo armazenamento de ar, água ou amido. São chamados, respectivamente, de parênquimas aeríferos, aquíferos e amilíferos.”

Faça a relação:

- (1) Cacto
- (2) Mandioca
- (3) Vitória-régia

- Parênquima aquífero
- Parênquima aerífero
- Parênquima amilífero

## Exercícios propostos

**1 UEL** Os tecidos que permitem às plantas manterem-se eretas são, principalmente:

- (a) o lenho, o esclerênquima e o colênquima.
- (b) o líber, o esclerênquima e o colênquima.
- (c) o lenho, o líber e o colênquima.
- (d) o lenho, o líber e o meristema.
- (e) o meristema, o colênquima e o esclerênquima.

**2 Udesc** Considere os tecidos vegetais e as suas características e, depois, selecione a alternativa que apresenta correspondência correta entre as colunas.

- I. meristema secundário
- II. tegumentar
- III. esclerênquima
- IV. parênquima clorofiliano

- 1. função de sustentação
- 2. função de síntese
- 3. desdiferenciam-se e tornam a ter capacidade de se dividirem intensamente
- 4. predominante nas folhas
- 5. formado por células vivas
- 6. função de proteção

- (a) I – 3; II – 2; III – 4; IV – 5
- (b) I – 1; II – 2; III – 3; IV – 4
- (c) I – 4; II – 3; III – 6; IV – 5
- (d) I – 5; II – 6; III – 1; IV – 2
- (e) I – 6; II – 5; III – 1; IV – 4

**3 UFV** Em relação aos tecidos vegetais:

- qual a função dos meristemas primários e onde se localizam?
- qual a função dos meristemas secundários?
- escreva uma característica do esclerênquima que o diferencia do colênquima.
- dê o nome do tecido localizado nas folhas e nos caules jovens, caracterizado por células ricamente clorofiladas com função fotossintética.

**4 UEL** Os tecidos de uma raiz desenvolvem-se a partir:

- da coifa.
- da epiderme.
- dos parênquimas.
- dos meristemas.
- do sistema vascular primário.

**5** O caule dos vegetais possui várias funções, dentre as quais a condução de água e nutrientes minerais (seiva bruta) até as folhas, onde será realizado o processo de fotossíntese. A respeito do caule, responda:

- Quais são os vasos condutores responsáveis pela condução da seiva mineral?
- Após a realização do processo de fotossíntese, será produzida matéria orgânica (seiva elaborada), que é conduzida por outro tipo de vasocondutor. Como é denominado esse vaso?

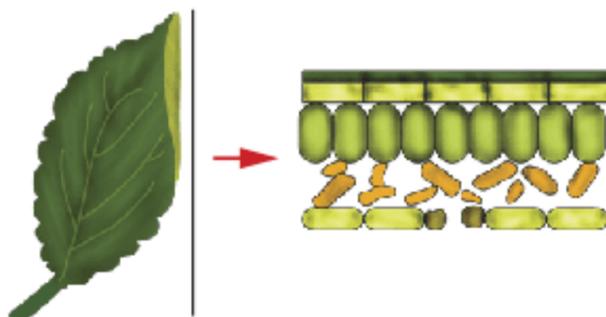
**6 Unesp** São exemplos de tecidos de sustentação, condução e proteção, respectivamente:

- súber – traqueídeos – esclerênquima.
- epiderme – esclerênquima – súber.
- súber – colênquima – fibras.
- esclerênquima – traqueídeos – súber.
- colênquima – xilema – traqueídeos.

**7 PUC-MG** O súber é:

- um tecido de condução encontrado em vegetais superiores com crescimento primário e secundário.
- um tecido com função de proteção encontrado em vegetais superiores apenas com crescimento secundário.
- uma estrutura utilizada para armazenamento de amido primário, resultante da atividade da periderme.
- um pigmento que é responsável pela coloração das flores.
- um tecido de revestimento que permite o aumento ou decréscimo na transpiração da planta.

**8 PUC-MG** O desenho representa o corte de uma folha indicando tecidos e/ou estruturas foliares.



Assinale a função que não ocorre em nenhuma das estruturas representadas:

- Transpiração.
- Transporte de seivas.
- Fotossíntese.
- Troca gasosa.

**9 PUC-RS** Nas angiospermas, quais são os tecidos responsáveis pelo crescimento?

- Colênquima e esclerênquima.
- Colênquima e parênquima.
- Esclerênquima e meristema.
- Meristemas primário e secundário.
- Tecidos lenhosos e liberianos.

**10 UEL** São importantes tecidos de sustentação dos vegetais:

- floema e xilema.
- colênquima e esclerênquima.
- parênquimas de reserva.
- súber e ritidoma.
- córtex e cilindro central.

**11 UFSC 2004** Pouca vantagem representaria, para animais e plantas, serem multicelulares, se todas as células fossem iguais. [...] Os órgãos das plantas, [...] são formados por tecidos.

Oswaldo Frota-Pessoa. *Os caminhos da vida I. Estrutura e ação*. São Paulo: Scipione. 2001. p. 157.

Com relação a esse assunto, é correto afirmar que:

- as raízes, a epiderme e os estômatos são exemplos de órgãos das plantas.
- na epiderme, existem células meristemáticas com função de aeração da planta.
- o xilema e o floema compõem o sistema de tecidos vasculares das plantas.
- os diversos tipos de parênquimas exercem funções de respiração, fotossíntese e aeração, entre outras.
- os frutos, outro tipo de órgão nas plantas, são formados basicamente de células meristemáticas.
- o colênquima e o esclerênquima são tecidos de condução, compostos de parênquimas vivos.
- pelo xilema, circula a seiva bruta, rica em água e sais minerais.

Soma =

Texto para a questão 12.

As florestas são os ecossistemas mais complexos do ambiente terrestre. O aumento das áreas naturais impactadas, as altas taxas de desmatamento e os problemas ambientais justificam o esforço mundial para o plantio de grandes áreas com espécies arbóreas.

**12 Puccamp 2004** Alguns animais da mata Atlântica aprenderam a alimentar-se de cascas de pinheiros plantados em Santa Catarina, tendo se tornado um problema para esse cultivo. O tecido que é fonte de alimento para esses animais é:

- (a) parênquima clorofiliano.
- (b) floema.
- (c) xilema.
- (d) colênquima.
- (e) esclerênquima.

Texto para a questão 13.

### Energia

A quase totalidade da energia utilizada na Terra tem sua origem nas radiações que recebemos do Sol. Uma parte é aproveitada diretamente dessas radiações (iluminação, aquecedores e baterias solares etc.) e outra parte, bem mais ampla, é transformada e armazenada sob diversas formas antes de ser usada (carvão, petróleo, energia eólica, hidráulica etc.).

A energia – incluindo a luz visível e as radiações ultravioleta e infravermelha – é um dos componentes abióticos dos ecossistemas e juntamente com a atmosfera e o solo deve ser considerada no estudo dos diversos níveis de organização dos ecossistemas, desde moléculas orgânicas, células, tecidos, organismos, populações e comunidades.

Antônio Máximo; Beatriz Alvarenga. *Curso de Física*. São Paulo: Scipione, 1997. p. 433. v. 2. (Adapt.).

**13 Puccamp 2004** As árvores possuem vários tipos de tecidos.

Tecido	Função	Localização na planta
esclerênquima	sustentação	I
epiderme	revestimento e impermeabilização	partes jovens da planta e nas folhas
colênquima	II	toda a planta
III	condução de seiva bruta	das raízes até as folhas
meristema primário	IV	ápices de caules e raízes

Para completar corretamente a tabela acima, deve-se substituir I, II, III e IV, respectivamente, por:

- (a) folhas e raízes, reserva energética, floema, multiplicação celular e crescimento.
- (b) associado ao sistema condutor, sustentação, xilema, multiplicação celular e crescimento.
- (c) caule, condução de seiva elaborada, parênquima, preenchimento de espaços internos.
- (d) tronco, proteção e condução de seiva elaborada, meristema, reprodução assexuada.
- (e) interior dos feixes liberianos, fotossíntese, lenho, reprodução.

## TEXTO COMPLEMENTAR

### Plantas crescem menos com aquecimento global

O aquecimento global não tem feito as plantas crescerem mais, como se estimava, mas sim menos. Segundo um estudo publicado na revista *Science*, a produtividade dos vegetais tem decaído em todo o mundo.

Até então, achava-se que as temperaturas constantemente mais elevadas estariam estimulando o crescimento das plantas, mas a nova pesquisa, feita com dados de satélites da **Nasa**, a agência espacial norte-americana, aponta o contrário.

O motivo são as secas regionais, indica o estudo feito por Maosheng Zhao e Steven Running, da Universidade de Montana, segundo o qual a tendência na produtividade já dura uma década.

A produtividade é uma medida da taxa do processo de fotossíntese que as plantas verdes usam para converter energia solar, dióxido de carbono e água em açúcar, oxigênio e no próprio tecido vegetal.

O declínio observado na última década foi de 1%. Parece pouco, mas, de acordo com os autores da pesquisa, é um sinal alarmante devido ao impacto potencial na produção de alimentos e de biocombustíveis e no ciclo global do carbono.

“Os resultados do estudo são, além de surpreendentes, significativos no nível político, uma vez que interpretações anteriores indicaram que o aquecimento global estaria ajudando no crescimento das plantas mundialmente”, disse Running.

Em 2003, outro artigo publicado na *Science*, de Ramakrishna Nemani, do Centro de Pesquisa Ames, da **Nasa**, e colegas, havia apontado um aumento de 6% na produtividade global de plantas terrestres entre 1982 e 1999.

O aumento foi justificado por condições favoráveis na temperatura, radiação solar e disponibilidade de água, influenciados pelo aquecimento global, que seriam favoráveis ao crescimento vegetal.

Zhao e Running decidiram fazer novo estudo, a partir de dados da última década reunidos pelo **satélite Terra**, lançado em 1999. Os cientistas esperavam pela continuidade da tendência anterior, mas verificaram que o impacto negativo das secas regionais superou a influência positiva de uma estação de crescimento mais longa, o que levou ao declínio na produtividade.

Segundo o estudo, embora as temperaturas mais elevadas continuem a aumentar a produtividade em algumas áreas e latitudes mais altas, nas florestas tropicais, responsáveis por grande parte da matéria vegetal terrestre, a elevação nas temperaturas tem diminuído a produtividade, devido ao estresse hídrico e à respiração vegetal, que retorna carbono à atmosfera.

[...]

Agência FAPESP, 23 ago. 2010.  
Disponível em: <<http://agencia.fapesp.br/12666>>.

## RESUMINDO

O corpo das plantas é organizado em tecidos (constituídos por células semelhantes). Há dois grupos de tecidos vegetais: meristemáticos (formados por células indiferenciadas, com capacidade mitótica) e permanentes (podem ser classificados de acordo com as funções que exercem).

- **Tecidos meristemáticos:** responsáveis pelo crescimento da planta e pela formação dos tecidos permanentes.
- **Tecidos permanentes:** podem ser classificados de acordo com as funções que exerce (revestimento, condução, sustentação e parênquimas).

Existem alguns tipos de tecidos:

- **Tecidos de condução:** formados principalmente pelos vasos condutores de seiva:
  - **Xilema:** conduz seiva bruta (água e nutrientes minerais do solo) até as folhas.
  - **Floema:** conduz seiva elaborada (solução de água) até a raiz e outras partes da planta.
- **Tecidos de sustentação:** correspondem ao esqueleto dos animais. Algumas estruturas atuam como tecido de sustentação: o **xilema**, o **colênquima** e o **esclerênquima**.
- **Tecidos de revestimento:** envolvem a planta e têm função de proteção e realização de trocas gasosas. Há dois tipos: **epiderme** e **súber** (cortiça).
- **Parênquimas:** preenchem espaços existentes entre os demais tecidos. São observados vários tipos, dentre eles: **parênquima clorofiliano** (realiza fotossíntese), **parênquima aerífero** (armazena ar), **parênquima aquífero** (armazena água em seu interior) e **parênquima amilífero** (armazena amido).
- **Meristemas:** podem crescer sob estimulação hormonal e mudar sua função em um processo denominado diferenciação celular. A **desdiferenciação** pode ocorrer em parênquimas e as células resultantes são componentes dos chamados **meristemas secundários**. Já as células indiferenciadas desde o estágio embrionário formam os chamados meristemas primários.
  - **Meristema primário:** promovem crescimento em altura e são localizados nas gemas da planta.
  - **Meristema secundário:** promovem crescimento em circunferência. Ex.: **câmbio vascular** (mais interno) e **felogênio** (câmbio de casca, mais externo). Com a formação de vasos condutores, o tronco aumenta e rompe seu revestimento. O felogênio é responsável pela formação de um novo revestimento, o súber (para fora) e o feloderma (para dentro). **Feloderma** é um tipo de parênquima. O conjunto constituído por súber, felogênio e feloderma é denominado **periderme**.

## ■ QUER SABER MAIS?



### SITES

- Reportagem sobre dispositivo desenvolvido por químico dos Estados Unidos, que produz energia a partir de luz solar e água. A invenção da fotossíntese sintética foi inspirada no processo realizado pelas plantas.  
<http://cienciahoje.uol.com.br/noticias/2011/04/fotossintese-sintetica>
- Reportagem sobre estudo desenvolvido na UFPE, que busca desvendar os mecanismos do efeito cupinicida que confere resistência à aroeira-do-sertão ao ataque de cupins. A descoberta pode levar ao desenvolvimento de inseticidas orgânicos, menos prejudiciais ao ambiente.  
<http://cienciahoje.uol.com.br/noticias/2011/03/madeira-que-cupim-nao-roi>

## Exercícios complementares

**1 Cesgranrio 2004** O estado físico dos compostos químicos pode ser reconhecido e justificado por meio das ligações interatômicas e intermoleculares que ocorrem, respectivamente, entre os átomos que formam as moléculas e entre as próprias moléculas. A água, por exemplo, em condições ambientais, é um solvente líquido, e as suas moléculas possuem um tipo especial de atração entre si, como decorrência da presença de polos opostos em sua estrutura molecular. Trata-se da ligação hidrogênio ou ponte de hidrogênio.

Constata-se, ainda, que fenômenos fisiológicos, como o transporte de algumas substâncias no corpo de uma árvore, resultam de tais interações.

Nas árvores, as interações que ocorrem entre as moléculas de água representam uma base técnica para explicar a:

- condução da seiva bruta ao longo dos vasos do xilema.
- condução da seiva bruta ao longo dos vasos do floema.
- condução da seiva elaborada ao longo dos vasos do xilema.
- condução da seiva elaborada ao longo dos vasos do floema.
- impulsão da seiva bruta pela pressão positiva gerada na raiz pela absorção dessa substância.

**2 UFPE 2004** Todas as células de uma planta derivam dos meristemas. Os meristemas podem ser primários (originam-se diretamente de células embrionárias) e secundários. Com relação a esse tema, podemos afirmar:

- as plantas vasculares jovens são revestidas pela epiderme, que é formada por células justapostas, achatadas e com grande vacúolo.
- a periderme, revestimento que substitui a epiderme (quando há crescimento secundário), é constituída pelo felogênio, pelo feloderma e pelo súber.
- os meristemas secundários, como, por exemplo, o felogênio, surgem por desdiferenciação de tecidos diferenciados, geralmente parênquimas.
- o câmbio vascular origina vasos liberianos (floema) para a região interna do caule, e vasos lenhosos (xilema) para a região externa dele.
- o parênquima aquífero ocorre principalmente em plantas que vivem em ambiente seco ou salino, enquanto o parênquima aerífico ocorre principalmente em plantas aquáticas.

**3 PUC-SP 2004** Um casal de namorados, com auxílio de um canivete, faz a inscrição de seus nomes ao redor do tronco de uma árvore. Passados seis meses, o casal se separa. O rapaz vai até a árvore e retira um anel da casca, circundando o tronco na região que continha a inscrição. Após algum tempo, o casal se reconcilia e volta à árvore para refazer a prova de amor, mas, para sua surpresa, encontram-na morta, porque o anel de casca que foi retirado continha:

- (a) além da periderme, o floema.
- (b) além da periderme, o xilema.
- (c) apenas o floema.
- (d) apenas o xilema.
- (e) o xilema e o floema.

**4 PUC-SP 2002** Em uma planta, a coluna líquida dentro de vasos é arrastada para cima, o que se deve ao fato de as moléculas de água manterem-se unidas por forças de coesão. A descrição acima refere-se à condução de:

- (a) seiva bruta pelos vasos xilemáticos.
- (b) seiva bruta pelos vasos floemáticos.
- (c) seiva elaborada pelos vasos xilemáticos.
- (d) seiva elaborada pelos vasos floemáticos.
- (e) seiva bruta pelas células companheiras, anexas aos vasos floemáticos.

**5 Ufla** “É um tecido vivo que se caracteriza por apresentar reforços de celulose na parede celular. Suas células são, em geral, dotadas de cloroplastídeos. Assim, pode, além de promover a sustentação da planta, realizar fotossíntese. Ocorre nos caules novos, nos pecíolos das folhas e ao longo das nervuras. Suas células situam-se, geralmente, logo abaixo da epiderme e são capazes de realizar divisões e crescimento.”

Essas características são aplicáveis ao tecido:

- (a) xilema/floema.
- (b) colênquima.
- (c) felogênio
- (d) parênquima cortical.
- (e) esclerênquima

**6 PUC-MG** Na raiz da mandioca, encontramos a predominância de tecido:

- (a) meristemático.
- (b) colenquimatoso.
- (c) esclerenquimatoso.
- (d) parenquimático.
- (e) suberificado.

**7 Uerj** Cortando-se, em forma de anel, a casca do caule de uma planta, a parte situada entre o corte e a raiz não é nutrida e morre. O fluxo de seiva elaborada, com substâncias nutritivas, ocorre das folhas para a raiz, no:

- (a) xilema.
- (b) floema.
- (c) meristema.
- (d) parênquima.

**8 PUC-MG** Assinale o tecido vegetal em que não se observa atividade celular.

- (a) Parênquima clorofiliano.
- (b) Meristema apical.
- (c) Floema.
- (d) Xilema.
- (e) Parênquima medular.

**9 UFRRJ** Muitas fibras do esclerênquima são usadas industrialmente como matéria-prima para a fabricação do cânhamo, da juta e do linho.

- a) Cite duas características do esclerênquima.
- b) Identifique a principal função desse tecido vegetal.

**10 UFRRJ** Em pesquisas desenvolvidas com eucaliptos, constatou-se que, a partir das gemas de um único ramo, pode-se gerar cerca de 20.000 novas plantas, em aproximadamente duzentos dias; enquanto os métodos tradicionais permitem a obtenção de apenas cerca de cem mudas a partir de um mesmo ramo. A cultura de tecido é feita a partir:

- (a) de células meristemáticas.
- (b) de células da epiderme.
- (c) de células do súber.
- (d) de células do esclerênquima.
- (e) de células do lenho.

**11 UFRS** Entre os tecidos vegetais, a madeira desempenhou um papel decisivo na história da humanidade. Sob o ponto de vista anatômico, a madeira corresponde ao:

- (a) xilema secundário.
- (b) floema primário.
- (c) súber.
- (d) córtex.
- (e) câmbio vascular.

**12 UFRS** Associe as denominações listadas na coluna A às alternativas da coluna B que as explicam melhor.

#### Coluna A

- Floema.
- Parênquima
- Esclerênquima.
- Xilema.
- Meristema.

#### Coluna B

1. Tecido embrionário.
2. Tecido de sustentação.
3. Tecido de condução.
4. Tecido de síntese e armazenamento.

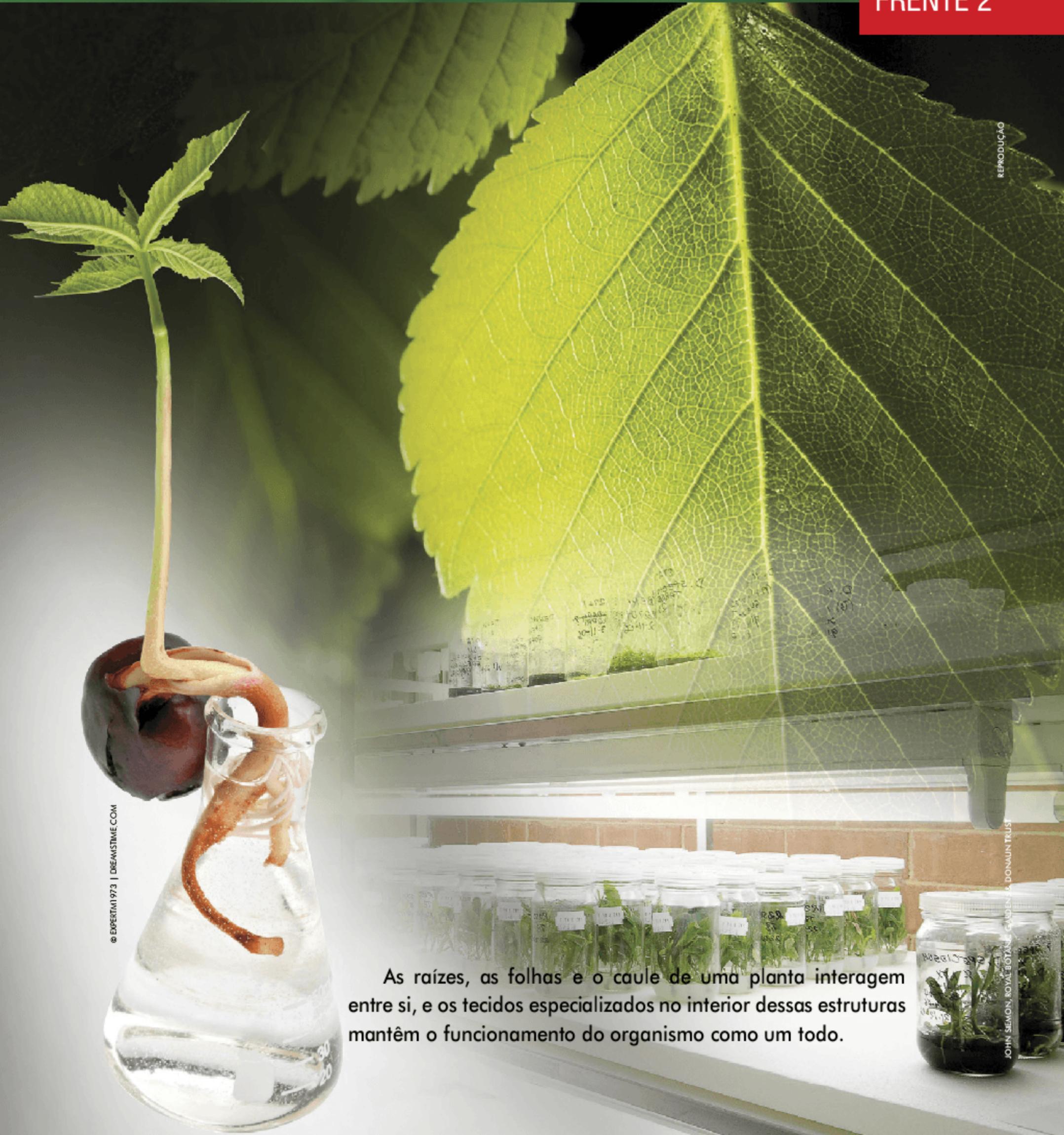
A relação numérica correta, de cima para baixo, na coluna A, é:

- (a) 3-4-2-3-1
- (b) 3-2-1-3-4
- (c) 4-3-4-1-2
- (d) 4-2-1-3-3
- (e) 2-3-1-4-3

# Nutrição e secreção vegetal

# 16

FRENTE 2



REPRODUÇÃO

JOHN SIMON, ROYAL BOTANIC GARDENS, DONNINGTON

© EXPERT1973 | DREAMSTIME.COM

As raízes, as folhas e o caule de uma planta interagem entre si, e os tecidos especializados no interior dessas estruturas mantêm o funcionamento do organismo como um todo.

## Aspectos gerais da atividade de uma planta

O organismo de uma planta tem nítida divisão de funções entre as suas partes. As **folhas** realizam fotossíntese e produzem matéria orgânica, necessária ao fornecimento de energia para o metabolismo e para a construção das estruturas celulares. Elas são mantidas em posição elevada, buscando luminosidade, por meio de tecidos de sustentação. As **raízes** fixam o vegetal ao solo e dele retiram água e nutrientes minerais. Elas dependem da matéria orgânica gerada nas folhas, e estas dependem dos materiais que as raízes recolhem do solo. Assim, as raízes e as folhas trocam materiais através dos vasos condutores que percorrem o interior do **caule**.

Uma planta também pode armazenar nutrientes, como o amido, que serão utilizados em um momento de necessidade. Além disso, a planta apresenta estruturas de proteção contra vários agentes do ambiente que representam riscos à sua sobrevivência, como desidratação, lesões provocadas por animais, variação térmica etc. Para isso, a planta conta com **tecidos de revestimento** e alguns **tecidos de secreção**, que impedem o ataque de muitos animais. Por outro lado, a planta interage com animais de modo harmonioso, como é o caso da polinização; muitas plantas produzem alimento em suas flores, premiando o polinizador que as visita.

Neste volume, estudaremos a organização das plantas e as estratégias que garantem a sua sobrevivência diante das interações com os fatores bióticos e abióticos do ambiente. Este capítulo é dedicado ao estudo da nutrição vegetal, dos parênquimas e dos tecidos de secreção.

## As modalidades de nutrição vegetal

Uma planta apresenta dois tipos de nutrição: **orgânica** e **inorgânica**. A nutrição orgânica está associada à fotossíntese, processo que produz matéria orgânica a partir de substâncias inorgânicas. A nutrição inorgânica, ou mineral, consiste em processos através dos quais o vegetal obtém água e nutrientes minerais do substrato onde se encontra.

## Nutrição orgânica

Para melhor entendimento dos processos de nutrição orgânica, serão descritas as estruturas necessárias à sua ocorrência. A fotossíntese acontece no interior de cloroplastos, organelas presentes em células do parênquima clorofiliano de folhas e caules jovens. Há duas modalidades desse tipo de tecido em uma folha: o parênquima clorofiliano paliçádico e o parênquima clorofiliano lacunoso. O parênquima paliçádico apresenta células alongadas e dispostas perpendicularmente em relação à epiderme da face superior; há pouco espaço entre as células desse parênquima. Já o parênquima clorofiliano lacunoso, ou esponjoso, possui células com aspecto mais irregular, havendo grandes espaços preenchidos de ar entre elas (Fig. 1).

Uma folha tem outros tecidos além do parênquima clorofiliano, dentre eles o tecido de revestimento (**epiderme**), os tecidos de condução (**xilema** e **floema**) e os tecidos de sustentação (**colênquima** ou **esclerênquima**). Os tecidos de condução e de sustentação estão associados, formando as nervuras da folha.

As nervuras da folha ramificam-se bastante, originando nervuras cada vez menores; suas extremidades entram em contato com as células parenquimáticas. As nervuras são constituídas por feixes de vasos condutores, que têm como função distribuir nutrientes por todo o corpo do vegetal. Os vasos do **xilema** fornecem água e nutrientes minerais, vindos principalmente das raízes, para os parênquimas, enquanto o **floema** recolhe água, açúcar e outras substâncias orgânicas, como aminoácidos e vitaminas; o floema transporta esses materiais a outras partes da planta, como a raiz e o caule.

A folha é revestida de **epiderme** em sua face superior e inferior; o **mesofilo** é o conjunto de tecidos situados entre essas duas epidermes. A epiderme é constituída por uma camada de células aclorofiladas que secretam a cutícula, uma película impermeável, constituída por cera ou por cutina, que recobre a folha, protegendo seu revestimento da dessecação.

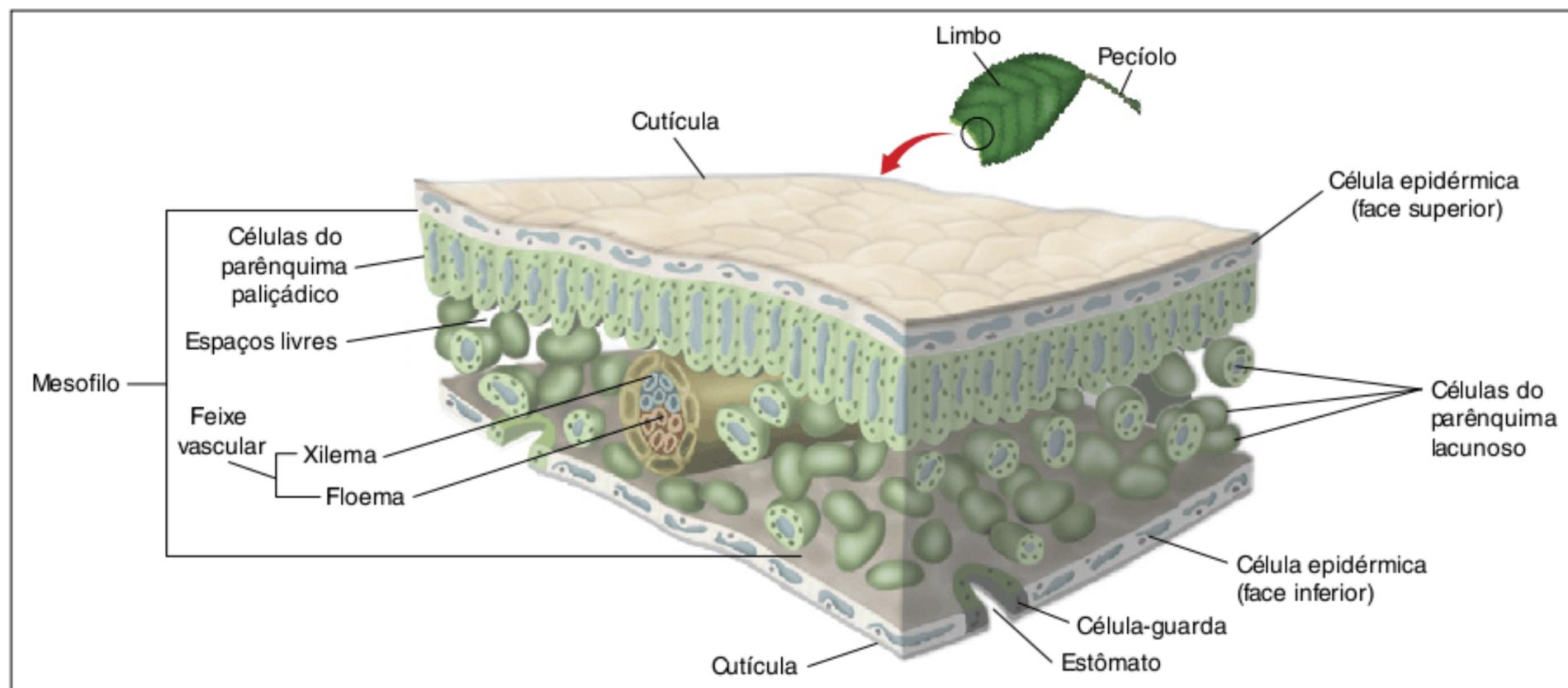
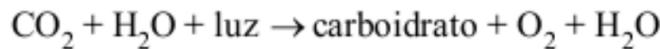


Fig. 1 Na folha ocorre a fotossíntese e outras atividades, como trocas gasosas (efetuadas por estômatos) e transporte (realizado pelo xilema e pelo floema).

Na epiderme, são encontrados inúmeros **estômatos**, estruturas que atuam como válvulas, podendo abrir e fechar. Os estômatos controlam as trocas gasosas efetuadas entre a folha e o ambiente; suas células centrais possuem cloroplastos e são denominadas **células-guarda**, ou células estomáticas. Elas podem se afastar, determinando a abertura do estômato e formando uma fenda, denominada ostíolo. Através do ostíolo são efetuadas as trocas gasosas, que incluem a perda de vapor de água (durante o processo de transpiração) e o fluxo de gases  $O_2$  e  $CO_2$  (durante a fotossíntese e a respiração) para dentro ou para fora do mesófilo.

O processo de fotossíntese pode ser representado, de maneira simplificada, pela seguinte equação:



A fotossíntese utiliza gás carbônico ( $CO_2$ ), fornecido, em parte, pela respiração das células adjacentes e, em parte, pelo ar, que ingressa na folha através dos estômatos. A água, também necessária ao processo, é proveniente do solo, sendo transportada pelo xilema e pelas nervuras até as células clorofiladas. A água é empregada na fotossíntese e também na formação da estrutura das células (como o vacúolo e o citosol); uma parte da água fica ao redor das células estomáticas e acaba evaporando em contato com o ar. Parte do vapor pode deixar a folha através dos estômatos ou, em pequena quantidade, pela cutícula; trata-se da transpiração.

O gás oxigênio produzido na fotossíntese é consumido na respiração celular do próprio parênquima e de outros tecidos; o excedente de  $O_2$  pode ser eliminado da folha através dos estômatos.

Embora a glicose seja normalmente representada como o carboidrato do produto final da fotossíntese nas equações simplificadas, na realidade, pouca glicose livre é produzida durante esse processo. A fotossíntese tem como produto final o carboidrato **sacarose**, sendo que a maior parte do carbono fixado é convertido nesse dissacarídeo (glicose + frutose), que consiste na principal forma de transporte dos açúcares. Parte do açúcar é consumido na respiração das próprias células parenquimáticas. Há ainda a formação de **amido** (polissacarídeo formado por muitas moléculas de glicose) no interior do cloroplasto, constituindo uma forma de reserva alimentar na folha. No entanto, a folha não acumula grande quantidade de amido, que pode ser armazenado em raízes (como a mandioca) e em caules (como a batata).

### Nutrição inorgânica (mineral)

A obtenção de **materiais inorgânicos** normalmente se dá através dos pelos absorventes da raiz. No entanto, há outras vias de captação desses materiais, como pelos e estômatos das folhas. Há outras modalidades de nutrição inorgânica, como a que envolve a participação de **micorrizas** e a que ocorre com as plantas carnívoras. Essas modalidades são discutidas na seção “Textos Complementares”.

Os nutrientes minerais são divididos em **macronutrientes** e **micronutrientes**. A divisão refere-se ao volume utilizado pela planta e não ao tamanho dos minerais; macronutrientes são utilizados pela planta em quantidade muito maior que a dos micronutrientes. Os principais macronutrientes são: **nitrogênio**, **fósforo**, **potássio**, **cálcio**, **magnésio** e **enxofre**. São exemplos de micronutrientes **boro**, **cobalto**, **cobre**, **ferro**, **manganês**, **molibdênio** e **zinco**. Apesar da utilização em quantidades

menores, os micronutrientes não são menos importantes. O ferro, por exemplo, é indispensável para o metabolismo, pois é componente dos citocromos, proteínas que participam dos processos de fotossíntese e de respiração celular.

Podemos destacar alguns papéis que os nutrientes minerais desempenham nas plantas, observe a tabela 1.

Macronutrientes	
<b>Nitrogênio (N)</b>	Formação de aminoácidos, proteínas e bases nitrogenadas, as quais fazem parte de moléculas importantes, como ATP, ADP, DNA e RNA.
<b>Fósforo (P)</b>	Integra o ATP, ADP, DNA e RNA.
<b>Potássio (K)</b>	Importante em fenômenos osmóticos da célula vegetal.
<b>Cálcio (Ca)</b>	Integrante da lamela média das paredes celulares.
<b>Magnésio (Mg)</b>	Componente da molécula de clorofila e da lamela média.
<b>Enxofre (S)</b>	É integrante de alguns aminoácidos, sendo fundamental para a produção de proteínas.
Micronutrientes	
<b>Boro (B)</b>	Importante para o crescimento dos meristemas e transporte de carboidratos.
<b>Cobalto (Co)</b>	Atua na fotossíntese.
<b>Cobre (Cu)</b>	Atua em processos enzimáticos.
<b>Ferro (Fe)</b>	Faz parte de moléculas de citocromos.
<b>Manganês (Mn)</b>	Essencial para a produção de cloroplastos.
<b>Molibdênio (Mo)</b>	Importante no metabolismo do fósforo e do nitrogênio e na produção de aminoácidos.
<b>Zinco (Zn)</b>	Importante na produção de hormônios de crescimento e nas reações enzimáticas bioenergéticas.

Tab. 1 Os principais nutrientes minerais e sua utilização nas plantas.

Um experimento clássico que determina o papel de um nutriente para uma planta é fornecer a ela todos os nutrientes minerais, atuando como controle do experimento. Essa planta deverá crescer normalmente e servirá como padrão de comparação para os grupos experimentais, aos quais não serão fornecidos todos os nutrientes. Cada planta apresentará diferentes deficiências de acordo com o nutriente faltante (Fig. 2).

### Os parênquimas

No capítulo anterior, tivemos uma visão geral dos tecidos componentes de um vegetal. Os parênquimas particularmente exercem papéis fundamentais à manutenção da vida da planta. O parênquima que armazena ar (aerífero) é encontrado em plantas aquáticas, como a vitória-régia e o aguapé. O parênquima que armazena água (aquífero) é encontrado em plantas de regiões mais secas, como é o caso do cacto.

Parênquimas responsáveis pela realização de fotossíntese, localizados no interior das folhas e em caules jovens, são designados como parênquimas clorofilianos, clorênquima ou, ainda, parênquima assimilador. O açúcar gerado no parênquima clorofiliano é transportado pelo floema até outras partes da planta, que podem ter função de reserva alimentar, formando-se grande quantidade de amido; assim, é constituído o chamado parênquima amilífero, presente em estruturas como a raiz (mandioca), o caule (batata), a semente (arroz) e o fruto (banana).



Grupo controle.



Plantas com deficiência de nutrientes.

Fig. 2 Experimento para demonstrar o papel de um determinado nutriente para a planta. Um grupo controle recebe todos os nutrientes, enquanto um grupo experimental não recebe um dos nutrientes. As diferenças entre os dois grupos são causadas pela falta do nutriente.

## A estrutura da raiz e do caule – relação com a nutrição

A estrutura da folha está relacionada com a nutrição orgânica, permitindo que ela realize fotossíntese. A estrutura da raiz está relacionada com a nutrição mineral e com sua capacidade de armazenamento de amido ou de sacarose. Já o caule promove a ligação entre a raiz e a planta, transitando por ele os nutrientes minerais e os orgânicos, podendo, além disso, armazenar alimento.

## A estrutura da raiz

A estrutura de uma raiz na **zona pilífera** apresenta duas regiões: casca e cilindro central. A **casca** inclui a **epiderme** (com pelos absorventes), o **córtex** (um parênquima) e a **endoderme** (que regula o fluxo de íons em direção ao xilema). O **cilindro central** é formado por **periciclo**, **xilema** e **floema**. Na raiz, o xilema e o floema estão dispostos lado a lado, isto é, apresentam disposição alternada. No cilindro central pode haver um **parênquima central**, conhecido como **medula**. Essa estrutura pode ser encontrada nas monocotiledôneas, mas não nas dicotiledôneas (Fig. 3).

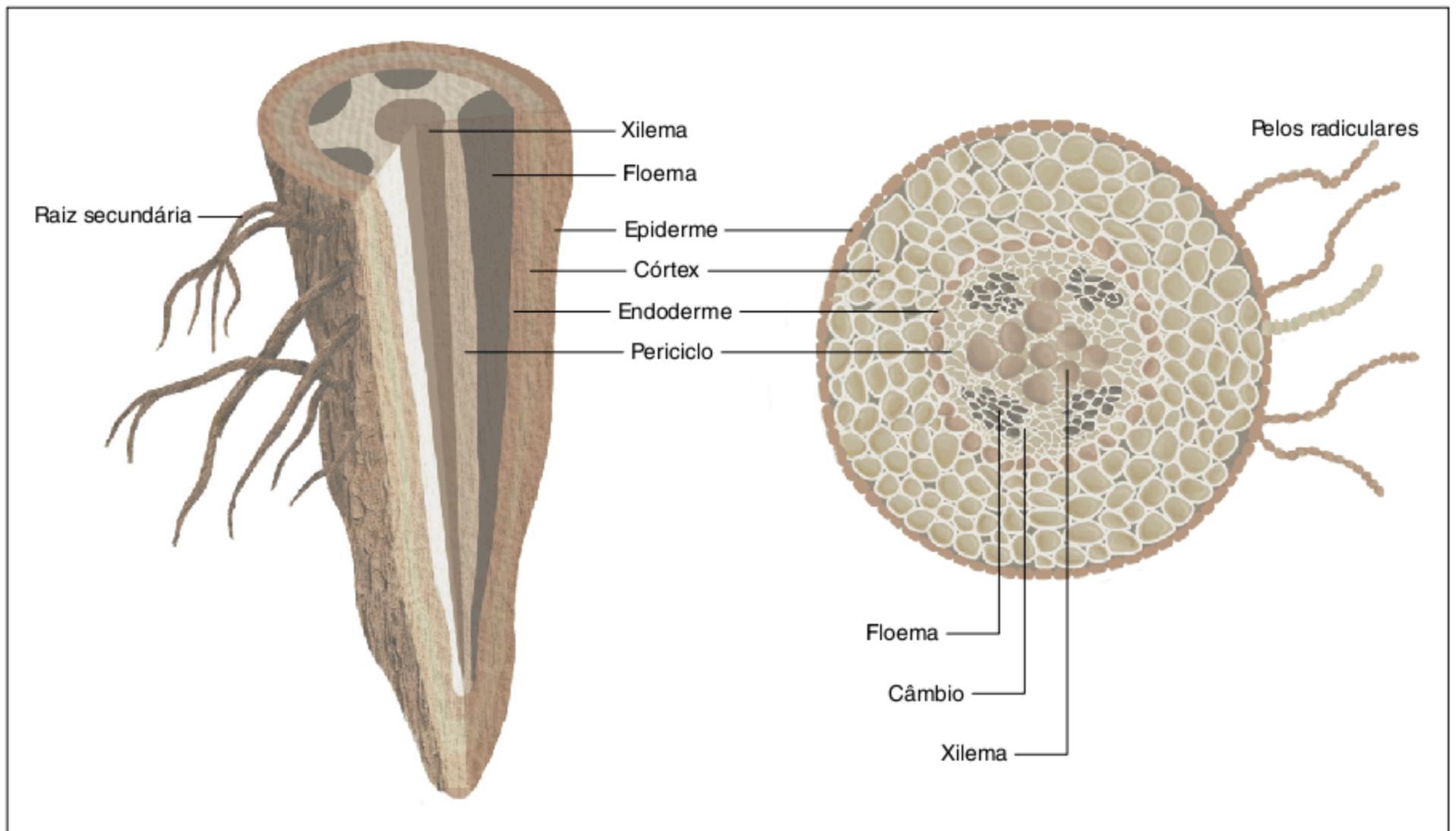


Fig. 3 À esquerda, aspecto geral da raiz. À direita está representada a raiz em corte transversal na região dos pelos absorventes.

Uma das funções do **periciclo** é originar **raízes secundárias** (ou laterais). Normalmente, algumas células do periciclo, situadas próximas a um grupo de vasos do xilema, dividem-se por mitose e acabam gerando uma nova raiz, que atravessa todos os tecidos da raiz principal até emergir como uma raiz secundária completa. Assim, pode-se dizer que a raiz apresenta **ramificações endógenas**, ou seja, que se originam a partir do seu interior; as ramificações do caule são exógenas, pois se formam a partir de gemas laterais, situadas em sua superfície (Fig. 4).

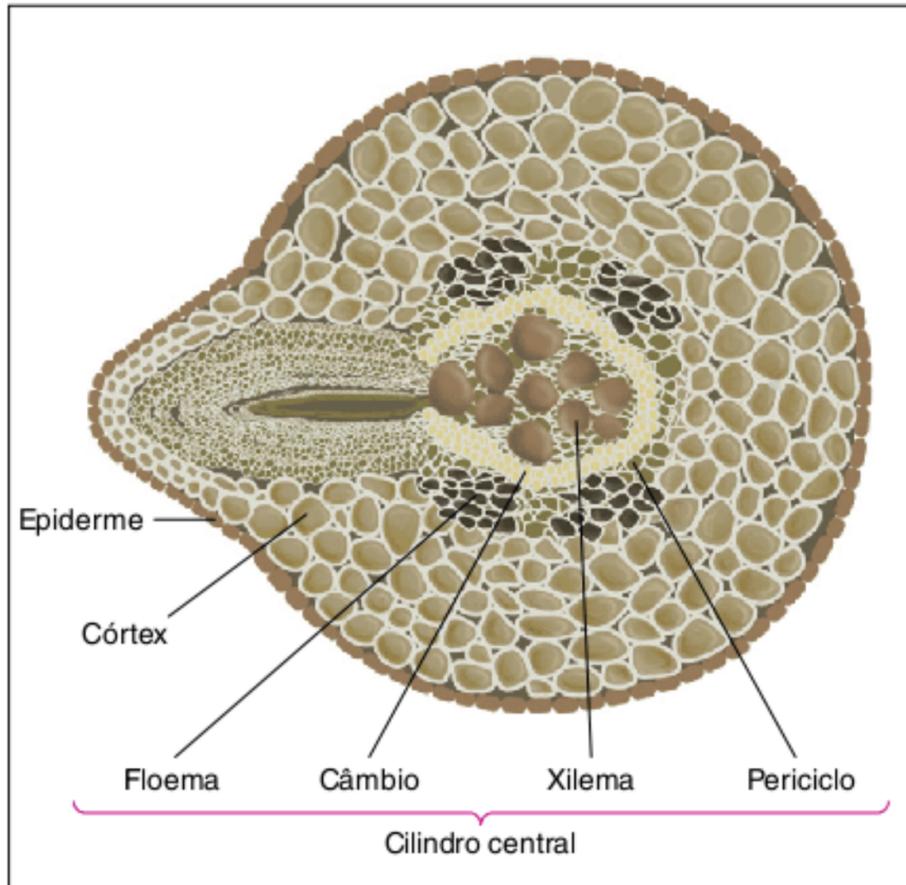


Fig. 4 Raiz em corte transversal. A proeminência à esquerda constitui uma raiz secundária em formação.

### A estrutura do caule

O caule jovem é revestido de epiderme e apresenta parênquimas que podem realizar fotossíntese ou armazenar materiais. O interior do caule apresenta vasos condutores, sendo que a disposição deles é um dos critérios empregados para fazer a distinção entre monocotiledôneas e dicotiledôneas.

As **monocotiledôneas** apresentam caule com estrutura primária, revestido apenas de epiderme. O interior do caule é preenchido por parênquima, que pode acumular muito alimento, como a sacarose, no caso da cana-de-açúcar. Os vasos condutores formam blocos conhecidos como **feixes liberolenhosos**, os quais apresentam **disposição irregular**. Cada feixe liberolenhoso é constituído por **floema** (voltado para o lado externo) e por **xilema** (localizado mais internamente); ao redor dos feixes, há um grupo de células de **esclerênquima** (um dos tecidos de sustentação).

O caule jovem de uma **dicotiledônea** também apresenta apenas estrutura primária e esclerênquima, mas os feixes liberolenhosos têm **distribuição regular**. Há também uma faixa de câmbio (tecido meristemático chamado de **felogênio**) disposto entre o xilema e o floema dos feixes, o que permite o crescimento secundário da planta (em espessura). O parênquima externo aos feixes é denominado **córtex** (parênquima cortical), enquanto o parênquima interno aos feixes é denominado **medula** (parênquima medular) (Fig. 5).

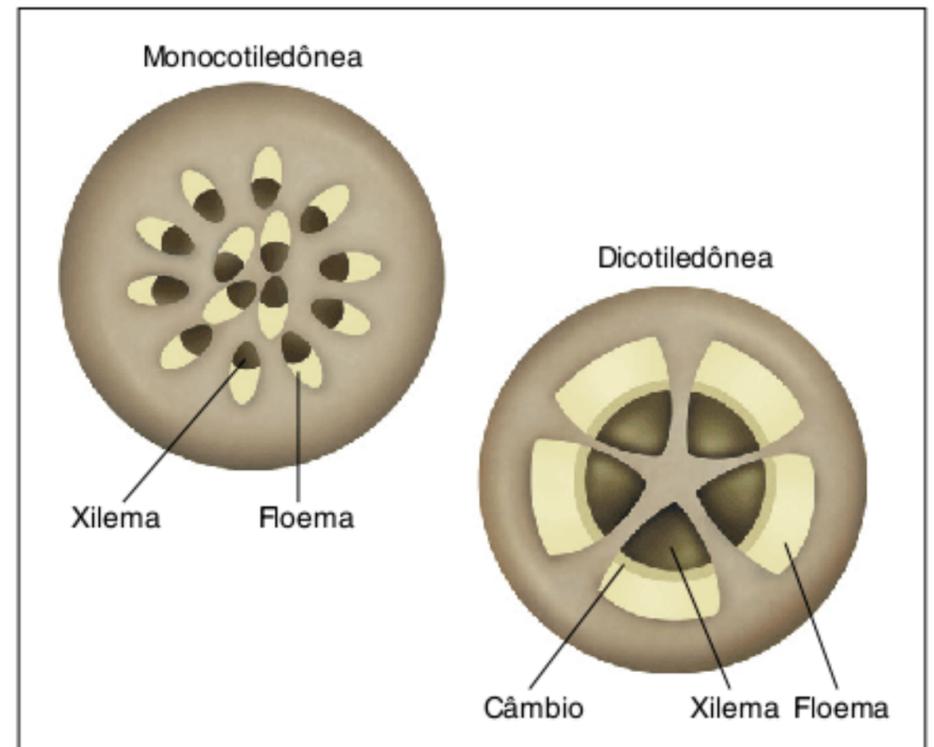


Fig. 5 Estrutura de caule sem crescimento em diâmetro. O caule de monocotiledôneas apresenta feixes liberolenhosos com distribuição difusa. Esses feixes têm disposição regular no caule de dicotiledôneas.

### Tecidos de secreção

A secreção consiste na elaboração e na eliminação de substâncias úteis ao vegetal. As plantas apresentam diversos tipos de estruturas secretoras, localizadas em diferentes regiões do organismo.

Os **nectários** são estruturas glandulares que secretam o néctar, líquido adocicado utilizado como alimento por animais. São mais comumente observados em flores (nectários florais), o que confere à planta um atrativo para os polinizadores; os nectários podem ser encontrados também em outras partes da planta, como nas inflorescências ou pedúnculos florais, o que fará o animal se aproximar da flor ao se alimentar. A função de proteção da planta também pode ser atribuída aos nectários, observados em algumas espécies também nas folhas ou nos caules. A secreção açucarada acessível atrai animais, os quais, em contrapartida, defendem a planta contra predadores ou potenciais competidores do alimento (Fig. 6).

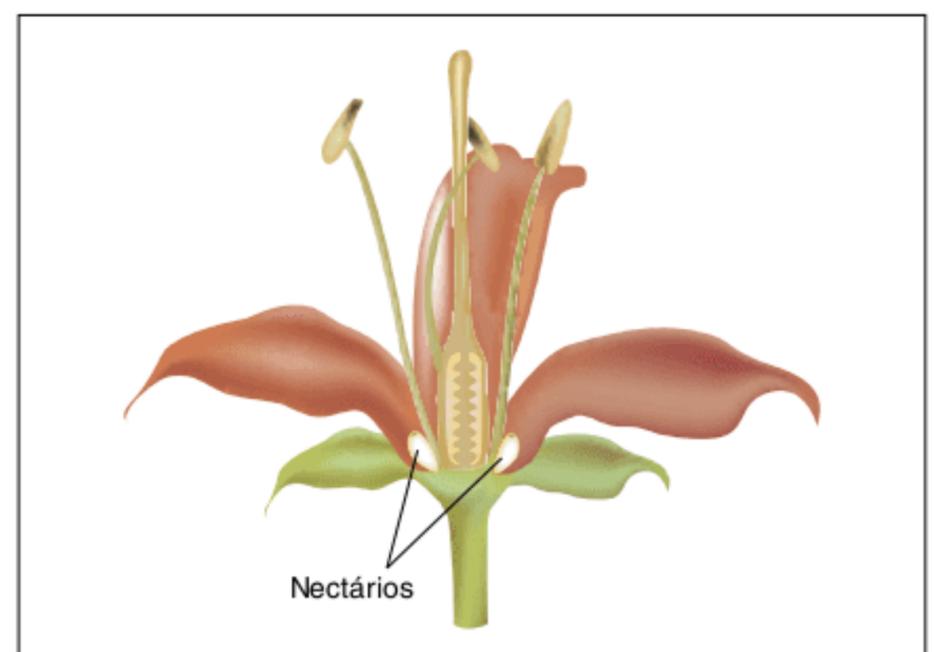


Fig. 6 Nectários produzem o néctar que é utilizado como alimento pelo animal polinizador.

Os **canais resiníferos** são muito comuns em troncos, ramos e folhas de gimnospermas; produzem uma resina que protege a planta contra os insetos e contra a atuação de decompositores (Fig. 7).

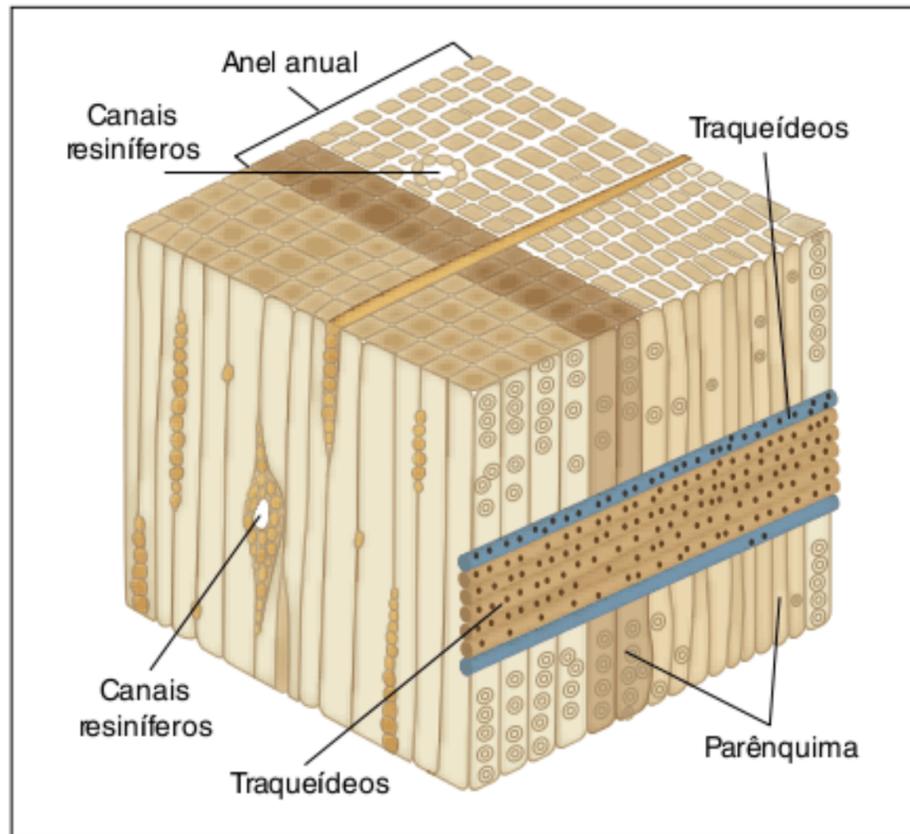


Fig. 7 Os canais resiníferos de um tronco estão localizados junto ao tecido condutor.

Os **laticíferos** são canais presentes no interior de muitas plantas que produzem látex. Esse material é uma secreção esbranquiçada, importante no fechamento de ferimentos que ocorrem na planta, pois o látex coagula em contato com o ar, dando tempo para que ocorra a cicatrização do ferimento. Ele age também como elemento de proteção contra animais, que normalmente evitam plantas dotadas de látex devido às suas substâncias tóxicas (Fig. 8).

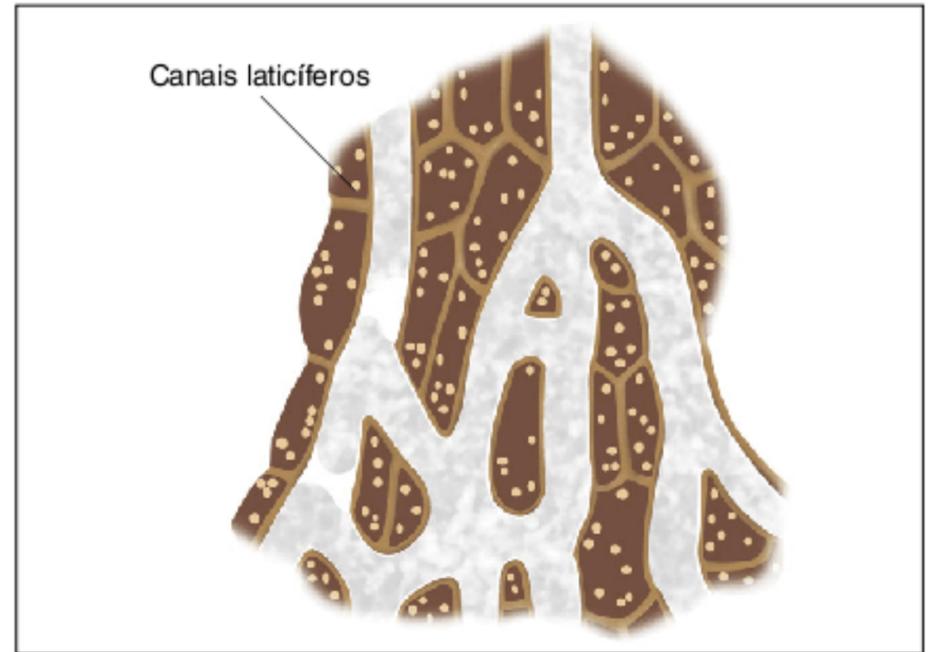


Fig. 8 Os canais laticíferos produzem látex; não são vasos condutores de seiva.

## Revisando

1 Quais tipos de nutrição podem ser observados em uma planta?

---



---



---



---



---

2 Qual processo bioenergético é envolvido na nutrição de vegetais?

---



---



---



---



---

3 Os tecidos responsáveis pela nutrição orgânica de um vegetal são chamados por qual nome? Onde se localizam?

---



---



---



---



---

**4** Como é a constituição histológica de uma folha? Que tecidos fazem parte do mesofilo?

---

---

---

---

---

---

---

---

**5** Que tipo de relação pode ser feita entre as veias de um animal com sistema circulatório e com os vasos condutores de uma planta?

---

---

---

---

---

---

---

---

**6** Que tipo de substâncias o xilema transporta? E o floema?

---

---

---

---

---

---

---

---

**7** Quais o(s) órgão(s) principal(ais) na absorção de nutrientes minerais em uma planta?

---

---

---

---

---

---

---

---

**8** Que outros órgãos podem atuar na obtenção de nutrientes minerais?

---

---

---

---

---

---

---

---

**9** Cite três macro e três micronutrientes da nutrição mineral e algumas das funções que eles exercem no metabolismo das plantas.

---

---

---

---

---

---

---

---

**10** Qual a estrutura da zona pilífera de uma raiz? Que papel cada tecido exerce na nutrição do vegetal?

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

**11** Quais os tecidos que podem ser observados em um caule?

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

**12** Qual a principal diferença entre o caule de monocotiledôneas e o de dicotiledôneas?

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

**13** Cite tecidos de secreção que podem ser observados em plantas.

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

**14** Cite um tecido secretor que pode trazer benefícios para a reprodução das plantas. Como isso ocorre?

---

---

---

---

---

---

---

---

---

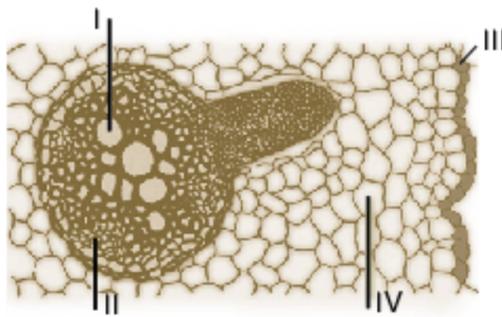
---

## Exercícios propostos

**1 Uece** O processo de evapotranspiração vegetal está intrinsecamente relacionado com o(a):

- (a) movimento dos cloroplastos.
- (b) impermeabilidade da parede celular.
- (c) ausência de parênquima clorofiliano.
- (d) abertura e fechamento dos estômatos.

**2 UFV** Os tecidos da raiz desempenham várias funções nas plantas. No esquema de corte histológico transversal da raiz representado a seguir, alguns desses tecidos estão indicados por I, II, III, e IV, seguidos por funções (A, B, C, D) relacionadas.



- A. Transporte de água e minerais absorvidos do solo.
- B. Revestimento e absorção.
- C. Reserva e preenchimento.
- D. Transporte de substâncias orgânicas.

Associe cada tecido com a sua função, assinalando a alternativa correta.

- (a) I-A, II-C, III-B, IV-D.
- (b) I-B, II-C, III-D, IV-A.
- (c) I-C, II-B, III-D, IV-A.
- (d) I-A, II-D, III-B, IV-C.
- (e) I-D, II-B, III-C, IV-A.

**3 UFPR (Adapt.)** Com base nos conhecimentos de fisiologia e histologia vegetal, é correto afirmar:

- 01 os elementos condutores do xilema são células alongadas, com paredes reforçadas. Elas se encaixam umas sobre as outras, formando longos vasos, que transportam a seiva bruta.
- 02 os pelos absorventes da epiderme da raiz absorvem a maior parte da água e dos sais minerais de que a planta necessita.
- 04 o mesófilo das folhas é composto principalmente de parênquima clorofiliano, que é responsável pela fotossíntese por ser rico em cloroplastos.
- 08 na superfície foliar, os estômatos são compostos de duas células-guarda que delimitam um poro. É através dos poros que a planta perde a maior parte da água absorvida, no processo conhecido por transpiração estomatal.

Soma =

**4 PUC-RS 2008** A fotossíntese dos vegetais superiores é normalmente executada nas folhas. O \_\_\_\_\_ é o tecido responsável pela condução de água e sais minerais do solo para as folhas, enquanto o \_\_\_\_\_ se encarrega da distribuição dos produtos resultantes do processo fotossintético para os demais tecidos vegetais.

- (a) floema; xilema
- (b) xilema; floema
- (c) xilema; parênquima
- (d) parênquima; floema
- (e) floema; parênquima

**5 Udesc 2011 (Adapt.)** Os tecidos vegetais fundamentais são aqueles encarregados de uma série de funções, como preenchimento e sustentação. A respeito destes tecidos, analise cada proposição e assinale (V) para verdadeira ou (F) para falsa.

- O parênquima de reserva está presente em sementes, frutos, raízes e rizomas e tem como função o armazenamento de substâncias nutritivas.
- O parênquima clorofiliano é o principal tecido de preenchimento de folhas, tendo por função a realização da fotossíntese.
- O parênquima aquífero está presente em plantas aquáticas, auxiliando na flutuabilidade desses vegetais.
- O esclerênquima é formado por células mortas, impregnadas de lignina, e é responsável pela sustentação.

Assinale a alternativa que contém a sequência correta, de cima para baixo.

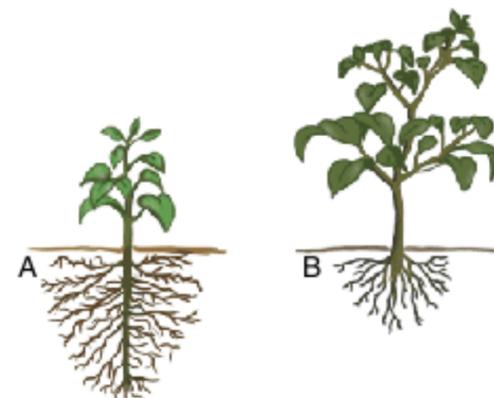
- (a) V – F – V – V.
- (b) V – V – F – F.
- (c) V – V – F – V.
- (d) F – F – V – F.
- (e) F – F – F – V.

**6 UFU** Analise as afirmativas a seguir e assinale a alternativa correta.

- I. Macronutrientes são aqueles nutrientes utilizados em grandes quantidades pelas plantas para um desenvolvimento adequado.
- II. São macronutrientes: C, H, O, N, K, P, Ca, S e Mg.
- III. Micronutrientes são aqueles nutrientes utilizados em quantidades muito pequenas e seu excesso é prejudicial.
- IV. São micronutrientes: Fe, Mn, B, Zn, Cu, Mo, Cl e Co.
- V. As angiospermas podem completar seu ciclo de vida de semente a semente, apenas com os macronutrientes.

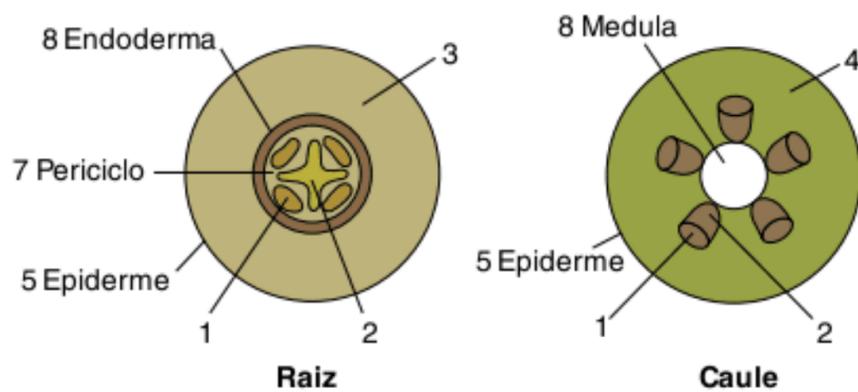
- (a) III, IV e V estão corretas.
- (b) I, II, III e IV estão corretas.
- (c) Apenas I e III estão corretas.
- (d) I, II e V estão corretas.
- (e) Estão corretas todas as afirmativas.

**7 UFRJ 2003** Dependendo das condições do solo, os vegetais podem destinar a maior parte dos nutrientes obtidos para o crescimento de seus brotos e folhas ou para o desenvolvimento de suas raízes. A figura a seguir mostra duas plantas (A e B) da mesma espécie, que possuem a mesma massa e que foram cultivadas em dois ambientes com diferentes disponibilidades de nutrientes.



Identifique qual das plantas se desenvolveu no solo com menor disponibilidade de nutrientes. Justifique sua resposta.

**8 Fuvest 2005** Os esquemas representam cortes transversais de regiões jovens de uma raiz e de um caule de uma planta angiosperma. Alguns tecidos estão identificados por um número e pelo nome, enquanto outros estão indicados apenas por números.



Com base nesses esquemas, indique o número correspondente ao tecido:

- responsável pela condução da seiva bruta.
- responsável pela condução da seiva elaborada.
- constituído principalmente por células mortas, das quais restaram apenas as paredes celulares.
- responsável pela formação dos pelos absorventes da raiz.

**9 UFSC** Tal como sucede com os animais, também as plantas desenvolvidas apresentam as suas células com uma organização estrutural formando tecidos. Os tecidos vegetais se distribuem em dois grandes grupos: tecidos de formação e tecidos permanentes. Com relação aos tecidos vegetais, assinale as proposições corretas.

- Os meristemas e a epiderme são exemplos de tecidos de formação.
- O xilema e o colênquima são tecidos permanentes.
- Os meristemas são tecidos embrionários dos quais resultam todos os demais tecidos vegetais.
- Os parênquimas, quando dotados de células ricamente clorofiladas, são tecidos de síntese.
- Os tecidos de arejamento se destinam às trocas gasosas e de sais minerais entre a planta e o meio ambiente, sendo o floema um de seus principais exemplos.
- As bolsas secretoras, presentes em nectários, juntamente com os canais laticíferos, existentes nas seringueiras, são exemplos de tecidos de secreção.

Soma =

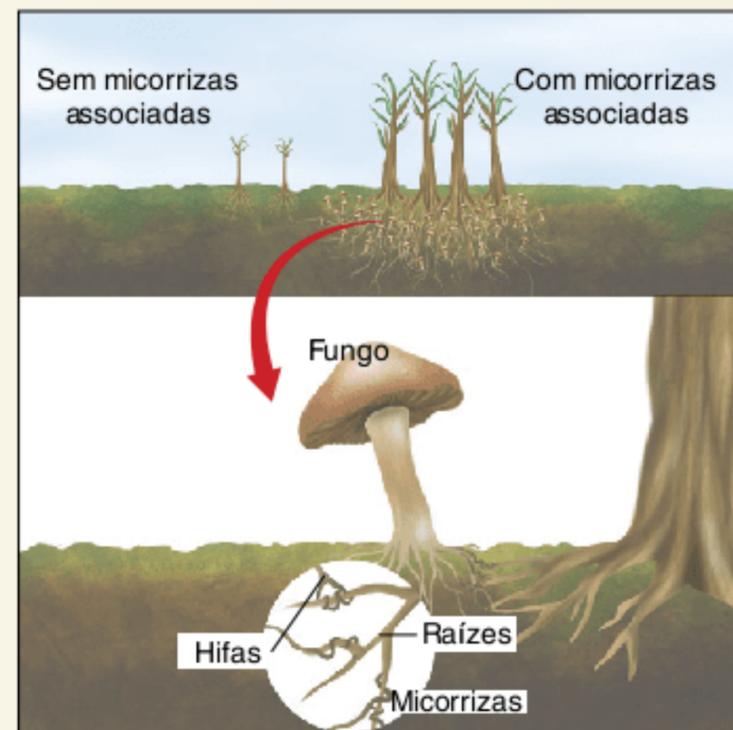
## TEXTOS COMPLEMENTARES

### Outras modalidades de nutrição inorgânica

Na atividade agrícola, é comum o emprego de **fertilizantes químicos** e de **adubos orgânicos** no solo para o fornecimento de nutrientes minerais às plantas cultivadas.

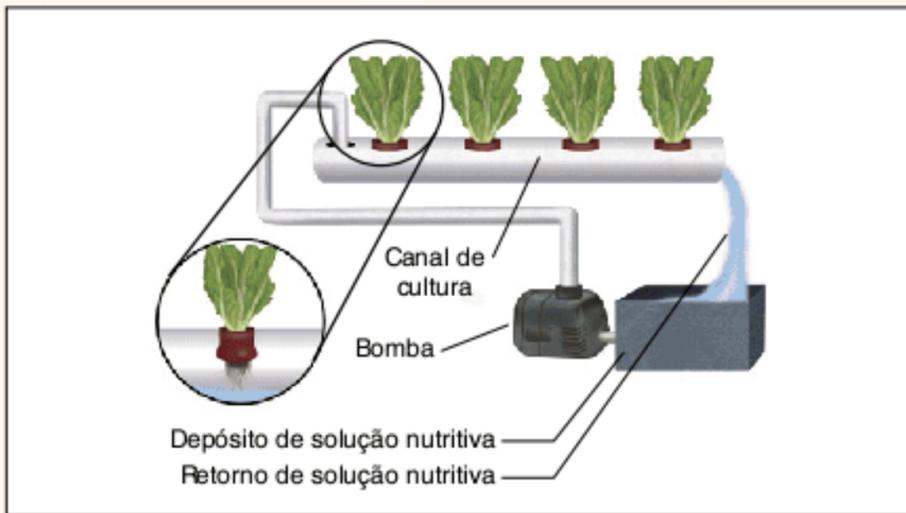
Já como processo de **simbiose**, que promove uma maior nutrição, pode ser citada a associação de plantas **leguminosas** (como o feijão, a ervilha e a soja) com **bactérias** fixadoras de nitrogênio. Nessa interação de mutualismo, há benefício para as plantas, que obtêm uma fonte de nitrogênio, e para as bactérias, que são abrigadas pelas plantas. Assim, com a presença de leguminosas em uma vegetação ou plantação agrícola, o solo é enriquecido com compostos nitrogenados, favorecendo também outras plantas. A inserção de leguminosas, principalmente no sistema de **rotação de culturas**, no qual as espécies plantadas em uma área são substituídas periodicamente, é uma estratégia muito utilizada para a conservação do solo e o beneficiamento da agricultura. Além de conservar o solo, a utilização das leguminosas como fonte natural de compostos nitrogenados também preserva corpos-d'água e lençóis freáticos da região agricultável, pois a utilização indiscriminada de fertilizantes químicos pode contaminar a água e causar grande desequilíbrio no ecossistema.

Na associação entre **fungos** e **raízes** de plantas, conhecida como **micorriza**, os fungos absorvem água e nutrientes minerais do solo e os transferem à raiz; em troca, recebem alimento orgânico. Com essa associação, a planta aumenta consideravelmente sua superfície de contato com o solo, retirando grande quantidade de nutrientes. Sem o fungo, a planta teria um crescimento bem menor.



Desenvolvimento de plantas com e sem micorrizas.

**Hidroponia**, ou **hidroculutura**, é o cultivo de plantas em uma solução nutritiva que contém os nutrientes minerais necessários ao desenvolvimento da planta. Um cuidado necessário no sistema de hidroponia é a manutenção do fluxo de água corrente, que eleva os níveis de oxigênio na água, necessário para a realização da respiração celular nas raízes. Uma vantagem da hidroponia é que ela se dá em condições controladas, evitando o contato das plantas com insetos e outras pragas agrícolas, podendo promover a redução de agrotóxicos, como inseticidas, fungicidas e herbicidas.



Sistema de hidroponia.

As plantas carnívoras representam uma modalidade de seres autótrofos – capazes de realizar fotossíntese –, mas que capturam pequenos animais como estratégia para a obtenção de nutrientes minerais que estão em pequena quantidade no solo, como o nitrogênio.



Plantas de alguns gêneros (como *Dionaea*, *Aldrovanda* e *Utricularia*) apresentam movimentação ativa da estrutura de captura. A “armadilha” é formada por folhas com dois lóbulos unidos pela base, que apresentam o interior avermelhado e produção de néctar nas bordas. Esses são os atrativos para as possíveis presas. Quando um animal toca nos pelos marginais da estrutura, os lóbulos se movimentam com muita rapidez, fechando-se instantaneamente e impossibilitando a fuga da presa.



Espécie de planta carnívora do gênero *Nepenthes* (Familia *Nepenthaceae*). Na extremidade de folhas modificadas, são formadas estruturas semelhantes a jarros, que armazenam uma porção de líquido com função digestiva. Insetos, aranhas e até pequenos pássaros e anfíbios podem ser fonte de alimento dessas plantas, que atraem suas presas pelo seu colorido e impedem sua fuga com substâncias escorregadias no interior do tubo.

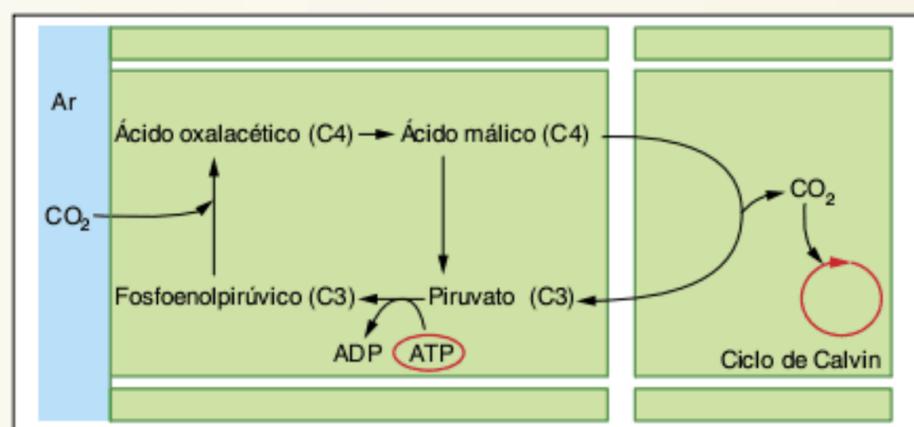
### Plantas C3, C4 e fotorrespiração

Na etapa química da fotossíntese, também conhecida como **ciclo de Calvin**, ocorre a incorporação de gás carbônico do ambiente ou da respiração para a síntese de carboidratos. Os carboidratos são oriundos de moléculas de triosefosfato, com três carbonos. Na maioria das plantas, como o trigo, as leguminosas e o arroz, o composto com o qual o gás carbônico reage é o **ácido fosfoglicérico**, que possui três carbonos, por isso a designação **C3** para esse grupo de plantas. Mas, em dias ensolarados, quentes e secos, essas plantas fecham os estômatos, evitando a transpiração excessiva, produzindo maior quantidade de gás oxigênio e deixando de absorver moléculas de  $\text{CO}_2$ . Nessas condições, a enzima responsável pela agregação do  $\text{CO}_2$  na fotossíntese é ligada a moléculas de  $\text{O}_2$ , favorecendo um processo denominado **fotorrespiração**.

A fotorrespiração não gera ATP (como na respiração celular) nem permite que o ciclo de Calvin prossiga gerando açúcar. Na fotorrespiração, forma-se **glicolato**, um composto de dois carbonos, que é degradado em **peroxissomos**, liberando  $\text{CO}_2$ .

As plantas C3 são, portanto, inibidas por temperatura e luminosidade elevadas, apresentando maior taxa fotossintética sob condições moderadas. Elas são mais competitivas em comunidades mistas, nas quais há sombreamento, com luz e temperatura moderadas, sendo, nessas condições, responsáveis pela maior parte da produção fotossintética mundial. A fotorrespiração prejudica a produção agrícola, pois reduz a produção de carboidratos. É por essa razão que sistemas agroflorestais são indicados para plantas C3, pois a cobertura florestal mesclada às plantações gera o sombreamento necessário para o melhor desenvolvimento delas.

No entanto, há plantas, como o milho e a cana-de-açúcar, que apresentam maior tolerância à temperatura e à luminosidade elevadas. As chamadas plantas C4 desenvolveram a capacidade de obter mais moléculas de  $\text{CO}_2$  por outra via; elas associam o gás carbônico do ar ao composto **fosfoenolpirúvico**, gerando um composto de quatro carbonos (o **ácido oxalacético**), daí a sua designação **C4**. O ácido oxalacético é degradado em **ácido málico** (com três carbonos) e gás carbônico, que é então empregado na síntese de carboidrato na etapa química da fotossíntese (o ciclo de Calvin); o  $\text{CO}_2$  é transferido para células dorofiladas, localizadas ao redor das nervuras, onde há menor concentração desse gás. Esse mecanismo fotossintético evita a ocorrência de fotorrespiração.



Obtenção de  $\text{CO}_2$  por plantas C4.

As plantas C4 são adaptadas à **luz intensa** e às **altas temperaturas**, o que resulta em implicações ecológicas importantes. Elas predominam na vegetação de desertos e campos em climas tropicais e temperados quentes. Constituem as conhecidas gramíneas, pioneiras no processo de sucessão ecológica de um ambiente degradado.

## Inteligência artificial na plantação

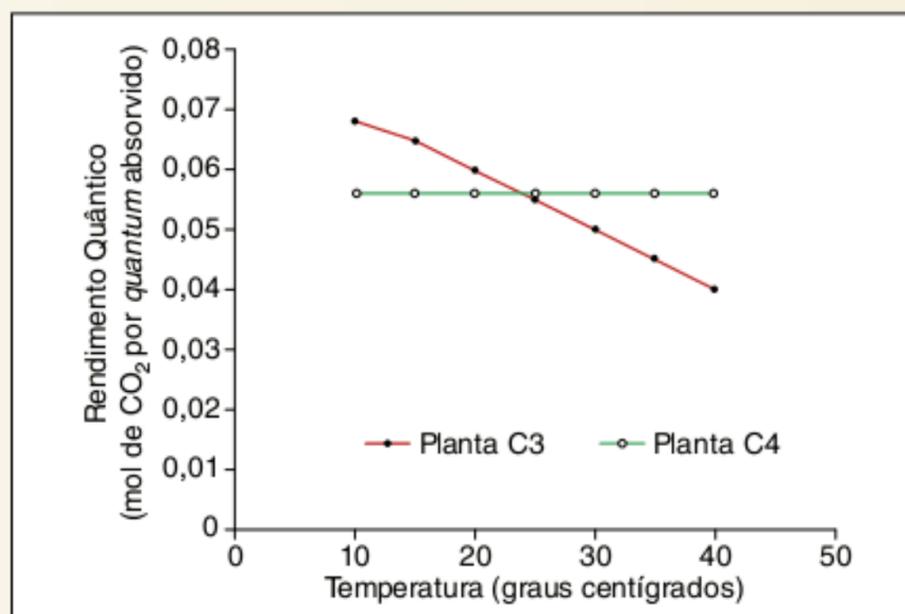
Tecnologia desenvolvida por pesquisadores da USP utiliza método de visão computacional para avaliar imagens de folhas, permitindo detectar matematicamente a carência de nutrientes em milharais.

Ao observar as folhas de pés de milho, um agricultor experiente é capaz de identificar imediatamente a falta de determinados nutrientes. Mas isso só é possível quando a planta já está adulta e a safra foi comprometida.

Uma nova tecnologia, desenvolvida por um grupo interdisciplinar de pesquisadores da Universidade de São Paulo (USP), é capaz de antecipar esse diagnóstico, permitindo que o agricultor faça a intervenção necessária a tempo de salvar a safra e evitar prejuízos.

A tecnologia utiliza imagens digitais das folhas e métodos de visão computacional e é capaz de detectar, em poucos minutos, a carência de diversos nutrientes em plântulas em estágio inicial de desenvolvimento.

O projeto Visão computacional aplicada à nutrição vegetal, desenvolvido por pesquisadores do Instituto de Física de São Carlos (IFSC) e da Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos



Rendimento Quântico (rendimento da conversão da energia luminosa em energia química) apresentado por plantas C3 e C4 em diferentes temperaturas.

Conclui-se que a alta concentração de  $\text{CO}_2$  e a baixa concentração de  $\text{O}_2$  limitam a fotorrespiração. O sistema observado nas plantas C4 é uma vantagem evidente em relação às plantas C3, pois o  $\text{CO}_2$  fixado pela via C4 é enviado para as células fotossintetizantes, mantendo assim uma alta concentração do gás.

Experimentos recentes têm demonstrado que a fotorrespiração, desenvolvida com mais facilidade pelas plantas C3, poderia servir como um caminho de defesa do aparelho fotossintético. Tais teses apontam que o grande consumo de NADPHs e ATPs na fotorrespiração é uma forma de dissipar o excesso desses compostos na célula, já que eles são formados na fase clara da fotossíntese e, com a estabilização das concentrações de  $\text{CO}_2$  (o que impossibilita a continuidade do processo fotossintético), se acumulam. Dessa forma, a fotorrespiração teria como função dissipar o excesso dos compostos, protegendo a planta dos danos causados por eles e pela radiação solar intensa, permitindo rápida recuperação após o período de estresse.

(FZEA) da USP, em Pirassununga, já tem patente depositada e está em fase de transferência de tecnologia. Os testes laboratoriais foram concluídos com sucesso e a equipe está realizando testes em campo.

De acordo com o professor e pesquisador do Instituto de Física de São Carlos (IFSC), foram utilizadas técnicas de inteligência artificial, voltadas para o reconhecimento de padrões visuais das folhas das plântulas. Esses padrões correspondem à falta de macronutrientes como nitrogênio, fósforo, magnésio, enxofre e potássio e micronutrientes como cobre, ferro, zinco e manganês.

“As folhas das plantas adultas registram, de forma visível, padrões correspondentes à falta de cada nutriente. Nas plantas em estágios iniciais da fase vegetativa, com uma ou duas semanas, esses padrões já estão lá, mas não são visíveis. Nosso desafio era identificá-los por meio de um olhar matemático”, disse o professor à Agência Fapesp.

Segundo ele, o método se baseia na leitura, por meio de um scanner, das imagens digitalizadas das folhas. Uma vez feita a leitura, a imagem é transformada em um modelo matemático, que é comparado, por um software, a modelos estabelecidos previamente.

“Construímos um modelo matemático das folhas das plântulas, com as quantidades ideais de todos os nutrientes. A partir dessas informações, um software produz um novo modelo matemático que pode ser comparado ao ideal, identificando as deficiências”, explicou.

A maior parte dos agricultores faz um levantamento nutricional do solo antes de realizar a preparação para a plantação. Mas essa preparação, segundo o professor, não garante necessariamente que a planta irá absorver os nutrientes.

“Muitas vezes, mesmo que o solo não tenha sido preparado de forma inadequada, o próprio fenótipo da planta não permite que ela absorva o nutriente. Quando a planta está adulta, um engenheiro agrônomo pode detectar a deficiência. Mas, a essa altura, a correção será feita apenas na safra seguinte”, explicou.

Uma carência severa de nutrientes pode comprometer até 50% da safra de milho. “A tecnologia permite avaliar a planta com uma ou duas semanas e, assim, o produtor tem vários meses para recuperá-la antes da produção. Com a detecção precoce do problema, é possível aplicar à planta as substâncias adequadas para que ela absorva determinados nutrientes”, afirmou o pesquisador.

## Outras culturas

Os testes feitos em laboratório, em Pirassununga, mostraram que o sistema funciona com 87% de acerto. O grupo agora está repetindo os experimentos no campo, na mesma cidade no interior paulista, em situações nas quais o solo apresenta problemas.

“Da perspectiva acadêmica, ainda temos um grande número de testes pela frente. O projeto tem o objetivo de fazer avançar a ciência nessa área e precisamos estudar vários outros aspectos relacionados ao milho, aos diversos nutrientes e à aplicação em outras culturas”, disse.

No entanto, do ponto de vista da pesquisa tecnológica, mais dinâmica, o método já está em estágio avançado, segundo o professor do IFSC-USP.

“A tecnologia está muito próxima de ser utilizada. Em termos práticos, hoje ainda não há ferramenta capaz de medir os nutrientes de plantas dessa maneira. Mesmo que ainda tenhamos que avançar na parte científica, para vários nutrientes a ferramenta já está pronta”, afirmou.

Fábio de Castro. Agência FAPESP. 14 jun. 2011  
Disponível em: <http://agencia.fapesp.br/14028>. (Adapt).

## RESUMINDO

### Nutrição

Uma planta apresenta dois tipos de nutrição: **orgânica** e **inorgânica**. A nutrição orgânica é realizada pelas **folhas**, que são as principais responsáveis pela realização da fotossíntese. O caule proporciona sustentação e ligação entre folhas e raízes, permitindo que elas troquem materiais através dos vasos condutores. A nutrição inorgânica, ou mineral, consiste nos processos através dos quais o vegetal obtém água e nutrientes minerais do substrato onde se encontra, através das raízes, que também fixam o vegetal ao solo.

**Nutrição orgânica:** está associada à fotossíntese, processo que produz matéria orgânica a partir de substâncias inorgânicas. A fotossíntese utiliza  $\text{CO}_2$  (fornecido pela respiração e pelo ambiente, absorvido através de **estômatos**), água proveniente do solo e luz (como fonte de energia para a reação). Como produtos há o  $\text{O}_2$  e carboidratos como a **sacarose** (glicose + frutose), sendo que a maior parte do carbono fixado é convertido nesse dissacarídeo, principal forma de transporte dos açúcares. Pode haver também a formação de amido (polissacarídeo), forma de reserva alimentar da planta. O processo de fotossíntese pode ser representado com a equação:



A fotossíntese acontece no interior dos **cloroplastos** em células do **parênquima clorofiliano** e, assim, envolve tecidos da planta que os possui, como folhas e caules jovens. Na folha, existem dois tipos de tecidos clorofilianos situados entre as duas epidermes (**mesofilo**):

1. **Parênquima clorofiliano paliçádico:** com células alongadas, justapostas e perpendiculares em relação à epiderme da face superior.

2. **Parênquima clorofiliano lacunoso:** que possui células com aspecto mais irregular e com grandes espaços entre elas.

As folhas apresentam outras estruturas que fazem parte dos processos de nutrição.

1. **Nervuras:** ramificam-se e entram em contato com as células parenquimáticas. São constituídas por feixes de vasos condutores com a função de distribuir nutrientes pelo corpo do vegetal:
  - a. **Xilema:** transporta água e nutrientes minerais, absorvidos principalmente pelas raízes.
  - b. **Floema:** transporta água, açúcar e outras substâncias orgânicas, como aminoácidos e vitaminas; o floema transporta esses materiais a outras partes da planta.
2. **Epiderme:** presente na face superior e inferior da folha. É constituída por uma camada de células aclorofiladas, que secretam a **cutícula**.
3. **Cutícula:** película impermeável, constituída por cera ou por cutina, que recobre a folha protegendo contra a dessecação.
4. **Estômatos:** suas células centrais possuem cloroplastos e são denominadas **células-guarda**, ou células estomáticas. Elas podem se afastar, determinando a abertura do estômato e formando a fenda chamada **ostíolo**. São estruturas que atuam como válvulas, para controle das trocas gasosas efetuadas entre a folha e o ambiente, como a perda de vapor de água (durante o processo de transpiração) e o fluxo de gases  $\text{O}_2$  e  $\text{CO}_2$  (durante a fotossíntese e respiração).

**Nutrição mineral:** ocorre com a obtenção de **materiais inorgânicos** através dos **pelos absorventes** da **raiz**, podendo acontecer também através de pelos das folhas, estômatos e ainda com a participação simbiótica de fungos nas raízes (formando **micorrizas**) e através

da digestão de presas (o que ocorre com as plantas carnívoras). Os nutrientes minerais utilizados pelas plantas são divididos em dois tipos:

- **Macronutrientes:** utilizados pela planta em grandes quantidades. Os principais são: **nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio, magnésio e enxofre.**
- **Micronutrientes:** utilizados pela planta em menores quantidades, não deixando de ser importantes por isso. Como exemplos podem ser citados: **boro, cobalto, cobre, ferro, manganês, molibdênio e zinco.**

Podemos destacar alguns papéis que os nutrientes minerais desempenham nas plantas:

Macronutrientes		Micronutrientes	
Nitrogênio (N)	Formação de aminoácidos, proteínas e bases nitrogenadas.	Boro (B)	Importante para o crescimento dos meristemas e transporte de carboidratos.
Fósforo (P)	Integra ATP, ADP, DNA, RNA.	Cobalto (Co)	Atua na fotossíntese.
Potássio (K)	Importante em fenômenos osmóticos da célula vegetal.	Cobre (Cu)	Atua em processos enzimáticos.
Cálcio (Ca)	Integrante da lamela média das paredes celulares.	Ferro (Fe)	Faz parte de moléculas de citocromos.
Magnésio (Mg)	Componente da clorofila e da lamela média.	Manganês (Mn)	Essencial para a produção de doroplastos.
Enxofre (S)	Integrante de alguns aminoácidos (fundamental para a produção de proteínas).	Molibdênio (Mo)	Importante no metabolismo do P e N e produção de aminoácidos.
		Zinco (Zn)	Importante na produção de hormônios de crescimento e em reações enzimáticas bioenergéticas.

## Raiz e caule – relação com a nutrição

A raiz, na zona pilífera, de absorção, apresenta duas regiões:

- **Casca:** localizada mais externamente, possui os tecidos:
  - **Epiderme:** reveste e possui pelos absorventes.
  - **Córtex:** consiste em um parênquima, podendo servir como tecido de reserva e armazenar amido (como a mandioca).
  - **Endoderme:** localizada internamente, ao lado do córtex. Regula o fluxo de íons em direção ao xilema.
- **Cilindro central:** é localizado na região interna da raiz e é formado por:
  - **Periciclo:** localiza-se logo abaixo da endoderme. Origina, por mitoses, **raízes secundárias** (ou laterais), consideradas ramificações **endógenas** (que se originam a partir do interior da raiz).
  - **Xilema:** disposto lado a lado com o floema, mais internamente ao periciclo.

- **Floema:** disposto lado a lado com o xilema, mais externamente ao periciclo.
- **Parênquima central:** conhecido como **medula**, estrutura que pode ser encontrada apenas nas monocotiledôneas.

O caule possui:

- **Epiderme:** único revestimento do caule jovem, com estrutura primária.
- **Parênquimas:** que podem realizar fotossíntese ou armazenar materiais.
- **Vasos condutores:** localizados no interior do caule e com disposição que distingue monocotiledôneas e dicotiledôneas.
  - **Monocotiledôneas:**
    - Apresentam caule com estrutura primária.
    - Interior preenchido por parênquima de reserva (como da cana-de-açúcar).
    - **Feixes liberolenhosos** constituídos por floema (voltado para o lado externo) e por xilema (localizado mais internamente).
    - Ao redor dos feixes há **esclerênquima**, tecido de sustentação.
    - Feixes de vasos apresentam **disposição irregular no caule.**
  - **Dicotiledôneas:** caules jovens apresentam apenas estrutura primária, com esclerênquima como tecido de sustentação, mas outras estruturas permitem o crescimento em espessura da planta.
    - **Córtex (parênquima cortical):** parênquima localizado externamente aos feixes liberolenhosos.
    - **Câmbio (felogênio):** faixa de tecido meristemático disposto entre o xilema e o floema. Permite o crescimento secundário da planta.
    - **Feixes liberolenhosos** têm **distribuição regular.**
    - **Medula (parênquima medular):** parênquima localizado na região mais interna do caule.

## Secreção

Secreção consiste na elaboração e na eliminação de substâncias úteis ao vegetal. Plantas apresentam diversos tipos de estruturas secretoras, localizadas em diferentes regiões do organismo.

- **Nectários:** estruturas glandulares que secretam néctar, líquido adocicado utilizado como alimento por animais. São mais comumente observados em flores (nectários florais – atrativo aos polinizadores), mas podem ser encontrados em outras partes da planta, como inflorescências, pedúnculos florais, folhas e caules. A secreção açucarada acessível pode também atrair animais que defendem a planta contra predadores, potenciais competidores do alimento.
- **Laticíferos:** canais presentes no interior de caules que produzem látex (secreção esbranquiçada importante no fechamento de ferimentos da planta). A produção de látex age também como elemento de proteção contra animais, que normalmente evitam plantas que o secretam, devido às suas substâncias tóxicas.
- **Canais resiníferos:** muito comuns em troncos, ramos e folhas de gimnospermas; produzem uma resina que protege a planta contra insetos e contra a atuação de decompositores.

## ■ QUER SABER MAIS?



### SITES

- Vídeo demonstrativo do processo de fotossíntese  
<http://www.youtube.com/watch?v=yASWF6WfST4>
- Verde que mata. Reportagem que elucida as perturbadoras estratégias de caça de algumas das plantas carnívoras mais estranhas do mundo.  
<http://revistagalileu.globo.com/Revista/Galileu/0,,EDG84270-7943-206,00-VERDE+QUE+MATA.html>

## Exercícios complementares

**1 UEL** Num experimento, mergulharam-se em solução nutritiva as seguintes partes de quatro plantas intactas da mesma espécie:

- I. toda a raiz.
- II. somente a zona suberosa da raiz.
- III. somente a zona pilífera da raiz.
- IV. somente a coifa da raiz.

Espera-se que, após alguns dias, tenham sobrevivido somente as plantas:

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

**2 Unioeste-PR (Adapt.)** Com relação aos tecidos vegetais, escolha a(s) alternativa(s) correta(s).

- O meristema primário possui a função de crescimento em espessura.
- O parênquima é composto por células altamente lignificadas, sendo responsável pela sustentação.
- O floema conduz seiva orgânica ou elaborada, enquanto o xilema conduz a seiva bruta.
- O mesófilo foliar é composto por colênquima e esclerênquima.
- Felogênio é um tecido meristemático que origina a feloderme e o súber.
- A epiderme de uma folha é formada por várias camadas de células justapostas clorofiladas.

**3 UFC** Atualmente é comum haver, em muitos supermercados da cidade, verduras que foram cultivadas através da técnica da hidroponia, ou seja, do cultivo em soluções de nutrientes inorgânicos e não no solo.

Pergunta-se:

- a) Como são classificados os nutrientes inorgânicos essenciais adicionados à solução? Cite 2 (dois) exemplos de cada grupo.
- b) Por que a solução de nutrientes utilizada na hidroponia deve ser continuamente aerada?

**4 UFG 2008** Luz solar, rios, oceanos, rochas, microrganismo, plantas e animais inter-relacionam-se pelo fluxo de energia no planeta. As plantas iniciam esse fluxo por meio da fotossíntese. Para que esse processo ocorra é necessário que o:

- (a) gás carbônico se difunda para a folha através dos poros estomáticos.
- (b) hidrogênio seja absorvido pela folha contra o gradiente de concentração.
- (c) oxigênio se difunda para a planta através dos poros estomáticos e das lenticelas.
- (d) vapor de água entre nas plantas através dos poros estomáticos.
- (e) nitrogênio circule das folhas para raízes através do floema.

**5 Udesc 2009 (Adapt.)** Nas plantas, a perda de água para a atmosfera (transpiração) se dá principalmente nas folhas, pelos estômatos, que se abrem para a planta poder absorver o gás carbônico necessário à fotossíntese.

Em relação a este assunto:

- a) Em que partes das plantas estão localizados os estômatos?
- b) Desenhe o estômato e indique as partes que o constituem.

**6 Uece 2010** Analise o texto a seguir.

Um tecido é formado por células que apresentam unidade funcional. Nos vegetais, a função do periciclo é \_\_\_\_\_, do câmbio é \_\_\_\_\_ e dos meristemas apicais é \_\_\_\_\_.

Assinale a alternativa que contém as funções que completam corretamente e na ordem o texto anterior.

- (a) formar raízes laterais; formar vasos liberianos para fora e lenhosos para dentro; formar o corpo primário das plantas.
- (b) formar a endoderme; promover o crescimento primário do caule e da raiz; formar o corpo secundário em plantas herbáceas.
- (c) formar a epiderme na raiz; formar a casca do caule e da raiz; formar o corpo primário das plantas lenhosas.
- (d) formar a casca do caule; permitir o crescimento secundário do caule; formar o corpo secundário das plantas lenhosas.

**7 Unesp 2003** O cipó-chumbo é um vegetal que não possui raízes, nem folhas, nem clorofila. Apresenta estruturas especiais que penetram na planta hospedeira para retirar as substâncias que necessita para viver. Por sua forma de vida, o cipó-chumbo é considerado um holoparasita. Uma outra planta, a erva-de-passarinho, é considerada um hemiparasita e, embora retire das plantas hospedeiras água e sais minerais, possui folhas e clorofila.

Considerando estas informações, responda.

- a) Pelo fato de o cipó-chumbo ser holoparasita, que tipo de nutriente ele retira da planta hospedeira para a sua sobrevivência? Justifique sua resposta.
- b) Quais estruturas das plantas hospedeiras são "invadidas" pelo cipó-chumbo e pela erva-de-passarinho, respectivamente? Justifique sua resposta.

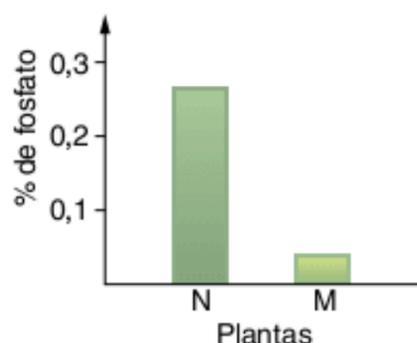
**8 PUC-MG** Certos vegetais são bioindicadores da presença e/ou concentração de certos nutrientes no solo ou em ambientes aquáticos. Das plantas abaixo, assinale a que normalmente apresenta adaptações que permitem a ela um bom desenvolvimento em solos com menor quantidade de sais nitrogenados.

- (a) Gramíneas. (c) Clorófitas.  
 (b) Samambaias. (d) Leguminosas.

**9 Unifesp 2004** No ambiente terrestre, uma aranha, uma abelha e uma alface estão sujeitas às mesmas condições ambientais. Qual das afirmações sobre as adaptações que evitam a perda de água e que permitem as trocas gasosas nesses organismos está correta?

- (a) Enquanto as traqueias da abelha e da aranha levam o oxigênio do ar diretamente às células, na alface o ar é absorvido pelos estômatos e transportado com a água pelos feixes vasculares antes de tornar o oxigênio disponível para a planta.
- (b) Na abelha e na aranha, a perda de água é evitada pelo exoesqueleto; na alface, pela cutícula da epiderme. Tanto o exoesqueleto quanto a cutícula fornecem também sustentação a esses organismos.
- (c) Na alface, a perda de água é controlada exclusivamente pelos estômatos. Na abelha, a menor atividade de voo também controla a perda de água; e a aranha, por sua vez, vive apenas em ambientes com alta umidade.
- (d) Na aranha e na abelha, os inúmeros pelos que revestem o corpo somente evitam a perda de água. Os pelos da raiz de uma alface, ao contrário, permitem a absorção de água.
- (e) Tanto na abelha quanto na aranha, e também na alface, o ar absorvido já entra em contato diretamente com as células, o que permite que as trocas gasosas sejam muito rápidas. Na abelha, isso é importante para o voo.

**10 UFF 2005** Em estudos com *Arabidopsis thaliana*, um vegetal terrestre, foram utilizadas plantas jovens com genótipo mutante (M), que não apresentam a formação de uma estrutura presente na raiz, e plantas jovens com genótipo normal (N). As plantas foram cultivadas em solução nutritiva em condições adequadas ao crescimento, entretanto, com metade da concentração de fosfato recomendada para essa espécie. Após um mês de cultivo, o teor de fosfato foi avaliado na matéria seca das plantas, fornecendo os resultados apresentados no gráfico a seguir.



- a) Qual das regiões da raiz foi afetada pela mutação? Justifique sua resposta.
- b) Suponha que as plantas jovens com genótipo normal, ao serem transferidas da solução nutritiva para o solo, tenham sido cortadas na região logo abaixo daquela afetada pela mutação nas plantas mutantes (M). Quais foram as regiões perdidas e como isso afeta o crescimento e funcionamento da raiz?

**11 Unifesp 2008** A hidroponia consiste no cultivo de plantas com as raízes mergulhadas em uma solução nutritiva que circula continuamente por um sistema hidráulico. Nessa solução, além da água, existem alguns elementos químicos que são necessários para as plantas em quantidades relativamente grandes e outros que são necessários em quantidades relativamente pequenas.

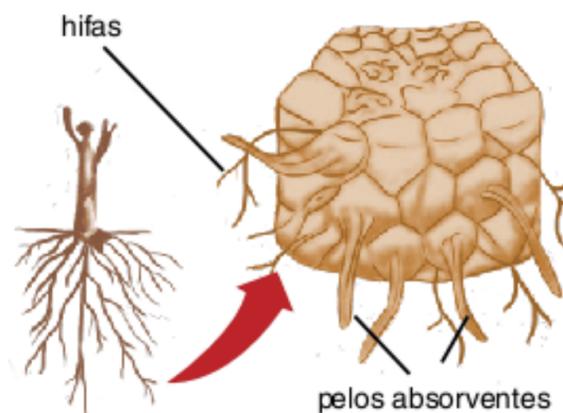
- a) Considerando que a planta obtém energia a partir dos produtos da fotossíntese que realiza, por que, então, é preciso uma solução nutritiva em suas raízes?
- b) Cite um dos elementos, além da água, que obrigatoriamente deve estar presente nessa solução nutritiva e que as plantas necessitam em quantidade relativamente grande. Explique qual sua participação na fisiologia da planta.

**12 UFMG 2010** As plantas insetívoras, ou carnívoras, vivem, geralmente, em solos pobres em nutrientes.

Com base nessa informação e em outros conhecimentos sobre o assunto, é incorreto afirmar que as plantas insetívoras:

- (a) podem realizar respiração celular.  
 (b) são consideradas produtores primários.  
 (c) usam matéria orgânica de suas presas para fotossíntese.  
 (d) utilizam nutrientes das presas no seu metabolismo.

**13 UFSM 2005** Observe a figura a seguir. Ela representa a relação entre as plantas e certos fungos, que crescem no solo e córtex de suas raízes.



Fonte: S. Linhares; F. Gewandsnajder. *Biologia hoje: os seres vivos*. São Paulo: Ática, 2003. p. 81.

Considerando a região da raiz onde as hifas estão alojadas, pode-se concluir que a função do fungo, nessa relação, é:

- (a) aumentar a absorção de água.  
 (b) proteger as raízes laterais emergentes.  
 (c) proteger o meristema apical.  
 (d) contribuir para o crescimento em extensão das raízes.  
 (e) aumentar o número de raízes secundárias.

# Revestimentos e trocas gasosas

# 17

FRENTE 2

Em muitos animais há estruturas respiratórias especializadas, como os pulmões ou as brânquias, através das quais são realizadas trocas entre o sangue e o meio externo; o sangue transporta gás oxigênio aos tecidos.

Nos vegetais, as trocas gasosas com o ambiente são realizadas em determinadas regiões do tecido de revestimento; nas plantas, não ocorre transporte de gases por meio da seiva.



## Revestimentos

Uma planta pode apresentar dois tipos de tecidos de revestimento: a **epiderme**, bastante delgada, e o **súber**, ou cortiça, bem espesso e constituído por células mortas. Os tecidos de revestimento da planta são correspondentes aos da pele de um animal, recobrendo o vegetal e protegendo-o de vários fatores ambientais, como o risco de desidratação e de possíveis lesões que poderiam ser provocadas por animais. No vegetal, o revestimento também tem como função a realização das **trocas gasosas** com o meio circundante, garantindo à planta os elementos necessários para os processos de respiração, transpiração e fotossíntese.

Além das funções principais, em certas situações, o revestimento assegura controle térmico à planta, impedindo que células mais internas apresentem grandes variações de temperatura. Pode também **secretar substâncias**, como **óleos essenciais**. Em regiões específicas da raiz, é especializado na absorção de água, possuindo inclusive anexos como pelos.

### Epiderme

A epiderme é um tecido fino, constituído por células vivas; recobre folhas, flores, frutos, sementes, caules e raízes jovens. As células da epiderme normalmente são **acolorofiladas** e dispostas em uma **única camada** (Fig. 1); no entanto, há casos em que a epiderme possui mais de uma camada de células. As células desse tecido são, na maioria das espécies, achatadas e com paredes laterais onduladas, o que proporciona maior aderência entre elas e, assim, resistência mecânica à superfície vegetal.

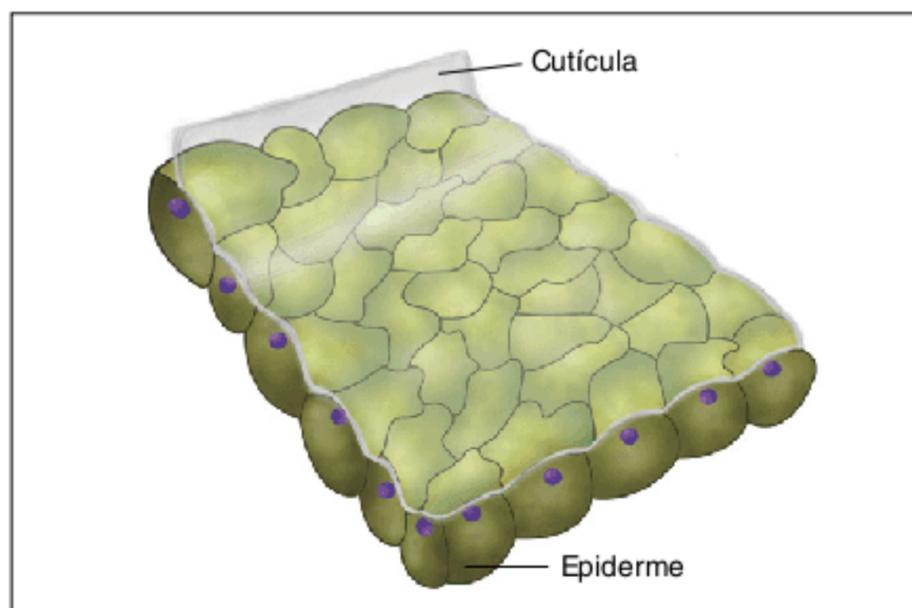


Fig. 1 A epiderme típica apresenta uma camada de células acolorofiladas. A epiderme de caule e de folha é recoberta por uma cutícula impermeável.

Em partes do vegetal sujeitas à desidratação, como caules e folhas, a epiderme é recoberta por uma **cutícula** impermeável, constituída por **cutina** (um tipo de lipídeo), ou **cera**, como ocorre no pseudofruto da macieira e nas folhas da carnaubeira, conferindo-lhes aspecto brilhante. A cutícula diminui a perda de água na forma de vapor, inibindo as trocas gasosas através da epiderme. Nas raízes que se desenvolvem no solo ou no meio aquático, não há cutícula recobrendo a epiderme e também não existem estômatos, estruturas responsáveis pela realização de trocas gasosas.

A epiderme apresenta estruturas anexas, como os pelos, os acúleos e os estômatos (Fig. 2). Há diversos tipos de **pelos**, como os pelos absorventes das raízes, através dos quais ocorre a entrada de água e de nutrientes minerais retirados do solo.

Nas folhas de urtiga, há pelos urticantes, dotados de substâncias irritantes que penetram na pele do animal quando tocados; isso evita que o animal cause dano à planta.

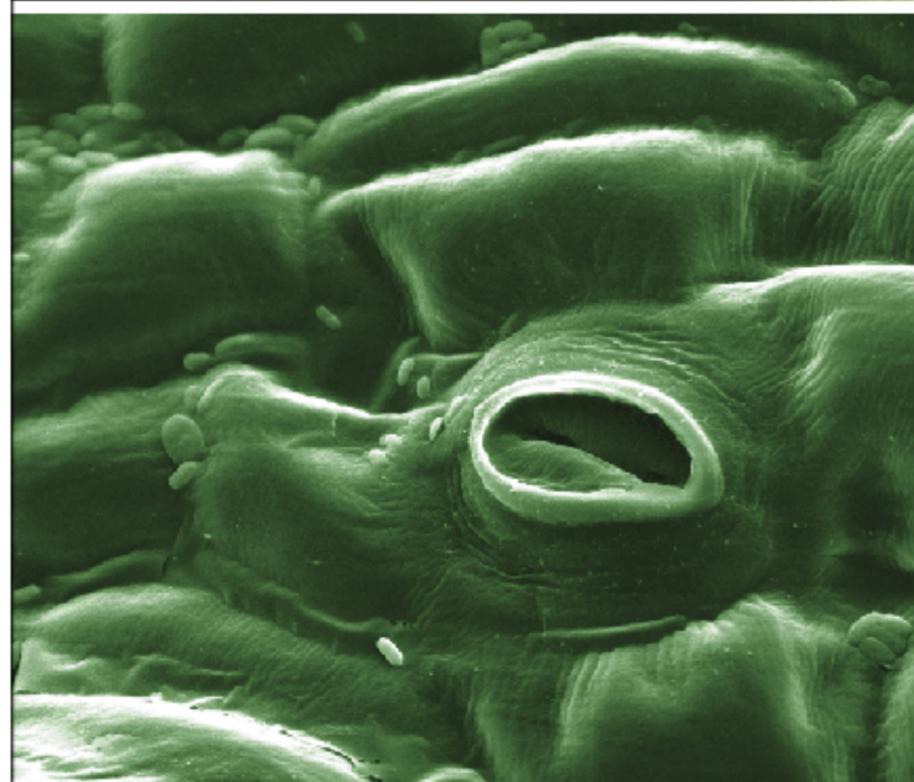
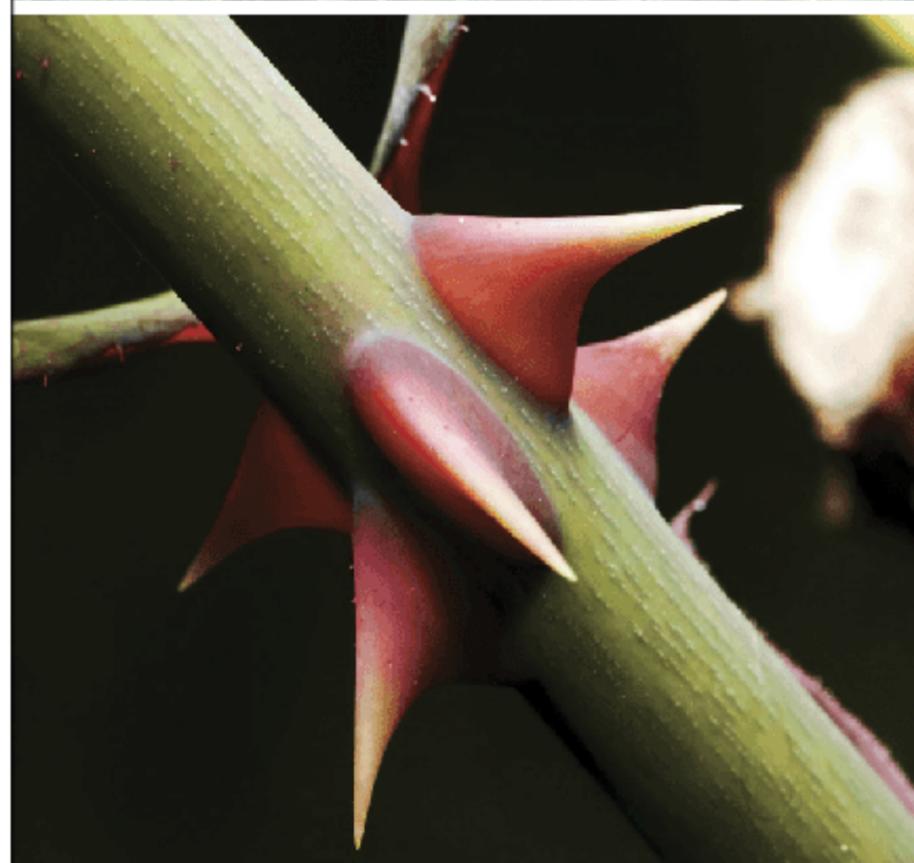
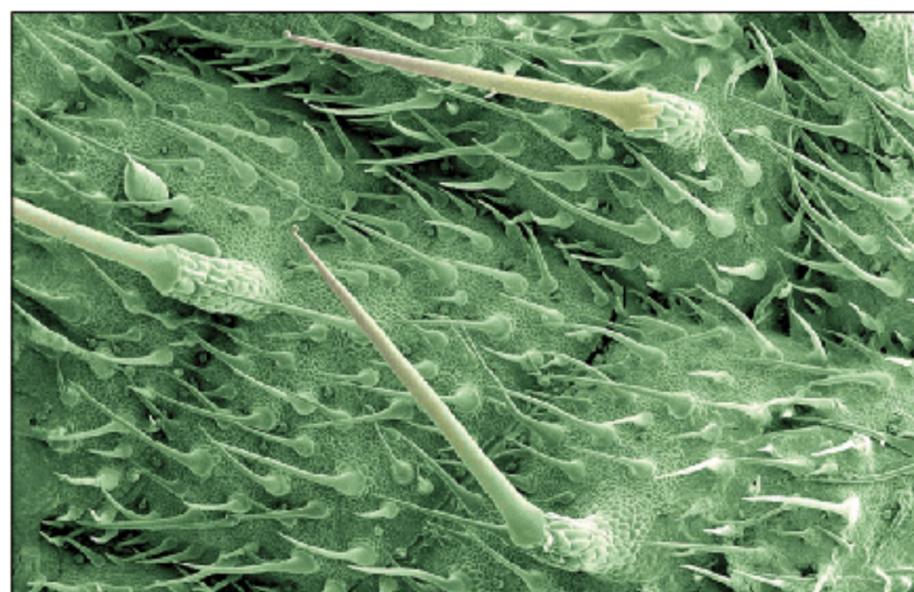


Fig. 2 Estruturas anexas da epiderme contribuem para a sobrevivência da planta: pelos urticantes (imagem superior) e acúleos (imagem intermediária) são estruturas de proteção contra animais; estômatos (imagem inferior) controlam trocas gasosas.

Diversas estruturas são também recobertas por pelos mais simples, os **tricomas**, que podem contribuir para a retenção de vapor-d'água na superfície do vegetal, como pode ser observado em folhas de violetas.

Já os **acúleos** são estruturas pontiagudas, constituídas por acúmulos de células epidérmicas, recobertas por grande quantidade de cutina; são encontrados em caules de roseiras e de paineiras, têm função protetora contra animais. Não devem ser confundidos com espinhos, que correspondem a modificações de folhas (como no cacto) ou de ramos (como no limoeiro).

Os **estômatos** são células epidérmicas modificadas, que atuam nas trocas gasosas que a planta realiza com o meio externo. São essenciais para a nutrição da planta, já que estão diretamente relacionados com a fotossíntese e com outros processos de absorção.

### Súber

O **súber** é um tecido formado por células mortas e apresenta espessura maior que a da epiderme. É o revestimento de caules e raízes que apresentam crescimento em circunferência (Fig. 3). O súber é formado pela atividade do **felogênio**, um meristema secundário. O felogênio produz, através de divisões celulares, o súber (para o lado de fora do caule ou da raiz) e a **feloderme** (para o lado de dentro). Súber, felogênio e feloderme constituem a **periderme**.



Fig. 3 O tronco de uma árvore é revestido pelo súber, que vai apresentando grandes fendas à medida que ocorre o crescimento em diâmetro.

As células do súber sofrem grande diferenciação celular durante sua formação, alterando profundamente sua parede pela deposição de grande quantidade de **suberina**, uma substância impermeável. Tal material isola o interior da célula de outras partes da planta, fazendo com que ela deixe de receber nutrientes e acabe morrendo. Uma célula adulta do súber apresenta apenas parede, constituída por suberina e uma quantidade menor de celulose; seu interior é ocupado por ar, o que permite ao súber desempenhar um papel importante no isolamento térmico da planta (Fig. 4).

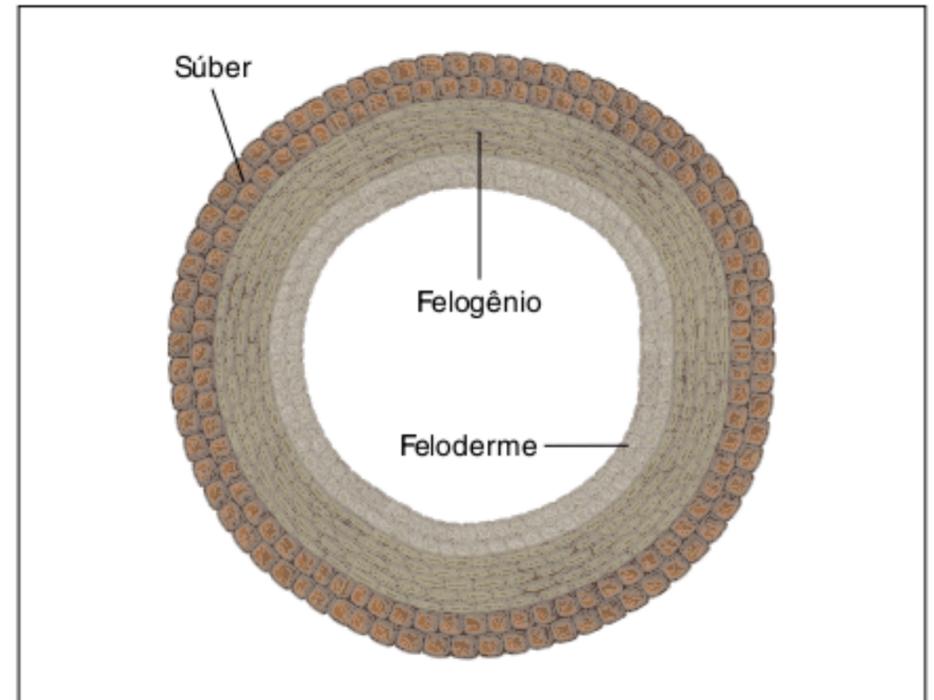


Fig. 4 O felogênio é um meristema secundário, com alta atividade mitótica; gera súber para o lado externo e feloderme (um parênquima) para o interior da planta.

A superfície do súber pode apresentar **lenticelas**, fendas através das quais ocorrem trocas gasosas com o ar (Fig. 5). As lenticelas não apresentam mecanismos de abertura e fechamento, como ocorre com os estômatos; a troca de gases ocorre entre os tecidos internos e a atmosfera, através da periderme. Nas raízes respiratórias de plantas de manguezais, há um tipo de lenticelas denominado **pneumatódios**.

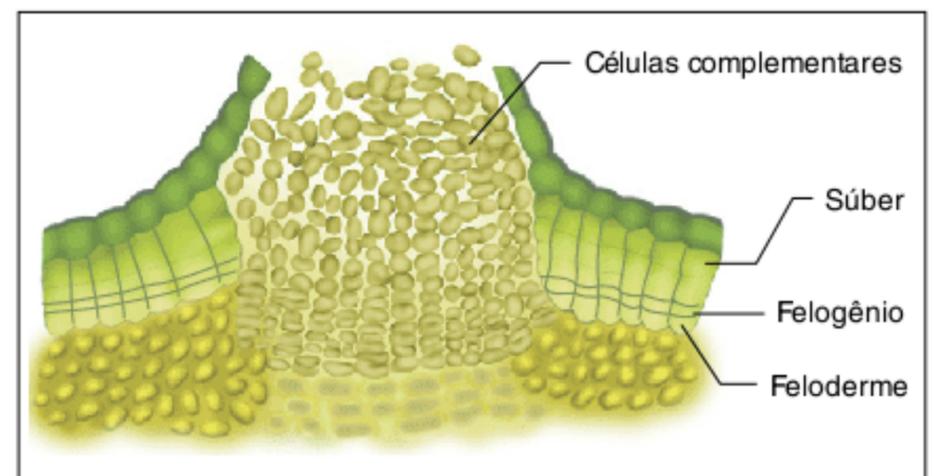


Fig. 5 O súber substitui a epiderme quando ocorre o crescimento em circunferência. Lenticelas são fendas presentes em algumas partes do súber, entre as quais o ar flui.

### As trocas gasosas

As trocas gasosas incluem a **perda de vapor-d'água** e a **entrada e saída de gás carbônico e oxigênio** da planta. As trocas gasosas efetuadas com o ar são realizadas, em grande parte, por estruturas foliares chamadas estômatos, podendo ocorrer

também através da epiderme. Os estômatos são válvulas que podem apresentar mecanismo de abertura e fechamento, regulando a passagem de gases. Quando a planta é iluminada acima do seu ponto de compensação fótica, ela realiza mais fotossíntese do que respiração. Isso significa que o resultado é a entrada de mais gás carbônico, proveniente do ar, e a eliminação de mais gás oxigênio. Todas as trocas gasosas ocorrem por difusão, sendo que a cutícula restringe bastante as trocas gasosas entre a epiderme e o ambiente, mas não impede totalmente a sua realização.

## Estômatos

### Estrutura e origem dos estômatos

Os estômatos são constituídos por duas células chamadas **células-guarda** (ou **células estomáticas**), dotadas de cloroplastos e de parede celular com pontos reforçados com filamentos de celulose. Ao lado das células estomáticas, há **células anexas** (ou **subsidiárias**), aclorofiladas e sem espessamento de parede; essas células contribuem com o mecanismo de abertura e fechamento dos estômatos, trocando **íons potássio** e **água** com as células estomáticas (Fig. 6). Com os estômatos abertos, forma-se uma fenda, conhecida como **ostíolo**, através do qual se processam as trocas gasosas. As células estomáticas são procedentes de uma célula-mãe que gera células-filha; estas, ao se diferenciarem, desenvolvem cloroplastos e espessamentos na parede.

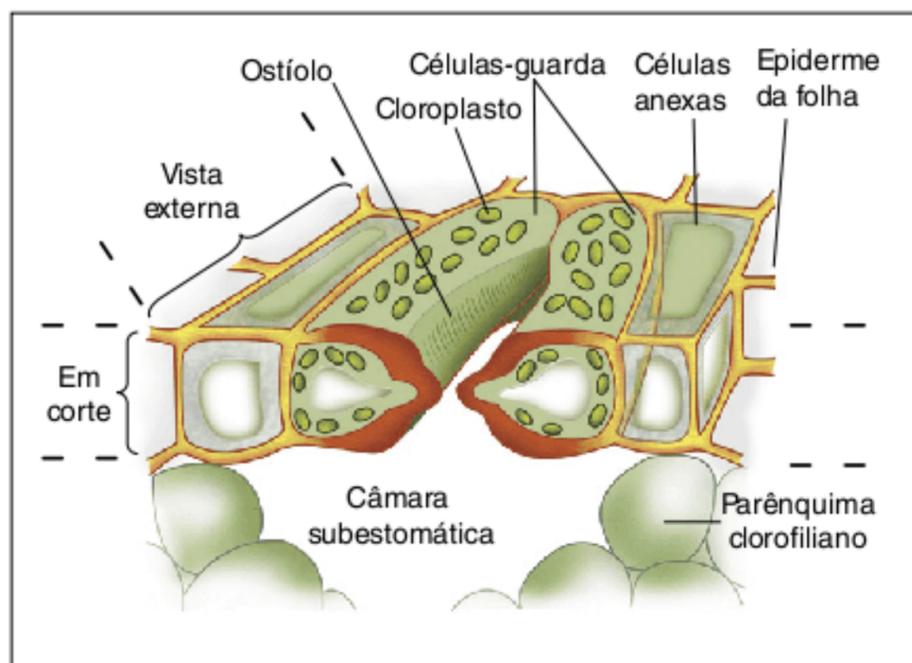


Fig. 6 Representação tridimensional de um estômato. Essa estrutura tem células-guarda e células anexas; a fenda entre células-guarda é o ostíolo.

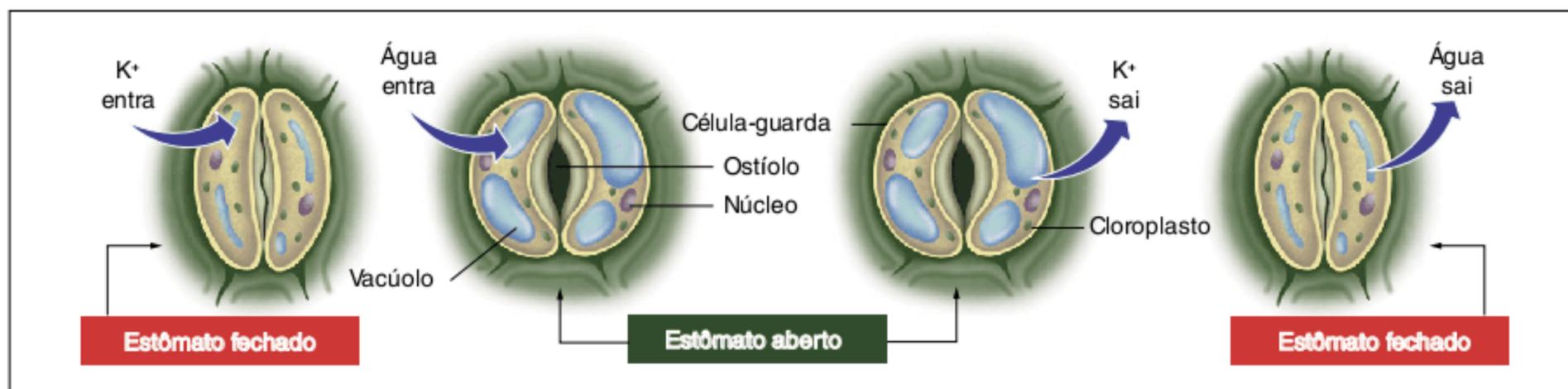


Fig. 9 A abertura dos estômatos envolve a presença de luz e o ganho de água pelas células-guarda. O fechamento dos estômatos está relacionado com a ausência de luz e a perda de água pelas células-guarda.

A folha pode ter estômatos na epiderme inferior (**folha hipostomática**), na epiderme superior (**folha epistomática**) ou na epiderme superior e inferior (**folha anfistomática**).

### O funcionamento dos estômatos

O mecanismo de funcionamento dos estômatos está ligado, entre outros fatores, às variações no seu teor de água (sua turgescência). Com pouca água, as células estomáticas têm pequeno volume, e suas paredes vizinhas aproximam-se, determinando seu fechamento. Quando as células estomáticas ganham água das células anexas, seu volume aumenta e elas tornam-se **túrgidas**; com isso, a célula sofre um arqueamento, que provoca a abertura da **fenda estomática**, ou seja, do ostíolo. A água que abastece as células estomáticas é proveniente do solo. Assim, com uma redução da absorção de água pelas raízes, há o fechamento estomático, reduzindo a perda de vapor pelas folhas. Isso é uma adaptação fisiológica da planta que permite economia de água. A abertura e o fechamento dos estômatos regulados pelo teor de água correspondem ao **mecanismo hidroativo**.

A passagem de água da célula anexa para a célula estomática ocorre por osmose. Assim, para receber água, a célula estomática deve estar hipertônica em relação à célula anexa. A diferença de concentração é determinada principalmente pelo teor de **íons potássio**, transferidos por transporte ativo da célula anexa para a célula estomática. Com a elevação de concentração da célula estomática, ocorre entrada de água por osmose, as células estomáticas ficam túrgidas e ocorre a abertura do estômato.

O principal fator ambiental que determina o transporte ativo de potássio entre as células é a presença de luz; no escuro, não se dá o transporte ativo de potássio e ocorre o fechamento dos estômatos. Uma planta mantida sem iluminação terá seus estômatos fechados em poucos minutos. A abertura e o fechamento dos estômatos, condicionados pela presença ou ausência de luz, constituem o **mecanismo fotoativo**. Veremos em outro capítulo que o hormônio denominado ácido abscísico promove o fechamento dos estômatos.

Resumindo, pode-se constatar que a abertura dos estômatos é favorecida pela presença de **água** no solo e pela presença de **luz**. A falta de um desses fatores promove o fechamento dos estômatos (Fig. 7).

Outros fatores estão ligados à abertura e ao fechamento dos estômatos, como a **concentração de gás carbônico** e a **temperatura**.

O aumento da concentração de gás carbônico no ar favorece a realização de fotossíntese, por constituir um dos reagentes do processo, ativando a abertura dos estômatos. No entanto, concentrações muito elevadas de  $\text{CO}_2$  podem se tornar tóxicas para a planta, e isso desencadeia o fechamento dos estômatos, o que impede o ingresso do excedente de gás carbônico.

Temperaturas elevadas promovem aumento da atividade metabólica das células da planta, elevando o processo de transporte ativo de íons para as células estomáticas e, assim, provocando sua abertura. Porém, se alcançar temperatura muito mais alta, a atividade enzimática decai. Isso tem repercussão no transporte ativo de potássio para o interior das células estomáticas, o que se reflete no fechamento dos estômatos.

### Transpiração

O interior da folha pode apresentar vapor-d'água proveniente da evaporação, ocorrida no parênquima clorofiliano. Esse vapor pode deixar o interior da folha através dos estômatos, quando eles se encontram abertos, e, uma pequena parte, pela cutícula da folha. Assim, transpiração é a perda de vapor-d'água para o meio externo, e ocorre através da cutícula (**transpiração cuticular**) e dos estômatos (**transpiração estomática**). A perda de água na transpiração se dá por difusão, isto é, quando a concentração de vapor no interior da folha é maior que a concentração de vapor presente no ar. Isso significa que, para haver transpiração, o ar atmosférico deve estar mais seco que o ar do interior da folha (Fig. 8).

A transpiração pode representar uma grande perda de água pela planta. No entanto, essa perda mostra-se vantajosa pelo fato de contribuir para a sua regulação térmica, uma vez que a perda de vapor está relacionada com a dissipação de calor, evitando o aquecimento das células expostas à luz. A transpiração também colabora para a movimentação de seiva bruta no interior do xilema, como será visto no próximo capítulo.

### Demonstração de transpiração

A transpiração pode ser demonstrada através de experimentos simples: as folhas de uma planta podem ser envolvidas em um saco plástico transparente; com o tempo, o plástico fica embaçado, ou seja, sua face interna é recoberta por gotículas de água que se formam pela condensação do vapor despreendido pelas folhas na transpiração. A formação das gotículas é uma demonstração de que a planta liberou vapor-d'água na transpiração. Esse procedimento não mostra, contudo, a quantidade de água perdida. Uma noção quantitativa pode ser feita por alguns procedimentos mais elaborados. Um deles é revestir o vaso em que a planta está se desenvolvendo de um material impermeável, como o papel-alumínio. Esse procedimento impede a perda de vapor pela parede do vaso e pela terra; assim, se houver perda de vapor, ocorrerá apenas pela planta, através da transpiração. O resultado é que o conjunto constituído pelo vaso e pela planta terá redução de massa, o que pode ser verificado em uma balança de sensibilidade elevada (Fig. 9).

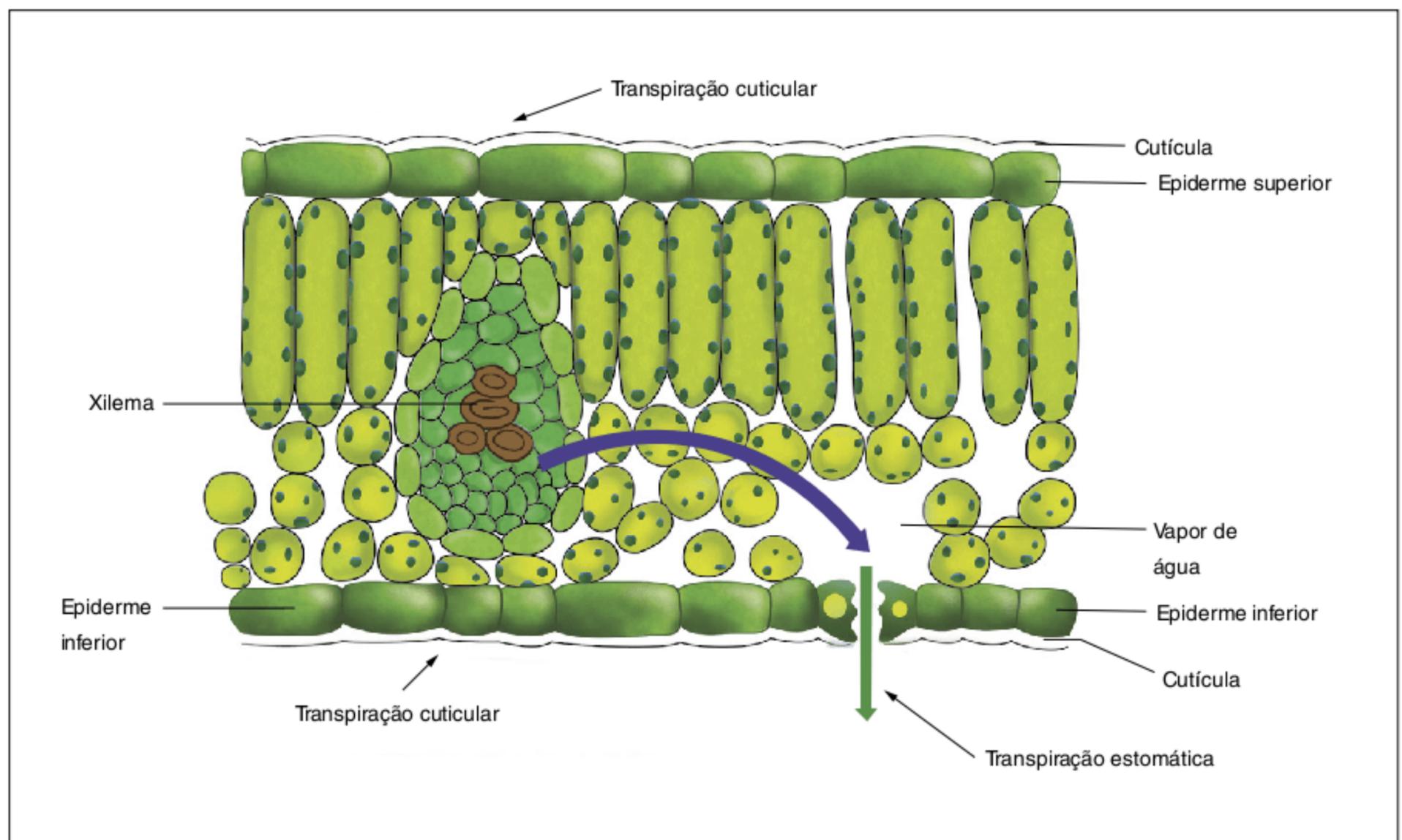


Fig. 10 A transpiração total do vegetal corresponde à soma da transpiração cuticular com a transpiração estomática.

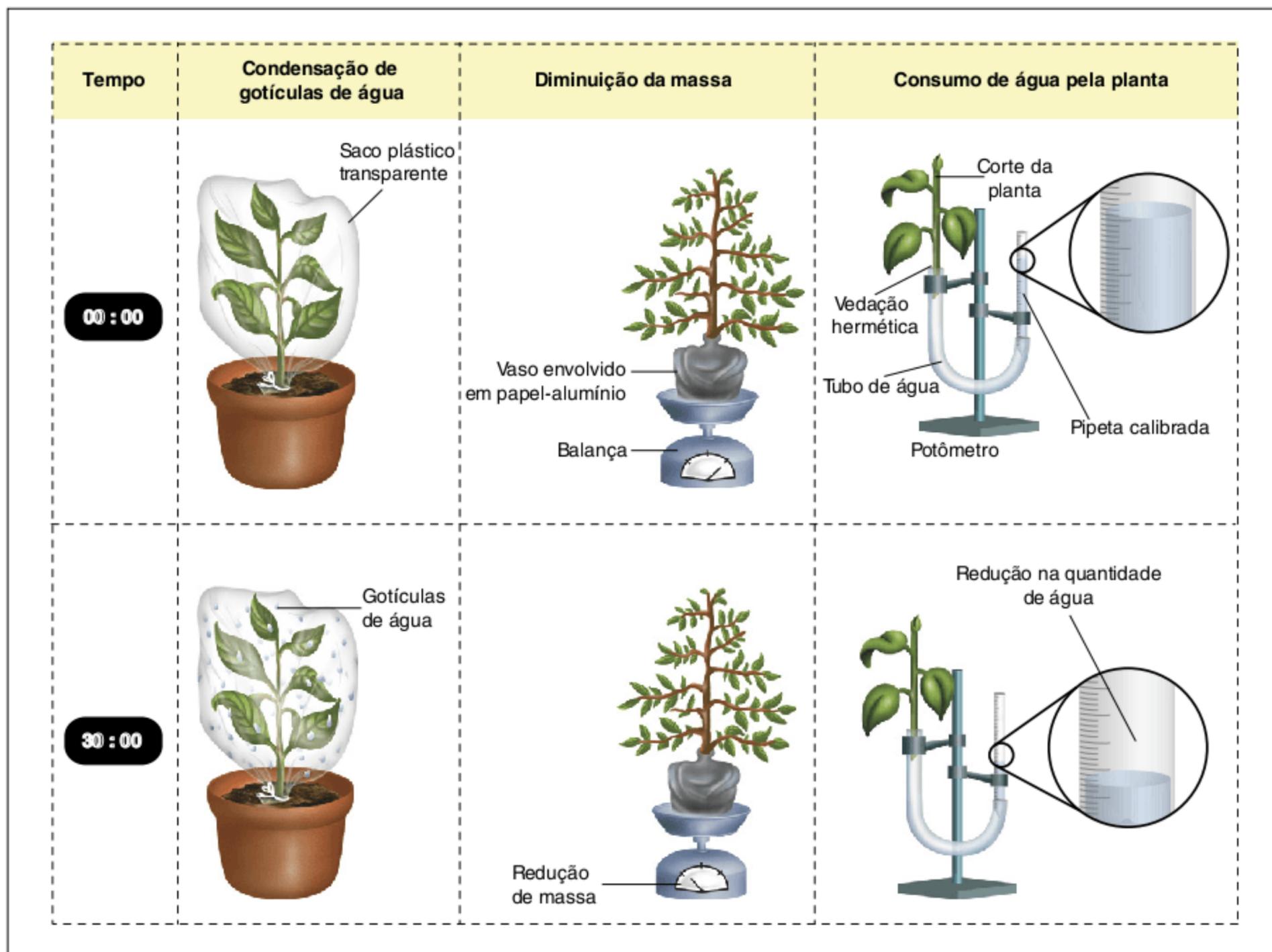


Fig. 7 A transpiração vegetal pode ser demonstrada com um plástico colocado ao redor da planta. Avaliações mais precisas de transpiração são realizadas com o potômetro ou com o emprego de balança de grande sensibilidade.

Outra maneira de avaliar a quantidade de vapor que a planta perde é por meio da água que ela consome. Em curtos intervalos de tempo, a quantidade de água consumida é proporcional ao que a planta perde na transpiração; isso significa que quanto maior for a transpiração, maior será a absorção de água pelas raízes. Um equipamento que mostra a quantidade de água que uma planta absorve é o **potômetro**. Um modelo simples consiste em um recipiente graduado, contendo determinada quantidade de água, em que se coloca uma planta. A planta realiza transpiração e perde água, reposta através da absorção da água presente no recipiente pelas raízes. Com isso, o nível no recipiente diminui e a quantidade de água consumida é proporcional à perda na transpiração (Fig. 9).

Um experimento clássico pode ser realizado colocando-se a folha de uma planta sobre uma balança sensível. Os valores de sua massa são registrados em intervalos regulares de tempo. Como resultado, a folha exibe uma variação de massa acentuada após os primeiros intervalos de tempo e depois a variação da massa passa a ser constante. Isso pode ser explicado porque a folha perdeu água através da transpiração, sendo que

a perda foi intensa no início, quando os estômatos estão abertos, e, posteriormente, com a suspensão da absorção de água, ocorre o fechamento dos estômatos e a folha passa a ter transpiração somente cuticular, apresentando perda constante de vapor-d'água. O gráfico que representa tal fenômeno é chamado de **curva de fechamento estomático** (Fig. 10).

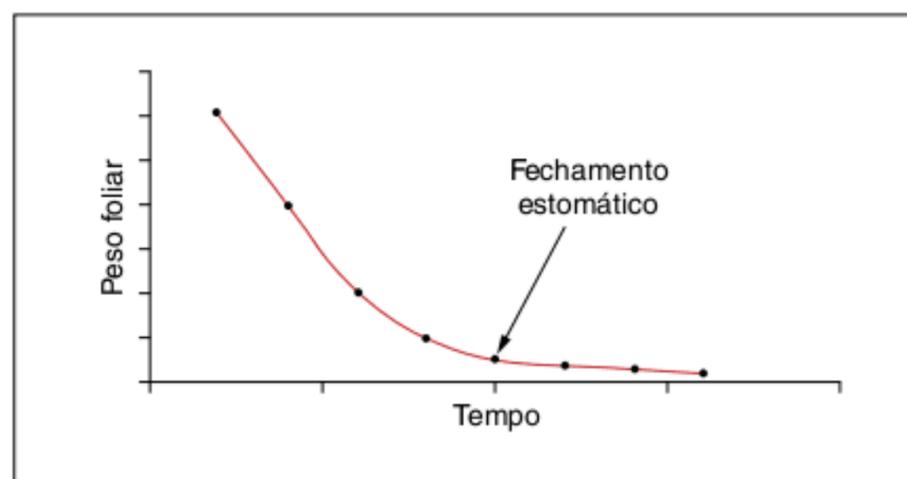


Fig. 8 Uma folha destacada tem decréscimo de massa por conta da transpiração. Com o fechamento dos estômatos, fica reduzida a perda de água pela folha.

## Revisando

**1** Quais as funções que o revestimento de uma planta pode desempenhar para beneficiá-la?

---



---

**2** Que tipo de relação pode haver entre uma função do revestimento e a polinização?

---



---

**3** Quais as características principais da epiderme de uma planta?

---



---

**4** “As plantas realizam o processo da respiração e realizam a fotossíntese, com a utilização da luz solar, para se alimentar”.

Responda:

a) Qual é o gás produzido pelas plantas na respiração?

---



---

b) Qual é o gás produzido pelas plantas na fotossíntese?

---



---

**5** Para que servem os estômatos?

---



---

**6** De que maneira os animais conseguem o oxigênio para respirar?

---



---

**7** A epiderme das plantas realiza fotossíntese?

---



---

**8** Que tipo de proteção a epiderme possui contra a dessecação?

---



---

**9** Cite algumas estruturas anexas que a epiderme pode apresentar e as funções que elas exercem na planta.

---



---

**10** Do que é feito o súber e em que momento ele aparece na planta?

---



---

**11** O que é a periderme?

---

---

---

**12** Que tipo de trocas gasosas uma planta pode fazer com o ambiente à sua volta?

---

---

---

**13** Quais as estruturas responsáveis pelas trocas gasosas de uma planta?

---

---

---

**14** Como são e como funcionam os estômatos? Quais os mecanismos que os controlam?

---

---

---

**15** Como funciona o mecanismo fotoativo?

---

---

---

**16** Como ocorre o processo de transpiração das plantas?

---

---

---

**17** Qual o benefício da transpiração?

---

---

---

## Exercícios propostos

**1 UFSM** Relacione as características foliares citadas (coluna 1) com as possíveis vantagens obtidas pelos vegetais (coluna 2).

Coluna 1

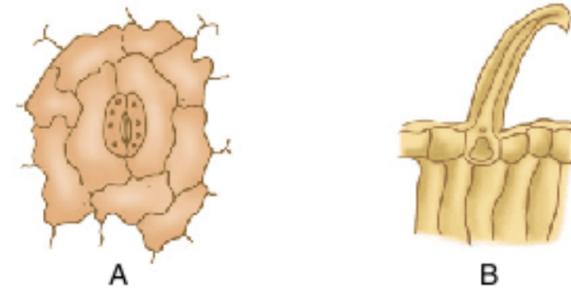
1. Forma laminar
2. Parênquima paliádico junto à face superior
3. Parênquima com grandes espaços intercelulares (lacunoso)
4. Maior número de estômatos na face inferior da lâmina

Coluna 2

- a) redução na perda de água
- b) maior eficiência na circulação interna dos gases
- c) maior superfície de absorção de luz e gás carbônico
- d) maior eficiência no aproveitamento da luz incidente

A relação correta é:

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



**2 Unesp** Quando se esbarra em uma planta de urtiga, ocorre forte irritação no local atingido, devido à reação do organismo da pessoa em resposta à substância urticante produzida pela planta.

- Que tipo de estrutura produz a substância urticante?
- A que tecido vegetal pertence essa estrutura?

**3 UFMG** Todas as alternativas contêm adaptações evolutivas que permitiram a sobrevivência dos vegetais fora do ambiente aquático, exceto:

- epiderme impregnada de cutina.
- presença de parede celular.
- presença de raiz.
- tecidos condutores: xilema e floema.
- truncos recobertos de súber.

**4 PUC-MG** O súber é:

- um tecido de condução encontrado em vegetais superiores com crescimento primário e secundário.
- um tecido com função de proteção encontrado em vegetais superiores apenas com crescimento secundário.
- uma estrutura utilizada para armazenamento de amido primário, resultante da atividade da periderme.
- um pigmento que é responsável pela coloração das flores.
- um tecido de revestimento que permite o aumento ou decréscimo na transpiração da planta.

**5 UFRRJ** Obtém-se a cortiça a partir do tecido denominado súber, presente em plantas da região mediterrânea, tais como o sobreiro. O súber resulta da atividade do meristema secundário, sendo formado por várias camadas de células mortas e ocas. Cite duas funções do súber.

**6 Ufla** Da mesma maneira que nos animais, os tecidos de proteção são especializados no revestimento do vegetal, protegendo-o contra os diversos agentes agressores que podem danificá-lo. Além disso, regulam o intercâmbio de substâncias entre a planta e o meio ambiente. Os tecidos de revestimento também evitam perda excessiva de água contribuindo, assim, para a adaptação dos vegetais à vida terrestre.

Baseando-se no texto, assinale a opção que contenha o tecido de proteção e sua adaptação para trocas gasosas.

- Periderme – estômatos.
- Súber – estômatos.
- Epiderme – estômatos.
- Epiderme – lenticelas.
- Felogênio – lenticelas.

**7 UEG 2007** A epiderme das plantas é um tecido permanente e complexo, geralmente constituído de uma camada de células vivas que reveste o corpo primário das plantas e possui várias especializações, como as apresentadas nas figuras a seguir.

Sobre esse tema, responda ao que se pede.

Qual o nome e as respectivas funções das estruturas representadas em A e B?

**8 UFRGS 2008** Assinale a alternativa que preenche corretamente as lacunas do parágrafo a seguir, na ordem em que aparecem.

A \_\_\_\_\_ das plantas é composta de diferentes estruturas que fazem parte do seu sistema de revestimento ou proteção. Nela, podem ser encontrados o \_\_\_\_\_ e o \_\_\_\_\_, que atuam no controle da perda de água pela planta.

- periderme – estômato – câmbio
- epiderme – câmbio – espinho
- periderme – acúleo – tricoma
- protoderme – acúleo – espinho
- epiderme – estômato – tricoma

**9 Unicamp 2011** As substâncias orgânicas que nutrem as plantas são produzidas por meio da fotossíntese em células dotadas de cloroplastos, localizadas principalmente nas folhas. Nesse processo, que tem a luz como fonte de energia, moléculas de água ( $H_2O$ ) e de gás carbônico ( $CO_2$ ) reagem, originando moléculas orgânicas. As moléculas de água são absorvidas principalmente através da raiz, e o  $CO_2$  através dos estômatos.

- A abertura dos estômatos depende de diversos fatores ambientais. Cite um fator ambiental que afeta a abertura estomática e explique como isso ocorre.
- Que processo permite que a planta utilize parte das substâncias orgânicas produzidas na fotossíntese como fonte de energia para suas células? Em que consiste esse processo?

**10 Unifesp** Um botânico tomou dois vasos, A e B, de uma determinada planta. O vaso A permaneceu como controle e no vaso B foi aplicada uma substância que induziu a planta a ficar com os estômatos permanentemente fechados. Após alguns dias, a planta do vaso A permaneceu igual, e a do vaso B apresentou sinais de grande debilidade, embora ambas tenham ficado no mesmo local e com água em abundância.

Foram levantadas três possibilidades para a debilidade da planta B.

- A água que ia sendo absorvida pelas raízes não pôde ser perdida pela transpiração, acumulando-se em grande quantidade nos tecidos da planta.
- A planta não pôde realizar fotossíntese, porque o fechamento dos estômatos impediu a entrada de luz para o parênquima clorofiliano das folhas.

III. A principal via de captação de  $\text{CO}_2$  para o interior da planta foi fechada, comprometendo a fotossíntese.

Está(ão) correta(s):

- (a) I. (c) III. (e) II e III.  
 (b) II. (d) I e II.

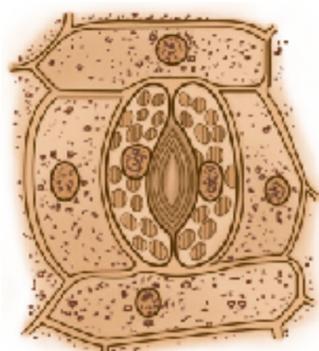
**11 Unifav** “Terrários são ambientes artificiais onde as plantas conseguem sobreviver mesmo que seja impedida a entrada de ar; o mesmo não se verifica com os animais.”

Explique.

**12 Unesp**

- a) Que semelhança existe entre os estômatos, as lenticelas e os pneumatódios?  
 b) Qual a principal região da planta onde cada uma dessas estruturas é encontrada?

**13 Mackenzie** O desenho a seguir é de uma estrutura encontrada nos vegetais, cuja função é promover trocas gasosas.



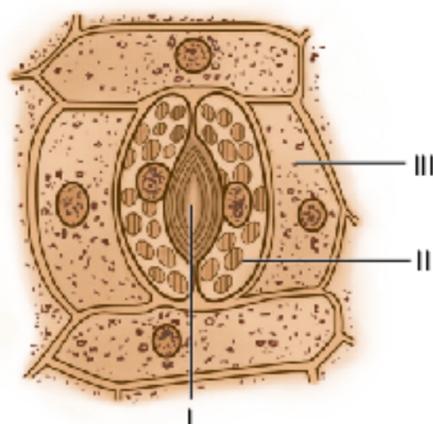
Essa estrutura aparece, principalmente:

- (a) nas epidermes inferior e superior das folhas.  
 (b) na epiderme inferior das folhas.  
 (c) na epiderme superior das folhas.  
 (d) no parênquima lacunoso das folhas.  
 (e) no parênquima paliçádico das folhas.

**14 Fuvest**

- a) Relacione a abertura e o fechamento dos estômatos com o grau de turgor das células estomáticas.  
 b) Por que é vantajoso para uma planta manter seus estômatos abertos durante o dia e fechados à noite?

**15 UFV** O estômato, representado na figura abaixo, desempenha funções importantes para as plantas. Observe a figura e resolva os itens.

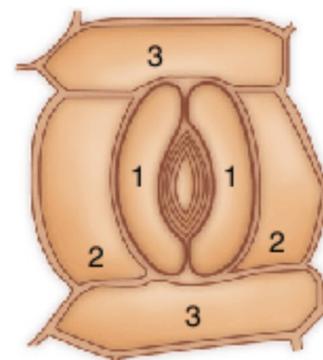


- a) Qual o número que indica a(s) célula(s) subsidiária(s)?  
 b) Que tipo de plastídeo é predominante em II?  
 c) Cite uma função do estômato.

**16 UFSCar** Considere duas plantas, A e B, da mesma espécie, cada uma submetida a uma condição de luminosidade e de disponibilidade de água diferente. A planta A encontra-se em ambiente bem iluminado, com suprimento insuficiente de água no solo. A planta B encontra-se em um ambiente escuro, mas com abundante suprimento de água. O comportamento dos estômatos das plantas A e B, para as situações descritas, seria o de:

- (a) abrir em ambas.  
 (b) fechar em ambas.  
 (c) abrir na planta A e fechar na planta B.  
 (d) fechar na planta A e abrir na planta B.  
 (e) permanecer inalterado em ambas.

**17 Mackenzie** Observe a figura.



A figura representa um estômato encontrado na epiderme inferior da folha de *Tradescantia* sp. As únicas células dessa estrutura que apresentam cloroplastos são as assinaladas por:

- (a) 1. (c) 3. (e) 1 e 3.  
 (b) 2. (d) 1 e 2.

**18 UFPI** Que estruturas presentes na epiderme das plantas controlam processos aparentemente antagônicos, como a transpiração e a entrada de  $\text{CO}_2$  no interior da folha para a realização da fotossíntese?

- (a) Pelos absorventes. (d) Estômatos.  
 (b) Acúleos. (e) Células companheiras.  
 (c) Hidatódios.

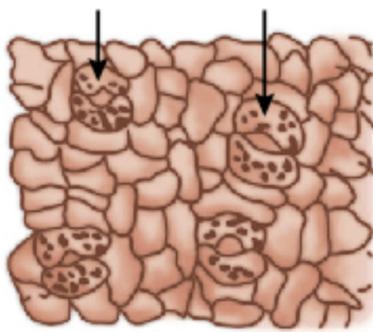
**19 Unesp 2004** Nos vegetais, estômatos, xilema, floema e lenticelas têm suas funções relacionadas, respectivamente, a:

- (a) trocas gasosas, transporte de água e sais minerais, transporte de substâncias orgânicas e trocas gasosas.  
 (b) trocas gasosas, transporte de substâncias orgânicas, transporte de água e sais minerais e trocas gasosas.  
 (c) trocas gasosas, transporte de substâncias orgânicas, transporte de água e sais minerais e transporte de sais.  
 (d) absorção de luz, transporte de água, transporte de sais minerais e trocas gasosas.  
 (e) absorção de compostos orgânicos, transporte de água e sais minerais, transporte de substâncias orgânicas e trocas gasosas.

**20 PUC-SP 2007** O estômato é uma estrutura encontrada na epiderme foliar, constituída por duas células denominadas células-guarda. Estas absorvem água quando há grande concentração de íons potássio em seu interior, o que leva o estômato a se abrir. Se o suprimento de água na folha é baixo, ocorre saída de íons potássio das células-guarda para as células vizinhas e, nesse caso, as células-guarda tornam-se:

- (a) flácidas, provocando o fechamento do estômato.
- (b) flácidas, provocando a abertura do estômato.
- (c) flácidas, não alterando o comportamento do estômato.
- (d) túrgidas, provocando o fechamento do estômato.
- (e) túrgidas, provocando a abertura do estômato.

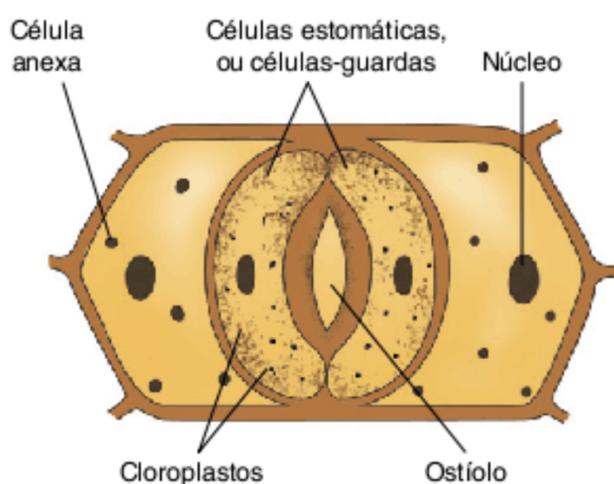
**21 UFTPR 2008** Um aluno, durante uma aula prática de microscopia, desenhou células estomáticas túrgidas, representadas a seguir.



Sobre estas células, é incorreto afirmar que:

- (a) estão presentes nas folhas.
- (b) permitem a perda de água sob a forma de vapor.
- (c) estão relacionados com a transpiração cuticular.
- (d) permitem a entrada de  $\text{CO}_2$  e a saída de  $\text{O}_2$  no processo fotossintético.
- (e) sua abertura e fechamento estão relacionados com fatores como luminosidade e suprimento hídrico.

**22 PUC-Rio 2009** A figura representa uma estrutura especial nas células vegetais chamada estômato.



L.C. Junqueira, J. Carneiro. *Histologia Básica*. RJ: Guanabara Koogan, 1980. (Adapt.).

Sua função principal no vegetal é:

- (a) realizar respiração celular.
- (b) realizar a fotossíntese.
- (c) armazenar substâncias de reserva.
- (d) eliminar resíduos nitrogenados tóxicos.
- (e) controlar a entrada e saída de água e gases.

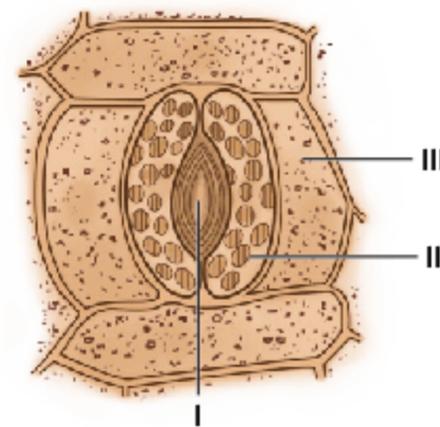
**23 UFC** Escreva no espaço apropriado a soma dos itens corretos.

Nas folhas de algumas plantas que habitam as regiões áridas, os estômatos localizam-se, normalmente, na face inferior (abaxial) da lâmina foliar e dentro de criptas (depressões da epiderme), recobertas de pelos. Essas características são importantes porque:

- 01 facilitam a eliminação de  $\text{CO}_2$  proveniente da respiração celular.
- 02 diminuem a incidência direta da luz solar e de seu efeito no aquecimento dos estômatos, ocasionando, como consequência, um decréscimo na transpiração.
- 04 evitam o contato direto dos estômatos com o vento e o ar seco (baixa umidade relativa), reduzindo a velocidade de transpiração.
- 08 facilitam a absorção de oxigênio para a respiração celular.
- 16 dificultam a fotossíntese, porque diminuem a absorção de luz solar pelos estômatos.

Soma =

**24 UFSC 2010** A figura a seguir representa, ao centro, o esquema de uma estrutura vegetal chamada estômato.



A respeito da estrutura e de seu papel fisiológico, assinale a(s) proposição(ões) correta(s).

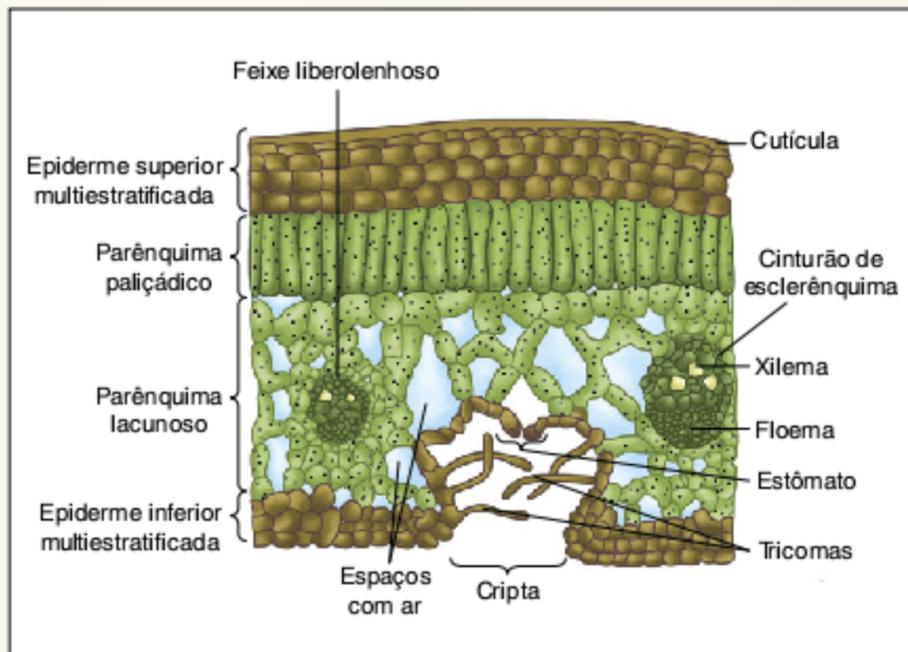
- 01 O funcionamento dos estômatos está associado aos mecanismos de transporte de seiva no vegetal.
- 02 A seta II da figura indica a presença de cloroplastos nas células estomáticas.
- 04 Os estômatos são estruturas encontradas em várias partes do vegetal, especialmente no caule.
- 08 A seta III indica as células-acessórias, ou subsidiárias; através delas ocorre a eliminação da água por transpiração para o exterior do vegetal.
- 16 Os estômatos são estruturas muito versáteis, participando inclusive dos mecanismos de defesa vegetal, pois podem produzir e eliminar substâncias tóxicas.
- 32 A seta I indica a abertura estomática que ocorre entre as células-guarda e por onde se realizam as trocas gasosas nos vegetais.
- 64 O funcionamento do estômato é controlado por fatores intracelulares, sendo independente de fatores externos como a luminosidade e a umidade.

Soma =

# TEXTO COMPLEMENTAR

## Estômatos e escassez de água

Plantas de regiões áridas, como os cactos, apresentam inúmeras adaptações à escassez de água, como a presença de cutícula impermeável mais espessa, **parênquima aquífero** e folhas modificadas em **espinhos**. Além disso, essas plantas têm estômatos presentes em depressões da epiderme conhecidas como **criptas**. Nessas depressões, há pelos (os **tricomatos**) que contribuem para a retenção de vapor-d'água, gerando uma atmosfera mais úmida do que a do ar circundante. Isso evita grande perda de água pela transpiração.



Epiderme pluriestratificada, tricomas para retenção de vapor e estômatos em criptas: adaptações de planta xerofítica a ambientes áridos.

Plantas como o cacto pertencem ao grupo das crassuláceas e apresentam o mecanismo de controle estomático conhecido como **metabolismo ácido das crassuláceas (MAC)**. Essas plantas fecham os estômatos durante o dia, o que é útil, pois permite-lhes poupar água, reduzindo sua transpiração. Durante a noite, ocorre a abertura de seus estômatos, permitindo a entrada de gás carbônico proveniente do ar. O  $\text{CO}_2$  é armazenado na forma de **ácido málico**. Durante o dia, com a incidência de luz solar, o ácido málico é decomposto e libera gás carbônico, sendo empregado na fotossíntese, sem que a planta fique sujeita a uma grande perda de água.



Cactos mantêm os estômatos fechados durante o dia e abertos durante a noite; um importante mecanismo para plantas que vivem em regiões áridas.

## RESUMINDO

### Revestimentos

Os tecidos de revestimento na planta têm como funções: **recobri-la, protegê-la** da desidratação e de animais, e também realizar as **trocias gasosas** com o meio circundante, garantindo à planta condições necessárias à respiração, à transpiração e à fotossíntese. Outras funções também podem ser atribuídas à epiderme, como o controle térmico da planta, a secreção de substâncias, a absorção de água pelas raízes e o **acúmulo de pigmentos**, diferenciando pétalas de muitas flores, caules e mesmo folhas. Uma planta pode apresentar dois tipos de tecidos de revestimento: **epiderme e súber**.

- **Epiderme:** tecido fino, constituído por células vivas; recobre folhas, flores, frutos, sementes, caules e raízes jovens. Possui como características:
  - células normalmente **acolorofiladas** e dispostas em uma **única camada** (pode apresentar mais de uma camada de células: **pluriestratificada**).
  - células achatadas e com paredes laterais onduladas, que proporcionam maior aderência entre elas.
  - cutícula impermeável (de cutina), ou cera, que recobre partes do vegetal sujeitas à desidratação, como caules e

folhas. A cutícula diminui a perda de água na forma de vapor, inibindo as trocas gasosas através da epiderme.

- Estruturas anexas à epiderme:
  - **Pelos:** há diversos tipos, como os pelos absorventes das raízes e os pelos urticantes das folhas de urtiga.
  - **Tricomatos:** pelos mais simples, que podem contribuir para a retenção de vapor-d'água na superfície do vegetal, como em folhas de violetas.
  - **Acúleos:** estruturas pontiagudas, constituídas por acúmulos de células epidérmicas, recobertas por grande quantidade de cutina. Têm função protetora contra animais. Diferentes dos espinhos, que correspondem a modificações de folhas (como no cacto) ou de ramos (como no limoeiro).
  - **Estômatos:** células epidérmicas modificadas que atuam nas trocas gasosas entre a planta e o meio externo. São essenciais para a nutrição da planta, já que estão diretamente relacionados ao processo de fotossíntese e a outros processos de absorção envolvidos.

- **Súber:** é o revestimento de caules e raízes que apresentam crescimento em circunferência. Tem as seguintes características:
  - é um tecido formado por células mortas e com maior espessura que a epiderme.
  - a parede celular das células da epiderme recebe **suberina** durante a diferenciação do tecido, o que as impermeabiliza. Seu interior ocupado de ar, permite ao súber desempenhar papel como isolante térmico da planta.
  - é formado pela atividade de um meristema secundário chamado **felogênio**.
    - **Felogênio:** produz **súber** para o lado de fora do caule (ou da raiz) e **feloderme** para o lado de dentro. Súber, felogênio e feloderme constituem a periderme.
  - A superfície do súber pode apresentar **lenticelas**, fendas no tecido através das quais ocorrem trocas gasosas com o ar. Nas raízes respiratórias de plantas de manguezais há um tipo de lenticelas denominadas **pneumatódios**.

### Trocas gasosas

As trocas gasosas incluem a **perda de vapor-d'água** e a **entrada** e a **saída de gás carbônico e oxigênio** da planta. As trocas gasosas efetuadas com o ar podem ocorrer também através da epiderme, mas são realizadas em grande parte através dos estômatos.

**Estômatos:** A folha pode ter estômatos na epiderme inferior (**folha hipostomática**), na epiderme superior (**folha epistomática**) ou nas duas faces (**folha anfistomática**).

- **Estrutura:** constituídos por duas células chamadas **células-guarda (estomáticas)**, que são dotadas de cloroplastos e de parede celular com pontos reforçados com filamentos de celulose.
  - **Ostíolo:** fenda formada com a abertura dos estômatos, através da qual se processam as trocas gasosas.
  - **Células anexas (ou subsidiárias):** localizadas ao lado das células estomáticas, sendo aclorofiladas; contribuem com o mecanismo de abertura e fechamento dos estômatos, trocando íons potássio e água com as células estomáticas.
- **Funcionamento:** O mecanismo de funcionamento está ligado às variações no teor de água (turgescência) e ao teor de íons, através de dois mecanismos:
  - **mecanismo hidroativo:** a abertura e o fechamento dos estômatos são regulados pelo teor de água na célula. Quando as células estomáticas ganham água das células anexas, seu volume aumenta e elas tornam-se túrgidas. Com isso, a célula abre a fenda estomática (ostíolo). Com pouca água, as células estomáticas têm pequeno volume e suas paredes vizinhas aproximam-se, determinando seu fechamento. Com redução no abastecimento de água pelas raízes, há o fechamento estomático, evitando perda de vapor pelas folhas (adaptação à dessecação).
  - **mecanismo fotoativo:** a abertura e o fechamento dos estômatos, condicionados pela presença ou pela ausência de luz. A presença de luz determina o transporte ativo de íons potássio das células subsidiárias para as células

estomáticas. Com a elevação de concentração da célula estomática, ocorre entrada de água por osmose, assim, as células estomáticas ficam túrgidas e ocorre a abertura do estômato. No escuro, não se dá o transporte ativo de potássio e ocorre o fechamento dos estômatos.

Outros fatores que estão ligados à abertura e ao fechamento de estômatos são:

- **concentração de gás carbônico:** o aumento da concentração de gás carbônico no ar favorece a realização de fotossíntese, ativando a abertura dos estômatos. Concentrações muito elevadas de  $\text{CO}_2$  podem se tornar tóxicas para a planta, e isso desencadeia o fechamento de estômatos.
- **temperatura:** temperaturas elevadas promovem aumento da atividade metabólica das células da planta, elevando o processo de transporte ativo de íons para as células estomáticas e provocando sua abertura. Temperaturas muito altas têm repercussão sobre a atividade enzimática, que decai. Isso afeta o transporte ativo de potássio para o interior das células estomáticas, o que determina o fechamento dos estômatos.

**Transpiração:** é a perda de vapor-d'água proveniente da evaporação para o ar (por difusão), que ocorre através da cutícula (**transpiração cuticular**) e dos estômatos (**transpiração estomática**). Para haver transpiração, o ar atmosférico deve estar mais seco que o ar do interior da folha.

A transpiração pode representar uma grande perda de água pela planta, mas pode ser vantajosa pelo fato de contribuir para a sua regulação térmica. Ela também colabora para a movimentação de seiva bruta no interior do xilema.

Muitos experimentos podem ser realizados para comprovar e observar a transpiração de uma planta:

- **envolver folhas de uma planta com saco plástico transparente**, que ficará com a face interna recoberta por gotículas de água, resultantes da transpiração.
- **revestir o vaso da planta com um material impermeável** que impeça a perda de vapor pela parede do vaso e pela terra, assim, se houver perda de vapor, ocorrerá apenas pela planta através da transpiração. Ao pesá-lo em uma balança de sensibilidade elevada, o conjunto constituído pelo vaso e pela planta terá redução de massa.
- **medir a água consumida pela planta em um potômetro:** o tubo graduado demonstrará diminuição de volume à medida que a planta transpira, pois está havendo absorção pelas raízes.
- **construir uma curva de fechamento estomático**, através da pesagem de uma folha de planta cortada, em intervalos regulares de tempo. Como resultado, a folha exibe uma variação de massa acentuada após os primeiros intervalos (perda de água através da transpiração intensa no início, quando os estômatos estão abertos) e, posteriormente, a variação da massa passa a ser constante (a folha passa a ter transpiração somente cuticular).

## ■ QUER SABER MAIS?



### SITES

- “Absorção em baixa”. Reportagem em que especialistas alertam que áreas de floresta interrompidas por trechos desmatados absorvem menos carbono do que as contínuas – o que pode influir nas condições climáticas futuras.  
<http://cienciahoje.uol.com.br/noticias/2010/04/absorcao-fragmentada/?searchterm=árvores>
- Panorama explicativo dos tecidos e das estruturas vegetais.  
[http://www.cientific.com/tema\\_plantas\\_pp3.html](http://www.cientific.com/tema_plantas_pp3.html)

## Exercícios complementares

**1 Uece 2008** Com relação às células e aos tecidos das plantas vasculares, são feitas as seguintes afirmações, numeradas de 1 a 6.

1. Na periderme das plantas vasculares, podem ser encontrados estômatos e tricomas.
2. O xilema é responsável pelo transporte de alimentos dissolvidos.
3. O floema encontra-se relacionado à condução de água e solutos, sendo responsável pelo movimento ascendente.
4. Os nectários florais e extraflorais são exemplos de estruturas secretoras.
5. As células do esclerênquima apresentam paredes celulares espessas e, geralmente, lignificadas.
6. O conjunto xilema-floema forma um sistema vascular contínuo que percorre a planta inteira.

Assinale o correto.

- (a) Apenas as afirmações 1, 4, 5 e 6 são verdadeiras.
- (b) Apenas as afirmações 3, 4 e 5 são verdadeiras.
- (c) Apenas as afirmações 2, 3 e 6 são verdadeiras.
- (d) Apenas as afirmações 4, 5 e 6 são verdadeiras.

**2 Fatec 2003** Durante uma aula de Botânica, a fim de destacar a importância econômica de vários produtos de origem vegetal, um professor de Biologia ressaltou que:

- da raiz tuberosa da mandioca se retiram vários produtos importantes para a alimentação, ricos principalmente em AMIDO;
- dos caules de árvores, como mogno, cedro, peroba, jacarandá, pinho, imbuia, ipê etc., se retira uma grande variedade de MADEIRAS;
- do caule do sobreiro é extraída a grossa camada externa, conhecida como CORTIÇA;
- do caule da seringueira brasileira é extraído o LÁTEX, que fornece a preciosa borracha.

Os produtos citados pelo professor e destacados no texto – AMIDO, MADEIRAS, CORTIÇA e LÁTEX – se relacionam a diferentes tipos de tecidos vegetais, respectivamente:

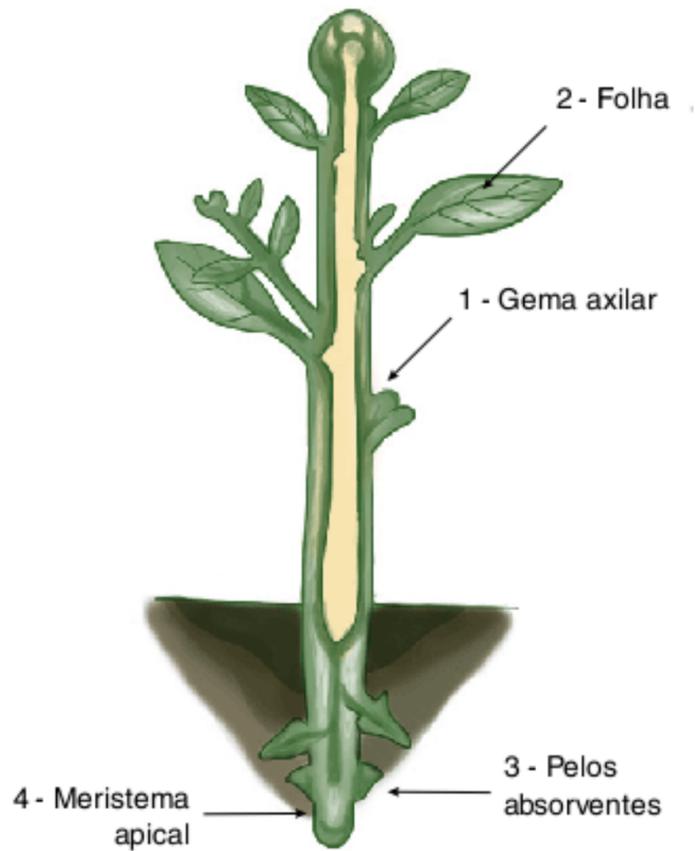
- (a) tecido de sustentação; parênquima de reserva; vasos lenhosos; tecido suberoso.

- (b) parênquima de reserva; vasos lenhosos; tecido suberoso; tecido secretor.
- (c) tecido secretor; parênquima de reserva; vasos lenhosos; tecido suberoso.
- (d) parênquima de reserva; tecido suberoso; vasos lenhosos; tecido secretor.
- (e) tecido suberoso; vasos lenhosos; tecido secretor; parênquima de reserva.

**3 PUC-PR 2005** A organização do corpo dos vegetais é bem diferente da organização do corpo dos animais. A maior parte dessas diferenças deve ser interpretada como adaptação ao modo autotrófico de vida que caracteriza os vegetais, em oposição ao modo heterotrófico dos animais. Assim, podemos afirmar:

- (a) As células vegetais são formadas por parede espessa, que dão resistência e sustentação às diferentes partes da planta, constituindo os chamados tecidos de sustentação, representados pelos vasos condutores de seiva.
- (b) Revestindo os vegetais, há estruturas que fornecem proteção mecânica e, nas plantas terrestres, evitam a desidratação, como a epiderme (nas folhas e nas partes jovens do caule e da raiz) e o súber (nas células mais velhas do caule e da raiz).
- (c) As briófitas, as pteridófitas, as gimnospermas e as angiospermas desenvolveram um sistema de transporte de seiva bruta e elaborada através de tecidos condutores de seiva, representados pelos vasos lenhosos e liberianos.
- (d) A água e o gás carbônico, usados na fotossíntese para produzir glicídios e outros compostos orgânicos, são distribuídos para todo corpo da planta, pelos vasos liberianos.
- (e) Há tecidos que fabricam diversas substâncias úteis à planta, como o néctar, que atrai aves e insetos polinizadores, favorecendo a fecundação cruzada entre os indivíduos vegetais, permitindo, assim, a manutenção do padrão genético da espécie, sem provocar alterações fenotípicas.

**4 UFU 2006** O esquema a seguir representa a organização básica de uma angiosperma. Observe as quatro estruturas assinaladas com os números 1, 2, 3 e 4.



Fonte: C. J. Silva e S. Sasson. *Biologia*. São Paulo: Saraiva, 2002. v. 1. (Adapt.).

Assinale a alternativa que indica corretamente, para cada estrutura numerada, uma de suas funções ou uma de suas características morfológicas.

- (a) 1 – formada por tecidos meristemáticos; 2 – pode ser transformada em espinho; 3 – protege o ápice da raiz; 4 – tecido de reserva.
- (b) 1 – protege o meristema apical; 2 – geralmente clorofilada; 3 – responsáveis pela sustentação da planta; 4 – região de intensa divisão celular.
- (c) 1 – origina os ramos laterais; 2 – possui tecidos fotossintetizantes; 3 – são células epidérmicas; 4 – responsável pelo crescimento do órgão.
- (d) 1 – formada por tecidos meristemáticos; 2 – responsável pela formação das flores; 3 – são células epidérmicas; 4 – captação de água e nutrientes do solo.

**5 UFU 2006** Leia o trecho a seguir.

Os primeiros vegetais tiveram origem na água. Com a evolução e a aquisição de inúmeras adaptações, as plantas conseguiram conquistar o ambiente terrestre e, atualmente, existem espécies que conseguem sobreviver mesmo em regiões bastante áridas.

Sobre esse assunto, pede-se:

- a) Para conquistar o ambiente terrestre, como os vegetais resolveram o problema de captação da água do solo?
- b) Cite duas adaptações que permitiram aos vegetais restringir a perda de água.
- c) Como as plantas terrestres conseguiram agilizar o transporte interno de substâncias, que nos grupos vegetais aquáticos primitivos acontecia lentamente, apenas por difusão?

**6 Puccamp 2004** As folhas da carnaubeira, palmeira característica de algumas áreas da caatinga, são revestidas por uma espessa camada de cera. Outras plantas da mesma região também apresentam essa característica, considerada uma adaptação para:

- (a) impedir ataques de insetos.
- (b) atrair polinizadores.
- (c) diminuir a perda de água.
- (d) otimizar a respiração.
- (e) aumentar processos de gutação.

**7 UFPR** Escreva no espaço apropriado a soma dos itens corretos.

“Nas plantas, a transição da vida aquática para a terrestre só foi possível devido a uma série de adaptações, muitas das quais apareceram inicialmente nas briófitas e atingiram o máximo de especialização nas angiospermas”. Com relação à evolução das plantas, é correto afirmar que:

- 01 nas plantas terrestres desenvolveu-se um sistema de proteção contra a desidratação, formado pela epiderme com seus anexos e pela periderme.
- 02 só nas pteridófitas e espermatófitas desenvolveu-se um sistema vascular para transporte de seiva.
- 04 a água continua sendo o principal meio de dispersão dos gametas em todas as plantas terrestres.
- 08 a alternância de fases no biociclo das plantas terrestres ocorre, porque o gametófito é aquático, e o esporófito, terrestre.
- 16 como o ar tem menor densidade que a água, as plantas que possuíam estruturas de sustentação puderam ocupar o ambiente terrestre com êxito.
- 32 com o aparecimento dos estômatos, puderam ser realizadas trocas gasosas, necessárias tanto para a fotossíntese como para a respiração.

Soma =

**8 Fuvest** Qual a alternativa que indica a sequência que leva ao fechamento dos estômatos?

- (a) Concentração do suco vacuolar – AUMENTA; pressão osmótica do vacúolo – AUMENTA; movimento da água na célula estomática – ABSORVE.
- (b) Concentração do suco vacuolar – AUMENTA; pressão osmótica do vacúolo – AUMENTA; movimento da água na célula estomática – ELIMINA.
- (c) Concentração do suco vacuolar – AUMENTA; pressão osmótica do vacúolo – DIMINUI; movimento da água na célula estomática – ABSORVE.
- (d) Concentração do suco vacuolar – DIMINUI; pressão osmótica do vacúolo – DIMINUI; movimento da água na célula estomática – ELIMINA.
- (e) Concentração do suco vacuolar – DIMINUI; pressão osmótica do vacúolo – AUMENTA; movimento da água na célula estomática – ABSORVE.

**9 Unesp** Durante o mecanismo de abertura dos estômatos, verifica-se a ocorrência de:

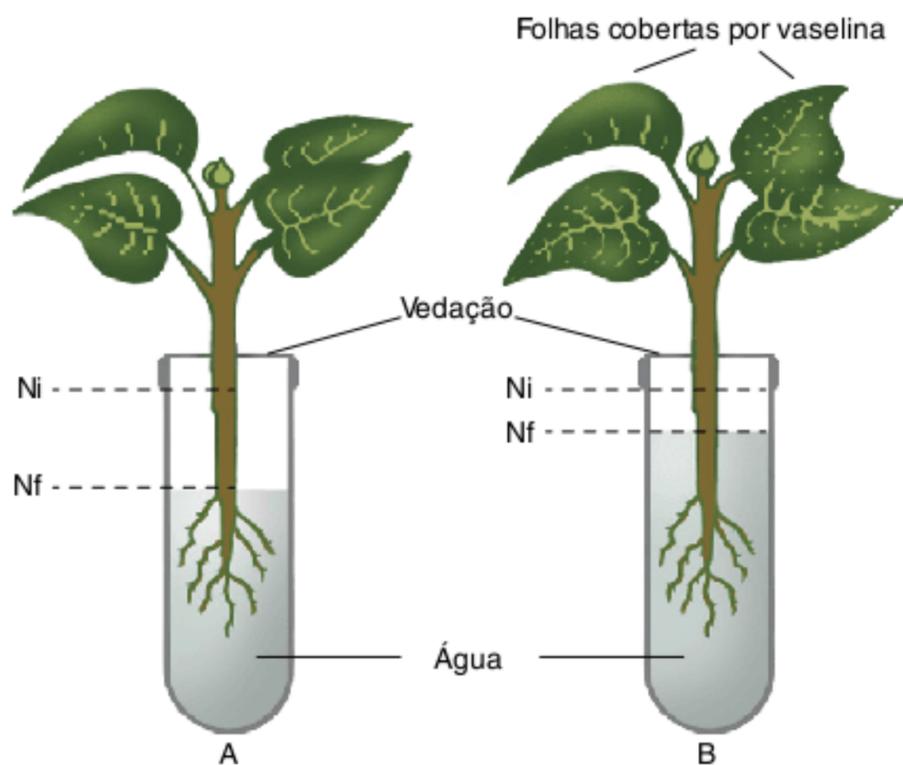
- (a) diminuição da fotossíntese, devido à produção de CO<sub>2</sub>.
- (b) saída de água do interior das células-guardas.
- (c) entrada de íons K<sup>+</sup> no interior das células-guardas.
- (d) plasmólise e diminuição da turgescência das células-guardas.
- (e) Transformação de açúcares em amido pela fosforilação.

**10 UFRS** As crassuláceas e as cactáceas são plantas muito bem adaptadas ao seu ambiente, onde há alta luminosidade, grandes amplitudes térmicas e baixa umidade. Entre as suas adaptações, encontramos uma interessante maneira de acumular  $\text{CO}_2$  durante a noite para utilizá-lo durante o dia como substrato da fotossíntese.

Com base nas características dessas plantas e de seu hábitat, podemos afirmar que este mecanismo é eficiente porque permite que os estômatos fiquem:

- (a) fechados durante o dia, sem prejudicar a captação de  $\text{CO}_2$ , evitando a perda hídrica.
- (b) abertos durante o dia, sem a perda de  $\text{CO}_2$  pelo calor e permitindo à planta captar um pouco da baixa umidade existente no ar.
- (c) abertos dia e noite, havendo, assim, captação de  $\text{CO}_2$  durante a noite e de luz durante o dia para a realização da fotossíntese.
- (d) abertos durante a noite, para que a planta possa se livrar do excesso de água retirada do solo sem ser danificada por animais em busca de água.
- (e) fechados durante o dia, evitando, assim, uma perda de  $\text{O}_2$ , o que seria muito prejudicial para as plantas em condições de clima tão drásticas.

**11 Fuvest** O esquema representa um experimento em que plantas foram colocadas em tubos, com igual quantidade de água, devidamente vedados para evitar a evaporação. A planta do tubo A foi mantida intacta, a do tubo B teve suas folhas totalmente cobertas por uma camada de vaselina. Cada tubo mostra o nível da água no início do experimento (Ni) e no final (Nf).

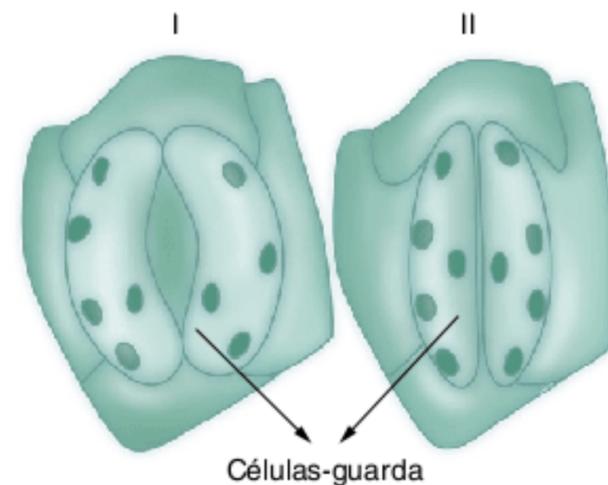


- a) Por que os níveis da água ficaram diferentes nos tubos A e B?
- b) Que estruturas da epiderme foliar tiveram seu funcionamento afetado pela vaselina?
- c) Qual o papel dessas estruturas da epiderme para que a planta realize fotossíntese?

**12 Unirio** Numa experiência realizada recentemente, mediu-se o número de certas estruturas encontradas nas folhas de quatro gêneros de plantas fósseis. A finalidade do experimento era medir a concentração de  $\text{CO}_2$  da atmosfera durante a época em que as plantas estavam vivas, pois se sabe que o número de tais estruturas é inversamente proporcional à concentração de  $\text{CO}_2$  na atmosfera. Que estruturas são essas?

- (a) Meristemas.
- (b) Estômatos.
- (c) Pecíolos.
- (d) Grãos de pólen.
- (e) Gametófitos.

**13 UFG 2007** Os estômatos I e II, representados a seguir, foram desenhados com base na observação microscópica da epiderme inferior de folhas da mesma espécie vegetal coletadas durante o dia e submetidas a diferentes regimes de irrigação.



Considerando-se que a disponibilidade de água para a planta foi a única condição ambiental que variou, pode-se concluir que será maior a:

- (a) resistência estomática em I.
- (b) taxa fotossintética em I.
- (c) disponibilidade de água em II.
- (d) taxa respiratória em II.
- (e) absorção de água em II.

**14 Fuvest 2007** Existe um produto que, aplicado nas folhas das plantas, promove o fechamento dos estômatos, diminuindo a perda de água. Como consequência imediata do fechamento dos estômatos:

- I. o transporte de seiva bruta é prejudicado.
- II. a planta deixa de absorver a luz.
- III. a entrada de ar atmosférico e a saída de  $\text{CO}_2$  são prejudicadas.
- IV. a planta deixa de respirar e de fazer fotossíntese.

Estão corretas apenas as afirmativas:

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



# Frente 3

# 12

FRENTE 3

## Sangue



GINASANDERS/123RF.COM

SEBASTIAN KALITZKI/123RF.COM

**Algumas pessoas têm perda de sangue por conta de lesões ou de doenças e precisam receber transfusão. O sangue tem papel fundamental na homeostase.**

## Sangue

O sangue é um tecido conjuntivo, constituído por uma parte líquida, o **plasma**, e por elementos figurados, que compreendem os **glóbulos vermelhos (hemácias, ou eritrócitos)**, os **glóbulos brancos (leucócitos)** e as **plaquetas (trombócitos)**. Hemácias e leucócitos são células, enquanto plaquetas são fragmentos de células. Quando uma amostra de sangue, colocada em um tubo de ensaio, é submetida à centrifugação, o plasma ocupa a parte superior do tubo e corresponde a cerca de 55% do volume; é um líquido transparente e amarelado. Os 45% restantes correspondem aos elementos figurados (Fig. 1).

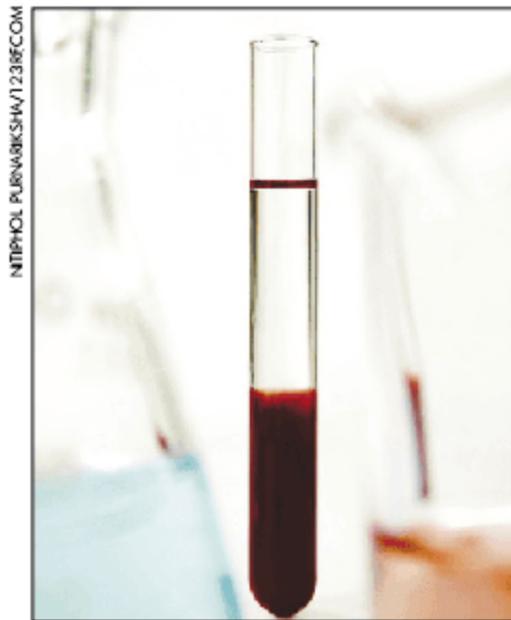


Fig. 1 Uma amostra de sangue recolhida em tubo de ensaio é submetida à centrifugação. Do volume total, 55% correspondem ao plasma (parte líquida) e 45% aos elementos figurados.

## Plasma

O **plasma** é constituído por água e diversos materiais dissolvidos, como hormônios, gases, excretas (como a ureia e o gás carbônico), íons, glicose, aminoácidos, lipídeos e proteínas (Fig. 2). A **albumina** é a proteína plasmática mais abundante e confere viscosidade ao plasma, além de ser importante em processos osmóticos; há também proteínas relacionadas à defesa do organismo, as **globulinas**, que incluem os anticorpos. Através dos capilares o plasma chega às mais diversas partes do corpo.

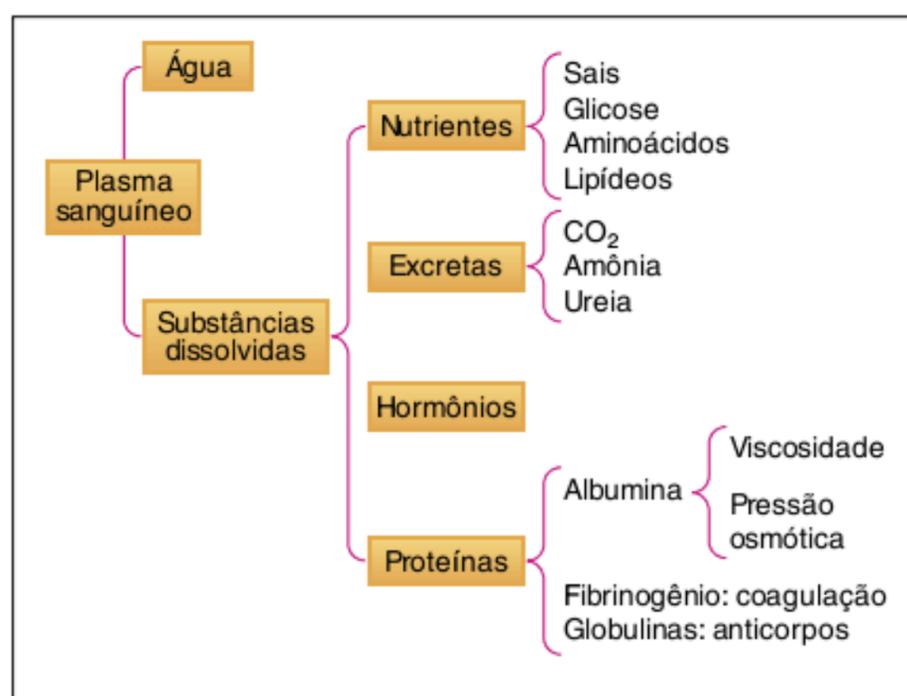


Fig. 2 Plasma sanguíneo e seus constituintes.

## Glóbulos vermelhos – hemácias

Sua produção ocorre na **medula óssea** (no adulto) e no **fígado** (no caso do embrião). Na criança, a medula óssea de ossos longos (como o fêmur) é ativa na produção de hemácias; no adulto, a produção restringe-se a ossos achatados, como costelas, corpo das vértebras, interior do crânio e esterno. As células precursoras de hemácias, plaquetas e leucócitos granulares são as células-mãe mieloides; das hemácias são os **eritroblastos**, ainda dotados de núcleo e capacidade mitótica. Com a diferenciação celular, ocorre grande síntese de **moléculas de hemoglobina** e perda de mitocôndrias e núcleo. As hemácias de mamíferos são **anucleadas** e desprovidas de mitocôndrias, obtendo energia através da fermentação láctica (Fig. 3).

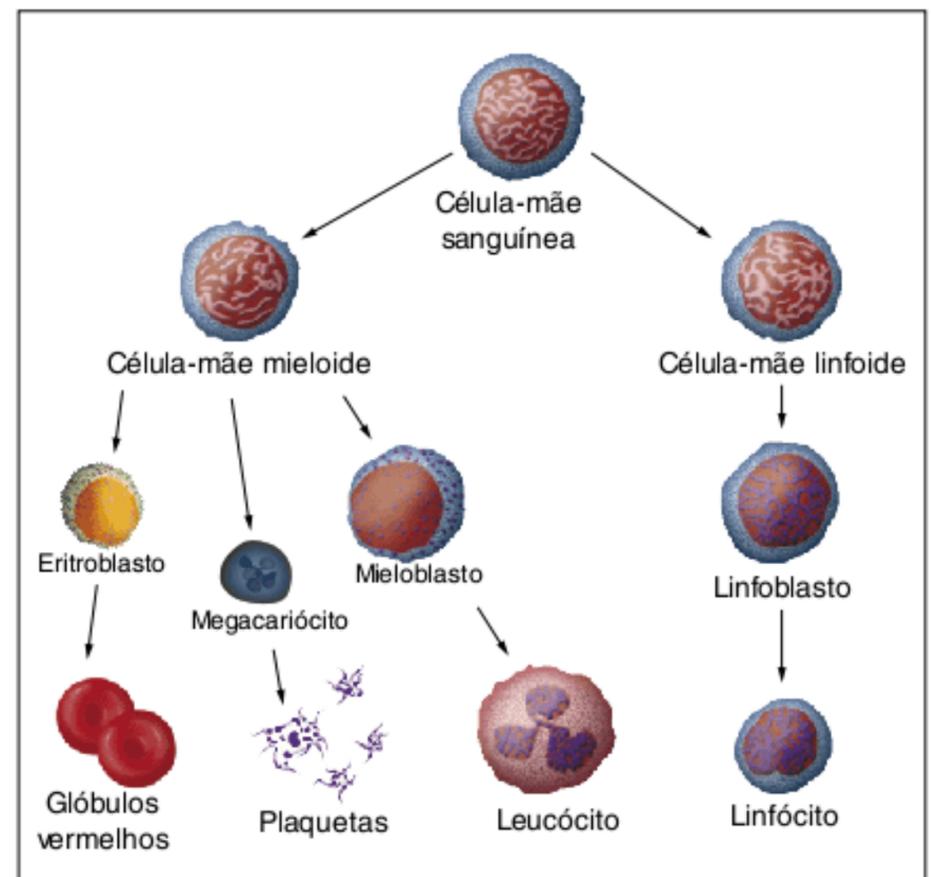


Fig. 3 Linhagens de células indiferenciadas da medula óssea e os elementos figurados que geram.

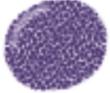
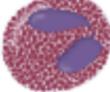
Hemácias maduras são lançadas na circulação e sua principal função é auxiliar a respiração celular, transportando pelo organismo os gases envolvidos nesse processo: oxigênio e gás carbônico. O componente responsável pela fixação desses gases na célula é a **hemoglobina**. A **hemoglobina** é uma proteína complexa que possui quatro grandes **cadeias proteicas**, duas cadeias alfa e duas cadeias beta. Cada cadeia proteica possui um grupo heme, com um **átomo central de ferro**, que confere à essas células, e conseqüentemente ao sangue, a coloração vermelha.

Por serem células anucleadas, as hemácias permanecem em circulação por cerca de 100 a 120 dias. Assim, elas precisam ser constantemente trocadas, o que acontece com o auxílio do baço. Esse órgão é responsável pela estocagem e liberação de novas hemácias sadias. Ele também recicla as hemácias velhas, aproveitando os compostos nelas presentes, em um processo conhecido como **hemocaterese**. Resíduos das cadeias alfa e beta são reaproveitados na produção de novas moléculas de hemoglobina. O grupo heme passa para o fígado e sua metabolização envolve a retirada de ferro, que é reaproveitado, gerando o pigmento **bilirrubina**, de coloração amarela, que constitui um dos componentes da **bile**.

A redução do número de hemácias no sangue é chamada de **eritropenia**, já o termo **anemia** pode ser empregado quando há diminuição do número de hemácias no sangue ou do teor de hemoglobina.

## Glóbulos brancos – leucócitos

Os glóbulos brancos, também chamados de leucócitos, fazem parte do mecanismo de defesa do organismo contra agentes externos. Eles são gerados na **medula óssea** a partir de células precursoras, **células-mãe linfoides** e **células mieloides**, ou **mieloblastos**, com grande capacidade mitótica. Eles são de vários tipos e cada um deles está programado para combater microrganismos, seja pela sua captura, seja pela produção de anticorpos. Essas células também são produzidas constantemente pela medula óssea, mas podem ser encontradas em maiores quantidades em decorrência de doenças ou processos infecciosos que necessitem de uma resposta de defesa do organismo. Para isso, cada tipo de leucócito apresenta uma função. Durante sua gênese, ocorre a diferenciação em dois grandes grupos de leucócitos: **granulócitos** e **agranulócitos** (Tab. 1).

Granulócitos		
Neutrófilo		Fagocita microrganismos e outras substâncias.
Basófilo		Libera histamina, que promove a inflamação, e heparina, que previne a formação de coágulos.
Eosinófilo		Libera mediadores químicos que reduzem a inflamação; ataca alguns tipos de vermes parasitas
Agranulócitos		
Linfócito		Produz anticorpos e outros agentes químicos responsáveis pela destruição de microrganismos; contribui para as reações alérgicas, rejeição de enxertos, controle de tumores e regulação do sistema imunitário.
Monócito		Célula fagocítica do sangue; ao sair do sangue, torna-se macrófago, fagocitando bactérias, células mortas, fragmentos de células e outros corpos estranhos aos tecidos.

Tab. 1 Tipos de leucócitos, suas características e funções.

Os **granulócitos** apresentam o citoplasma com grande quantidade de vesículas, com materiais armazenados e com diferentes funções; seu núcleo não tem a forma arredondada, sendo segmentado. Há três tipos de granulócitos: **neutrófilos**, **basófilos** e **eosinófilos**. Os neutrófilos são os mais abundantes e realizam fagocitose de microrganismos, como bactérias. Basófilos e eosinófilos evitam a ocorrência de reações alérgicas; eosinófilos estão relacionados com o combate de vermes parasitas.

Os **agranulócitos** não têm grânulos no citoplasma; são de dois tipos: **linfócitos** e **monócitos**. Os linfócitos são menores e alguns tipos participam do processo relacionado com a produção de anticorpos. Os monócitos realizam fagocitose e podem atravessar capilares sanguíneos (capacidade chamada de **diapedese**), convertendo-se em macrófagos, também relacionados com a fagocitose de invasores.

A **leucocitose** é o aumento de leucócitos na circulação; **leucopenia** corresponde à sua redução.

## Plaquetas

São, na realidade, fragmentos de células, também denominadas de **trombócitos**, e originam-se na medula óssea a partir de células precursoras, os **megacariócitos**, ou **megacarioblastos**. Durante a diferenciação celular, as células precursoras fragmentam-se e geram as plaquetas, que apresentam grande quantidade de **tromboplastina**, proteína que desencadeia o processo de coagulação (Fig. 3).

## Coagulação

Caso uma lesão ocorra em um vaso sanguíneo, pode haver a perda de sangue em quantidade capaz de produzir dano importante ao organismo. Por essa razão, o sangue dispõe de um recurso responsável por fechar o local lesado, com uma espécie de “remendo temporário” e emergencial, o **coágulo sanguíneo**; isso permite estancar o sangramento, dando tempo para a cicatrização da área atingida.

O primeiro passo na formação do “remendo” é a **agregação de plaquetas** no local ferido; o uso de AAS (ácido acetil salicílico, componente da aspirina), por exemplo, dificulta a agregação plaquetária. Posteriormente, forma-se o **coágulo**, constituído por uma **rede de filamentos da proteína fibrina**, que se encontra em uma forma insolúvel em água. Essa proteína normalmente está presente no plasma em sua forma solúvel, conhecida como **fibrinogênio**, produzido no fígado. A conversão de fibrinogênio em fibrina é catalisada pela enzima **trombina**, que é sua forma ativa; a forma inativa é a **protrombina**. O fígado também é responsável pela síntese de protrombina e libera essa enzima na circulação. A conversão de protrombina em trombina depende da intervenção de outra enzima, a **tromboplastina**, liberada por plaquetas e por células dos tecidos atingidos na lesão. O ponto crucial nessa sequência de reações é a atuação da **trombina**, que depende da presença de **íons cálcio**. Já a síntese da **protrombina** depende da presença de **vitamina K**; com a escassez dessa vitamina, o indivíduo pode apresentar hemorragias (Fig. 4).

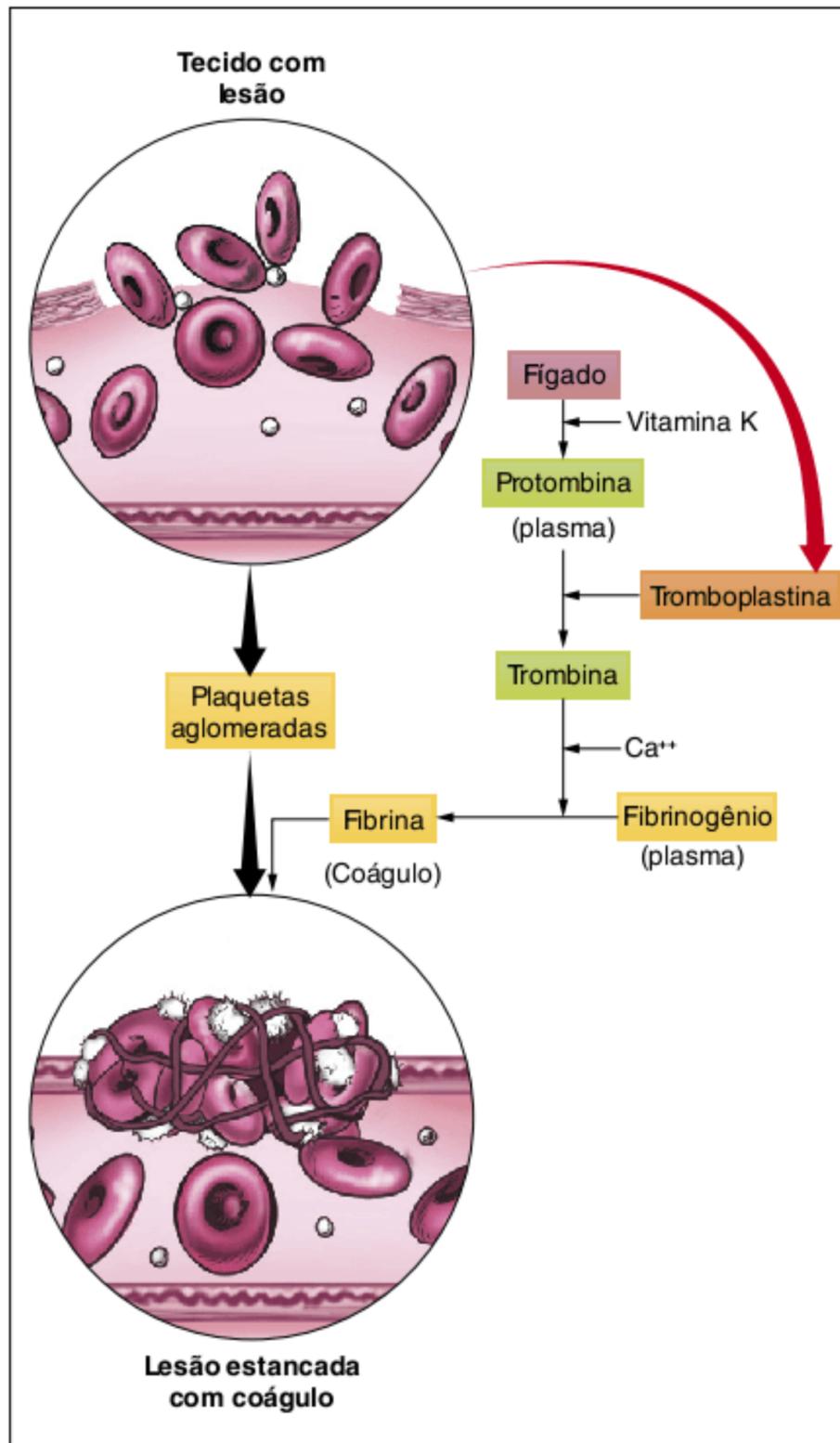


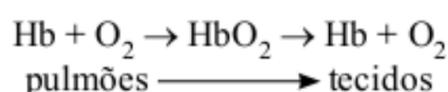
Fig. 4 Etapas da coagulação. Para que ocorra a coagulação, é fundamental a participação da vitamina K e do cálcio.

### Transporte de gases

Os gases envolvidos na respiração celular são o  $\text{CO}_2$  e o  $\text{O}_2$ . O gás oxigênio é obtido a partir dos alvéolos pulmonares e é conduzido pelo sangue até as células, onde participa da respiração celular; esse processo libera gás carbônico, o qual é transportado pelo sangue aos alvéolos pulmonares. O sangue atua, portanto, como um intermediário entre os pulmões e os tecidos do organismo, transportando os gases respiratórios.

### Transporte de oxigênio

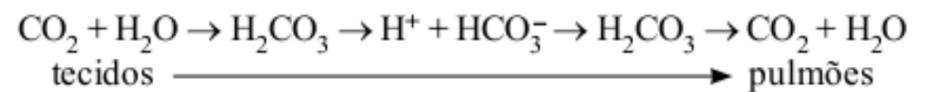
O  $\text{O}_2$  que se difunde dos alvéolos para o sangue é ligado à hemoglobina (**Hb**), presente no interior das hemácias, formando a **oxiemoglobina ( $\text{HbO}_2$ )**. Quando o sangue alcança os capilares, a oxiemoglobina dissocia-se, liberando o  $\text{O}_2$ , que se difunde para os tecidos.



### Transporte de gás carbônico

O  $\text{CO}_2$  é transportado de três maneiras: **dissolvido no plasma, na forma de bicarbonato ( $\text{HCO}_3^-$ ) e ligado à hemoglobina ( $\text{HbCO}_2$ )**; a maior parte é transportada como bicarbonato.

O  $\text{CO}_2$  liberado na respiração celular combina-se com a água e forma ácido carbônico ( $\text{H}_2\text{CO}_3$ ). Por ser instável, ele se ioniza em íons  $\text{H}^+$  e  $\text{HCO}_3^-$ , ficando dissolvido no sangue (e conseqüentemente alterando o pH sanguíneo). Quando o sangue chega às proximidades dos alvéolos pulmonares, os dois íons combinam-se e é formado novamente o ácido carbônico, que, ao dissociar-se, gera água e gás carbônico, o qual se difunde para os alvéolos pulmonares, sendo eliminado para o ar.



Quando as moléculas de hemoglobina liberam  $\text{O}_2$  para as células e ficam livres, podem unir-se ao  $\text{CO}_2$  liberado na respiração celular (que ocorre nos tecidos). Assim, forma-se a **carboemoglobina**, ou carbaminoemoglobina ( **$\text{HbCO}_2$** ).



Quando uma pessoa inspira grande quantidade de monóxido de carbono ( $\text{CO}$ ), ocorre a formação de **carboxiemoglobina**, substância muito estável. Isso pode ocasionar a ocupação de um grande número de moléculas de hemoglobina, comprometendo o transporte de gás oxigênio e podendo causar danos neurológicos ou até a morte do indivíduo.

### Trocas nos capilares

A troca de materiais entre o sangue e o fluido intersticial, que banha as células, ocorre somente nos capilares sanguíneos, que apresentam o revestimento constituído apenas pelo endotélio. A pressão sanguínea força a saída de líquido para o espaço intersticial; saem água, íons e moléculas pequenas (glicose e aminoácidos). No entanto, as proteínas plasmáticas permanecem no interior do capilar e são responsáveis pela chamada **pressão coloidosmótica**, que promove o retorno de parte do líquido para o interior do capilar (Fig. 5).

Uma parte do líquido presente no fluido intersticial não retorna aos capilares, sendo recolhida por terminações de **capilares linfáticos**, em cujo interior encontra-se a **linfa**. Na extremidade arterial de um capilar, a pressão sanguínea é mais elevada e ocorre saída de líquido; na porção mais próxima a uma vênula, a pressão sanguínea é menor e o sangue tem menor quantidade de água (é mais concentrado), ocorrendo o retorno do líquido.

Os capilares linfáticos estão presentes em praticamente todos os tecidos do organismo e agrupam-se em vasos linfáticos, que eliminam seu conteúdo em veias situadas nas proximidades do coração. Os vasos linfáticos fazem parte do sistema imunitário, que será estudado no próximo capítulo.

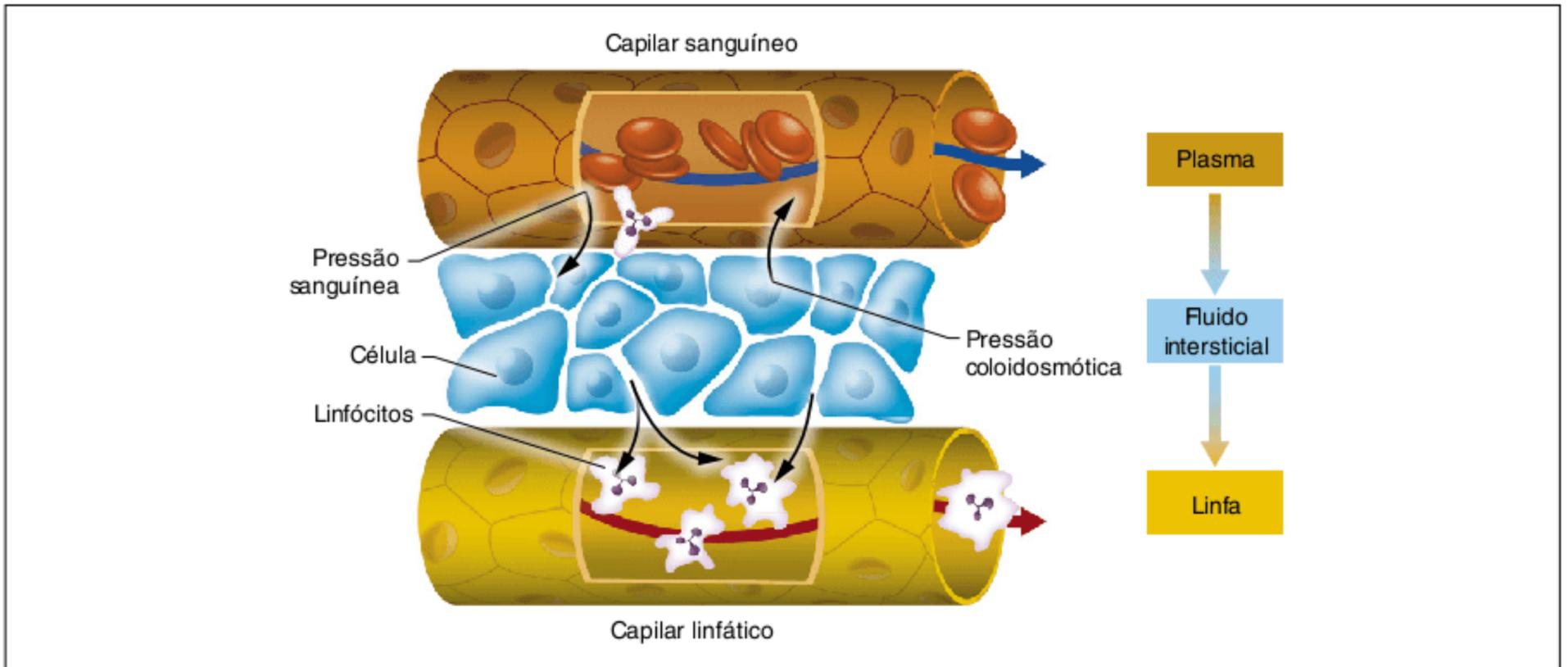


Fig. 5 A saída de materiais através da parede do capilar é determinada pela pressão sanguínea; o retorno de água para os capilares ocorre devido à pressão coloidosmótica. O excesso de líquido no fluido intersticial é recolhido pelos capilares linfáticos.

## Revisando

1 De que é constituído o sangue humano?

---



---



---



---



---

2 Qual é a principal função das hemácias?

---



---



---



---



---

3 Os glóbulos brancos estão relacionados à qual mecanismo do nosso organismo?

---



---



---



---



---

4 Quais as principais diferenças estruturais entre os elementos figurados do sangue?

---



---



---



---



---

**5** Por que ocorre a coagulação?

---



---

**6** Como funciona o transporte de gases na respiração celular?

---



---



---

**7** De que forma ocorre a troca de materiais entre o sangue e o fluido intersticial?

---



---



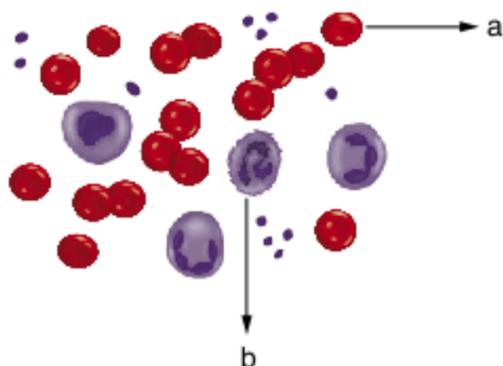
---

## Exercícios propostos

**1 Fuvest** Um vírus foi identificado como a causa da morte de centenas de focas no Mar do Norte e no Báltico. Ao penetrarem no organismo, as primeiras células que esses vírus invadem e prejudicam são os macrófagos e os linfócitos.

- Explique por que as focas infectadas tornam-se extremamente vulneráveis ao ataque de outros microrganismos patogênicos.
- Especifique a função de cada uma das células mencionadas.

**2** As setas a e b na figura adiante apontam os seguintes elementos figurados do sangue humano:



- hemácias e plaquetas.
- leucócitos e hemácias.
- plaquetas e albumina.
- globulinas e plaquetas.
- hemácias e leucócitos.

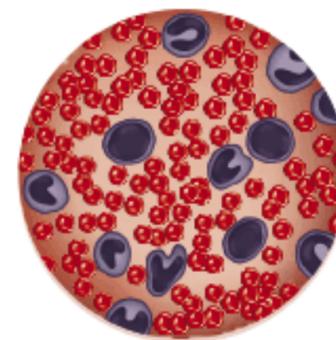
**3 FEI** Os componentes do sangue que têm a função de defesa do organismo e de coagulação são, respectivamente:

- leucócitos e hemácias.
- plaquetas e hemácias.
- leucócitos e plaquetas.
- plaquetas e leucócitos.
- hemácias e plaquetas.

**4 Puccamp** Apresentam grande quantidade de substância intercelular os tecidos:

- ósseo e glandular.
- cartilaginoso e adiposo.
- muscular e epitelial.
- sanguíneo e linfático.
- nervoso e conjuntivo.

**5 Cesgranrio** Um técnico, ao colher o sangue de uma pessoa, preparar um esfregaço e observar ao microscópio, constatou algumas coisas. Observe a figura a seguir e analise as afirmações, destacando as verdadeiras.



- Através da contagem do número de leucócitos no campo do microscópio, podemos suspeitar que o paciente apresenta uma infecção.
- O elevado número de hemácias é uma indicação de que o indivíduo está doente.
- A contagem de hemácias e leucócitos não é um indício seguro para caracterizar uma infecção ou anemia.

Está(ão) correta(s) somente a(s) afirmativa(s):

- I.
- II.
- III.
- I e II.
- II e III.

**6 Unicamp** Uma das mais importantes propriedades do sangue é a capacidade de coagulação, que interrompe a hemorragia. Explique como ocorre o processo de coagulação, indicando as principais proteínas envolvidas.

**7 PUC-MG** Assinale a alternativa que compreende um tecido conjuntivo de transporte.

- (a) Tecido ósseo.
- (b) Tecido cartilaginoso.
- (c) Tecido nervoso.
- (d) Tecido muscular.
- (e) Tecido sanguíneo.

**8 UFF (Adapt.)** Estabeleça uma diferença entre:

- a) eritrograma e leucograma.
- b) eritropenia e anemia.

**9 PUC-RS** As células conhecidas por macrófagos têm importante papel nos mecanismos de defesa do nosso organismo. Elas fagocitam bactérias, restos celulares e partículas que penetram em nosso corpo. Essas células são características do tecido.

- (a) ósseo.
- (b) conjuntivo.
- (c) epitelial.
- (d) nervoso.
- (e) muscular.

**10 PUC-MG 2004** Talvez você já tenha feito exames de sangue por solicitação médica para saber como está sua saúde. Células sanguíneas apresentam funções específicas ou não, e a alteração na quantidade delas nos indica determinados desequilíbrios na saúde. A relação está incorreta em:

- (a) menor quantidade de leucócitos → leucemia.
- (b) menor quantidade de plaquetas → deficiência de coagulação.
- (c) menor quantidade de hemácias → anemia.
- (d) maior quantidade de eosinófilos → processo alérgico.

**11 UFRN 2005** O excesso de radiação solar também pode provocar queimaduras na pele. Esse tipo de lesão acarreta perda de água dos tecidos, que, por sua vez, retiram água do sangue. Para prevenir a perda excessiva de água do sangue para os tecidos, o organismo conta com a ação das proteínas sanguíneas, principalmente da albumina, que agem:

- (a) reduzindo a quantidade de íons na composição do sangue.
- (b) diminuindo a permeabilidade da membrana das células dos vasos.
- (c) aumentando a absorção de água no líquido intersticial.
- (d) elevando a pressão osmótica do plasma sanguíneo.

**12 CEFET-CE 2004** São tecidos conjuntivos de diferentes tipos:

- (a) epitelial, nervoso, sanguíneo.
- (b) ósseo, muscular, sanguíneo.
- (c) epitelial, muscular, cartilaginoso.
- (d) ósseo, cartilaginoso, sanguíneo.
- (e) epitelial, ósseo, sanguíneo.

**13 CEFET-MG 2005** As hemácias, ou glóbulos vermelhos, vivem, em média, apenas 120 dias no sangue circulante e pertencem ao tecido:

- (a) epitelial.
- (b) adiposo.
- (c) nervoso.
- (d) sanguíneo.

Texto para a questão 14.

*Jamie Whitaker mal nasceu e já se tornou celebridade. Jamie é o que já está sendo chamado de "irmão salvador" pelos tabloides (jornais populares) do Reino Unido, uma criança gerada para fornecer tecidos vivos para tentar salvar a vida de outro filho de seus pais. O irmão de Jamie se chama Charlie e sofre de uma forma rara de anemia causada por anomalia genética... Como foi concebido por técnicas de fertilização in vitro... Jamie pôde ter suas células testadas no útero, uma forma de confirmar sua compatibilidade com as de Charlie.*

M. Leite. "Ciência em dia". Folha de S.Paulo, 29 jun. 2003. MAIS!

**14 Unesp 2004** Os termos anemia e fertilização *in vitro*, utilizados no texto, significam, respectivamente:

- (a) doença relacionada com os glóbulos brancos, ou linfócitos, e técnica de fertilização do óvulo pelo espermatozoide, na tuba uterina.
- (b) doença relacionada com o processo de coagulação do sangue e técnica de fertilização do óvulo pelo espermatozoide, em local apropriado do aparelho reprodutivo da mãe.
- (c) doença relacionada com os processos de respiração celular e técnica de fertilização do óvulo pelo espermatozoide, em local apropriado do aparelho reprodutivo da mãe.
- (d) doença relacionada com deficiência de glóbulos vermelhos, ou hemácias, e técnica de fertilização do óvulo pelo espermatozoide, fora do corpo da mãe.
- (e) doença relacionada com o sistema imunológico e técnica de fertilização do óvulo pelo espermatozoide, fora do corpo da mãe.

**15 Udesc 2010** No quadro a seguir é demonstrada a característica geral dos leucócitos e a sua função.

Desenho esquemático			
Nome do leucócito	1	2	Linfócito
Característica geral	3	Núcleo geralmente trilobulado	Núcleo ocupando quase toda célula
Função	Fagocitar bactérias	Fagocitar elementos estranhos	4

Assinale a alternativa correta que completa o quadro na sequência 1, 2, 3 e 4.

- (a) 1. Linfócito, 2. Neutrófilo, 3. Núcleo trilobulado e 4. Produção de anticorpos.
- (b) 1. Monócito, 2. Neutrófilo, 3. Núcleo em forma de rim e 4. Produção de anticorpos.
- (c) 1. Monócito, 2. Eosinófilo, 3. Núcleo em forma de rim e 4. Libera heparina.
- (d) 1. Linfócito, 2. Basófilo, 3. Núcleo em forma de rim e 4. Libera heparina.
- (e) 1. Basófilo, 2. Neutrófilo, 3. Núcleo trilobulado e 4. Produção de anticorpos.

**16 UFG 2010** Analise a tabela a seguir, na qual é apresentado o resultado de parte de um hemograma de um indivíduo adulto do sexo masculino, com peso e altura compatíveis.

Elementos figurados	Valores encontrados	Valores de referência
Hemácias	5,2	4,5 – 6,0 (M/ $\mu$ L)
Hematócritos	50	40 – 52 (%)
Hemoglobinas	16,5	13 – 18 (g/dL)
Neutrófilos Totais	59	51 – 65 (%)
Linfócitos	31	20 – 35 (%)
Eosinófilos	2	1 – 4 (%)
Monócitos	7	2 – 14 (%)
Plaquetas	68	150 – 500 (giga/L)

O resultado apresentado indica que esse indivíduo tem uma predisposição à:

- (a) anemia.
- (b) infecção.
- (c) hemorragia.
- (d) síclemia.
- (e) talassemia.

**17 CEFET-PR 2006** Nosso corpo é formado por quatrilhões de células vivas que necessitam ao mesmo tempo de água, alimentos, ar, entre outras substâncias. O sangue é o veículo que transporta as substâncias necessárias à vida das células. Sobre as diferentes funções do sangue, é correto afirmar que:

- (a) os leucócitos transportam nutrientes e hormônios.
- (b) o plasma é responsável pelo transporte de oxigênio.
- (c) as plaquetas ajudam na coagulação do sangue.
- (d) as hemácias são responsáveis pela defesa do organismo.
- (e) os glóbulos vermelhos regulam a manutenção da temperatura.

**18 UFSCar 2006** A duração de uma hemácia no tecido sanguíneo humano é de 90 a 120 dias. Por serem continuamente renovadas, torna-se necessária a remoção constante das hemácias envelhecidas do sangue.

- a) Onde ocorre a produção de novas hemácias e em que órgãos ocorre sua remoção?
- b) Na parte líquida do sangue, chamada plasma, encontram-se determinadas proteínas, como as globulinas e as albuminas. Qual a função de cada uma dessas proteínas?

**19 CFTCE-CE** Em relação ao sangue, é incorreto dizer que:

- (a) se trata de um tecido conjuntivo.
- (b) seu componente líquido é denominado plasma.
- (c) os trombócitos não fazem parte do conteúdo celular do sangue.
- (d) entre as células sanguíneas, destacam-se os eritrócitos e os leucócitos.
- (e) os eritrócitos são também conhecidos como glóbulos vermelhos.

## TEXTOS COMPLEMENTARES

### Variações nas hemácias e na hemoglobina

A medula óssea é estimulada a produzir hemácias pelo hormônio eritropoetina, elaborado nos rins. A presença de pouco gás oxigênio é fator que desencadeia nos rins a síntese desse hormônio. Isso ocorre, por exemplo, quando uma pessoa passa a ter uma atividade física mais intensa, deixando de ter uma vida sedentária, e começa a fazer caminhadas mais longas e rápidas. Outro fator passível de alterar a produção desse hormônio, seria o deslocamento do indivíduo, do litoral para uma região de elevada altitude, na qual o ar é mais rarefeito. Depois de alguns dias, ocorreria uma elevação no número de hemácias, permitindo o aproveitamento do pouco oxigênio disponível no ambiente com mais eficiência.

Por outro lado, há situações em que o indivíduo tem menor quantidade de hemácias do que o normal. A baixa atividade

física pode levar a essa condição. No entanto, há casos mais graves, nos quais o indivíduo tem severa redução do número de hemácias ou de hemoglobina, condição conhecida como **anemia**. Isso compromete o transporte de oxigênio para os tecidos, inclusive para o cérebro, tornando o indivíduo incapacitado para executar suas atividades cotidianas. Há anemias de natureza genética, como a **anemia falciforme**, em que o indivíduo produz hemácias malformadas e ineficientes no transporte de  $O_2$ . Em outras situações, há parasitas que retiram quantidades enormes de sangue do hospedeiro, como na do **amarelão** e na da **malária**. Também existem anemias produzidas por carências alimentares, como a falta de **ferro** ou de algumas vitaminas, como a **B<sub>12</sub>**.

## Como funciona o sangue artificial

### Introdução

Médicos e cientistas criaram muitos dispositivos mecânicos que podem substituir partes do corpo que se quebram ou se desgastam. Um coração, por exemplo, é basicamente uma bomba; um coração artificial é uma bomba mecânica que faz circular o sangue. Da mesma forma, artroplastias totais de joelho substituem ossos e cartilagens por metal e plástico. Próteses de membros se tornam cada vez mais complexas, mas ainda são essencialmente dispositivos mecânicos que podem fazer o trabalho de pernas e braços. Tudo isso é bastante fácil de compreender: trocar um órgão por um substituto artificial geralmente faz sentido.

O sangue artificial, por outro lado, pode ser algo espantoso. Uma razão para isso é que a maioria das pessoas pensa no sangue como algo mais do que apenas tecido conjuntivo que transporta oxigênio e nutrientes. Em vez disso, o sangue representa a vida. A maioria das culturas e religiões deposita um significado especial nele, e sua importância afetou até mesmo a língua inglesa. Você pode se referir às suas características culturais ou ancestrais como estando em seu sangue. Os membros da sua família são seus parentes de sangue. Se você é ultrajado, o seu sangue ferve. Se você está com medo, ele gela.

O sangue carrega todas essas conotações por um bom motivo: ele é absolutamente essencial à sobrevivência das formas de vida vertebradas, incluindo os seres humanos. Ele transporta oxigênio dos pulmões para todas as células do corpo. Ele também extrai o dióxido de carbono de que o organismo não precisa e o devolve aos pulmões para que seja exalado. O sangue fornece nutrientes do sistema digestivo e hormônios do sistema endócrino para as partes do seu corpo que precisam delas. Ele passa através dos rins e do fígado, que removem ou destroem resíduos e toxinas. Os leucócitos do sangue ajudam a prevenir e combater doenças e infecções. O sangue também pode formar coágulos, evitando hemorragias fatais em consequência de cortes e arranhões sem importância.

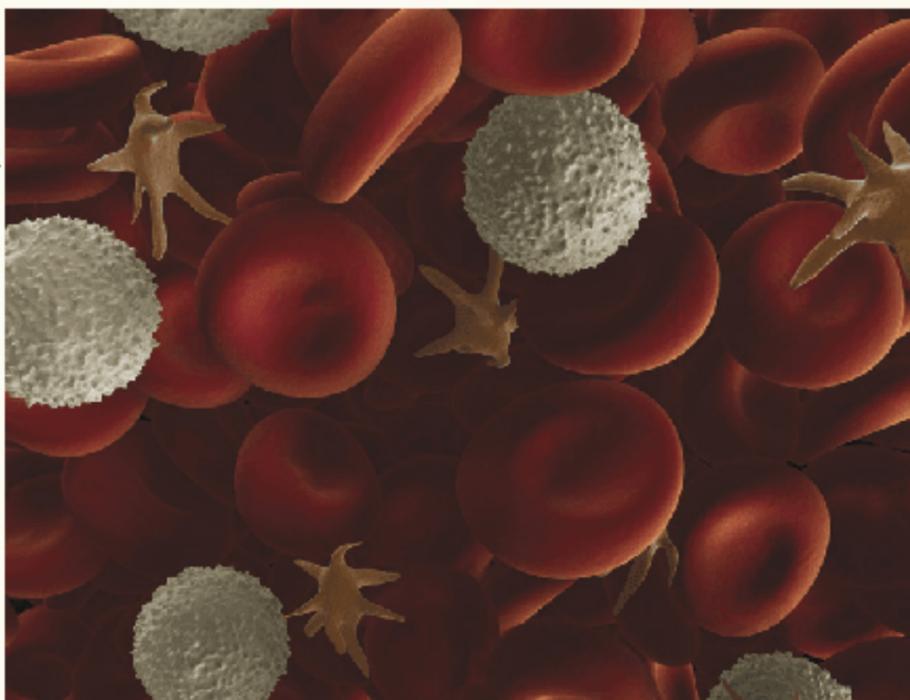
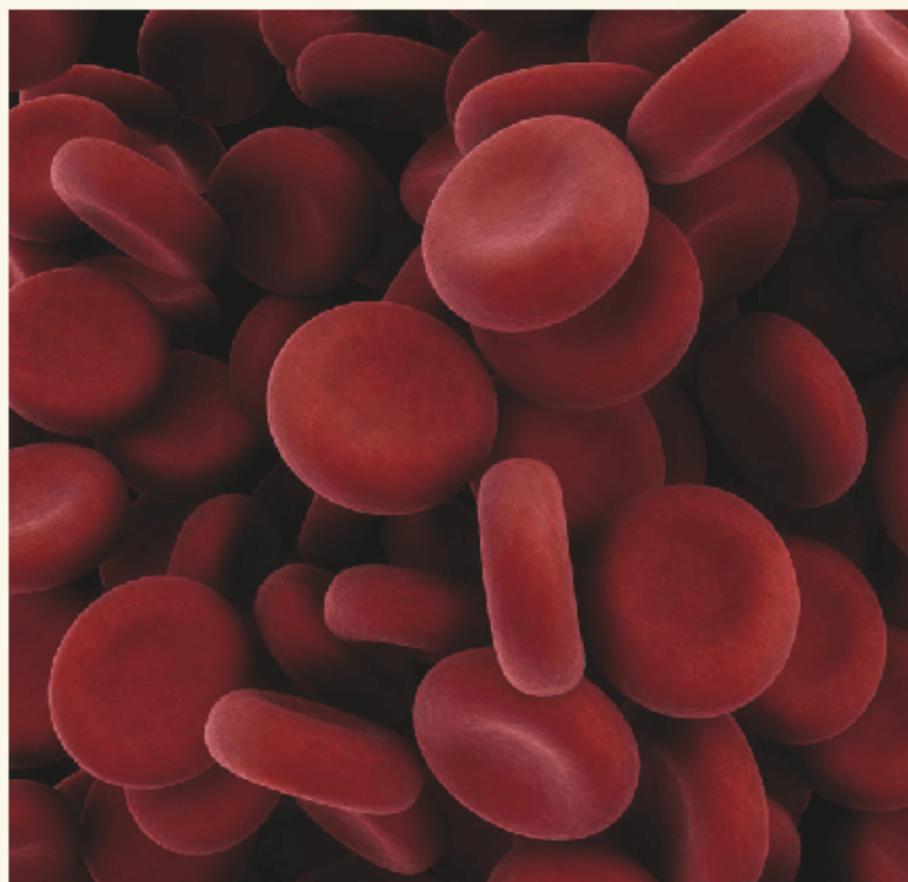


Imagem de células sanguíneas.

Pode parecer improvável, ou mesmo impossível, que uma substância artificial possa substituir alguma coisa que faça todo esse papel e seja tão importante para a vida humana. Para entender o processo, vamos conhecer um pouco sobre o funcionamento do sangue real. O sangue tem dois componentes principais: **plasma e elementos celulares**. Quase tudo o que o sangue transporta, incluindo nutrientes, hormônios e resíduos, é dissolvido no plasma, que é basicamente água. Os elementos celulares, que são células e partes de células, também flutuam no plasma. Os elementos celulares incluem os **glóbulos brancos**, que fazem parte do sistema imunológico, e as **plaquetas**, que ajudam a formar os coágulos. Os **glóbulos vermelhos** são responsáveis por uma das tarefas mais importantes do sangue: transportar oxigênio e dióxido de carbono.

Os glóbulos vermelhos, ou hemácias, são muito numerosos; eles compõem mais de 90% dos elementos celulares do sangue. Sua estrutura ajuda-os a transportar oxigênio mais eficientemente. Um glóbulo vermelho tem a forma de um disco côncavo em ambos os lados. Assim, eles têm muita área de superfície para a absorção e liberação de oxigênio. Sua membrana é muito flexível. O glóbulo vermelho não tem núcleo e, dessa forma, ele pode se esgueirar através da parede de minúsculos vasos capilares sem se romper.



Os glóbulos vermelhos, também chamados de eritrócitos, têm a forma de discos bicôncavos.

A falta de núcleo de um glóbulo vermelho também dá a ele mais espaço para a **hemoglobina (Hb)**, uma estrutura complexa que transporta oxigênio e é feita de um componente proteico

chamado **globina** e de um composto contendo ferro chamado **heme**. Os hemes usam o ferro para se unir ao oxigênio. Dentro de cada glóbulo vermelho há cerca de 280 milhões de moléculas de hemoglobina.

Se você perder muito sangue, você perde muito do seu sistema de fornecimento de oxigênio. Os leucócitos, os nutrientes e as proteínas que o sangue transporta também são importantes, mas os médicos geralmente se preocupam mais com o fornecimento adequado de oxigênio às células.

Em uma situação de emergência, os médicos geralmente dão aos pacientes **expansores de volume**, como soluções salinas, para compensar o volume de sangue perdido. Isso ajuda a restaurar a pressão sanguínea normal e permite que o restante dos glóbulos vermelhos continue a transportar oxigênio. Às vezes, isso é suficiente para manter o corpo em funcionamento até que ele possa produzir novas células sanguíneas e outros elementos do sangue. Caso contrário, os médicos fazem nos pacientes transfusões de sangue para substituir parte do sangue perdido. As **transfusões de sangue** também são bastante comuns durante alguns procedimentos cirúrgicos.

O processo de transfusão funciona muito bem, mas existem vários desafios que podem dificultar ou impossibilitar o fornecimento do sangue de que o paciente precisa:

- o sangue humano deve ser mantido resfriado e sua validade é de 42 dias. Isso torna impraticável para as equipes de emergência transportá-lo em ambulâncias ou outras equipes médicas transportá-lo para o campo de batalha. Expansores de volume isoladamente podem não ser suficientes para manter vivo um paciente com um sangramento volumoso até que ele chegue ao hospital.
- os médicos precisam confirmar se o sangue é do tipo correto: A, B, AB ou O, antes de dá-lo ao paciente. Se uma pessoa receber o tipo de sangue errado, ela pode morrer.
- o número de pessoas que precisam de sangue está crescendo mais rapidamente do que o número de pessoas que doam sangue.
- vírus como o do HIV e das hepatites B e C podem contaminar o suprimento de sangue, ainda que testes mais modernos tenham diminuído em muito a contaminação na maioria dos países desenvolvidos.

É aqui que o sangue artificial entra. O sangue artificial não faz todo o trabalho do sangue real: às vezes, ele nem pode substituir o volume de sangue perdido. Em vez disso, ele transporta oxigênio em situações em que os glóbulos vermelhos de uma pessoa não conseguem fazer isso isoladamente. Diferentemente do sangue real, o sangue artificial pode ser esterilizado para matar bactérias e vírus. Os médicos também podem dá-lo ao paciente independentemente de seu tipo de sangue. Muitos tipos de sangue têm duração de mais de um ano e não precisam ser refrigerados, tornando-os ideais para o uso em situações de emergência e em campos de batalha. Assim, mesmo que ele não substitua de fato o sangue humano, o sangue artificial ainda é bastante incrível.

A seguir, vamos ver de onde vem o sangue artificial e como ele funciona na corrente sanguínea de uma pessoa.

### Tipos de sangue artificial

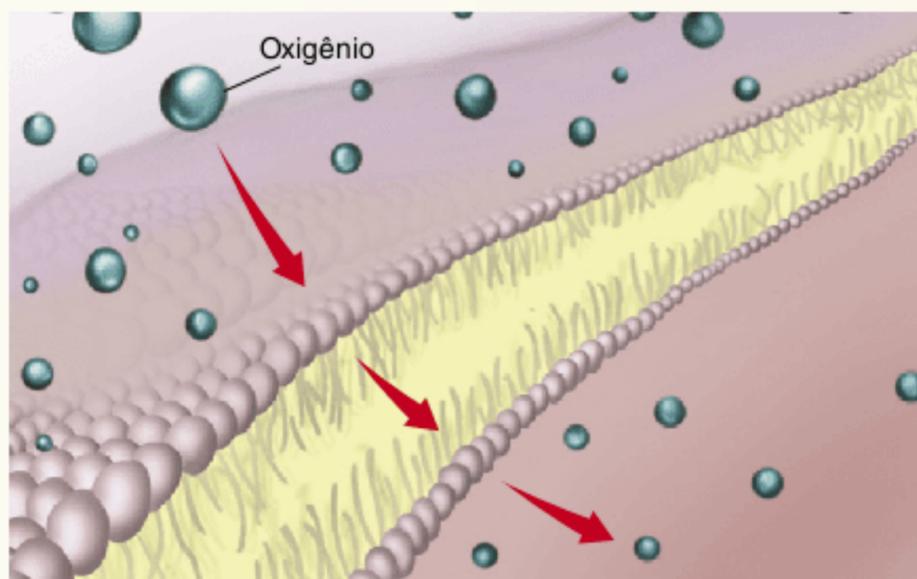
Até recentemente, a maioria das tentativas de criar sangue artificial falhou. No século 19, médicos fracassaram ao dar aos pacientes sangue animal, leite, óleos e outros líquidos por via endovenosa. Mesmo depois da descoberta dos tipos de sangue humanos, em 1901, os médicos continuaram a procurar substitutos para o sangue. As duas grandes Guerras Mundiais e as descobertas da hepatite e do vírus da imunodeficiência humana (HIV) também aumentaram o interesse em seu desenvolvimento.



Bolsa de sangue artificial HBOC.

Empresas farmacêuticas desenvolveram algumas poucas variedades de sangue artificial nas décadas de 80 e 90, mas muitas abandonaram suas pesquisas após infartos, derrames cerebrais e mortes de cobaias humanas. Algumas fórmulas iniciais também causaram o colapso de vasos capilares e o aumento excessivo da pressão sanguínea. Porém, pesquisas adicionais levaram a vários substitutos específicos do sangue divididos em duas classes: **carregadores de oxigênio que utilizam hemoglobina** (HBOC, na sigla em inglês) e **perfluorcarbonetos** (PFC). Alguns desses substitutos, na sua fase final de teste, conseguem estar disponíveis em hospitais. Outros já estão em uso. Por exemplo, um HBOC chamado Hemo-pure atualmente é usado em hospitais na África do Sul, onde o alastramento do HIV ameaçou o suprimento de sangue. Um carregador de oxigênio baseado em PFC, chamado Oxygent, está nos estágios finais de testes em seres humanos na Europa e América do Norte.

Os dois tipos têm estruturas químicas bastante diferentes, mas ambos trabalham basicamente através da **difusão passiva**. A difusão passiva tira proveito da tendência dos gases de se mover de áreas de maior concentração para áreas de menor concentração até atingir um estado de **equilíbrio**. No corpo humano, o oxigênio se move dos pulmões (alta concentração) para o sangue (baixa concentração). Depois, quando o sangue atinge os vasos capilares, o oxigênio se move do sangue (alta concentração) para os tecidos (baixa concentração).



O sangue artificial tira vantagem da difusão passiva, na qual o oxigênio se move de uma área de alta concentração (os pulmões) para uma área de baixa concentração (o sangue).

### HBOCs

Os HBOCs assemelham-se vagamente ao sangue, sua cor é vermelho-escuro ou bordô. Eles são feitos de hemoglobina real, esterilizada, que pode vir de uma variedade de fontes:

- glóbulos vermelhos de sangue humano real;
- glóbulos vermelhos de sangue de vaca;
- bactérias geneticamente modificadas que podem produzir hemoglobina;
- placentas humanas.

Porém, os médicos simplesmente não conseguem injetar hemoglobina na corrente sanguínea de uma pessoa. Quando está dentro das células sanguíneas, a hemoglobina faz um excelente trabalho de transporte e liberação de oxigênio. Mas sem a membrana da célula para protegê-la, ela se desintegra muito rapidamente. A hemoglobina desintegrada pode causar sérios danos renais. Por essa razão, a maioria dos HBOCs usa formas modificadas de hemoglobina que são mais resistentes do que a molécula que ocorre naturalmente. Algumas das técnicas mais comuns são:

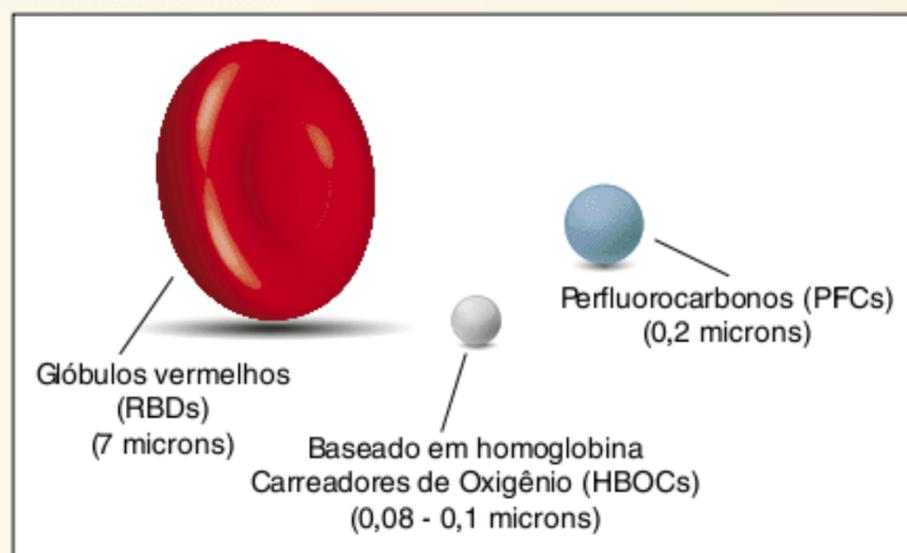
- **ligação cruzada** de partes da molécula de hemoglobina com um derivado da hemoglobina que transporta oxigênio chamado **diaspirina**;
- **polimerizar** a hemoglobina unindo várias moléculas;
- **conjuguar** a hemoglobina ligando-a a um polímero.

Cientistas também pesquisaram HBOCs que envolvem a hemoglobina em uma membrana sintética feita de lipídios, colesterol ou ácidos graxos. Um HBOC, chamado MP4, é feito de hemoglobina revestida em polietileno glicol.

Os HBOCs funcionam semelhantemente aos RBCs comuns. As moléculas de HBOC flutuam no plasma sanguíneo. As moléculas são muito menores que os RBCs, assim, elas podem se encaixar em espaços nos quais os glóbulos vermelhos não podem, como em tecido extremamente inchado ou vasos sanguíneos anormais ao redor de tumores cancerígenos. A maioria dos HBOCs permanece no sangue de uma pessoa por aproximadamente um dia – bem menos que os 100 dias ou mais que os glóbulos vermelhos comuns circulam.

Porém, os HBOCs também têm alguns poucos efeitos colaterais. As moléculas de hemoglobina modificadas podem se encaixar em espaços muito pequenos entre as células e se unir ao **óxido nítrico**, que é importante para manter a pressão do sangue. Isso pode elevar a pressão sanguínea do paciente a níveis perigosos.

Os HBOCs também podem causar desconforto abdominal e câibras, devido principalmente à liberação de **radicais livres**. Alguns HBOCs podem causar vermelhidão temporária dos olhos ou da pele.



HBOCs e PFCs são consideravelmente menores que os glóbulos vermelhos.

### PFCs

Diferentemente dos HBOCs, os PFCs geralmente são brancos e inteiramente sintéticos. Eles são muito parecidos com os **hidrocarbonetos**, químicas feitas inteiramente de hidrogênio e carbono, mas eles contêm flúor em vez de carbono.

Os PFCs são quimicamente inertes, mas são extremamente bons no transporte de gases dissolvidos. Eles podem transportar entre 20% e 30% mais gás do que a água ou o plasma sanguíneo e, se mais gás estiver presente, eles podem transportar mais também. Por essa razão, os médicos primeiramente usam os PFCs juntamente com o oxigênio suplementar. Porém, o oxigênio extra pode causar a liberação de radicais livres. Pesquisadores estão estudando se os PFCs podem funcionar sem o oxigênio adicional.

Os PFCs são oleosos e escorregadios, assim, eles precisam ser **emulsificados**, ou suspensos em um líquido, para serem usados no sangue. Geralmente, os PFCs são misturados com outras substâncias frequentemente usadas em drogas intravenosas, como a lecitina ou albumina. Esses emulsificadores acabam por se desintegrar à medida que circulam a partir do sangue. O fígado e os rins removem-nos do sangue, e os pulmões exalam os PFCs da maneira como fazem com o dióxido de carbono. Às vezes, as pessoas experimentam sintomas parecidos com os da gripe quando seus corpos digerem e exalam os PFCs.



Sangue artificial baseado em PFC Oxygent.

Os PFCs, como os HBOCs, são extremamente pequenos e podem se encaixar em espaços que são inacessíveis aos RBCs. Por essa razão, alguns hospitais estudaram se os PFCs podem tratar de **traumatismo crânio-encefálico (TBI)** por meio do fornecimento de oxigênio através do tecido cerebral inchado.

As empresas farmacêuticas estão testando os PFCs e HBOCs para uso em situações médicas específicas, mas eles têm usos potenciais similares, incluindo:

- restaurar o fornecimento de oxigênio após a perda de sangue devido ao trauma, especialmente em situações de emergência e em campos de batalha;
- evitar a necessidade de transfusões de sangue durante cirurgias;
- manter o fluxo de oxigênio para tecido cancerígeno, o que pode tornar a quimioterapia mais eficaz;
- tratar de anemia, que causa uma redução dos glóbulos vermelhos;
- permitir o fornecimento de oxigênio para tecidos inchados ou áreas do corpo afetadas por anemia falciforme.

A seguir, daremos uma olhada em alguns dos problemas que cercam o uso do sangue artificial, assim como seu futuro na medicina.

### A controvérsia do sangue artificial

À primeira vista, sangue artificial parece uma boa coisa. Ele tem uma durabilidade maior que o sangue humano. Como o processo de manufatura pode incluir esterilização, ele não corre o risco de transmissão de doenças. Os médicos podem administrá-lo em pacientes com qualquer tipo de sangue. Além disso, muitas pessoas que não podem aceitar transfusões de sangue por motivos religiosos podem aceitar sangue artificial, particularmente PFCs, que não são derivados de sangue.

Porém, o sangue artificial tem estado no centro de muitas controvérsias. Os médicos abandonaram o uso do HemAssist, o primeiro HBOC testado em humanos nos Estados Unidos, após pacientes que tinham recebido o HBOC terem morrido mais frequentemente do que aqueles que haviam recebido sangue doado. Às vezes, as empresas farmacêuticas enfrentam problemas para provar que seus carregadores de oxigênio são eficazes. Parte disso porque o sangue artificial é diferente do sangue real, assim, é difícil desenvolver métodos precisos para comparação. Em outros casos, como quando o sangue artificial é usado para fornecer oxigênio através de tecido cerebral inchado, os resultados podem ser difíceis de serem quantificados.

Outra fonte de controvérsia envolveu os estudos de sangue artificial. De 2004 a 2006, os Laboratórios Northfield começaram a testar um HBOC chamado PolyHeme em pacientes com trauma. O estudo ocorreu em mais de 20 hospitais por todos os Estados Unidos. Como muitos pacientes de trauma estão inconscientes e não podem consentir com procedimentos médicos, o *Food and Drug Administration (FDA)* aprovou o teste como um estudo sem consentimento. Em outras palavras, os médicos podiam dar aos pacientes o PolyHeme em vez de sangue real sem pedir permissão primeiro.

Os Laboratórios Northfield realizam reuniões para ensinar as pessoas nas comunidades onde o estudo ocorre. A empresa também deu às pessoas a oportunidade de usar um bracelete informando à equipe de emergência que preferiam não participar. Porém, críticos declaram que os Laboratórios Northfield não ensinaram suficientemente o público e acusaram a empresa de violar a ética médica.

Os substitutos do sangue podem ser usados como drogas de aperfeiçoamento de desempenho, muito similarmente ao sangue humano quando usado nos testes *antidoping*. Um artigo de outubro de 2002 na *Wired* relatou que alguns ciclistas estavam usando Oxyglobin, um HBOC veterinário, para aumentar a quantidade de oxigênio no sangue.

Apesar da controvérsia, o sangue artificial pode ser usado em ampla escala dentro dos próximos anos. As próximas gerações de substitutos de sangue provavelmente serão mais sofisticadas. No futuro, HBOCs e PFCs podem se parecer muito mais com os glóbulos vermelhos e poderão transportar algumas enzimas e antioxidantes que o sangue real transporta.

### Células artificiais

Terapias de oxigênio não são as únicas células artificiais que entram em corpos humanos.

**Ilhota encapsulada**, células pancreáticas envolvidas em uma membrana sintética, que podem ajudar a tratar a diabetes.

**Carvão encapsulado** pode remover drogas e venenos do sangue de uma pessoa.

Tracy V. Wilson. *HowStuffWorks*. Tradução de HowStuffWorks Brasil. Disponível em: <<http://saude.hsw.uol.com.br/sangue-artificial.htm>>.



Transfusão sanguínea.

## RESUMINDO

O sangue é um tecido conjuntivo formado por uma parte líquida (**plasma**) e pelos elementos figurados (**glóbulos vermelhos, glóbulos brancos e plaquetas**).

- **Plasma:** corresponde a cerca de 55% do volume do sangue. É constituído pela **linfa** (líquido com algumas proteínas e glóbulos brancos) e diversos **materiais dissolvidos** (hormônios, gases, excretas (ureia), íons, glicose, aminoácidos, lipídeos e proteínas). A linfa é recolhida pelos capilares do **sistema linfático** e transportada até os linfonodos, em que será filtrada e devolvida ao sangue através de veias.
  - **Albumina:** proteína plasmática mais abundante. Confere viscosidade ao plasma e atua nos processos osmóticos.
  - **Globulinas:** proteínas relacionadas à defesa do organismo que incluem os anticorpos.
- **Glóbulos vermelhos:** células anucleadas chamadas de **hemácias**, ou **eritrócitos**. Responsáveis por auxiliar na respiração celular, transportando pelo organismo (fixados na hemoglobina – uma proteína com átomo de ferro) oxigênio e gás carbônico. São produzidos na medula óssea (ou no fígado, no caso do embrião), a partir de células precursoras chamadas **eritroblastos** (dotadas de núcleo e capacidade mitótica). Duram cerca de 120 dias, tendo suas estruturas reaproveitadas pelo baço em processo conhecido como **hemocaterese** (produzindo novas moléculas de hemoglobina ou componentes da bile). **Eritropenia** é a redução no número de hemácias e **anemia** é a redução no número de hemácias ou do teor de hemoglobina.
- **Glóbulos brancos:** células também chamadas de **leucócitos**. Fazem parte do mecanismo de defesa do organismo. São gerados na **medula óssea**, a partir de células precursoras chamadas **mieloblastos**. Existem leucócitos de vários tipos e podem ser encontradas em maiores quantidades quando o organismo está doente. **Leucocitose** corresponde ao aumento de leucócitos e **leucopenia** à redução. Existem dois grandes grupos de leucócitos:
  - **Granulócitos:** possuem citoplasma com vesículas, núcleo segmentado. Há três tipos:
    - **Neutrófilos:** são mais abundantes e responsáveis pela fagocitose de microrganismos.
    - **Basófilos:** têm como função evitar a ocorrência de reações alérgicas.
    - **Eosinófilos:** estão relacionados ao combate de vermes parasitas.
  - **Agranulócitos:** não apresentam grânulos no citoplasma. São de dois tipos:
    - **Linfócitos:** células menores, alguns participam do processo de produção de anticorpos.
    - **Monócitos:** também realizam fagocitose (convertendo-se em macrófagos). Podem atravessar capilares sanguíneos (**diapedese**).
- **Plaquetas:** fragmentos de células também chamados de **trombócitos**. São produzidas na medula óssea a partir de células precursoras (**megacariócitos**, ou **megacarioblastos**) que se fragmentam. As plaquetas possuem **tromboplastina**, proteína que desencadeia o processo de coagulação.

A **coagulação** acontece quando há o rompimento de vasos sanguíneos, através da formação de coágulos. A formação de coágulos segue alguns passos:

- **Agregação de plaquetas:** acontece no local ferido.
- **Formação da rede de fibrina:** filamentos dessa proteína (insolúvel em água) envolvem as plaquetas, fechando o local lesado e estancando o sangramento. Para a conversão da fibrina em sua forma solúvel, são realizadas reações químicas.
  - O **fibrinogênio** (produzido no fígado e presente no plasma na forma solúvel) é convertido em fibrina.
    - A reação é catalisada pela enzima **trombina** (forma ativa), dependente da presença de **íons cálcio**, que é originada da **protrombina** (forma inativa produzida pelo fígado com a presença de **vitamina K**).
      - A reação de ativação da enzima depende de outra enzima: **tromboplastina**.

O transporte de gases envolve o  $O_2$  (obtido dos alvéolos pulmonares) e o  $CO_2$  (obtido das células após a respiração celular). O sangue intermedia o processo de respiração, transportando seus gases:

- **Transporte de oxigênio:**  $O_2$  (obtido dos alvéolos) é ligado à **hemoglobina (Hb)** – formação da **oxiemoglobina (HbO<sub>2</sub>)**.
- **Transporte de gás carbônico:**  $CO_2$  (obtido das células dos tecidos) é ligado à hemoglobina (Hb) – formação da **carboemoglobina (HbCO<sub>2</sub>)** – mas sua maior parte é transportada **dissolvida no plasma**, como **bicarbonato** –  $HCO_3^-$ . A formação do bicarbonato é resultado da união do  $CO_2$  com água, formando o ácido carbônico ( $H_2CO_3$ ) e sua posterior dissociação em íons  $H^+$  e  $HCO_3^-$  (alterando o pH do sangue).

A **troca de materiais:** ocorre nos capilares sanguíneos, é realizada em função de diferença de pressão entre eles e o espaço intersticial.

- Pressão do sangue: força a saída de líquido para o espaço intersticial (junto com íons e moléculas pequenas, como glicose e aminoácidos).
- Permanência de proteínas no plasma: diferença de concentrações resulta na **pressão coloidosmótica**, que promove o retorno de líquido para o interior do capilar.
- O líquido que permanece no espaço intersticial retorna ao sangue através do sistema linfático (localizado paralelamente ao sistema circulatório), por diferença de concentração (o sangue mais concentrado força o retorno do líquido).

## ■ QUER SABER MAIS?

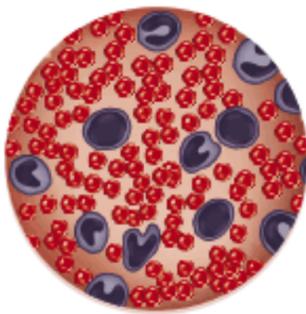


### SITES

- Notícia: Instituto de Tecnologia em Imunobiológicos/Fiocruz cria 'Kit' diagnóstico que fará análise de diferentes doenças na mesma amostra de sangue, reduzindo custos, tempo e trabalho  
<<http://cienciahoje.uol.com.br/noticias/2011/03/seis-em-um>>.
- Vídeo: como ocorre a anemia aplástica  
<<http://www.youtube.com/watch?v=w8-jx1dtg0U>>.

## Exercícios complementares

**1 Cesgranrio** Um técnico, ao colher o sangue de uma pessoa, preparar um esfregaço e observar ao microscópio, constatou algumas coisas. Observe a figura a seguir.



O tecido sanguíneo é de grande importância na defesa do organismo, pois certos tipos de células podem sair dos capilares e destruir os agentes invasores. Nas opções a seguir, marque, respectivamente, o nome de célula, o mecanismo de saída do vaso e destruição do invasor.

- Leucócito, diapedese e fagocitose.
- Leucócito, fagocitose e diapedese.
- Hemácia, diapedese e fagocitose.
- Plaqueta, fagocitose e diapedese.
- Plaqueta, diapedese e fagocitose.

**2 UFPR** [...] os punhos e os pulsos cortados e o resto do meu corpo inteiro/há flores cobrindo o telhado e embaixo do meu travesseiro/há flores por todos os lados/há flores em tudo que vejo/a dor vai curar estas lóstimas o soro tem gosto de lágrimas/as flores têm cheiro de morte/a dor vai fechar esses cortes/flores, flores, as flores de plástico não morrem [...].

"Flores". Titãs. Charles Gavin, Tony Bellotto, Paulo Miklos e Sérgio Britto.

Analisando histologicamente alguns trechos, é correto afirmar:

- é esperado que, após a coagulação do sangue na área da lesão ocorrida ("os punhos e os pulsos cortados"), concentre-se aí grande número de macrófagos, fibroblastos e plasmócitos.
- se uma cartilagem hialina for lesada em um indivíduo adulto, a sua regeneração ocorre facilmente, já que ela é um tecido ricamente vascularizado.

- quando ocorre um corte profundo na pele, os vasos sanguíneos são lesados e isso ocasiona o extravasamento do plasma, juntamente com células de sangue.
- o músculo estriado esquelético é um tipo especializado de tecido conjuntivo.
- proteínas colágenas são constituintes importantes na matriz extracelular do tecido conjuntivo, sendo necessárias nos processos de reparo e cicatrização. Elas podem ser sintetizadas por osteoblastos, condroblastos e fibroblastos.
- o tecido ósseo é muito resistente, sem plasticidade e com pouca irrigação sanguínea.

Soma =

**3 UFG 2003** Leia com atenção o trecho a seguir.

[...] *Material gorduroso se acumula gradualmente na superfície das paredes dos vasos. Quando um depósito ou placa cresce, pode fechar o "cano", impedindo que o sangue chegue ao tecido para onde está destinado. Depois de algum tempo sem receber sangue, o tecido morre. Se for uma parte do músculo cardíaco ou do cérebro, ocorre um infarto ou um derrame.*

Peter Libby. "Arteriosclerose: o novo ponto de vista". *Scientific American*, n. 2, p. 55-63, jul. 2002.

De acordo com o assunto, pode-se afirmar que:

- o material gorduroso que se acumula no vaso sanguíneo como placa pode aumentar a pressão do sangue na parede desse vaso.
- as células responsáveis pela defesa, que são as hemácias, irão se romper, para combater as células inflamatórias no local que ocorreu o derrame.
- os leucócitos e os monócitos são as células responsáveis pela degradação das gorduras depositadas na parede dos vasos sanguíneos e linfáticos.
- no infarto, o tecido morre porque suas células recebem muito oxigênio e outros nutrientes, ocorrendo então uma intoxicação letal.

**4 UFPE 2010 (Adapt.)** O corpo humano possui cerca de 5 a 6 litros de sangue, que é essencial para a sobrevivência e o funcionamento de células, tecidos e órgãos. Considerando o conhecimento sobre o tecido sanguíneo, analise as proposições a seguir.

- As hemácias são células anucleadas, de origem mesodérmica, sem mitocôndrias e ricas em hemoglobina; são produzidas com o estímulo da eritropoietina.
- Processos hemorrágicos intensos produzem o choque hipovolêmico, o que pode levar à morte, em razão da perda de plaquetas e dos fatores de coagulação sanguínea.
- Neutrófilos e macrófagos são fagócitos originários da medula óssea vermelha, sendo que os primeiros possuem núcleo trilobado; e os segundos, um grande núcleo na região central da célula.
- Eosinófilos são células que combatem infecções parasíticas, enquanto os basófilos produzem aumento da permeabilidade vascular através da secreção de histamina.

**5 UFC 2008** Em muitas clínicas de estética e salões de beleza, podemos constatar promessas de emagrecimento rápido. Uma das técnicas erroneamente divulgadas para o emagrecimento é a massagem conhecida como drenagem linfática manual. Com base nessa informação, responda ao que se pede.

- a) Sabendo-se das funções do sistema linfático, por que a técnica de drenagem linfática manual não é vantajosa no processo de emagrecimento?
- b) Uma das indicações da drenagem linfática manual é a diminuição de edemas provocados pelo acúmulo de líquidos. Qual o papel do sistema linfático na diminuição desses edemas?
- c) Além de ajudar na diminuição de edemas, a drenagem linfática, através de massagem, estimula o funcionamento dos nódulos linfáticos, ou linfonodos. Qual a principal consequência do mau funcionamento desses órgãos para o organismo?

**6 Udesc** Observe as três afirmativas sobre o tecido hematopoiético e o sangue.

- I. O tecido hematopoiético possui como função a produção de células do sangue.
- II. Os glóbulos vermelhos são produzidos na medula óssea e, posteriormente, passam para a corrente sanguínea.
- III. Os anticorpos são produzidos pelas plaquetas.

Assinale a alternativa correta.

- (a) I, II e III são verdadeiras.
- (b) I e II são verdadeiras.
- (c) II e III são verdadeiras.
- (d) I e III são verdadeiras.
- (e) apenas II é verdadeira.

**7 UFC 2009** A doação de sangue é um ato de solidariedade e pode salvar a vida de muitas pessoas. Sobre os componentes desse tecido, assinale a alternativa correta.

- (a) O  $O_2$  e os nutrientes, como glicose e aminoácidos, são transportados através das hemácias.

- (b) O plasma sanguíneo é o componente extracelular em abundância, característico do tecido conjuntivo.
- (c) Os reticulócitos – células de defesa do sangue – produzem anticorpos quando entram em contato com elementos estranhos.
- (d) A hemoglobina perde sua conformação estrutural e, conseqüentemente, a função devido a uma falha na síntese proteica, ocasionada por uma doença hereditária, a anemia falciforme.
- (e) A coagulação sanguínea é desencadeada por uma série de enzimas, culminando na formação de um trombo, cujos principais componentes são hemácias e leucócitos.

**8 Cesgranrio** Analise as afirmações a seguir sobre um grupo de células pertencentes ao tecido hematopoiético.

- I. A destruição dessas células leva à formação da bilirrubina.
- II. São células que permanecem na circulação no máximo por 120 dias.
- III. São células bicôncavas com uma grande área que permite a entrada de oxigênio.

As células a que se referem as afirmações anteriores são os(as):

- (a) linfócitos.
- (b) eritrócitos.
- (c) leucócitos.
- (d) monócitos.
- (e) plaquetas.

**9** O processo usual de exame para detecção de algumas doenças é contar o número de leucócitos por milímetro cúbico de sangue. Calcula-se o número relativo de cada tipo de leucócito e a porcentagem obtida dos diferentes tipos é chamada “contagem diferencial”. No adulto normal, o número total de leucócitos é de 7.500 por milímetro cúbico e a contagem diferencial de um adulto normal é:

neutrófilos	—————	62%
linfócitos	—————	30%
monócitos	—————	5%
eosinófilos	—————	2%
basófilos	—————	1%

Responda:

- a) Por que a contagem de leucócitos ajuda na detecção de doenças?
- b) O que é contagem diferencial?

# Sistema imunitário

# 13

FRENTE 3



**Picadas de serpentes podem ser fatais. O veneno extraído de uma serpente é empregado na produção de um soro que pode salvar muitas vidas. Esse é um caso de defesa imunitária do organismo.**

## As defesas naturais e o sistema imunitário

O **sangue** e o **fluido intersticial** presentes no corpo apresentam composição química que é mantida constante, em um estado de **equilíbrio dinâmico**. Essa condição depende da interação do organismo com o ambiente, uma vez que obtemos do meio o alimento e o gás oxigênio e é para o ambiente que eliminamos resíduos de nossa atividade metabólica. Alimentos contêm moléculas complexas que, através da digestão, são hidrolisadas em pequenas moléculas, como aminoácidos e glicose. Assim, empregamos materiais do ambiente no funcionamento do organismo sem que isso cause distúrbios ao nosso equilíbrio interno.

Por outro lado, o organismo está exposto no ambiente a muitos agentes potencialmente perigosos, como microrganismos com capacidade de invadir tecidos e causar danos. No entanto, dispomos de **barreiras** que evitam a entrada desses microrganismos, como a **pele** e as **mucosas** que recobrem a boca e as vias respiratórias. A **saliva** e a **lágrima** têm a **enzima lisozima** que ataca a parede bacteriana: as células de bactérias absorvem água por osmose e acabam se rompendo. Na **cavidade nasal**, na **traqueia** e nos **brônquios**, células de revestimento liberam muco capaz de reter partículas de poeira e microrganismos; com o batimento de cílios do revestimento dessas estruturas, o muco é varrido até a faringe, sendo deglutido ou expelido. Assim, muitos dos agentes acabam sendo destruídos pela ação do suco gástrico ou acabam nem adentrando o corpo.

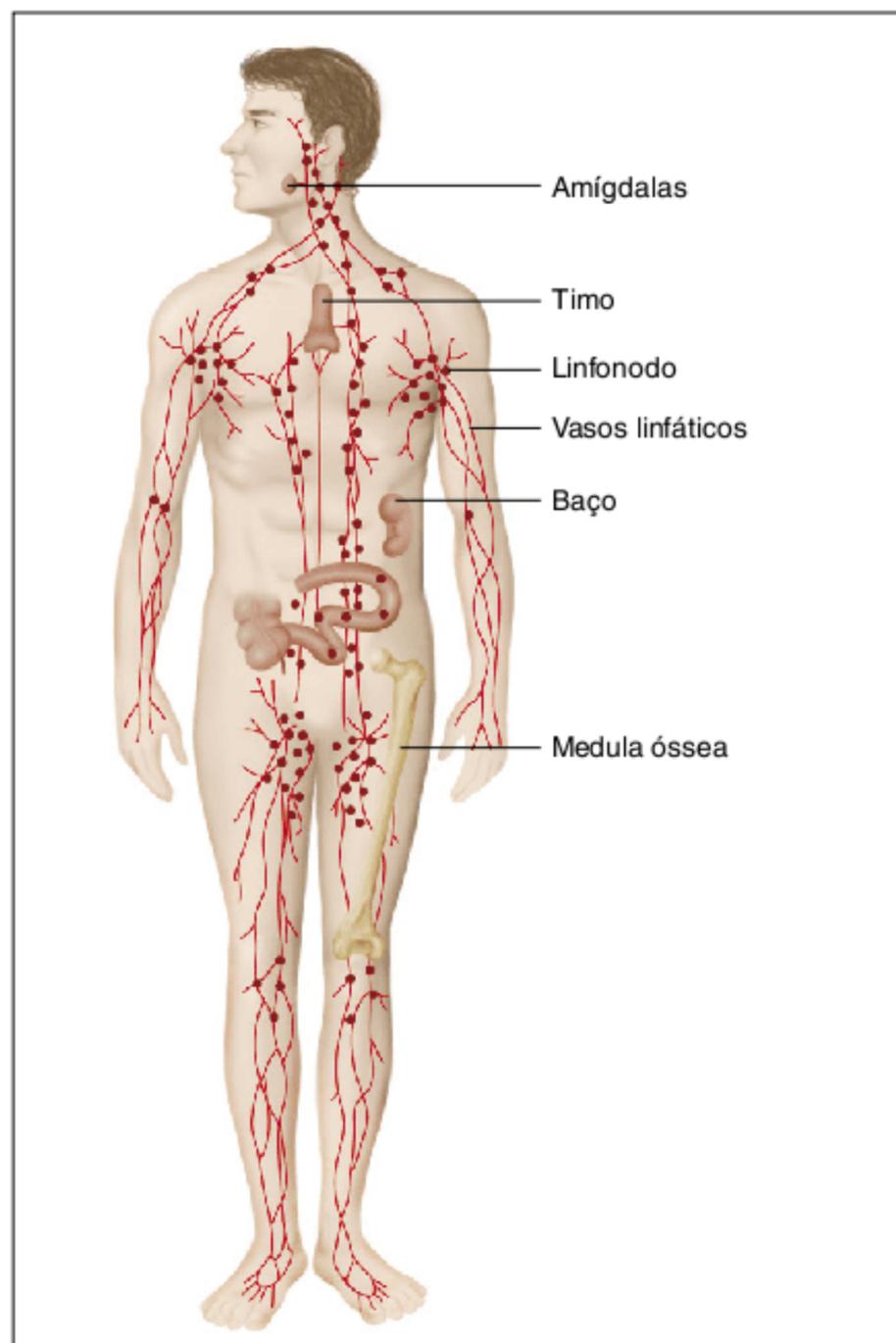


Fig. 1 Órgãos do sistema imunitário.

Essas defesas não são suficientes para deter os potenciais agentes invasores a que somos expostos diariamente. Eventualmente, alguns agentes atravessam essas barreiras e nosso organismo defende-se com a atividade do **sistema imunitário**, através da produção de células especializadas na defesa do corpo, como vários tipos de **leucócitos** e de **macrófagos**.

O sistema imunitário é constituído por órgãos primários e órgãos secundários.

### Órgãos primários

Os **órgãos primários** do sistema imunitário são a **medula óssea** e o **timo**, nos quais há a produção e a maturação de células de defesa. Os leucócitos são produzidos na medula óssea e alguns deles completam sua maturação no timo. A medula óssea (conhecida popularmente como tutano) consiste em um tecido conjuntivo localizado no interior de alguns ossos. O timo é um órgão de poucos centímetros, localizado na cavidade torácica atrás do osso esterno; ao longo da vida, vai apresentando redução de tamanho (Fig. 1).

### Órgãos secundários

Os **órgãos secundários** recebem células geradas nos órgãos primários e neles se dá seu transporte e sua proliferação; incluem os **linfonodos**, os **vasos linfáticos**, o **baço** e as **tonsilas** (amígdalas e adenoides).

Os **linfonodos**, antes denominados gânglios linfáticos, estão distribuídos pelo organismo e encontram-se ligados a **vasos linfáticos**. Microrganismos podem penetrar em vasos linfáticos e serem retidos em linfonodos, que estão no trajeto do vaso; no interior dos linfonodos há diversos leucócitos ou macrófagos que podem combater o agente invasor. Os linfonodos ficam dilatados quando estão em processo de combate a um agente invasor, formando-se as chamadas **ínguas**, frequentes na região inguinal (na virilha), nas axilas e no pescoço (Fig. 2).

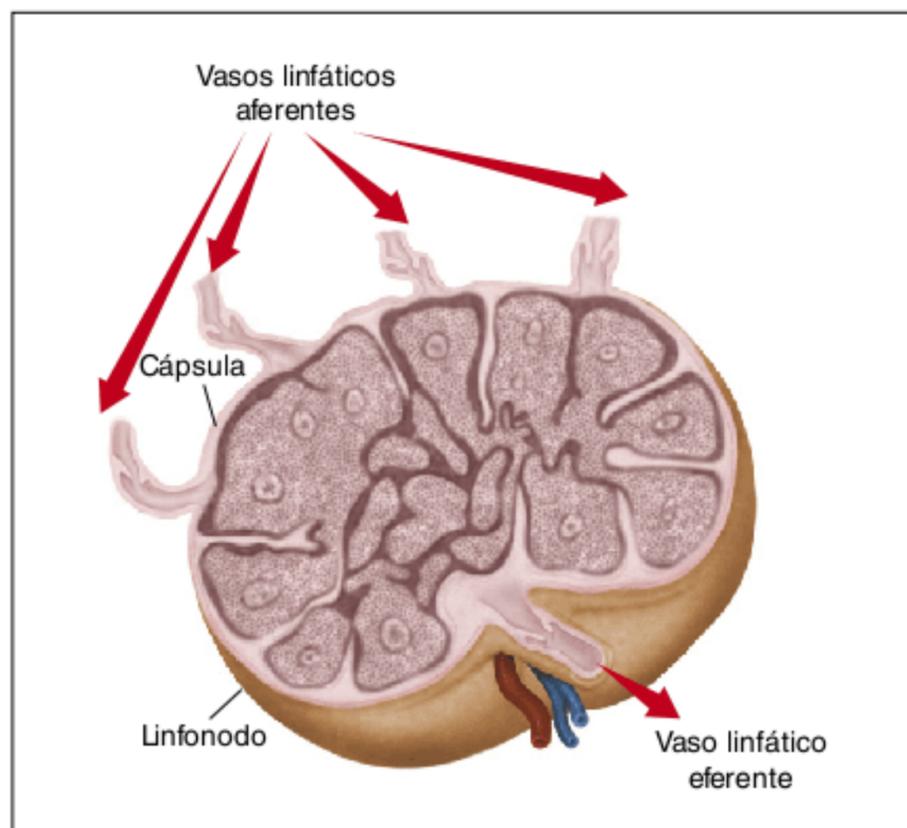


Fig. 2 Um linfonodo recebe linfa pelos vasos aferentes. A linfa pode trazer microrganismos, que são combatidos no interior do linfonodo.

Os **vasos linfáticos** são responsáveis pelo transporte da **linfa**, um líquido esbranquiçado/amarelado que possui água, proteínas e glóbulos brancos. Os vasos são dispostos paralelamente ao sistema circulatório e têm como função principal drenar o líquido (proveniente do sangue) que se acumula no espaço intersticial. Através da rede de vasos, esse líquido é devolvido ao sangue. O **baço** é um órgão essencial no sistema imune, pois participa do processo de produção de anticorpos. Já as **tonsilas** são aglomerados de tecido linfóide, mas que não entram em contato direto com os vasos linfáticos.

## Resposta inflamatória

Uma lesão na pele causada por um espinho, por exemplo, pode introduzir algumas bactérias que podem proliferar no organismo e causar danos maiores. O organismo desenvolve, em situações como essa, uma resposta de defesa conhecida como **reação inflamatória**. O tecido atingido apresenta quatro sinais: **calor**, **rubor** (vermelhidão), **tumor** (aumento de volume) e **dor**. A área afetada passa a receber maior fluxo sanguíneo, tomando a região mais avermelhada e com temperatura mais alta que o normal. A permeabilidade dos capilares aumenta e isso propicia liberação de líquido para o fluido intersticial, aumentando o volume do tecido (tumor) e causando o inchaço característico. Há também a liberação de substâncias (como as **bradisininas**) que provocam dor.

O local é envolvido por uma **rede de fibrina**, coibindo e dificultando a dispersão das bactérias infectantes para outras partes do organismo. Leucócitos dos tipos **neutrófilos** e **monócitos** atravessam a parede dos capilares (processo chamado **diapedese**) e fagocitam bactérias (Fig. 3). Trava-se uma verdadeira batalha contra os invasores, na qual ocorre a morte de vários tipos de células: bactérias, leucócitos e células do tecido atingido; esse conjunto constitui o **pus**. A bolsa formada pelo acúmulo de pus constitui um abscesso e, com o tempo, o conteúdo é eliminado para a superfície da pele por meio de uma abertura. Apesar do desconforto, a reação inflamatória, dentro de certos limites, é benéfica ao organismo, pois corresponde ao combate aos agentes invasores.

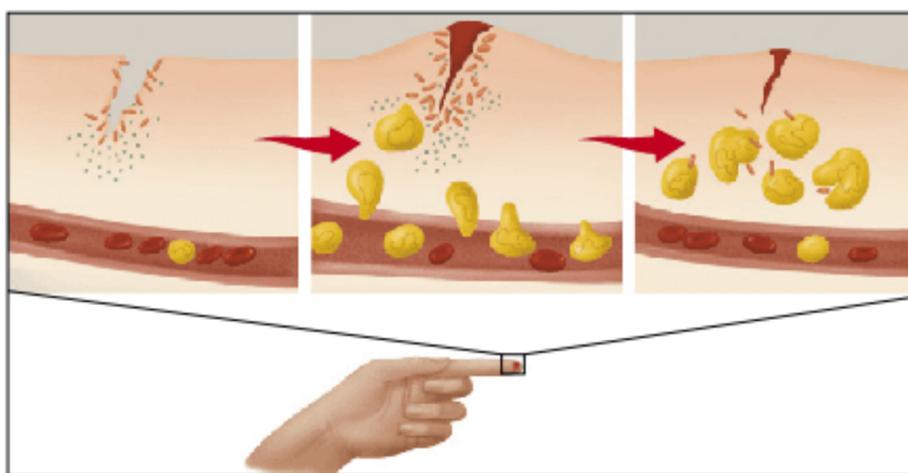


Fig. 3 Alguns aspectos da reação inflamatória, incluindo a diapedese de leucócitos e a fagocitose de microrganismos.

## Resposta imune

O organismo pode reconhecer estruturas que não são próprias do corpo, mas provenientes do ambiente. **Antígeno** é o nome dado às estruturas que podem ser reconhecidas como corpos estranhos ao organismo, como os vírus, as bactérias, os protozoários e diversos tipos de substâncias (toxinas).

Os **anticorpos** são proteínas de defesa capazes de se ligar a antígenos específicos, evitando ou minimizando os potenciais danos que eles possam causar; os anticorpos são específicos para os antígenos aos quais se ligam.

Antígenos introduzidos no organismo nem sempre são potencialmente perigosos, como ocorre no caso de transplantes e de transfusões sanguíneas. O sistema imunitário, contudo, não tem esse “discernimento” sobre as “intenções” do antígeno, pois a seleção natural, ao longo de milhões de anos, reconheceu os elementos não pertencentes ao organismo como fonte de perigo potencial.

A **resposta imune**, propriamente dita, é o processo de combate aos antígenos invasores, promovendo a defesa do organismo, ou seja, sua imunização; consta de duas modalidades: **imunização humoral** e **imunização celular**. Quando tratamos de resposta imune, é importante salientar os tipos de células de defesa presentes no organismo. Os **leucócitos** (ou **glóbulos brancos** do sangue) são as células responsáveis pelo combate a antígenos e dividem-se em diversos grupos celulares: **linfócitos** e os **macrófagos**. Os linfócitos podem apresentar-se como linfócitos T ou B, sendo ambos de vários tipos (Tab. 1).

A **imunização humoral** envolve a produção de anticorpos e a **imunização celular** envolve a atuação das células de defesa.

O processo de resposta imune é iniciado a partir do momento que os antígenos invadem pela primeira vez o organismo; assim, o sistema imunitário é acionado. Os linfócitos B são responsáveis pelo reconhecimento dos invasores e, quando entram em contato com o antígeno, são estimulados a se dividirem e a se diferenciarem em plasmócitos.

Os **plasmócitos** realizam a síntese de anticorpos e os linfócitos T4 (ou CD4) – conhecidos como linfócitos auxiliares –, linfócitos T8 e linfócitos B podem se converter em linfócitos de memória (Tab. 1). O ataque aos antígenos é feito então pelos anticorpos.

Células envolvidas	Atuação
Macrófagos	<ul style="list-style-type: none"> <li>Fagocitam microrganismos e expõem alguns de seus antígenos na superfície de sua própria membrana.</li> <li>Apresentam esses antígenos a linfócitos T4.</li> </ul>
Linfócitos T4 (auxiliares)	<ul style="list-style-type: none"> <li>Estimulados por interleucinas, multiplicam-se e diferenciam-se em células de memória imunitária.</li> <li>Estimulam, também através de interleucinas, os linfócitos T8 e os linfócitos B.</li> </ul>
Linfócitos T8 (citotóxicos)	<ul style="list-style-type: none"> <li>Destroem determinadas células (como as provenientes de transplantes, as cancerosas e as que possuem vírus) por meio de perforinas (substâncias que lesam a membrana plasmática das células).</li> </ul>
Linfócitos B	<ul style="list-style-type: none"> <li>Estimulados por interleucinas, multiplicam-se e completam o reconhecimento do antígeno.</li> <li>Alguns se convertem em células de memória imunitária e outros em plasmócitos.</li> </ul>
Plasmócitos	<ul style="list-style-type: none"> <li>Resultam da diferenciação de linfócitos B.</li> <li>São responsáveis pela síntese de anticorpos.</li> </ul>

Tab. 1 Principais células que atuam na resposta imune.

A primeira exposição ao antígeno desencadeia a **resposta imunitária primária** que demora alguns dias para iniciar a síntese de anticorpos, atingindo, no final do processo, concentração plasmática reduzida dessas proteínas.

A produção de anticorpos é estimulada pela presença do antígeno no organismo; com o desaparecimento do antígeno, cessa a produção de anticorpos, mas permanecem as células de memória imunológica. Isso acontece, pois, com o tempo, o organismo pode entrar novamente em contato com o mesmo antígeno e assim poderá ser desencadeada a **resposta imunitária secundária**, com a participação dessas células. O resultado dessa resposta é a síntese mais rápida de anticorpos que atingem concentração plasmática mais elevada e garantem o combate mais eficaz do antígeno (Fig. 4). Caso o organismo seja exposto novamente ao mesmo antígeno, as células de memória desencadearão uma rápida produção de anticorpos específicos contra aquele antígeno invasor ou atacarão as células infectadas diretamente (no caso da utilização de linfócitos T8). O organismo humano pode ser protegido através de **soros** ou de **vacinas**.

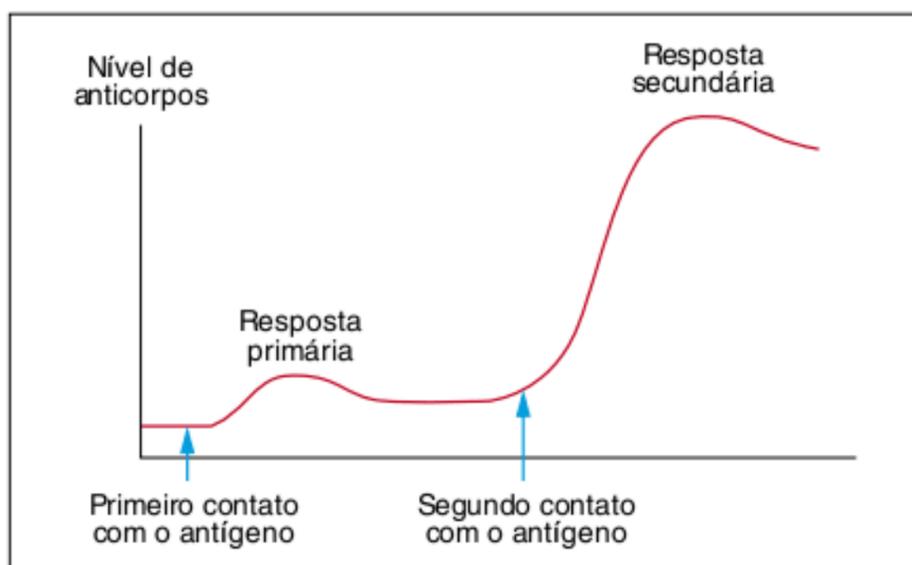


Fig. 4 Gráfico representativo da variação do nível de anticorpos na resposta imune primária e secundária.

### Soro imune e imunização passiva

O **soro** é um produto que contém **anticorpos prontos**. Um exemplo é o soro empregado para tratar pessoas que sofreram acidentes com mordidas de serpentes, como a cascavel. O veneno dessa serpente é extremamente perigoso e pode causar a morte do indivíduo. O tratamento é efetuado com o emprego de **soro anticrotálico**. A obtenção desse soro envolve uma série de procedimentos: o veneno é retirado de serpentes, é diluído e depois aplicado em um cavalo. O sistema imunitário do animal é estimulado a produzir anticorpos. Posteriormente, retira-se uma parte do sangue do cavalo e dele é extraída a fração que contém anticorpos, obtendo-se o soro anticrotálico. Esse soro não é eficaz no tratamento de acidentes com veneno de **jararaca** que requer um outro tipo de soro, o **antibotrópico**. Isso se deve ao fato de os anticorpos serem específicos em relação aos seus antígenos.

O soro imune tem, portanto, anticorpos prontos e apresenta uma **atuação rápida**, tendo **efeito curativo**, ou seja, é empregado para o tratamento de um distúrbio. Por outro lado, a presença dos anticorpos do soro é de pequena durabilidade, uma vez que são destruídos no fígado após alguns dias.

O emprego de soro corresponde a uma **imunização passiva** (pois a pessoa não produz os anticorpos) e é um processo de **imunização artificial**, pois requer uma série de procedimentos técnicos e não tem ocorrência em condições naturais. A imunização passiva **não desenvolve memória imunológica** e o organismo não fica preparado para outro contato com o antígeno.

Um exemplo de **imunização passiva natural** ocorre quando uma mulher grávida transfere anticorpos para o feto. Assim, quando a criança nasce, tem uma proteção contra vários agentes do ambiente. O aleitamento materno também transfere anticorpos da mãe para o filho, o que representa outra modalidade de imunização passiva natural.

### Vacina e imunização ativa

A vacina tem a finalidade de **preparar o organismo para o contato com um antígeno** potencialmente perigoso, como toxinas, bactérias ou vírus. Na preparação de uma vacina, isola-se o **antígeno** e ele é introduzido no organismo. Os antígenos da vacina estimulam o sistema imunitário a produzir anticorpos específicos. Esse procedimento **desenvolve memória imunológica** e prepara o organismo para um futuro contato com o antígeno. Caso o novo contato ocorra, o organismo produzirá grande quantidade de anticorpos em um curto intervalo de tempo. Assim, a vacina tem **ação preventiva**, seu efeito é mais lento do que o emprego de soro, porém tem maior durabilidade. Trata-se de uma modalidade de **imunização ativa**, pois o indivíduo produz seus próprios anticorpos; também é uma forma de **imunização artificial**, pois envolve uma série de procedimentos técnicos e não tem ocorrência natural. Quando uma pessoa contrai uma doença (sarampo, por exemplo), pode sobreviver à enfermidade e ficar imune a ela. Trata-se de um processo de **imunização ativa e natural**.

A preparação da vacina envolve uma série de procedimentos técnicos. Em alguns casos, pode-se empregar **bactérias ou vírus mortos** (vírus sem capacidade de reprodução) na preparação da vacina. Há também vacinas preparadas com o emprego de **vírus vivos enfraquecidos**, sem capacidade de produzir doença em um indivíduo cujo sistema imunitário esteja funcionando adequadamente; é o caso da vacina contra a **febre amarela** e da **vacina Sabin** (contra a poliomielite). Já a vacina **antitetânica** é produzida a partir da toxina que a bactéria causadora do tétano produz e não da própria bactéria.

## Revisando

**1** Quais são as primeiras barreiras que os agentes potencialmente perigosos encontram ao tentarem entrar em nosso corpo?

---



---

**2** O sistema imunitário é constituído por órgãos primários e secundários. Quais são eles e como participam na defesa do organismo?

---



---

**3** Como ocorre a chamada reação inflamatória?

---



---

**4** O que é resposta imune?

---



---

**5** O que é o soro? Em que casos ele é usado?

---



---

**6** Sobre a vacina, responda:

a) Para que é usada?

---



---

b) De que é feita?

---



---

c) Como funciona?

---



---

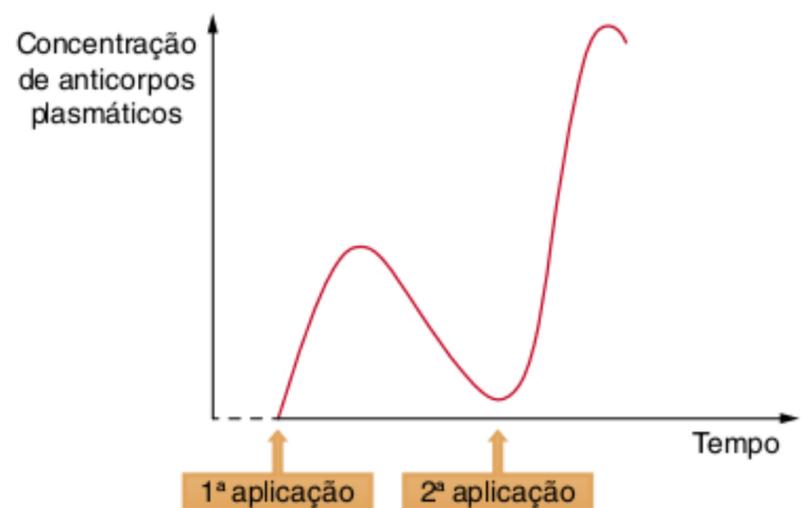
## Exercícios propostos

**1 UFPR** Os anticorpos, componentes do nosso sistema de defesa, são proteínas sintetizadas para combater agentes externos (bactérias e vírus, por exemplo) ou seus produtos e permanecem na corrente sanguínea prontos para nos proteger da ação de patógenos, muitas vezes por períodos bastante longos. Os anticorpos também são capazes de proteger o embrião humano, na vida intrauterina. Em relação às características dos anticorpos, é correto afirmar que:

- 01 são capazes de neutralizar toxinas bacterianas.
- 02 são capazes de neutralizar os vírus.
- 04 são produzidos somente pela vacinação.
- 08 podem atravessar a barreira placentária.
- 16 são dotados de memória imunológica.
- 32 são capazes de imobilizar os microrganismos.

Soma =

**2 PUC-MG** Os anticorpos são proteínas específicas de defesa do corpo. O gráfico ao lado representa o resultado de duas aplicações de mesmo antígeno, em intervalos diferentes.



É correto afirmar, exceto:

- (a) Doenças diferentes em intervalos menores de tempo provocariam a mesma intensidade de produção de antígenos.
- (b) A dose de reforço provoca produção maior e mais rápida de anticorpos.
- (c) O tipo de imunização explicitado é ativa.
- (d) O gráfico mostrado exemplifica a ação das vacinas.

**3 Unesp** Um menino colocou a mão em um buraco onde havia uma cobra e, apesar de não tê-la tocado, foi picado por ela. Seu pai, um biólogo, mesmo sem ver a cobra, deduziu que ela era peçonhenta e socorreu o filho, tratando-o com soro antiofídico.

- a) Que característica desse réptil levou o pai a deduzir que se tratava de cobra peçonhenta? Cite outra característica morfológica facilmente identificada na maioria dessas cobras.
- b) Qual é a substância imunológica presente no soro antiofídico responsável pela inativação do veneno? Como esse soro é produzido?

**4 UFG**

Onde não há cozinhas  
pratos por lavar  
vigílias, fraldas sujas  
coqueluches, sarampos.

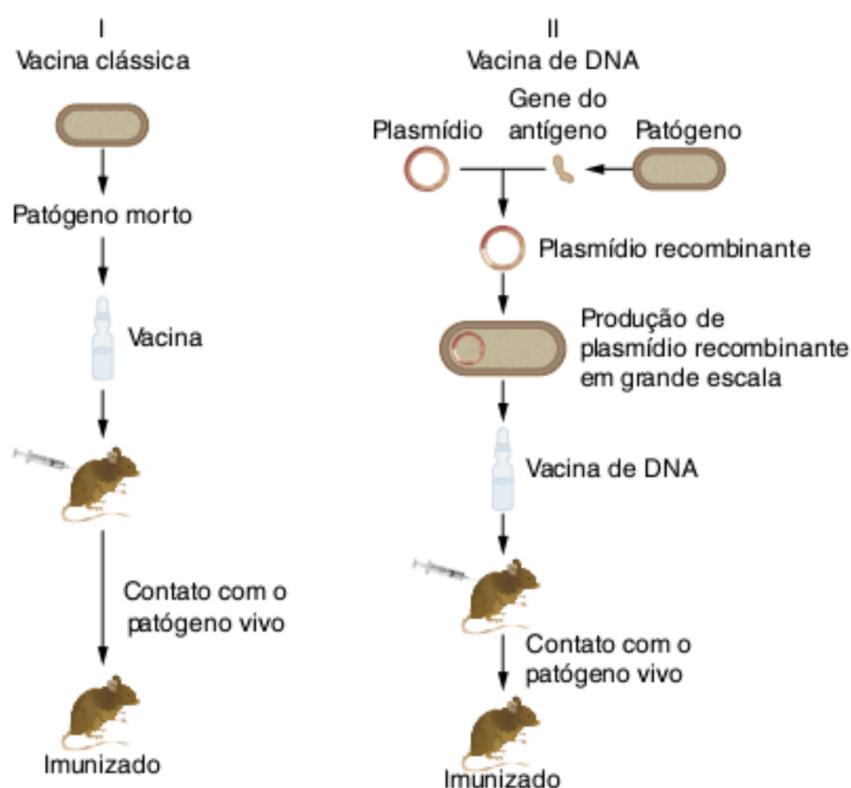
"Outro retrato". José Paulo Paes.

"[...] coqueluches, sarampos" são alterações no bem-estar físico do indivíduo que, normalmente, aparecem na infância.

Essas doenças:

- são transmitidas por vírus e enquadram-se no grupo das que causam desidratação.
- comprometem os nódulos linfáticos das virilhas, ao provocar nos indivíduos do sexo masculino o aumento da produção de urina.
- são típicas das regiões úmidas e frias e têm como vetores insetos do gênero *Anopheles sp.*
- podem ser prevenidas pela aplicação de vacinas na primeira fase da vida ou tratadas com medicamentos adequados.

**5 UFMG 2003** Analise estas figuras.



Considerando-se os processos de imunização representados, é incorreto afirmar que:

- (a) os anticorpos são produzidos tanto em I quanto em II.
- (b) o código genético do patógeno é igual ao do camundongo.
- (c) o antígeno do patógeno é produzido pelo camundongo em I.
- (d) o mRNA do antígeno do patógeno é traduzido em II.

**6 UFRJ 2003** A febre aftosa é uma doença virótica que afeta diversos animais de importância econômica, tais como vacas e ovelhas. Países que não vacinam seus rebanhos contra febre aftosa restringem a importação de carne de países onde a vacinação ocorre, dificultando as relações comerciais internacionais. As restrições à importação de carne se baseiam no fato de que os testes disponíveis utilizam a detecção de anticorpos contra o vírus e não a detecção do próprio vírus na carne. Estes testes geram resultados semelhantes para animais vacinados e animais que contraíram a doença.

Determine se os resultados dos testes seriam positivos ou negativos tanto para animais infectados quanto para vacinados. Justifique sua resposta.

**7 UFF** Pesquisas biológicas vêm sendo desenvolvidas com os tripulantes dos voos espaciais. Uma dessas, realizada por pesquisadores da Nasa, tem o objetivo de estudar até que ponto o sistema imunológico se altera durante voos espaciais.

A experiência, a ser realizada na Terra e no espaço, consiste na análise de amostras de sangue e saliva antes e após a injeção de um determinado antígeno. A comparação dos resultados obtidos poderá indicar o quanto a resposta imunológica estará afetada.

Disponível em: <<http://spaceflight.nasa.gov/shuttle/archives/sts-74/orbit/payloads/lifes/regimmun.htm>>. Trad. livre. (Adapt.).

Se ao final da experiência mencionada for demonstrado que a resposta imunológica humoral diminui durante os voos espaciais, conclui-se que, nessas condições, ocorre menor:

- (a) fagocitose do antígeno mediada pelos linfócitos B.
- (b) produção de anticorpos pelos linfócitos T citotóxicos.
- (c) produção de imunoglobulinas pelos neutrófilos.
- (d) produção de anticorpos mediada pelos linfócitos B.
- (e) produção de imunoglobulinas pelos macrófagos.

**8 PUC-MG 2004** A vacina de DNA é a mais recente forma de apresentação de antígeno que veio revolucionar o campo da vacinologia. O processo envolve a inoculação direta do DNA plasmidial, que possui o gene codificador da proteína antigênica, que será expressa e produzida no interior das células do indivíduo. Esse tipo de vacina apresenta uma grande vantagem sobre as demais, pois fornece para o hospedeiro a informação genética necessária para que ele fabrique o antígeno, preservando todas as suas características importantes na indução de uma resposta imune eficiente. Isso sem gerar os efeitos colaterais que podem aparecer quando são utilizados patógenos vivos, ou os problemas proporcionados pela produção das vacinas de subunidades em microrganismos.

Desenvolvimento de vacinas gênicas. *Scientific American*, 1999.

Com base no texto, foram feitas as seguintes afirmações.

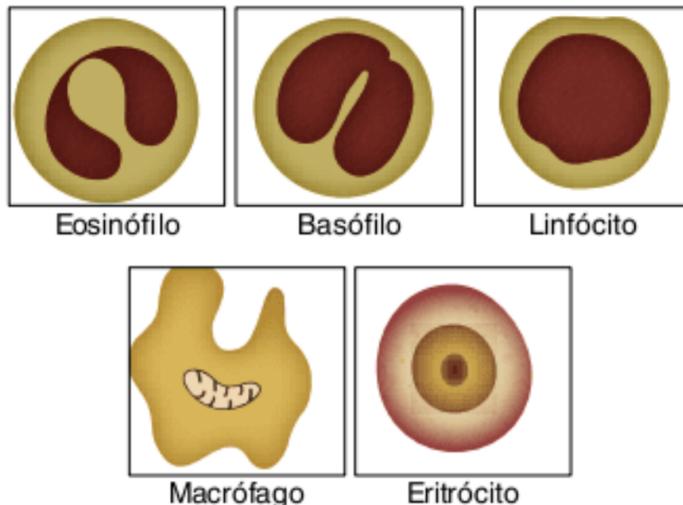
- I. A imunidade desenvolvida pela vacina de DNA não é imediata, mas é de longa duração.

- II. O indivíduo geneticamente vacinado passa a produzir tanto os antígenos quanto os anticorpos.
- III. Patógenos vivos não podem ser usados como vacina, pois não determinam imunidade e sim doenças.
- IV. Os antígenos produzidos pelo DNA plasmidial são capazes de combater patógenos que infectem o hospedeiro.

São afirmações corretas:

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

**9 PUC-PR 2004** Compartilhamos o ambiente com uma série de microorganismos que podem causar infecções nos seres humanos. As nossas células de defesa exercem o seu papel por meio da fagocitose e da produção de anticorpos.

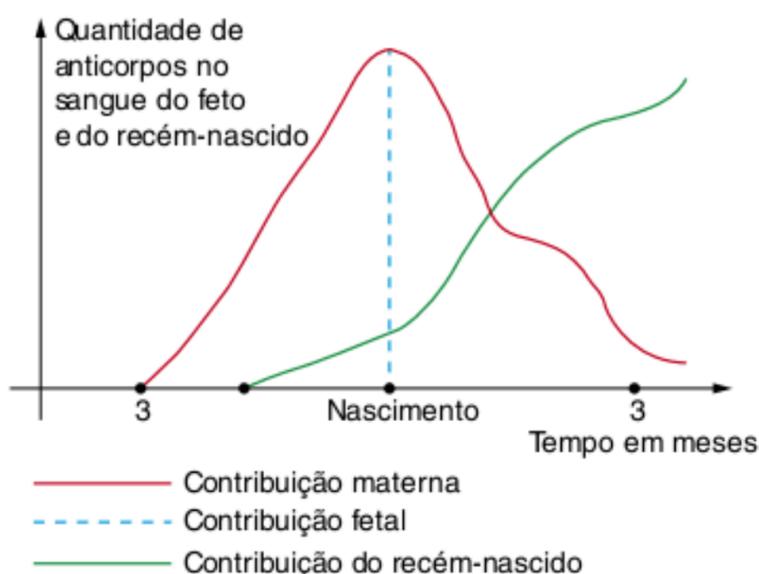


S. Lopes. Bio. São Paulo: Saraiva, 1999.

São exemplos dessas células, respectivamente:

- (a) linfócitos e basófilos.
- (b) eosinófilos e eritrócitos.
- (c) macrófagos e linfócitos.
- (d) eritrócitos e macrófagos.
- (e) leucócitos e linfócitos.

**10 Fatec 2005** A análise do gráfico permite concluir que:



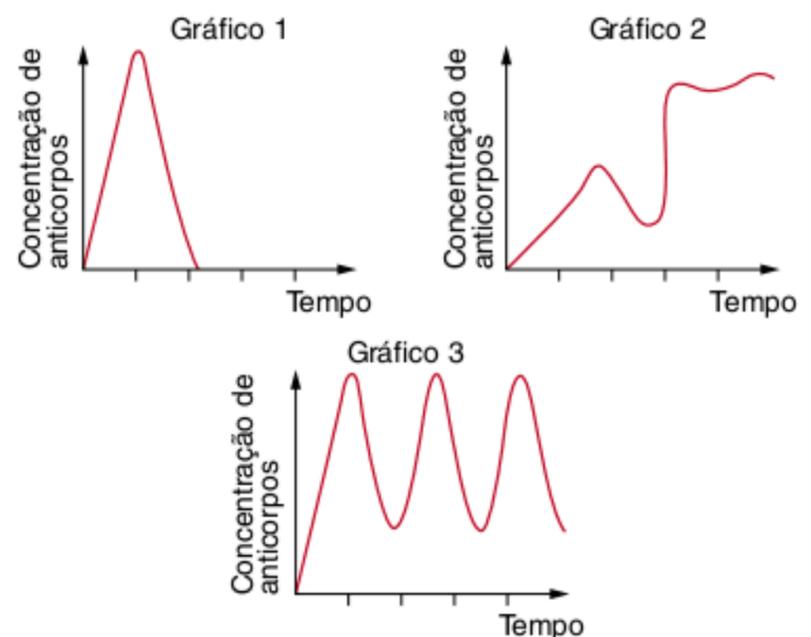
- (a) na época do nascimento a criança não está protegida, pois produz poucos anticorpos.
- (b) antes do nascimento, o feto nunca produz anticorpos.
- (c) o recém-nascido não produz anticorpos.
- (d) após o nascimento, a criança depende completamente dos anticorpos maternos, pois não produz os próprios anticorpos.
- (e) após o nascimento, a criança depende dos anticorpos maternos, embora já esteja produzindo os seus.

**11 PUC-MG 2005** As defesas inatas dos organismos são geralmente mecanismos de proteção que inibem a entrada ou o desenvolvimento de organismos causadores de doenças. Assinale a alternativa que não apresenta a relação correta entre o fator de defesa e sua função.

- (a) Fagócitos – previnem a entrada de patógenos e substâncias estranhas.
- (b) Secreções mucosas – prendem microrganismos no trato digestivo e respiratório.
- (c) Lágrima – lubrifica e limpa e contém lisozima, que destrói bactérias.
- (d) Descamar da epiderme – opõe-se à colonização da pele por alguns patógenos.

**12 Uerj 2005** A função do sistema imunológico é a de defender o organismo contra invasores. Bactérias, vírus, fungos, tecidos ou órgãos transplantados e mesmo simples moléculas podem ser reconhecidos pelo organismo como agentes agressores.

- a) Os gráficos a seguir mostram a variação da concentração de anticorpos contra um determinado antígeno no sangue de uma pessoa, em função do tempo, em duas condições: vacinação ou soroterapia.



Um dos gráficos mostrados corresponde à variação da concentração de anticorpo antiofídico no sangue de uma pessoa mordida por uma serpente e tratada com uma dose do soro apropriado. Justifique por que esse tratamento deve ser feito logo após a picada do animal e por que, em casos mais graves, deve ser repetido a intervalos de tempo relativamente curtos.

- b) Na eritroblastose fetal, a mãe produz anticorpos contra o fator Rh do filho. A doença só se manifesta, porém, a partir da segunda gravidez. Indique a condição que deve estar presente no feto para o desenvolvimento da eritroblastose em filhos de mulheres que não produzem fator Rh. Explique por que, mesmo nessas circunstâncias, o primeiro filho nunca é afetado.

**13 UFMG 2005** A Campanha Nacional de Vacinação do Idoso, instituída pelo Ministério da Saúde do Brasil, vem-se revelando uma das mais abrangentes dirigidas à população dessa faixa etária. Além da vacina contra a gripe, os postos de saúde estão aplicando, também, a vacina contra pneumonia pneumocócica.

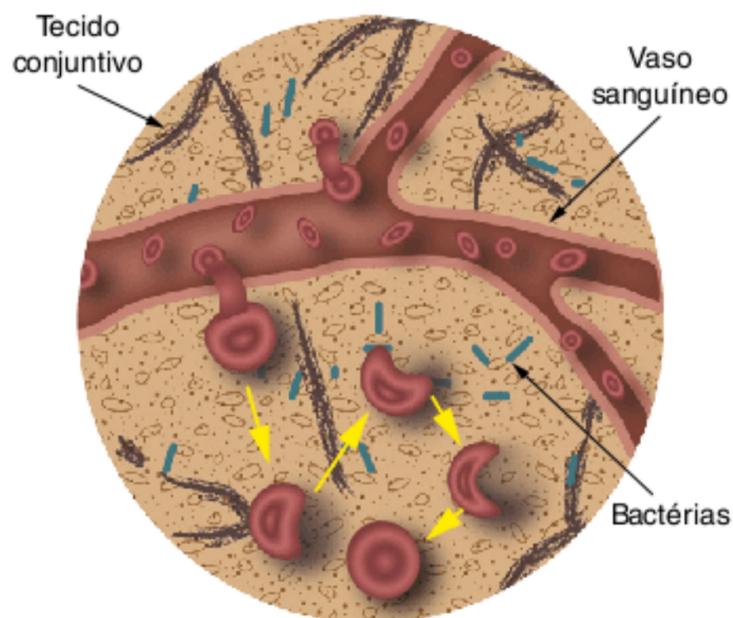
É correto afirmar que essas vacinas protegem porque:

- (a) são constituídas de moléculas recombinantes.
- (b) contêm anticorpos específicos.
- (c) induzem resposta imunológica.
- (d) impedem mutações dos patógenos.

**14 Unifesp 2005** A revista *Veja* (28/07/2004) noticiou que a quantidade de imunoglobulina extraída do sangue dos europeus é, em média, de 3 gramas por litro, enquanto a extraída do sangue dos brasileiros é de 5,2 gramas por litro. Assinale a hipótese que pode explicar corretamente a causa de tal diferença.

- (a) Os europeus tomam maior quantidade de vacinas ao longo de sua vida.
- (b) Os brasileiros estão expostos a uma maior variedade de doenças.
- (c) Os antígenos presentes no sangue do europeu são mais resistentes.
- (d) Os anticorpos presentes no sangue do brasileiro são menos eficientes.
- (e) Os europeus são mais resistentes às doenças que os brasileiros.

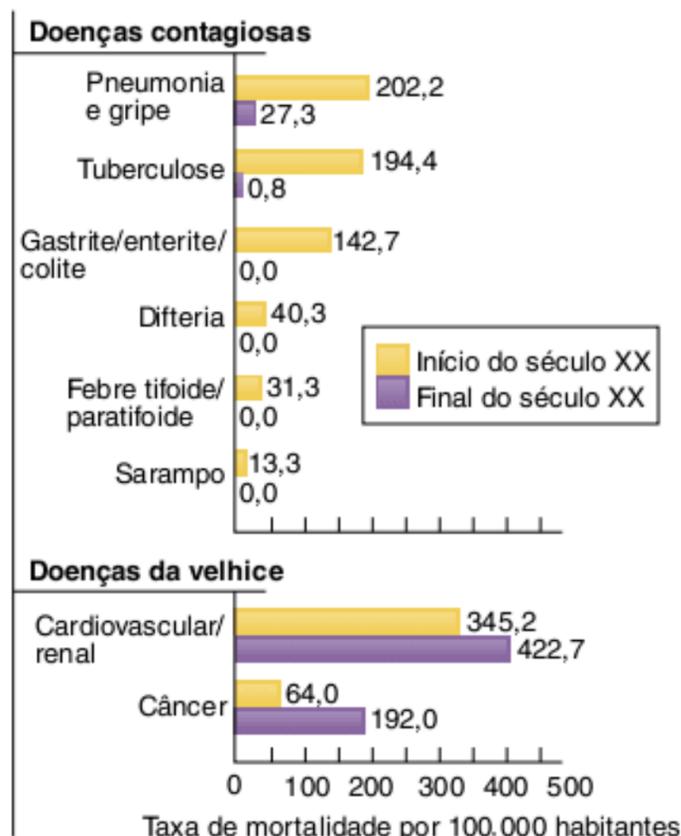
**15 PUC-MG 2005** O sangue pode realizar várias funções no nosso corpo. Dentre elas, a de defesa contra microrganismos é realmente notável, pois envolve um grupo de células especializadas. A figura a seguir mostra, de forma esquemática, o modo como essas células do sangue podem realizar seu papel de defesa.



Assinale a afirmativa incorreta.

- (a) Os neutrófilos são glóbulos brancos capazes de atravessar as paredes dos capilares sanguíneos.
- (b) A destruição de bactérias que invadem o tecido conjuntivo depende de moléculas enzimáticas produzidas pelos glóbulos vermelhos.
- (c) O tecido conjuntivo, invadido por células sanguíneas e bactérias, pode apresentar um quadro inflamatório.
- (d) Os glóbulos brancos que saem dos capilares podem realizar fagocitose, processo que engloba bactérias invasoras.

**16 Unesp 2005** Analise o gráfico que descreve causas de óbitos humanos nos Estados Unidos no início e no final do século XX.



Considerando que esse quadro retrata as condições encontradas em outros países industrializados, responda:

- a) Que tendência pode ser observada quando se comparam as taxas de mortalidade por doenças contagiosas e por doenças degenerativas (também chamadas "doenças da velhice") no início e no final do século XX?
- b) Cite dois fatores que podem explicar as mudanças observadas nas taxas de mortalidade por doenças contagiosas.

**17 CEFET-MG 2005** Uma lesão na pele pode infeccionar quando aparecem **células de defesa** que **atravessam os capilares** e caem no tecido conjuntivo, protegendo o organismo. Os termos destacados referem-se, respectivamente, aos:

- (a) trombócitos e fagocitose.
- (b) euritrócitos e pinocitose.
- (c) leucócitos e diapedese.
- (d) neutrófilos e clasmocitose.

**18 Cesgranrio** Um organismo recebeu uma primeira dose de um antígeno X e, como resposta imune, produziu anticorpos específicos.

Se, após algum tempo, for aplicada uma segunda dose do mesmo antígeno, espera-se que o organismo:

- (a) reaja da mesma forma como reagiu à primeira dose.
- (b) reaja sem utilizar seus anticorpos.
- (c) não produza mais anticorpos, por estar imunizado.
- (d) não consiga reagir a essa segunda dose.
- (e) produza anticorpos mais rapidamente.

**19 UEG 2005** O termo inflamação pode ser definido como:

- (a) o processo de instalação, multiplicação e dano tecidual pela ação de um determinado patógeno.
- (b) a resposta do organismo contra diversos tipos de agentes lesivos, na tentativa de combatê-los e regenerar o tecido.
- (c) a produção de anticorpos específicos contra microrganismos invasores no organismo hospedeiro.
- (d) o estabelecimento de células tumorais em determinados tecidos, que originam o câncer.
- (e) a reação da memória imunitária a uma exposição antigênica subsequente.

## TEXTOS COMPLEMENTARES

### Imunidade natural contra HIV

Quando alguém é infectado com o vírus HIV, é geralmente uma questão de tempo até que desenvolva aids – período que pode ser ampliado com a introdução de tratamento medicamentoso, especialmente nos estágios iniciais da infecção.

Mas há um pequeno número de indivíduos que, mesmo exposto ao vírus, leva muito tempo para apresentar sintomas. E, em alguns casos, a doença simplesmente não se desenvolve.

Na década de 1990, pesquisadores mostraram que, entre aqueles que são naturalmente imunes ao HIV – que representam 1 em cada 200 infectados –, uma grande parte carregava um gene específico, denominado HLA B57. Agora, um grupo de pesquisadores nos Estados Unidos revelou um novo fator que contribui para a capacidade desse gene em conferir imunidade.

O grupo, liderado pelos professores Arup Chakraborty, do Instituto de Tecnologia de Massachusetts, e Bruce Walker, do Instituto Médico Howard Hughes, descobriu que a presença do HLA B57 faz com que o organismo produza mais linfócitos T – glóbulos brancos que atuam na proteção contra infecções.

Pessoas com o gene têm um número maior de linfócitos T, que se grudam fortemente com mais pedaços do HIV do que aqueles

que não têm o gene. Isso aumenta as chances de os linfócitos reconhecerem células que expressam as proteínas do vírus, incluindo versões mutantes que surgiram durante a infecção.

Esse efeito contribui para o controle maior da infecção pelo HIV (e por qualquer outro tipo de vírus que evolua rapidamente), mas também torna as pessoas mais suscetíveis a doenças autoimunes, nas quais os linfócitos T atacam as próprias células do organismo.

“A descoberta poderá ajudar pesquisadores a desenvolver vacinas que provoquem a mesma resposta ao HIV que ocorre naqueles que têm o gene HLA B57. O HIV está se revelando lentamente. Essa descoberta representa outro ponto em nosso favor na luta contra o vírus, mas ainda temos um caminho muito longo pela frente”, disse Walker.

“Esse é um estudo notável que começou com uma observação clínica, integrou observações experimentais, gerou um modelo valioso e derivou desse modelo um conhecimento profundo do comportamento do sistema imunológico humano. Raramente alguém tem a oportunidade de ler um artigo que expande tão grandemente o conhecimento humano”, disse David Baltimore, professor de Biologia do Instituto de Tecnologia da Califórnia e ganhador do Nobel de Medicina e Fisiologia em 1975.

Agência FAPESP, 6 maio 2010.

Disponível em: <[www.agencia.fapesp.br/12140](http://www.agencia.fapesp.br/12140)>.

### Lidando com as picadas de cobras

Se uma cobra picou você e há a suspeita de que seja venenosa, vá para o pronto-socorro mais próximo. Algumas picadas de cobras, principalmente aquelas que têm guizo (ou chocalho), como a cascavel, podem ser fatais. No entanto, o PS de um hospital costuma ter soros muito eficazes para combater o veneno.

Caso você esteja distante de um posto médico, há algumas dicas que você pode seguir enquanto procura ajuda:

- peça para alguém capturar a cobra e matá-la (mas só se isso puder ser feito sem colocar a outra pessoa em risco). Coloque a cobra em um saco e leve-a ao hospital com você, pois isso vai permitir que a equipe médica identifique a cobra corretamente e use o soro correto.
- mantenha-se calmo, imóvel e aquecido. Tente não entrar em pânico, pois o nervosismo estimula o coração a bombear mais sangue, o que só vai ajudar a aumentar a velocidade com que o veneno é espalhado pelo seu corpo. Procure respirar profunda e vagarosamente.
- se a picada foi nas pernas ou nos braços, retire anéis, pulseiras, sapatos ou meias, pois as extremidades podem inchar. Se possível, fique deitado e imobilize os membros, elevando-os a uma posição acima do restante do corpo.
- caso tenha um kit extrator de veneno, aplique o aparelho de sucção por um período de 30 a 40 minutos ou até você chegar ao hospital.

- não aplique gelo, não corte o local da picada com uma faca e não tente chupar o veneno da ferida. Esses métodos ultrapassados de tratamento não ajudam em caso de mordida de cobra. Peça ajuda. Se você for envenenado, pode ser que comece a se sentir tonto. Não tente ir sozinho ao hospital.

### Fique longe das cobras

É possível reduzir as chances de ser picado por uma cobra se seguir as instruções abaixo:

- Mantenha a grama aparada, os arbustos cortados e retire os galhos do jardim e de terrenos próximos. Isso irá reduzir o número de lugares onde as cobras podem se abrigar e se esconder.
- Avise as crianças para não brincarem em terrenos baldios e infestados por ervas.
- Use varas para mexer em lenha, galhos ou tábuas.
- Use botas e calças longas ao trabalhar ou andar em áreas onde possam existir cobras.
- Nunca mexa em cobras, mesmo se estiverem mortas.
- Durma em uma cama portátil ao acampar em áreas infestadas por cobras.

[...]

“Como tratar picadas e mordidas.” *How Stuff Works*.

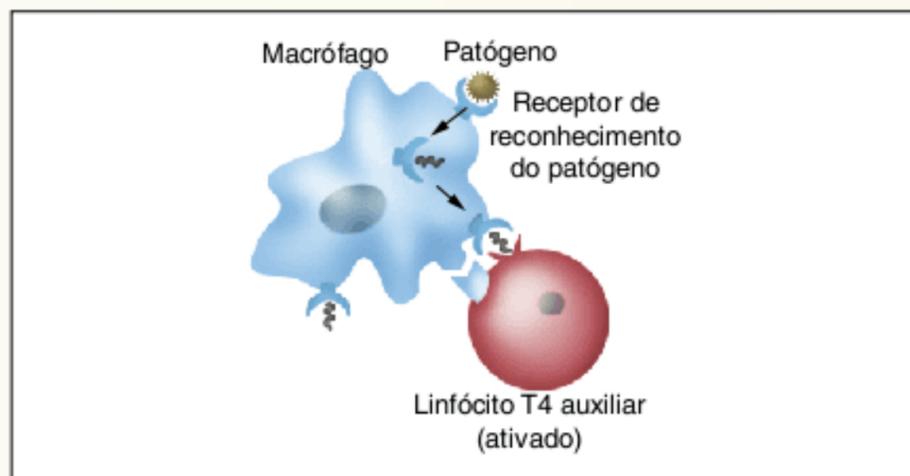
Disponível em: <<http://saude.hsw.uol.com.br/como-tratar-mordidas-e-picadas2.htm>>.

## Detalhes sobre a resposta imune

Quando o organismo entra em contato com antígenos, os linfócitos B começam a se dividir e a se diferenciar, formando os plasmócitos e também as células de memória imunológica (que guardarão as características do antígeno invasor). Os plasmócitos são células que produzem e secretam grandes quantidades de anticorpos que posteriormente se ligarão aos antígenos.

Os anticorpos eliminam os antígenos invasores com o auxílio de outras células de defesa. Podem neutralizar o invasor, impedindo-o de se ligar às células do organismo, por exemplo, podem atrair macrófagos para fagocitá-los e podem também estimular as células citotóxicas (linfócitos T8) para destruí-los. A questão é que o complexo formado pelo antígeno e anticorpo torna-se alvo fácil para as outras células de defesa.

Os **macrófagos** são responsáveis por detectar a presença dos antígenos marcados e fagocitá-los. O reconhecimento do antígeno é uma fase fundamental no processo de defesa imunitária, por isso, os macrófagos são considerados como “células apresentadoras de antígenos”. Essas células isolam os antígenos e os expõem na superfície de sua membrana.



Macrófagos reconhecem, fagocitam e expõem antígenos em sua superfície.

Através de um complexo processo de interações mediadas por substâncias conhecidas por **interleucinas**, os macrófagos transmitem informações a linfócitos T4. Essas células se dividem,

originando clones com dois destinos: converterem-se em células de memória imunológica e atuam influenciando mais linfócitos B e linfócitos T8 no ataque.

Os linfócitos T8, conhecidos como linfócitos citotóxicos, são responsáveis pela destruição de células cancerosas e atacadas por vírus. Liberam substâncias conhecidas como **perforinas** que promovem a ruptura das células atacadas. Alguns linfócitos T8 e linfócitos B convertem-se em células de memória imunológica.

Outros linfócitos são conhecidos como linfócitos auxiliares. Dentre eles, podem ser citados os linfócitos T4 que constituem células centrais na elaboração da resposta imune. Essas células podem ser atacadas pelos vírus da Aids, por exemplo, gerando efeitos devastadores na defesa do organismo.

Linfócitos T passam por um processo de maturação no timo (daí vem a designação de “T”). Já os linfócitos B não têm essa maturação no timo – a designação desses linfócitos como sendo do tipo “B” refere-se à maturação na estrutura conhecida como “Bursa de Fabricius”, presente em aves. Mamíferos não possuem essa estrutura; sua maturação se dá na própria medula óssea.

Quanto à manutenção do sistema imune, há a possibilidade de ocorrer vários tipos de desequilíbrio (causados por doenças ou não), o que pode ocasionar na imunodeficiência (resposta imune ineficiente) e na hipersensibilidade (resposta imune exagerada).

Na **imunodeficiência**, o resultado é a susceptibilidade a infecções oportunistas e a alguns tipos de câncer. O HIV (imunodeficiência adquirida) é um caso de doença que ataca o sistema imune da pessoa. Alguns medicamentos também podem reduzir a resposta imune do organismo, buscando, por exemplo, a aceitação de um órgão transplantado.

Existe também a **resposta imune exagerada** (normalmente de causa genética) que resulta em alergias a antígenos muito comuns no ambiente ou mesmo ao desenvolvimento de doenças autoimunes – que consiste em uma resposta imune contra as células e tecidos do próprio organismo. É o caso do lúpus, da diabetes tipo 1 (que cria anticorpos contra as células do pâncreas), do vitiligo e da artrite reumatoide.

## RESUMINDO

O organismo está exposto a muitos agentes potencialmente perigosos do ambiente, mas possui **barreiras** que evitam a entrada de invasores. Dentre elas, podem ser citadas a **pele**, as **mucosas**, a **saliva**, a **lágrima**, os **cílios** e **pelos** e as **enzimas digestivas**.

O **sistema imunitário** protege o organismo dos agentes que conseguem ultrapassar as barreiras anteriores. Esse sistema realiza a defesa através de células especializadas (como **leucócitos** e **macrófagos**) e possui órgãos primários e órgãos secundários.

- **Órgãos primários:** Nele há a produção e a maturação de células de defesa.
  - **Medula óssea:** conhecida como tutano. É um tecido esponjoso localizado no interior de alguns ossos.

- **Timo:** órgão pequeno localizado atrás do osso esterno. Diminui ao longo da vida.
- **Órgãos secundários:** recebem células dos órgãos primários e as transportam e proliferam.
  - **Linfonodos:** chamados de gânglios linfáticos. Distribuídos pelo corpo, encontram-se ligados a vasos linfáticos. Dilatam quando em processo de combate aos agentes invasores, formando as **ínguas**.
  - **Vasos linfáticos:** responsáveis pelo transporte da **linfa**.
  - **Baço:** Nele são produzidos os anticorpos.
  - **Tonsilas (amígdalas e adenoides):** aglomerados de tecido linfoide, sem contato com os vasos linfáticos.

- **Resposta inflamatória:** reação de defesa do organismo contra agentes invasores. O tecido infectado é envolvido por uma **rede de fibrina** (dificultando a dispersão das bactérias infectantes para outras partes do organismo). O local apresenta quatro sinais:
  - **calor:** resultado do maior fluxo sanguíneo.
  - **rubor:** resultado do maior fluxo sanguíneo.
  - **tumor:** resultado do aumento da permeabilidade dos capilares, havendo liberação de líquido para o fluido intersticial.
  - **dor:** resultado da liberação de substâncias como as **bradicininas**.
  - **diapedese:** passagem de **neutrófilos** e **monócitos** pela parede dos capilares.
  - **pus:** resultado da morte de vários tipos de células: bactérias, leucócitos e células do tecido atingido.
- **Resposta imune:** processo de combate aos antígenos invasores, promovendo a defesa/imunização do organismo.
  - **Imunização humoral:** envolve a produção de anticorpos.
  - **Imunização celular:** envolve a atuação das células de defesa.

A resposta imune é iniciada com a invasão por antígenos, ativando o sistema imunitário.

- **Linfócitos B:** são responsáveis pelo reconhecimento dos invasores. São estimulados a se dividirem e a se diferenciarem em plasmócitos.
- **Plasmócitos:** realizam a síntese de anticorpos.
- **Linfócitos T4 (ou CD4),** linfócitos T8 e linfócitos B: conhecidos como auxiliares, podem se converter em linfócitos de memória.
- **Anticorpos:** atacam os antígenos.
- **Resposta imunitária primária:** resposta à primeira exposição ao antígeno. Demora alguns dias para iniciar a síntese de anticorpos. Concentração de anticorpos final baixa.
- **Resposta imunitária secundária:** resposta à segunda exposição ao antígeno. Síntese de anticorpos mais rápida e concentração plasmática elevada. Combate eficaz ao antígeno. Consequência das células de memória.
- **Imunização passiva:** realizada com **soro** com **anticorpos prontos**. Pode ser artificial, como no caso de soro antiofídico e anticrotálico, ou natural, no caso da amamentação. Não há desenvolvimento de memória imunológica.
- **Imunização ativa:** realizada com **vacina** que possui antígenos (vivos enfraquecidos ou mortos) ou pelo contato com a doença. Prepara o organismo para o contato com um antígeno, isolando-o e introduzindo-o no organismo. É artificial (no caso da vacina) ou natural (no caso de haver o contato com a doença).

## ■ QUER SABER MAIS?



### SITES

- Vacina contra aids desenvolvida por pesquisadores da USP e testada em camundongos induz maior resposta imunológica se comparada com similares.  
<<http://cienciahoje.uol.com.br/noticias/2011/04/hiv-na-mira-de-vacina-brasileira>>.
- Leucócito perseguindo uma bactéria.  
<[www.youtube.com/watch?v=JnlULOjUhsQ](http://www.youtube.com/watch?v=JnlULOjUhsQ)>.
- Neste canal do How Stuff Works, há uma série de informações sobre vacinas, tratamento de picadas de cobras e outros assuntos interessantes.  
<<http://saude.hsw.uol.com.br/medicamentos-canal.htm>>



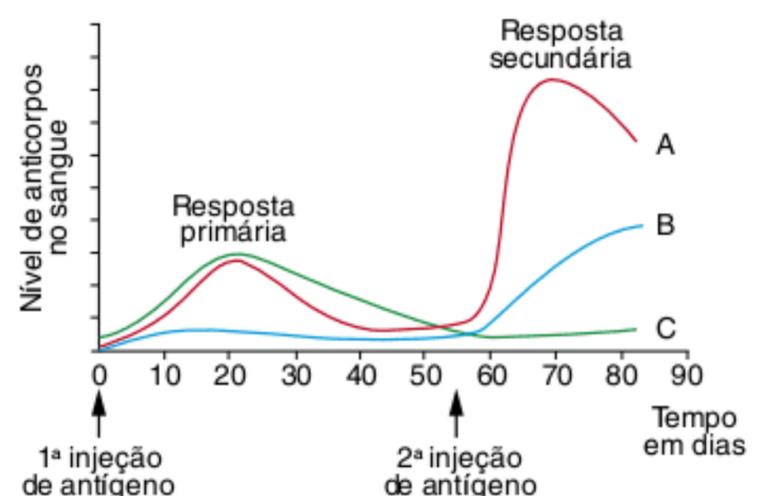
### FILMES

- *Viagem insólita.* Direção de Joe Dante. DVD. Warner Bros. Pictures, 1987. 120 min., colorido, legendado.
- *Viagem fantástica.* Direção de Richard Fleischer. DVD. 20th Century Fox, 1966. 100 min., colorido, legendado.

## Exercícios complementares

**1 Unicamp** Jararaca, cascavel, coral e urutu são exemplos de cobras venenosas que ocorrem no Brasil. Se picada por uma delas, a vítima deve ser tratada com soro antiofídico. O soro antiofídico poderia ser denominado vacina antiofídica? Explique.

**2 Unesp** O gráfico a seguir mostra as respostas primária e secundária da produção de anticorpos quando um indivíduo é submetido a injeções de antígenos.



Analisando o gráfico, responda:

- Qual a função do antígeno e qual curva corresponde às respostas primária e secundária?
- Explique o que acontece em relação aos anticorpos nas fases das respostas primária e secundária.

**3 Ufes** Um novo tipo de tratamento da aids começou a ser testado no Brasil e consiste em transmitir anticorpos anti-HIV, contidos no plasma de pessoas contaminadas há muitos anos, mas sem os sintomas da doença, para pessoas aidéticas sintomáticas. Tal tratamento, cuja intenção é fortalecer a defesa desses indivíduos, denomina-se:

- imunoterapia ativa.
- imunoterapia passiva.
- profilaxia.
- quimioterapia.
- vacinoterapia.

**4 UFMG** As vacinas utilizadas nas campanhas de imunização em massa são constituídas de:

- anticorpos que destruirão o agente infeccioso específico.
- anticorpos que persistirão ativos por toda a vida do receptor.
- drogas capazes de aumentar a resistência à infecção.
- microrganismos ou produtos deles derivados que induzirão a formação de anticorpos.
- soros obtidos de animais que neutralizarão os antígenos específicos.

**5 Fuvest** Um coelho recebeu, pela primeira vez, a injeção de uma toxina bacteriana e manifestou a resposta imunitária produzindo a antitoxina (anticorpo). Se após certo tempo for aplicada uma segunda injeção da toxina no animal, espera-se que ele:

- não resista a essa segunda dose.
- demore mais tempo para produzir a antitoxina.
- produza a antitoxina mais rapidamente.
- não produza mais a antitoxina por estar imunizado.
- produza menor quantidade de antitoxina.

**6 Fuvest** Após um traumatismo, um paciente teve que se submeter a uma cirurgia que removeu uma parte do seu corpo. Recuperou-se e passou a viver normalmente. A parte retirada era:

- o fígado.
- o diafragma.
- a hipófise.
- o pâncreas.
- o baço.

**7 Cesgranrio (Adapt.)** Todas as estruturas citadas a seguir podem ser ligadas à defesa do organismo, exceto:

- pâncreas.
- tonsilas.
- baço.
- timo.
- gânglios linfáticos.

**8** Explique o que é uma vacina e como funciona.

**9 Cesgranrio** Soros e vacinas fazem parte do arsenal usado no combate às doenças infecciosas (imunidade adquirida). Compare, respectivamente, a ação do soro e da vacina segundo estes tópicos:

- A natureza da imunização;
- Ação imediata ou não;
- A duração da imunização;
- O emprego curativo ou preventivo.

**10 Cesgranrio (Adapt.)** Os meios de comunicação têm noticiado que a Unicef (Fundo das Nações Unidas para a Infância) estabeleceu como uma de suas metas globais a imunização de 90% das crianças, o que reduzirá a mortalidade infantil em pelo menos um terço.

Para que essa meta seja atingida, é necessária a vacinação que consiste em injetar no organismo:

- vírus ou bactérias vivas para provocar a doença de forma branda. O corpo, imunizado, produzirá antígenos específicos.
- um medicamento eficaz no combate à doença já instalada e que produza no corpo uma reação para a fabricação de anticorpos específicos e resistentes.
- vírus ou bactérias mortos ou atenuados que, reconhecidos pelo corpo como antígenos, induzam a produção de anticorpos específicos.
- o plasma, retirado de pessoas que já tiveram a doença, para que o corpo produza antígenos e anticorpos específicos.
- o soro obtido através do sangue de animais, como os cavalos, criados em laboratório, onde recebem grande quantidade de antígenos.

**11 Fatec** Ao ser picado por uma cobra peçonhenta, você deverá procurar recurso através de:

- vacina, porque contém antígenos específicos.
- soro, porque estimula o organismo a produzir anticorpos.
- vacina, porque já contém anticorpos.
- soro, porque já contém anticorpos.
- vacina, porque estimula o organismo a produzir anticorpos.

**12 Fuvest 2005** As bactérias podem vencer a barreira da pele, por exemplo, num ferimento, e entrar em nosso corpo. O sistema imunitário age para combatê-las.

- Nesse combate, uma reação inicial inespecífica é efetuada por células do sangue. Indique o processo que leva à destruição do patógeno bem como as células que o realizam.
- Indique a reação de combate que é específica para cada agente infeccioso e as células diretamente responsáveis por esse tipo de resposta.

# Excreção

# 14

FRENTE 3



**Mamíferos marinhos não dispõem de água doce para beber. Sua fonte de água é o próprio alimento. Os rins desses animais são muito mais eficientes do que os nossos na eliminação de sais e na economia de água.**

## Excreção e estruturas excretoras

As células dos tecidos encontram-se imersas no fluido intersticial, o qual interage com o sangue. A atividade metabólica das células gera resíduos tóxicos ou inúteis, as **excretas**, que compreendem **amônia** (um tipo de excreta nitrogenada) e **gás carbônico**. O excesso de sais minerais, consumidos na dieta, também deve ser eliminado; seu acúmulo no sangue e no fluido intersticial provocaria alterações osmóticas capazes de gerar perda de água pelas células. Portanto, esses materiais – gás carbônico, amônia e excesso de sais – constituem as excretas e são eliminados através de estruturas excretoras, como os pulmões, as glândulas sudoríparas e os rins. Os pulmões eliminam gás carbônico; glândulas sudoríparas e rins eliminam água, sais e excretas nitrogenadas (Tab. 1).

Estruturas excretoras	Substâncias eliminadas
Rins	Água, sais, ureia, H <sup>+</sup>
Glândulas sudoríparas	Água, sais, ureia
Pulmões	CO <sub>2</sub>

Tab. 1 Estruturas envolvidas na eliminação de excretas no ser humano.

Assim, a excreção constitui um mecanismo homeostático, ou seja, de manutenção do equilíbrio dinâmico do organismo. Outra participação dos rins na homeostase é sua contribuição na regulação do **pH sanguíneo**. Quando a concentração de H<sup>+</sup> no sangue sofre uma ligeira elevação, os rins excretam urina mais acidificada. Caso a concentração de H<sup>+</sup> no sangue sofra uma diminuição, os rins eliminam menos H<sup>+</sup> e isso contribui para a diminuição do pH do sangue, retornando aos valores normais.

## Excretas nitrogenadas

A amônia apresenta elevada toxicidade. Isso não constitui um problema para organismos que dispõem de muita água no ambiente, pois isso permite a diluição e a eliminação da amônia. É o caso de protozoários e de muitos invertebrados aquáticos, como poríferos, cnidários, platelmintos, moluscos, equinodermos etc. Entre os vertebrados, a amônia é a excreta nitrogenada de peixes ósseos e de larvas de anfíbios. Animais que eliminam amônia são denominados **amoniotélicos**.

Nos mamíferos, a amônia é convertida em **ureia** no fígado. A ureia tem menor toxicidade que a amônia e sua eliminação requer menor quantidade de água. Animais que eliminam ureia são **ureotélicos**, como mamíferos, anfíbios adultos e anelídeos.

Animais que dispõem de pequena quantidade de água no ambiente normalmente eliminam **ácido úrico**, um composto praticamente insolúvel em água e de baixa toxicidade. Animais que excretam ácido úrico são **uricotélicos**, como insetos, aves e répteis. O ser humano também forma ácido úrico em sua atividade metabólica; uma quantidade excessiva de ácido úrico provoca distúrbios, acumulando-se na pele, formando manchas típicas e pode depositar-se em articulações, provocando inflamações dolorosas, caracterizando uma enfermidade conhecida como gota. A molécula de ácido úrico consta de dois anéis e é quimicamente semelhante às bases nitrogenadas púricas (adenina e guanina); muitos aracnídeos excretam **guanina** (Tab. 2).

Excreta	Toxicidade	Água necessária para eliminação	Exemplos de organismos que eliminam a excreta
Amônia	alta	alta	Protozoários, poríferos, cnidários, platelmintos, peixes ósseos, larvas de anfíbios
Ureia	intermediária	intermediária	Anelídeos, condrictes, anfíbios adultos e mamíferos
Ácido úrico	baixa	baixa	Insetos, aracnídeos, miriápodes e aves
Guanina	baixa	baixa	Aracnídeos

Tab. 2 Principais resíduos nitrogenados e sua toxicidade.

## O sistema urinário humano

O sistema urinário é constituído por dois **rins**, dois **ureteres**, uma **bexiga** e uma **uretra**. Nos rins, a urina é formada a partir do plasma sanguíneo. Eles apresentam dilatações, os **bacinetes**, ligados a dois ureteres, que por movimentos peristálticos conduzem a urina até a bexiga urinária; da bexiga, a urina é eliminada por meio da uretra (Fig. 1).

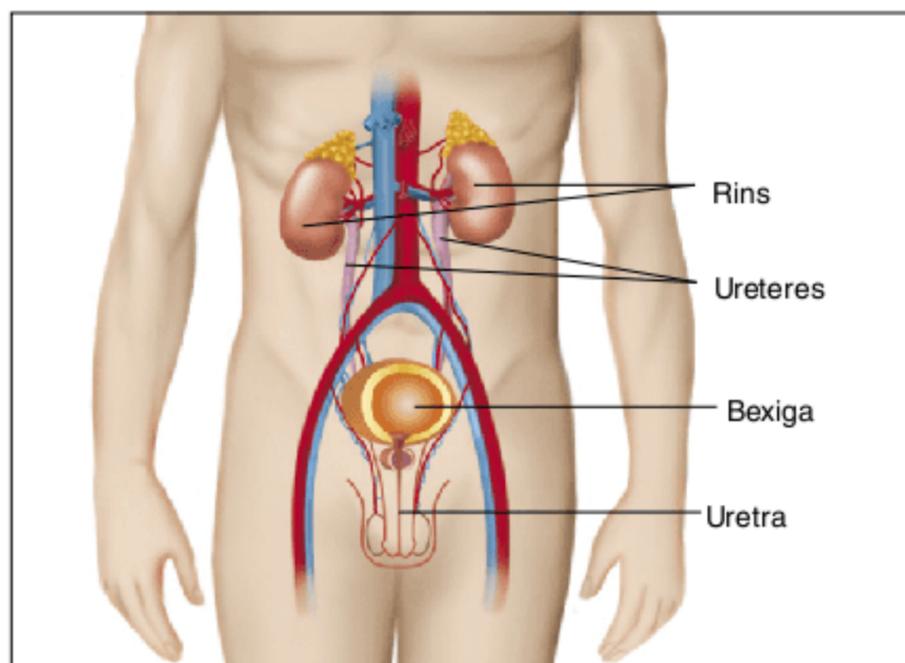


Fig. 1 Componentes principais do sistema urinário humano. Nos rins ocorre a formação de urina, conduzida numa sequência de canais até sua eliminação.

A **bexiga urinária** armazena urina e é envolvida por uma musculatura, que pode se contrair, determinando a expulsão do líquido através da uretra. Na base da uretra, há um esfíncter muscular, que controla a liberação da urina. No sistema urinário masculino, a uretra apresenta um segmento que passa pelo interior do pênis; na base da bexiga, a uretra é envolvida pela **próstata** e dela recebe secreções. A uretra também recebe **espermatozoides**, procedentes dos **testículos**, e secreções da **vesícula seminal**; essas estruturas serão estudadas no sistema reprodutor.

Os **rins** são envolvidos por uma cápsula protetora e apresentam uma cavidade que se comunica com os ureteres. Em um corte longitudinal de rim, pode-se constatar a existência de uma região mais superficial, o **córtex**, e de uma parte mais interna, a **medula**. Os rins apresentam unidades microscópicas, os **néfrons**, nos quais ocorre a formação da urina.

### Néfrons e vasos sanguíneos

O néfron é um longo tubo, fechado em uma extremidade e aberto em outra. A porção fechada do néfron é bastante dilatada e corresponde à cápsula renal (cápsula de Bowman). A partir dela, seguem-se as outras estruturas do túbulo renal: **túbulo contorcido proximal**, **alça de Henle** (alça néfrica) e o **túbulo contorcido distal**. Esta última estrutura desemboca no tubo coletor, que recebe líquido proveniente de diversos néfrons. Nos túbulos renais e no tubo coletor, o líquido que passa pelo seu interior sofre modificações, determinando a formação da urina. Os tubos coletores agrupam-se e seu conteúdo é eliminado na pelve renal, seguindo depois pelo bacinete e pelos ureteres (Fig. 2). No **córtex renal**, estão localizadas as cápsulas renais e os túbulos proximais e distais; na **medula renal** há predomínio de alças de Henle e tubos coletores.

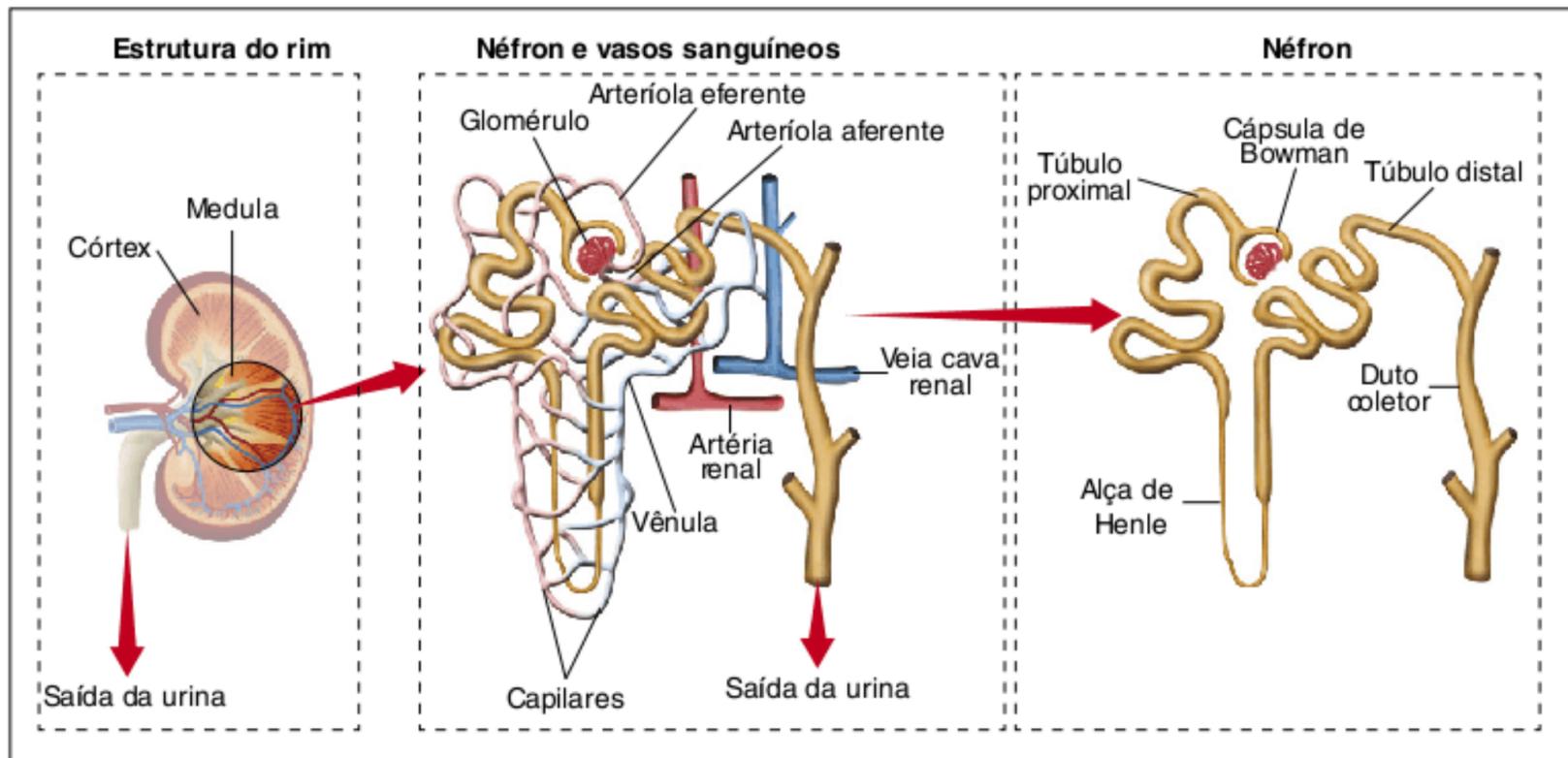


Fig. 2 Cada rim tem unidades conhecidas como néfrons, os quais são associados a vasos sanguíneos.

Cada rim recebe sangue proveniente da **artéria renal**, uma ramificação da artéria aorta. De cada rim, sai uma **veia renal**, que se liga à veia cava inferior. No interior do rim, a artéria renal ramifica-se bastante, originando-se **arteríolas** que chegam aos néfrons; são as **arteríolas aferentes** que originam um emaranhado capilar, conhecido como **glomérulo renal** (glomérulo de Malpighi). Chama-se corpúsculo renal o conjunto constituído por cápsula renal e glomérulo renal.

Os **capilares glomerulares** voltam a se agrupar, formando a **arteríola eferente**, que se ramifica em uma nova rede de capilares ao redor dos túbulos renais. Esses capilares agrupam-se, formando-se **vênulas**, as quais originam veias maiores, que desembocam na veia renal.

### A formação da urina

A urina é produzida a partir do plasma sanguíneo. A formação de urina envolve três processos: **filtração glomerular**, **reabsorção tubular** e **secreção tubular** (Fig. 3).

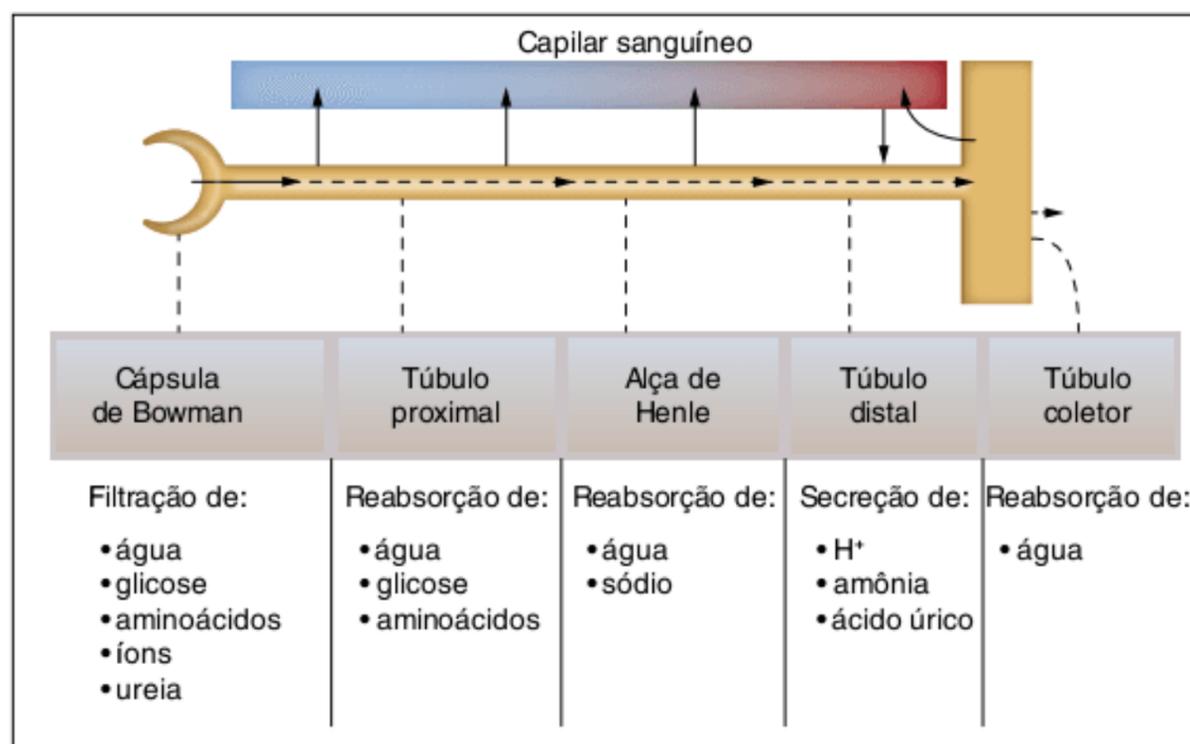


Fig. 3 Principais ocorrências no processo de formação de urina e sua localização no néfron.

A filtração glomerular é propiciada pela pressão sanguínea, que força moléculas pequenas e íons a passarem dos capilares para o interior da cápsula renal, constituindo o **filtrado glomerular**. Esse líquido contém água, glicose, aminoácidos, íons e ureia; o filtrado normal não apresenta células sanguíneas nem proteínas. O filtrado glomerular segue pelos túbulos renais, que são envolvidos por uma rede capilar procedente da arteríola eferente. Diariamente, o ser humano gera cerca de 180 litros de filtrado glomerular, mas elimina em torno de 1,5 litro de urina; assim, boa parte do filtrado retorna ao sangue, em um processo de reabsorção.

O sangue presente nos capilares tem pouca água e conserva proteínas, o que eleva sua pressão osmótica (**pressão coloidosmótica**); isso determina a reabsorção de água por osmose. Ao longo do trajeto pelos túbulos renais, ocorre a reabsorção de glicose e de íons através de transporte ativo (com gasto de ATP). Dessa maneira, o sangue recupera parte de materiais que passaram do plasma para a cápsula renal.

No **túbulo proximal** ocorre reabsorção de água, glicose, e aminoácidos e excreção de ureia. Na **alça de Henle**, há reabsorção de água e de sódio; nos **tubos coletores**, dá-se a reabsorção de água.

As células dos túbulos renais apresentam grande concentração de **mitocôndrias**, permitindo a realização de elevada taxa de respiração celular, que libera energia empregada no transporte ativo. Na face voltada para o canal do túbulo, as células têm microvilosidades, que aumentam a superfície de contato com o interior do canal.

Além disso, os capilares sanguíneos lançam substâncias no interior do **túbulo contorcido distal**, em um processo de secreção. A secreção de alguns materiais (drogas, amônia, íons  $H^+$  e ácido úrico) completa a formação da urina.

A formação da urina é influenciada também pela concentração de substâncias no sangue, que induzem a produção de hormônios diuréticos ou antidiuréticos, como pode ser visto no texto complementar.

## Revisando

1 O que são excretas?

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

2 Quais são os tipos de excretas nitrogenadas? Que organismos as eliminam?

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

3 De que é formado o sistema urinário humano? Qual é a função de cada constituinte?

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

**4** O que são os néfrons e qual relação eles têm com a formação da urina?

---



---



---



---

**5** Como se forma o filtrado glomerular?

---



---



---



---

**6** Se por dia o ser humano produz aproximadamente 180 litros de filtrado glomerular, por que eliminamos apenas cerca de 1,5 litro de urina?

---



---



---



---

## Exercícios propostos

**1 Fuvest** A degradação dos aminoácidos ingeridos na alimentação gera como subproduto a amônia. Nos mamíferos, a amônia é transformada em ureia. Esse processo ocorre:

- (a) no pâncreas.
- (b) no fígado.
- (c) nos rins.
- (d) na bexiga urinária.
- (e) no baço.

**2 Unicamp** O controle do volume de líquido circulante em mamíferos é feito através dos rins, que ou eliminam o excesso de água ou reduzem a quantidade de urina produzida quando há deficiência de água. Além disso, os rins são responsáveis também pela excreção de vários metabolitos e íons.

- a) Qual é o hormônio responsável pelo controle do volume hídrico do organismo? Onde ele é produzido?
- b) Qual é o mecanismo de ação desse hormônio?
- c) Qual é o principal metabolito excretado pelos rins? De que substâncias esse metabolito se origina?

**3 UFF** Os platelmintos pertencem ao primeiro grupo de animais a possuir um sistema excretor. Este é bastante primitivo, formado por células-flama. A principal função dessas células é:

- (a) remover o excesso de água e os resíduos nitrogenados do sangue e lançá-los para o intestino;
- (b) remover o excesso de água e os resíduos nitrogenados do sistema circulatório e lançá-los para o exterior;

- (c) remover o excesso de água e os resíduos nitrogenados do tecido epitelial e lançá-los para o intestino;
- (d) remover o excesso de água e os resíduos nitrogenados do ectoderma e lançá-los para os túbulos de Malpighi;
- (e) remover o excesso de água e os resíduos nitrogenados do mesoderma e lançá-los para o exterior.

**4 Fuvest** Uma pessoa passará a excretar maior quantidade de ureia se aumentar, em sua dieta alimentar, a quantidade de:

- (a) amido.
- (b) cloreto de sódio.
- (c) glicídeos.
- (d) lipídeos.
- (e) proteínas.

**5 UFSCar** O tipo de composto nitrogenado (amônia, ureia ou ácido úrico) eliminado por um organismo depende, entre outros fatores, da disponibilidade de água no meio em que vive, da sua capacidade de concentrar a urina e da necessidade de economizar a água do corpo.

Exemplos de animais que eliminam, respectivamente, amônia, ureia e ácido úrico são:

- (a) lambari, macaco e gavião.
- (b) sapo, foca e lambari.
- (c) golfinho, peixe-boi e galinha.
- (d) sapo, lambari e gafanhoto.
- (e) lagarto, boi e sapo.

**6 UFF** "Um naufrago, sem suprimento de água potável, poderia sobreviver por mais tempo caso evitasse alimentar-se, exclusivamente, de peixes".

Assinale a opção que justifica a afirmativa acima.

- (a) A carne de peixe contém, normalmente, concentrações elevadas de ácido úrico que, ao ser excretado, provocaria desidratação.
- (b) O aumento do catabolismo proteico aceleraria o consumo de água metabólica.
- (c) A elevada concentração de sal no peixe induziria a desidratação por aumento de excreção de NaCl e água.
- (d) O aumento da excreção renal de ácido úrico, proveniente do catabolismo proteico, acarretaria concomitante perda de água.
- (e) O aumento da excreção renal de ureia, proveniente do catabolismo proteico, acarretaria maior perda de água.

**7 Mackenzie** Um animal que vive em ambiente terrestre úmido deve apresentar respiração     (1)     e excretar     (2)    . As lacunas 1 e 2 devem ser preenchidas correta e respectivamente por:

- (a) branquial e amônia.                      (d) pulmonar e amônia.
- (b) pulmonar e ácido úrico.                (e) cutânea e ureia.
- (c) cutânea e ácido úrico.

**8 UFSCar** A pomba, a cobra e o gafanhoto eliminam excretas nitrogenadas na forma de:

- (a) ácido úrico que, sendo solúvel, torna o animal independente de água.
- (b) ureia que, sendo quase insolúvel, pode ser excretada com pouca perda de água.
- (c) amônia que, sendo altamente solúvel, torna o animal independente do meio aquático.
- (d) ureia que, sendo solúvel, difunde-se no sangue e é facilmente eliminada pelos rins.
- (e) ácido úrico que, sendo quase insolúvel, pode ser excretado com pouca perda de água.

**9 Fuvest** O sangue, ao circular pelo corpo de uma pessoa, entra nos rins pelas artérias renais e sai deles pelas veias renais. O sangue das artérias renais:

- (a) é mais pobre em amônia do que o sangue das veias renais, pois nos rins ocorre síntese dessa substância pela degradação de ureia.
- (b) é mais rico em amônia do que o sangue das veias renais, pois nos rins ocorre degradação dessa substância que se transforma em ureia.
- (c) é mais pobre em ureia do que o sangue das veias renais, pois os túbulos renais secretam essa substância.
- (d) é mais rico em ureia do que o sangue das veias renais, pois os túbulos renais absorvem essa substância.
- (e) tem a mesma concentração de ureia e de amônia que o sangue das veias renais, pois essas substâncias são sintetizadas no fígado.

**10 Unesp** Analise a figura. O organoide mencionado é o vacúolo contrátil, presente em alguns seres protistas.



- a) Quais as principais funções dessa organela citoplasmática e em que grupo de protistas ela está presente?
- b) Em quais condições ambientais esta organela entra em atividade?

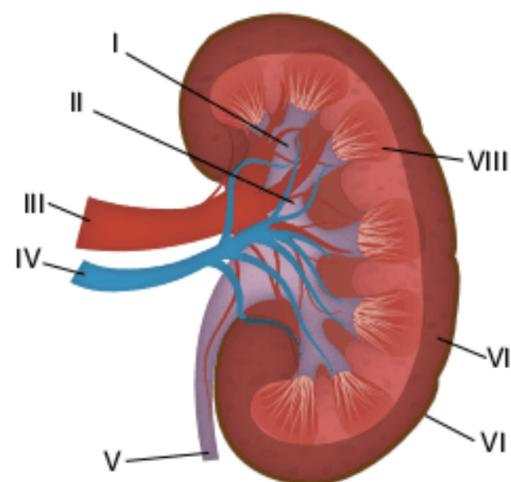
**11 UFRGS** Quando analisamos os diferentes tipos de estruturas excretoras, encontramos os nefrídios, túbulos de Malpighi e rins. Assinale a alternativa que contém, respectivamente, os animais que apresentam tais estruturas.

- (a) sanguessuga – gafanhoto – peixe
- (b) aranha – jacaré – tartaruga
- (c) mosca – borboleta – sapo
- (d) estrela-do-mar – barata – baleia
- (e) minhoca – caranguejo – cobra

**12 Mackenzie** A hemodiálise é um processo no qual o sangue de um paciente é desviado para uma máquina que o filtra artificialmente, retirando, entre outras coisas, a ureia. Conclui-se que essa máquina realiza funções desempenhadas:

- (a) pelo fígado.                                      (d) pelos rins.
- (b) pelo intestino.                                (e) pelo pâncreas.
- (c) pelos pulmões.

**13 UFV-Pases** Enquanto esperavam o resultado do exame de urina no laboratório, algumas senhoras faziam comentários sobre os rins. Uma delas disse que esse órgão parecia um filtro de água ao contrário, considerando que o organismo elimina aquilo que não é bom para o organismo e retém o que é útil. Para ajudar a esclarecer esse ponto, observe o esquema de um corte anatômico de rim humano e resolva os itens.



- a) O poro é a unidade filtradora dos filtros de água, mas a unidade de filtração dos rins é mais complexa, envolvendo várias estruturas. Qual é o nome desta unidade?

- b) A mulher tem razão, pois, de 160 litros de sangue que são filtrados pelos rins diariamente, apenas 1,5 litro de urina é formado. Cite o número que indica o local principal onde esse filtrado é reabsorvido.
- c) O sangue arterial passa pela sua primeira filtração na região indicada pelo número \_\_\_\_\_.
- d) A mulher deve ter considerado os catabólitos das proteínas, que são eliminados pela urina, como "aquilo que não é bom para o organismo". Exemplifique um desses principais catabólitos.
- e) A urina chega à bexiga pela estrutura indicada pelo número V. Cite o nome dessa estrutura.

**14 UFRN** Estabeleça relação entre a excreta nitrogenada e o hábitat do tubarão, da galinha e do macaco.

**15 UFC** A concentração osmótica dos fluidos corporais dos peixes ósseos marinhos é bem inferior àquela do ambiente. Esses animais são, portanto, reguladores hiposmóticos. Pergunta-se:

- a) Quais os problemas osmóticos e iônicos que esses animais enfrentam?
- b) Como eles resolvem esses problemas?

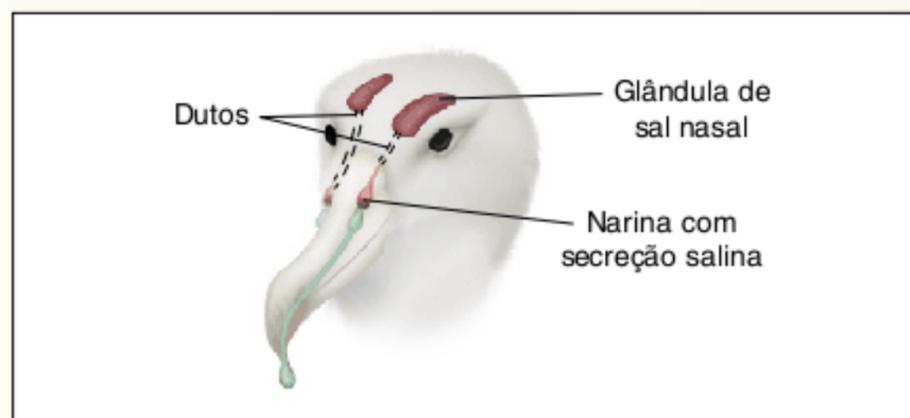
**16 UFSM** A eliminação de excretas, nos vertebrados, constitui um dos grandes problemas de adaptação ao meio, uma vez que esses resíduos são altamente tóxicos. O grupo amina ( $\text{NH}_2$ ), proveniente do metabolismo das proteínas, é convertido em compostos chamados genericamente de resíduos nitrogenados, sendo os mais comuns a amônia, a ureia e o ácido úrico. Considerando as características de toxicidade, solubilidade e difusibilidade através das membranas desses compostos, pode-se dizer que os animais que excretam amônia, ureia e ácido úrico são, respectivamente:

- (a) peixes cartilagosos – anfíbios adultos – mamíferos.
- (b) peixes ósseos – mamíferos – aves.
- (c) mamíferos – aves – répteis.
- (d) anfíbios (larva) – peixes cartilagosos – mamíferos.
- (e) répteis – mamíferos – aves.

## TEXTOS COMPLEMENTARES

### Equilíbrio salino e osmorregulação

**Aves** e alguns **répteis marinhos** apresentam **glândulas de sal** situadas na cabeça e eliminam uma solução salina concentrada. Nas aves, o produto é enviado para a cavidade nasal, pela qual é eliminado; nas tartarugas, são eliminadas pelos olhos (são as "lágrimas de tartaruga").



Glândulas de sal eliminam um líquido com alta concentração salina.

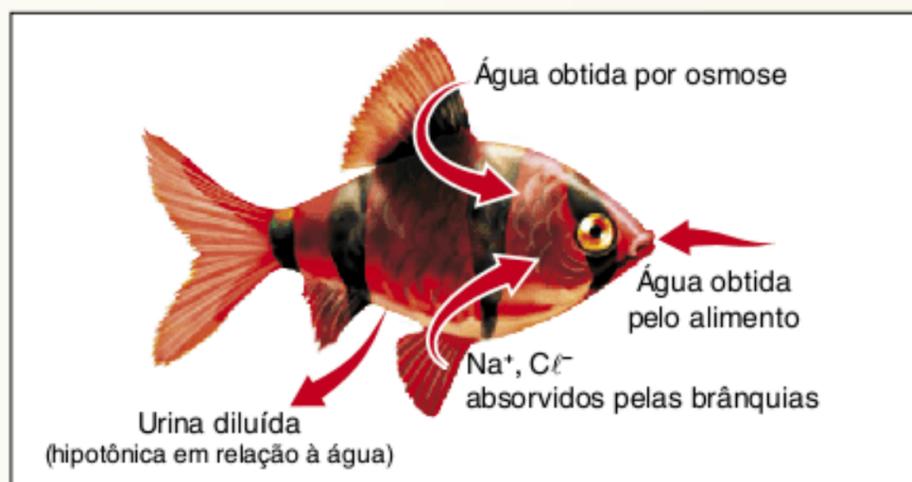
Os **peixes ósseos marinhos** vivem em um meio com solução mais concentrada do que o seu organismo (**hipertônico**). Suas brânquias estão em contato direto com o meio aquático e para ele perdem água por osmose. Esses animais repõem água bebendo-a do ambiente; no entanto, a água ingerida tem elevada concentração de sais. Esses sais são eliminados pelas estruturas das brânquias (no caso do sódio e cloreto) e pela urina (no caso do

cálcio, magnésio e sulfato). Assim, a urina é bastante concentrada, sendo isotônica em relação ao mar.



Peixes ósseos marinhos estão em meio hipertônico e eliminam urina bastante concentrada.

**Peixes ósseos de água doce** vivem em meio menos concentrado (**hipotônico**). Suas brânquias estão em contato com o meio aquático e dele ganham água por osmose. Esses animais não bebem água, mas empregam a água contida no alimento que ingerem. A tendência, portanto, é de apresentarem sangue com muita água, sendo o excesso eliminado pela urina, bastante diluída e hipotônica em relação ao meio. As brânquias, ao contrário do que ocorre com os peixes ósseos marinhos, absorvem sais do ambiente.



Peixes ósseos de água doce vivem em ambiente hipotônico e eliminam urina diluída; absorvem sais pelas brânquias.

**Peixes cartilagosos** apresentam um mecanismo de **osmorregulação** bem peculiar. Seu resíduo nitrogenado é a **ureia**, mantida em elevadas concentrações no organismo, pois suas brânquias são impermeáveis à ureia, o que permite a retenção dessa substância no sangue. Além disso, os **condrictes** têm no sangue a substância **óxido de trimetilamina (TMO)**, que, com a ureia, mantém a alta concentração do sangue, isotônica em relação ao mar. Condrictes obtêm água com a ingestão de alimento e os sais são eliminados pelas brânquias e pela urina.

## O controle do volume urinário

A quantidade de urina depende de inúmeros fatores. A força de contração do coração pode estar reduzida em um caso de insuficiência cardíaca e isso promove redução do volume urinário. Fatores hormonais também estão envolvidos, como a produção de hormônio antidiurético (ADH) pela hipófise e de aldosterona pelas suprarrenais.

O **ADH** aumenta a reabsorção de água pelo organismo, o que reduz o volume de urina e poupa água. Isso é particularmente útil quando o indivíduo não ingere água por um certo período de tempo. A ingestão de algumas substâncias, como a água e o álcool, inibem a produção de ADH e o indivíduo passa a ter um maior volume urinário.

**Mamíferos marinhos**, como focas, baleias e golfinhos, obtêm água através do alimento que ingerem. Os rins são capazes de eliminar urina com elevada concentração salina, o que é possível porque seus néfrons têm longas **alças de Henle**, nas quais se dá a absorção de água. O rim humano não é capaz de eliminar a elevada concentração salina presente na água do mar, pois seus néfrons não têm alças de Henle alongadas. Para cada litro de água do mar ingerida, uma pessoa gastaria 1,3 litro para sua eliminação.

A alça de Henle possui forma de "U", com dois ramos paralelos: um descendente e um ascendente, situado próximo a um tubo coletor. A parede do ramo ascendente é impermeável à água, mas realiza transporte ativo de íons sódio para fora. Alguns desses íons são transferidos para o ramo descendente por difusão; outros íons sódio ficam ao redor do tubo coletor, aumentando a concentração do meio externo do tubo e fazendo com que a água, em seu interior, seja reabsorvida pelo organismo por osmose. Assim, a urina formada fica mais concentrada e o organismo poupa água. Animais que têm alça de Henle longa apresentam grande capacidade de reabsorção de água e podem se desfazer de grande quantidade de sais ingeridos.

A **aldosterona** atua nos túbulos renais aumentando a absorção de íons sódio e cloreto. A presença desses íons na corrente sanguínea contribui para a elevação da pressão arterial.

Outro hormônio que se relaciona com a formação de urina é a **insulina**, que contribui para controlar o nível de glicose sanguínea. Diabéticos apresentam deficiência na produção de insulina. Na falta desse hormônio, após uma refeição farta em açúcar, o sangue permanece com alto teor de glicose, que é passado para os túbulos renais e aparece, portanto, em maior quantidade na urina.

## RESUMINDO

Os resíduos da atividade metabólica das células podem ser tóxicos ou inúteis ao organismo. São as chamadas **excretas**, constituídas por: gás carbônico (eliminado pelos pulmões), compostos nitrogenados e excesso de sais (eliminados pelas glândulas sudoríparas e rins).

A eliminação das excretas pelos rins mantém o equilíbrio do organismo (homeostase), contribuindo também na regulação do **pH sanguíneo**. A principal função do sistema excretor é a eliminação das excretas nitrogenadas, entre eles estão:

Excreta	Toxicidade	Água necessária para eliminação	Exemplos de organismos que eliminam a excreta	Nomenclatura dos organismos excretadores
Amônia	Alta	Alta	Protozoários, poríferos, cnidários, platelmintos, peixes ósseos, larvas de anfíbios	Amoniotélicos
Ureia	Intermediária	Intermediária	Anelídeos, condrictes, anfíbios adultos e mamíferos.	Ureotélicos
Ácido úrico	Baixa	Baixa	Insetos, aracnídeos, miriápodes e aves	Uricotélicos
Guanina	Baixa	Baixa	Aracnídeos	

O sistema urinário humano é constituído por dois **rins**, dois **ureteres**, uma **bexiga** e uma **uretra**.

- **Rins:** órgãos responsáveis pela filtração do sangue. Possuem duas regiões distintas: o **córtex** (mais superficial) e a **medula** (mais interna). Recebem sangue proveniente da **artéria renal** e liberam sangue através da **veia renal**. A filtração ocorre em unidades chamadas **néfrons**, longos tubos que possuem várias partes:
  - **Cápsula de Bowman (ou renal):** porção inicial do néfron, ao qual o sangue chega pelos capilares e, em função da pressão, força moléculas pequenas e íons a passarem para seu interior: é o **filtrado glomerular** (água, glicose, aminoácidos, íons e ureia).
  - **Túbulo contorcido proximal:** é envolvido por rede de capilares. Nele ocorre reabsorção ativa de água, glicose e aminoácidos.
  - **Alça de Henle (alça néfrica):** há reabsorção de água e de sódio.
  - **Túbulo contorcido distal:** nele é realizada a excreção de íons  $H^+$ , amônia e ácido úrico. Desemboca no tubo coletor liberando a urina formada.
  - **Tubo coletor:** recebe líquido proveniente de diversos néfrons.
- **Ureteres:** transportam a urina em direção à bexiga.
- **Bexiga:** armazena urina e é envolvida por uma musculatura que determina a saída da urina.
- **Uretra:** canal pelo qual a urina é expelida do corpo. Possui um esfíncter muscular, que controla a liberação da urina.

A urina é produzida a partir do plasma sanguíneo e envolve três processos:

- **Filtração glomerular:** realizada nos glomérulos e propiciada pela pressão sanguínea.
- **Reabsorção tubular:** retorno ao sangue de parte do filtrado glomerular com a reabsorção de água (por osmose), de glicose e de íons (por transporte ativo). As células do tubo têm microvilosidades (para aumentar a superfície de contato e a reabsorção).
- **Secreção tubular:** lançamento de substâncias (drogas, amônia, íons  $H^+$  e ácido úrico) no interior do túbulo para formação da urina.

## ■ QUER SABER MAIS?

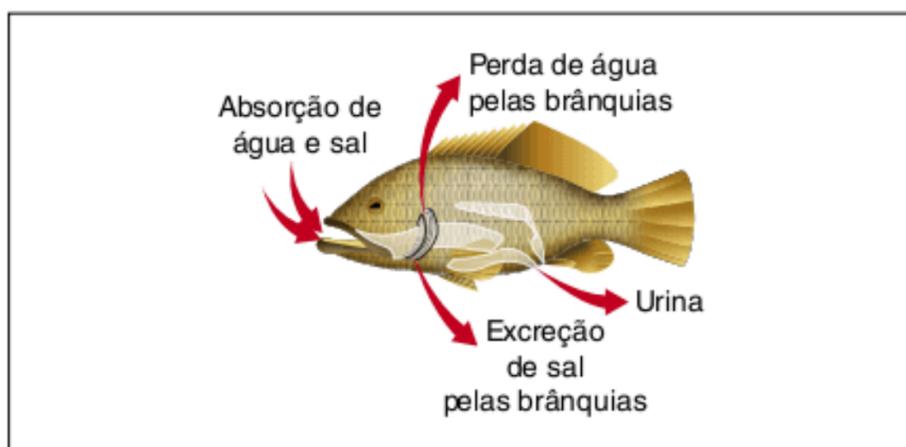


SITE

- Anatomia do rim humano  
<[www.youtube.com/watch?v=5QuY\\_qDdwAM&feature=player\\_embedded](http://www.youtube.com/watch?v=5QuY_qDdwAM&feature=player_embedded)>.

## Exercícios complementares

**1 Uerj** A figura a seguir demonstra alguns aspectos da osmorregulação em peixes ósseos vivendo em ambiente marinho.



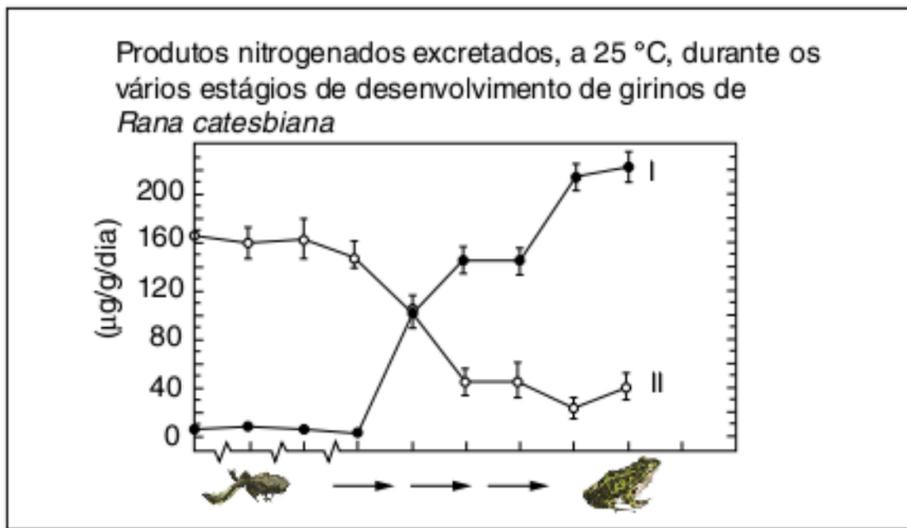
Fonte: Amabis & Martha. *Biologia dos organismos*. São Paulo: Moderna, 1995.

Justifique por que o mecanismo de excreção de sal pelas brânquias desses animais deve ser ativo.

**2 Unicamp 2003** Os invertebrados, por exemplo, borboletas, planárias, esponjas, minhocas, baratas, hidras e estrelas-do-mar, podem ser agrupados de acordo com características relativas à excreção.

- a) Dentre os animais citados, quais não apresentam estruturas especializadas para a excreção? Explique como é realizada a excreção nesses casos.
- b) Os túbulos de Malpighi têm função excretora. Indique em quais dos animais citados eles ocorrem e explique o mecanismo de excreção nesses animais.

**3 UFF** Durante o processo de metamorfose, ocorrem marcantes mudanças no girino. No decorrer desse período evolutivo, em que acaba tornando-se capaz de viver em terra, além das diferenças morfológicas, também se alteram os produtos nitrogenados que excreta, conforme indicado no gráfico a seguir.



Fonte: Earl Frieden; Harry Lipner. *Endocrinologia bioquímica dos vertebrados*. Tradução de José Reinaldo Magalhães; Maria Teresa Araújo Silva. São Paulo: Edgard Blücher e EDUSP, 1975. (Adapt.).

- Identifique os produtos nitrogenados representados nas curvas indicadas por I e II.
- Explique por que no decorrer do processo representado no gráfico ocorre mudança no perfil dos produtos nitrogenados excretados.

**4 UFPI 2003** Assinale a alternativa que mostra a(s) estrutura(s) compartilhada(s) pelos sistemas excretor e reprodutor de mamíferos machos.

- Os testículos.
- A uretra.
- Os ureteres.
- Os vasos deferentes.
- A próstata.

**5 UFPI 2003** Há uma desordem hormonal chamada diabetes *insipidus*, que é causada por uma falha na produção do hormônio antidiurético (ADH). Assinale a alternativa que descreve corretamente as consequências dessa desordem.

- Aumento na produção de urina e diminuição do volume dos fluidos corporais.
- Falta de sede e diminuição do volume dos fluidos corporais.
- Aumento na concentração de glicose sanguínea e perda de peso.
- Diminuição da concentração de insulina sanguínea e aumento da glicose sanguínea.
- Aumento da concentração de insulina sanguínea e diminuição da glicose sanguínea.

**6 UFRRJ 2003** Observe a tabela adiante, na qual estão representados, pelas letras X e Y, dois tipos de excretas nitrogenadas.

Características	X	Y
Toxicidade	alta	baixa
Solubilidade	alta	muito baixa
Difusão através de membranas	alta	baixa

Podemos dizer que X e Y são, respectivamente:

- ácido úrico e amônia.
- ácido úrico e ureia.
- ureia e amônia.
- amônia e ácido úrico.
- ureia e ácido úrico.

**7 PUC-MG 2004** Além dos lipídeos, como os triglicerídeos e o colesterol, outras moléculas tipicamente hidrofóbicas (com baixa solubilidade em meio aquoso), como algumas drogas e toxinas, são normalmente transportadas na corrente sanguínea, associadas a proteínas plasmáticas, o que dificulta sua excreção renal. O fígado é responsável pela metabolização da maioria das drogas e, de modo geral, por modificações que aumentam sua hidrossolubilidade.

Assinale a afirmativa incorreta.

- Lipoproteínas são reabsorvidas do filtrado nos túbulos renais.
- Proteínas são normalmente retidas na filtração glomerular.
- A vitamina A apresenta menor taxa de excreção renal que a vitamina C.
- Patologias hepáticas podem levar a um efeito terapêutico maior ou mais prolongado para algumas drogas hidrofóbicas.

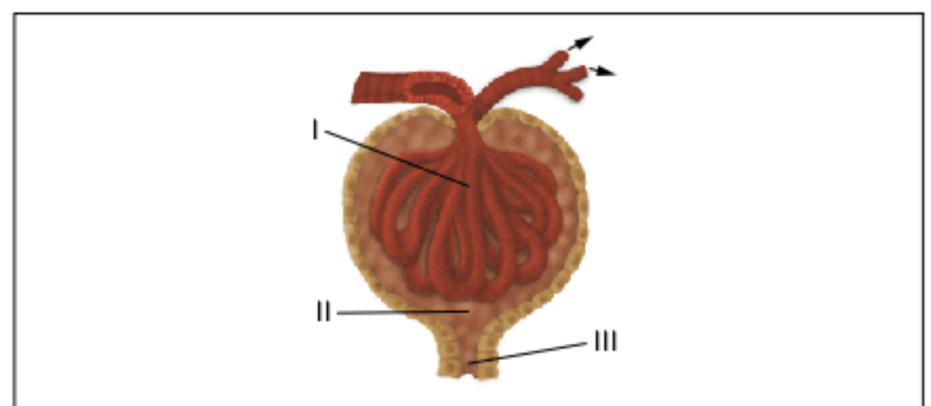
**8 Unifesp 2004** Com a conquista do ambiente terrestre, surgiram novos mecanismos de excreção nos vertebrados, diferentes daqueles até então presentes nos organismos marinhos. Sobre tal processo de excreção, foram feitas as cinco afirmações seguintes.

- Nos mamíferos, a epiderme com poros representa um importante órgão acessório na excreção, já que, além dos rins, parte significativa da ureia é eliminada pelo suor.
- A ureia é um composto menos tóxico que a amônia, porém, sua síntese requer maior gasto energético. A excreção de amônia pelos peixes e de ureia pelos mamíferos encontra-se diretamente relacionada ao ambiente em que vivem.
- A maior parte dos compostos nitrogenados que sai do corpo de um mamífero encontra-se sob a forma de urina. A outra parte encontra-se nas fezes, que constituem parte importante do mecanismo de excreção nesses animais.
- A excreção de ácido úrico pelas aves é a mais econômica em termos da quantidade de água eliminada com as excretas. Isso explica porque, nesses animais, a alça de Henle dos rins é bem menos desenvolvida que nos mamíferos.
- O metabolismo dos carboidratos e lipídeos produz essencialmente  $\text{CO}_2$  e água. Assim, os sistemas de excreção desenvolveram-se nos animais como adaptação basicamente para a eliminação do metabolismo de proteínas e ácidos nucleicos.

Estão corretas apenas:

- I, II e III.
- II, III e IV.
- I, IV e V.
- I, III e V.
- II, IV e V.

**9 UFV 2004** Observe a figura a seguir, de um corpúsculo renal, e assinale a afirmativa correta.

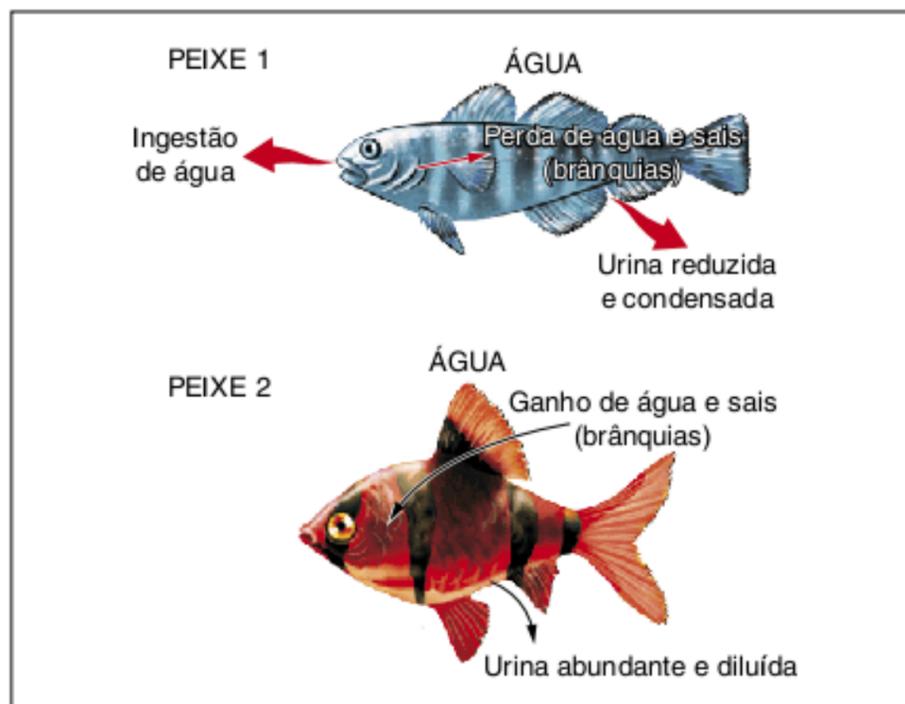


- (a) Essa estrutura está presente em todos os cordados.
- (b) O líquido que passa pela região III é reabsorvido na bexiga.
- (c) Denomina-se urina o líquido encontrado na região II.
- (d) A região I corresponde ao glomérulo renal.
- (e) O líquido presente na região II é rico em sais e proteínas.

**10 PUC-PR 2005** “Um indivíduo sobrevivente de um naufrágio, sem suprimento de água potável, poderia sobreviver por mais tempo caso evitasse alimentar-se, exclusivamente, de peixes”. Assinale a opção que justifica a afirmativa acima.

- (a) O aumento da excreção renal de ureia, proveniente do catabolismo proteico, acarretaria maior perda de água pelo seu organismo.
- (b) O aumento da excreção renal de ácido úrico, proveniente do catabolismo proteico, acarretaria perda de água pelo seu organismo.
- (c) A elevada concentração de sal no peixe induziria à desidratação por aumento de excreção de cloreto de sódio e água.
- (d) O aumento do catabolismo proteico aceleraria o consumo de água metabólica.
- (e) A carne de peixe contém, normalmente, concentrações elevadas de ácido úrico que, ao ser excretado, provocaria desidratação.

**11 PUC-MG 2005** O esquema a seguir representa a regulação osmótica em peixes ósseos marinhos e dulcícolas. Analisando o esquema, assinale a opção correta.



- (a) O peixe 1 é marinho e o peixe 2 é dulcícola.
- (b) O peixe 1 busca a isotonia e o peixe 2 se encontra em isotonia.
- (c) A ingestão de água acontece nos dois casos para a diluição do sangue.
- (d) Os rins excretam a mesma quantidade de sais nos dois peixes.

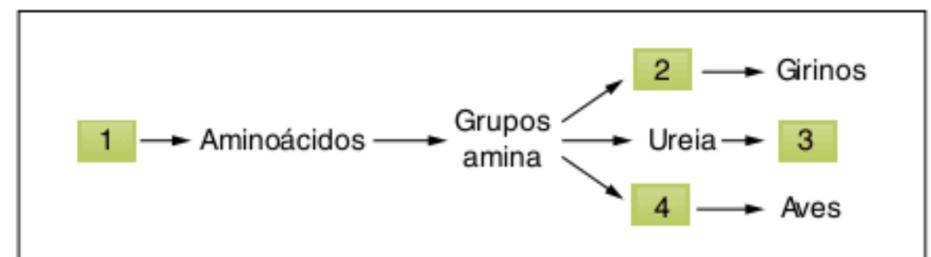
**12 UFG 2005** Um estudante da área biológica foi solicitado a apresentar argumentos teóricos para o fato de determinados peixes viverem normalmente em oceanos, enquanto um naufrago (homem) pode apresentar grave desidratação se ingerir a água salgada. Com relação a esse tema:

- a) forneça um hormônio que participa do controle do volume hídrico no ser humano e descreva o seu mecanismo de ação.
- b) descreva duas diferenças entre os mecanismos responsáveis pelo equilíbrio hídrico nos peixes marinhos e no homem.

**13 UFPE 2005** Assinale a alternativa que indica animais cujos principais produtos de excreção são: a ureia (animais ureotélicos) e o ácido úrico (animais uricotélicos), respectivamente.

- (a) Répteis e peixes ósseos.
- (b) Aves e insetos.
- (c) Anfíbios e peixes ósseos.
- (d) Mamíferos e aves.
- (e) Répteis e muitos anfíbios.

**14 Unesp 2005** O esquema seguinte representa a produção de compostos nitrogenados a partir do metabolismo de um composto orgânico em diferentes grupos animais.



Os números de 1 a 4 podem, nessa ordem, ser corretamente substituídos por:

- (a) proteínas, amônia, mamíferos, ácido úrico.
- (b) carboidratos, ácido úrico, mamíferos, amônia.
- (c) carboidratos, amônia, répteis, ácido úrico.
- (d) proteínas, ácido úrico, invertebrados aquáticos, amônia.
- (e) lipídeos, amônia, invertebrados terrestres, ácido úrico.

**15** O armazenamento e a via de eliminação da urina para o meio exterior, no homem, ocorre, respectivamente, através do(a):

- (a) cálice renal e uretra.
- (b) pelve renal e ureter.
- (c) bexiga e uretra.
- (d) rim e ureter.

**16** Sobre a unidade funcional dos rins e seu funcionamento, é correto afirmar que:

- (a) o controle de água presente na urina é feito diretamente pelo hormônio ADH.
- (b) o ramo descendente é impermeável à água que retorna aos capilares por difusão.
- (c) a água é reabsorvida em sua totalidade e devolvida à circulação durante a passagem do sangue pelo túbulo do néfron coletor.
- (d) a glicose, os aminoácidos, a amônia e os sais minerais são secretados na passagem do sangue para o interior do túbulo do néfron.

# 15

FRENTE 3

## Sistema nervoso – neurônios e impulso nervoso

Os impulsos nervosos envolvem alterações na distribuição de íons pela membrana dos neurônios. O cérebro tem bilhões de neurônios, que apresentam modificações incessantes na distribuição de cargas elétricas. O eletroencefalograma, por exemplo, é um exame que avalia a atividade cerebral (variações do potencial elétrico) e pode detectar uma série de anomalias.



## Organização geral do sistema nervoso – neurônios

Os animais, exceto os poríferos, apresentam sistema nervoso. Nos cordados, o sistema nervoso é **tubular e dorsal**, sendo originário do **ectoderma** dorsal embrionário. O **encéfalo** é a parte do sistema nervoso alojada no interior da caixa craniana; está ligado à medula espinal, a qual está protegida pela coluna vertebral. Encéfalo e medula espinal constituem o sistema nervoso central (SNC), no qual, informações provenientes do organismo, são processadas para posteriormente serem emitidas respostas adequadas, contribuindo para o funcionamento e a sobrevivência do indivíduo. O SNC está ligado ao **sistema nervoso periférico (SNP)**, que é constituído por nervos e diversos tipos de receptores sensoriais, como terminações nervosas que detectam calor, frio, pressão etc. Nervos são prolongamentos que enviam ordens do SNC ou levam informações a ele.

### Neurônios e neuróglias

As principais células componentes do sistema nervoso são os **neurônios**. Essas células têm duas capacidades bastante desenvolvidas: **irritabilidade** e **condutibilidade**. Isso significa que os neurônios reagem (irritabilidade) a estímulos externos (variações que ocorrem no entorno da célula, como pressão, temperatura, composição química ou um choque elétrico, por exemplo). Um neurônio estimulado envia informações ao longo de sua membrana plasmática (condutibilidade) na forma de um impulso nervoso, que consiste na alteração da distribuição de alguns íons em sua membrana.

Os neurônios apresentam as seguintes partes componentes: **corpo celular**, **dendritos**, **axônio** e **ramificações do axônio** (Fig. 1).

O corpo celular, ou pericário, é a região que contém o **núcleo**, sendo responsável pelo controle do metabolismo celular. O corpo celular está ligado a dois tipos de prolongamentos: dendritos e axônios. Os dendritos são bastante ramificados, o que aumenta a superfície de captação de estímulos. O axônio é um prolongamento do corpo celular e possui em sua extremidade ramificações, as quais estabelecem contato com outra estrutura, como um outro neurônio, uma glândula ou um músculo.

Os dendritos, ao receberem estímulos, podem desencadear impulsos nervosos, que são transmitidos ao corpo celular (impulsos **celulípetos**), e deste para o axônio e suas ramificações. Nos axônios, os impulsos nervosos são **celulífugos**, ou seja, os impulsos são provenientes do corpo celular.

Axônios podem ser envolvidos por **células de Schwann**, dotadas de grande quantidade de lipídeos. Essas células formam a **bainha de mielina**, que promove o isolamento dos axônios. Algumas áreas que não são recobertas pela bainha de mielina correspondem aos **nódulos de Ranvier**. O impulso nervoso não percorre os locais mielinizados (com bainha), ocorrendo apenas através dos nódulos. Com isso, o impulso “salta” de um nódulo para outro (através de variações no campo elétrico), o que aumenta muito a velocidade de condução.

No interior do encéfalo há a **neuróglias**, constituída por células associadas aos neurônios. São componentes da neuróglias os **astrócitos** e os **oligodendrócitos**. Essas células desempenham vários papéis, auxiliando a atividade dos neurônios, realizando sua sustentação mecânica, nutrição e defesa.

### Sinapse

Há uma minúscula fenda entre as ramificações do axônio e a estrutura a que estão associadas; esse espaço é conhecido como **fenda sináptica**. Nessa fenda, as ramificações do axônio (que possui vesículas contendo neurotransmissores) desprendem substâncias químicas como resposta ao impulso nervoso, podendo estimular a estrutura que fica do outro lado da fenda. Tais substâncias são **neurotransmissores** ou mediadores químicos (como a noradrenalina e a acetilcolina). As vesículas presentes no axônio fundem-se à membrana plasmática, liberando o neurotransmissor na fenda sináptica. As moléculas do neurotransmissor encaixam-se em receptores químicos específicos da célula pós-sináptica, provocando conseqüentemente uma resposta, como o desencadear de um impulso nervoso ou uma contração muscular. A transmissão de neurotransmissores na fenda sináptica é chamada de **sinapse nervosa** (Fig. 2).

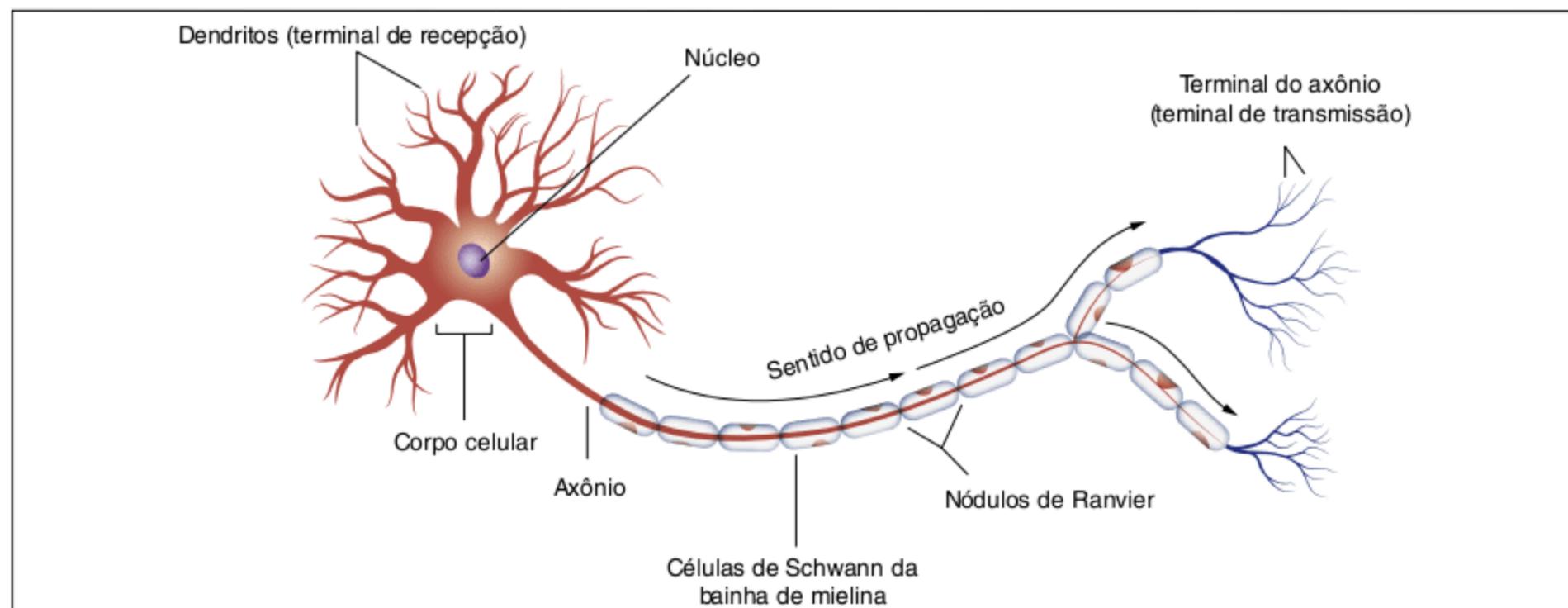


Fig. 1 Componentes de um neurônio; a bainha de mielina atua como um isolante.

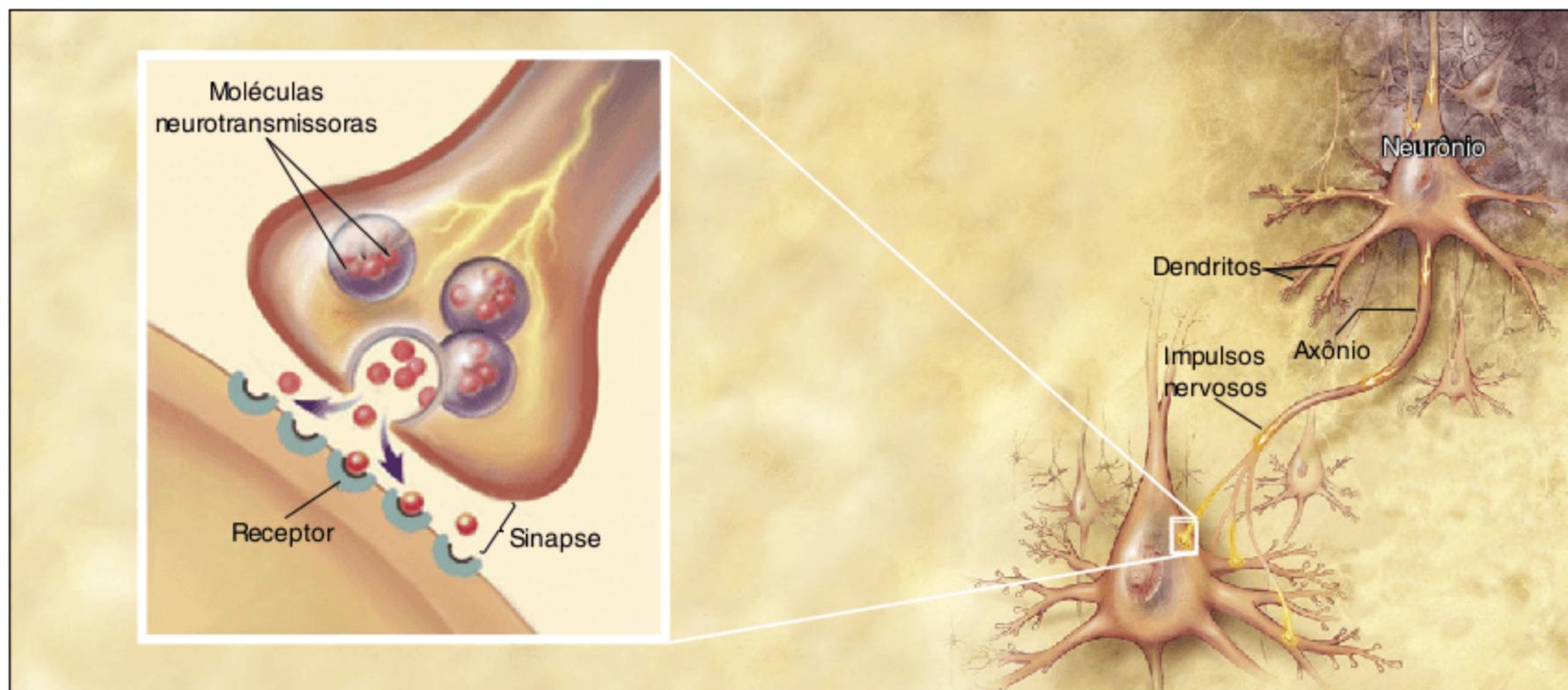


Fig. 2 Fenda sináptica e liberação de neurotransmissores a partir de terminação de axônio; essas substâncias ligam-se a receptores de uma célula vizinha.

## Nervos e gânglios

No sistema nervoso central (SNC), há grande concentração de corpos celulares, como na superfície do cérebro, região conhecida como **córtex cerebral**. Há também grandes concentrações de corpos celulares fora do SNC, em estruturas denominadas **gânglios**; veremos um exemplo no caso de arcos reflexos medulares.

Os nervos são constituídos por prolongamentos de neurônios, isto é, dendritos e axônios. Um nervo pode apresentar apenas axônios e enviar ordens do SNC para alguma estrutura, como um músculo, trata-se de um **nervo motor**. O nervo que é constituído por dendritos alongados e envia informações ao SNC é um **nervo sensorial**. Nervos mistos possuem dendritos e axônios.

## Impulso nervoso

O impulso nervoso é o sinal enviado de uma célula nervosa ao sistema nervoso central. De natureza eletroquímica, é o resultado de modificações internas e externas da membrana neural.

A membrana plasmática dos neurônios apresenta grande concentração de íons sódio ( $\text{Na}^+$ ) em sua face externa, enquanto o interior da célula tem grande concentração de íons potássio ( $\text{K}^+$ ) e de cloreto ( $\text{Cl}^-$ ). O saldo polar é encontrado devido à face externa apresentar carga positiva; e a interna, carga negativa. Isso pode ser detectado inserindo-se eletrodos dentro e fora da membrana, ligados a um voltímetro sensível; o registro será de uma ddp (diferença de potencial) de  $-70$  mV (milivolts). Essa distribuição de cargas e sua consequente ddp é denominada **potencial de membrana**. A denominação de **potencial de repouso** é dada ao valor medido quando o neurônio não apresenta impulso nervoso.

Quando um neurônio recebe um estímulo suficientemente forte, pode desencadear um impulso nervoso; a ddp atinge valores em torno de  $+40$  mV e depois retorna ao nível anterior de  $-70$  mV. Essas mudanças da ddp são determinadas por alterações na distribuição dos íons na membrana do neurônio, envolvendo os processos de **despolarização e repolarização**.

A despolarização constitui uma **inversão de polaridade da membrana**, a qual passa a ficar com carga negativa na face externa e carga positiva na face interna; essa inversão de polaridade é conhecida como **potencial de ação**. Isso se deve ao fato de a membrana tornar-se mais permeável ao sódio, que penetra na célula; o interior fica temporariamente com predomínio de carga positiva e o meio externo fica com predomínio de carga negativa (também há outros ânions no meio extracelular).

A **repolarização** se dá com a saída de íons potássio por difusão, restabelecendo a distribuição de cargas (positiva do lado de fora e negativa do lado de dentro). Em seguida, opera a bomba de sódio e potássio, realizando o transporte ativo de sódio para fora e de potássio para dentro, restabelecendo a distribuição inicial de íons na membrana. Durante a despolarização e a repolarização, a membrana do neurônio encontra-se no período **refratário**, sendo incapaz de desencadear novo impulso nervoso.

Uma faixa do neurônio em que houve despolarização promove deslocamento de íons do lado externo e do lado interno da membrana por atração entre íons com cargas opostas ( $\text{Na}^+$  e  $\text{Cl}^-$ ); esse processo atua como estímulo ao setor seguinte da membrana do neurônio, no qual se dá a despolarização, com a entrada de sódio. A faixa pela qual o impulso passou sofre repolarização. Assim, o impulso nervoso desloca-se ao longo do neurônio, com faixas despolarizadas desencadeando despolarização no segmento seguinte e elas próprias sofrendo repolarização (Fig. 3).

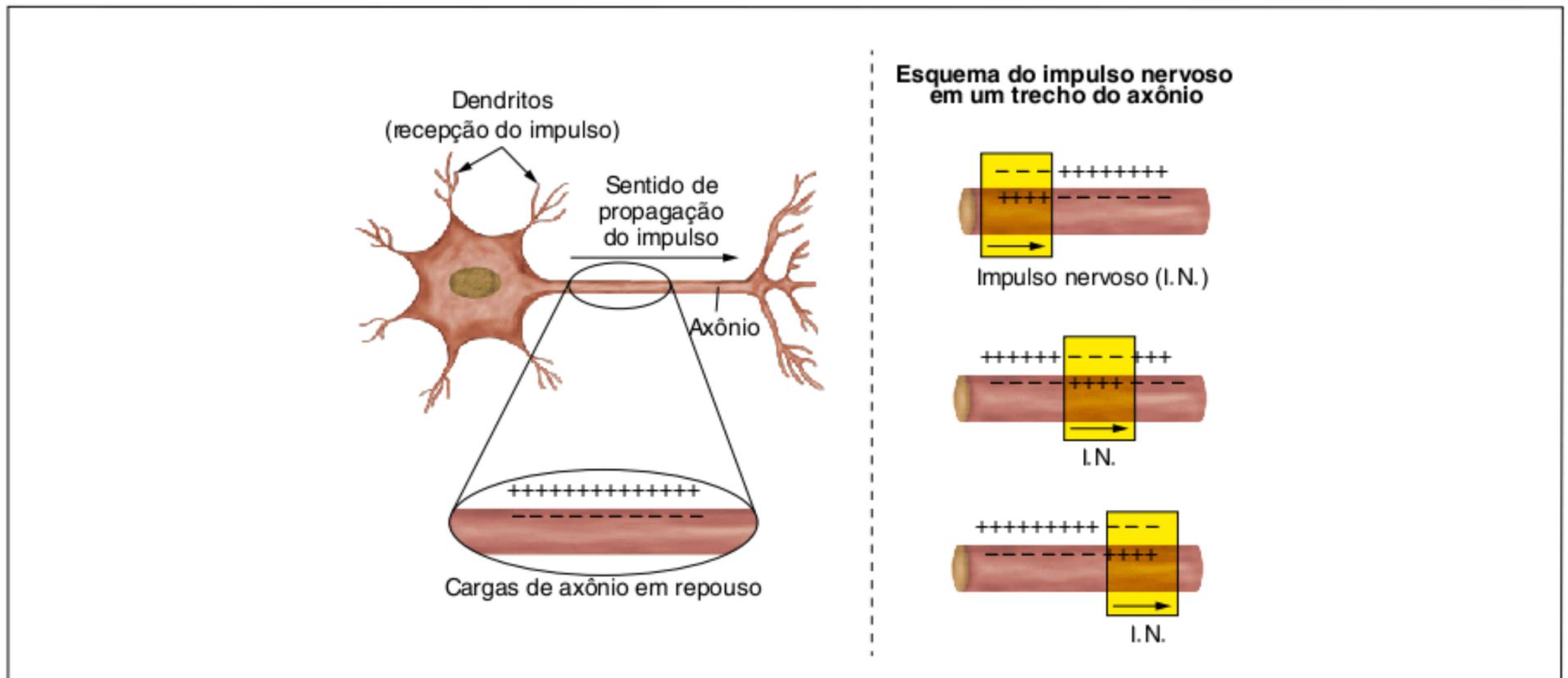


Fig. 3 O impulso nervoso, com destaque para as alterações na distribuição de cargas.

Um estímulo fraco não desencadeia impulso nervoso; é conhecido como sublimiar. **Estímulo limiar** é o que apresenta a menor intensidade capaz de desencadear impulso nervoso. Estímulos acima do limiar de excitação produzem impulsos que apresentam a mesma velocidade de condução e ocorrem com a mesma intensidade (o valor do potencial de ação permanece em +40 mV). Isso corresponde à **lei do tudo ou nada**. Como o neurônio informa que um estímulo tem intensidade maior? Isso é feito com maior quantidade de impulsos; já estímulos mais fracos desencadeiam menor número de impulsos, porém com mesma velocidade verificadas em estímulos mais fortes.

## O arco reflexo

Quando uma pessoa inadvertidamente coloca a mão em uma panela quente, apresenta um rápido movimento de retirada da mão, em uma atividade conhecida como **reflexo**. Os reflexos não envolvem uma resposta consciente, elaborada no cérebro para a tomada da decisão de retirar a mão; o movimento é rápido e permite solucionar um problema de maneira eficiente (Fig. 4).

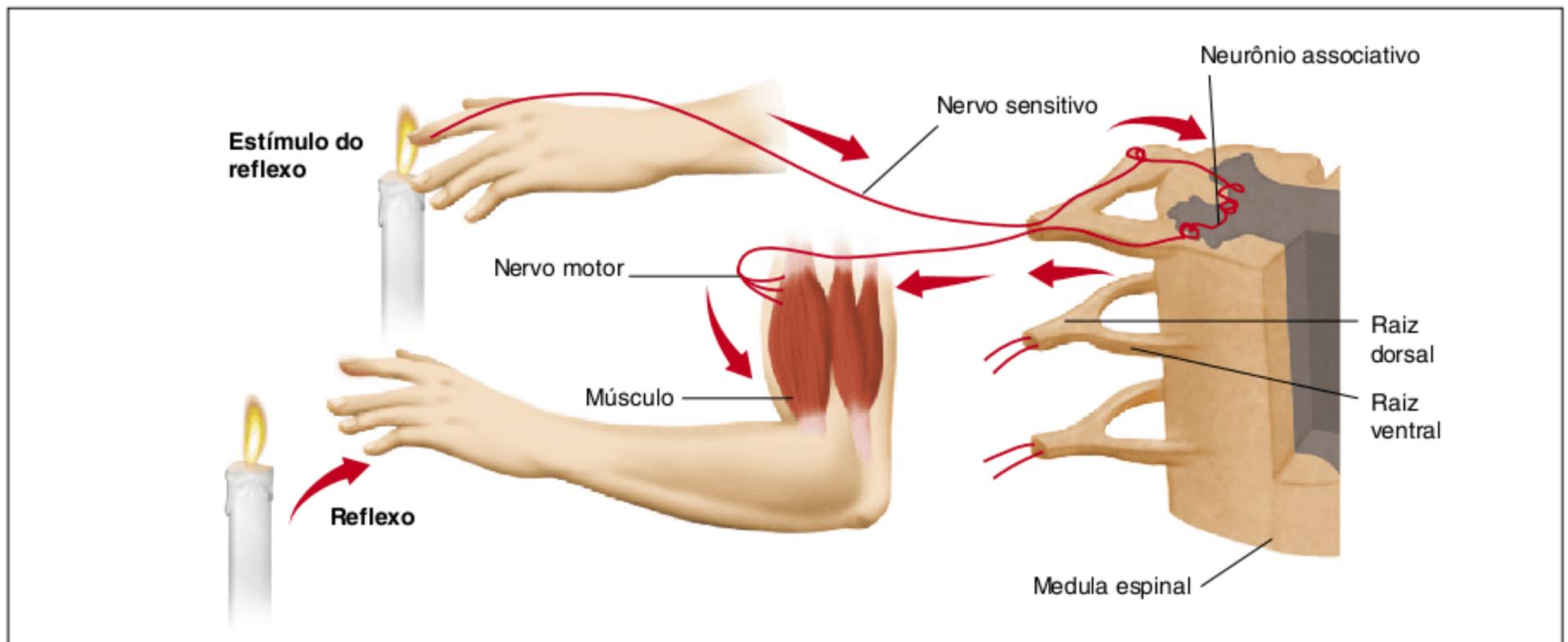


Fig. 4 Um clássico exemplo de reflexo pode ser observado quando toca-se em algo quente; antes mesmo de haver resposta consciente, é feito um movimento que afasta a área afetada do perigo – nesse caso, o fogo.

O **ato reflexo** envolve uma série de estruturas, que constituem o **arco reflexo**. Este compreende **medula espinal** (alojada no interior da coluna vertebral), **neurônios**, **receptores** (como exemplo, os de temperatura) e **músculos** (Fig. 5).

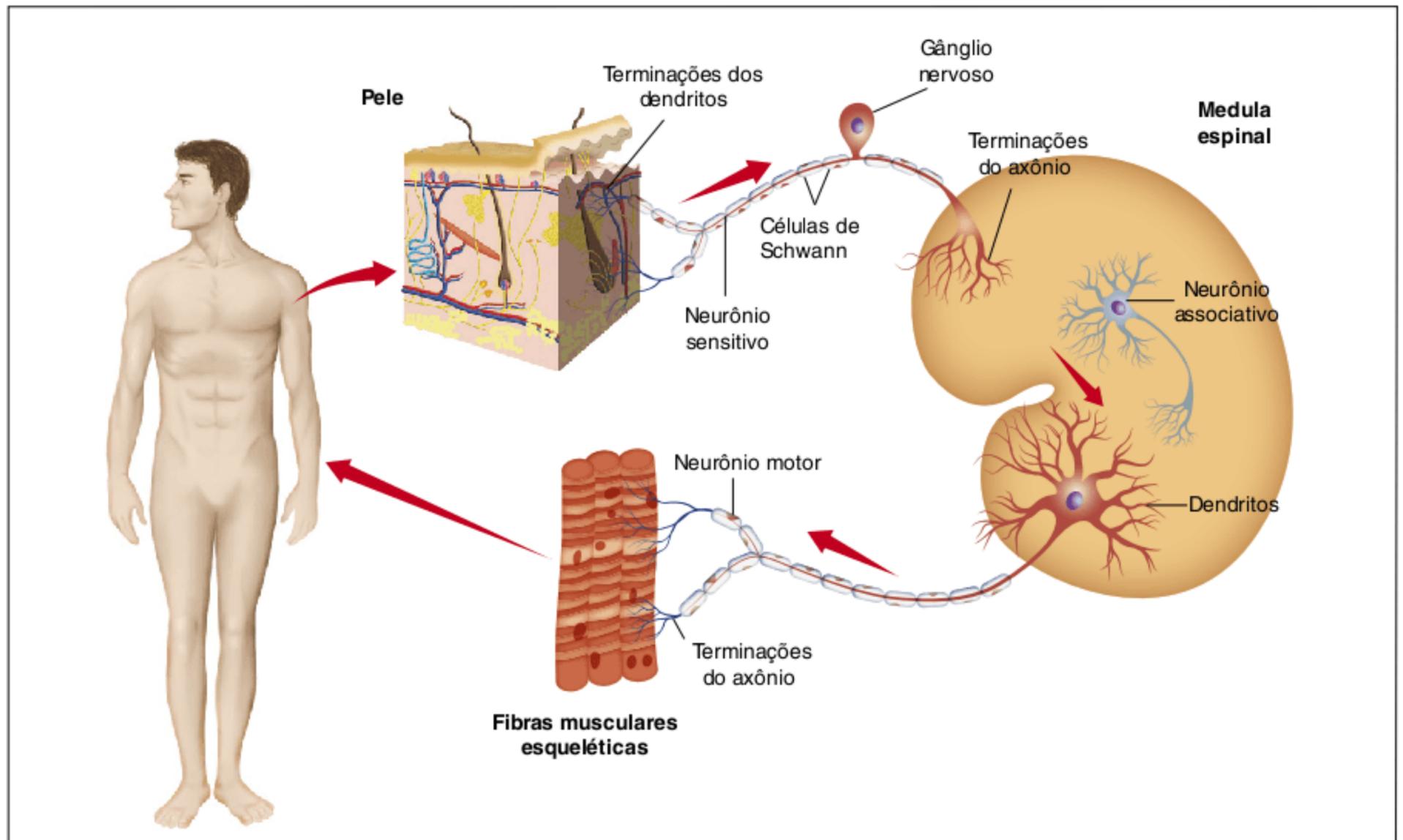


Fig. 5 Detalhes de um arco reflexo medular. O neurônio sensorial leva informação à parte dorsal da medula; seu corpo celular fica fora da medula espinal. O neurônio motor envia impulso a um músculo; seu axônio emerge na parte ventral da medula espinal.

O reflexo origina-se de um estímulo externo e acontece antes de o cérebro captar o estímulo periférico. Portanto, os atos reflexos são comandados pela medula espinal e pelo bulbo.

Outro exemplo de reflexo é observado quando piscamos os olhos quando algo se aproxima rapidamente.

A seguir, é mostrado todo o circuito de um arco reflexo medular, que compreende:

- **Receptores sensoriais** da superfície da pele;
- **Neurônio sensorial**, ou **aférente**, que conduz, através de um longo dendrito, os impulsos nervosos até as proximidades da medula espinal. Na parte externa da coluna, ficam os corpos celulares de neurônios sensoriais, constituindo um **gânglio**. O axônio do neurônio entra pela parte dorsal

da medula, na qual estabelece sinapse com um neurônio associativo;

- **Neurônio associativo**, ou **interneurônio**, que estabelece sinapse com neurônio motor;
- **Neurônio motor**, ou **eférente**, cujo axônio deixa a parte ventral da medula espinal e chega ao músculo;
- **Músculo**, que corresponde ao órgão efector (que também pode ser uma glândula); sofre contração muscular, promovendo a retirada da mão.

Os reflexos correspondem a uma modalidade de resposta simples dada pelo sistema nervoso central, útil em uma situação de perigo. No entanto, o SNC é responsável por atividades neurológicas mais sofisticadas, como a memória e o raciocínio.

## Revisando

1 Como é o sistema nervoso:

a) dos cordados?

---

b) dos poríferos?

---

**2** De que constitui o sistema nervoso central (SNC)?

---

---

**3** O que ocorre no sistema nervoso central (SNC)?

---

---

**4** De que se constitui o sistema nervoso periférico (SNP)?

---

---

**5** O que são nervos?

---

---

**6** Qual o nome dado às principais células componentes do sistema nervoso? Explique o funcionamento dessas células.

---

---

**7** Julgue os itens a seguir, relacionados aos componentes das principais células do sistema nervoso.

- Os neurônios apresentam as seguintes partes componentes: corpo celular, dendritos, axônio e ramificações do axônio.
- O corpo celular, ou pericário, é a região que contém o núcleo, sendo responsável pelo controle do metabolismo celular.
- Os dendritos são bastante ramificados, o que aumenta a superfície de captação de estímulos.
- O corpo celular está ligado a um único tipo de prolongamento: os axônios.
- O axônio é um prolongamento do corpo celular que possui em sua extremidade ramificações, as quais estabelecem contato com outra estrutura, como outro neurônio, uma glândula ou um músculo.
- Dendritos e axônios podem ser envolvidos por células de Schwann, dotadas de grande quantidade de lipídeos. Essas células formam a bainha de mielina, que promove o isolamento dos axônios.

**8** O que é fenda sináptica?

---

---

**9** Como é chamada a transmissão de neurotransmissores na fenda sináptica?

---

---

**10** Qual o significado de potencial de membrana? Explique.

---

---

**11** O que é despolarização?

---

---

**12** O que se entende por reflexos?

---

---

# Exercícios propostos

## 1 PUC-SP 2010

Níquel Náusea - Fernando C.



Folha de S. Paulo, 4 ago. 2009.

O que é mostrado na tira, de forma espirituosa, é conhecido em humanos por reflexo patelar, sendo testado por um médico ao bater com um martelo no joelho de uma pessoa. Esse reflexo envolve:

- (a) um neurônio sensitivo que leva o impulso até a medula espinhal, onde se conecta com um neurônio motor, que conduz o impulso até o órgão efetador.
- (b) vários neurônios sensitivos, que levam o impulso até a medula espinhal, onde fazem conexão com inúmeros neurônios, que levam o impulso até o órgão efetador.
- (c) um neurônio sensitivo, que leva o impulso até o lobo frontal do cérebro, onde faz conexão com um neurônio motor, que conduz o impulso até o órgão efetador.
- (d) um neurônio sensitivo, vários neurônios medulares e um neurônio motor localizado no lobo frontal do cérebro.
- (e) vários neurônios sensitivos localizados na medula espinhal, onde se conectam com neurônios motores, que levam o impulso nervoso ao cérebro e, posteriormente, até o órgão efetador.

**2 Mackenzie 2010** Alguns tipos de drogas, utilizadas no tratamento da esquizofrenia, agem bloqueando os receptores de dopamina, um tipo de neurotransmissor, nas sinapses. A respeito desse bloqueio, é correto afirmar que:

- (a) ocorre no axônio de um neurônio.
- (b) provoca a destruição dos neurotransmissores.
- (c) como consequência, não há impulso nervoso no neurônio pós-sináptico.
- (d) atrasa a condução de um impulso ao longo de um neurônio.
- (e) provoca a diminuição permanente da produção de ATP no neurônio pós-sináptico.

**3 Fuvest** Examine a seguinte lista de eventos que ocorrem durante a propagação de um impulso nervoso.

- I. Neurotransmissores atingem os dendritos.
- II. Neurotransmissores são liberados pelas extremidades do axônio.
- III. O impulso se propaga pelo axônio.
- IV. O impulso se propaga pelos dendritos.
- V. O impulso chega ao corpo celular.

Que alternativa apresenta a sequência temporal correta desses eventos?

- (a) V – III – I – IV – II.
- (b) I – IV – V – III – II.

- (c) I – IV – III – II – V.
- (d) II – I – IV – III – V.
- (e) II – III – I – IV – V.

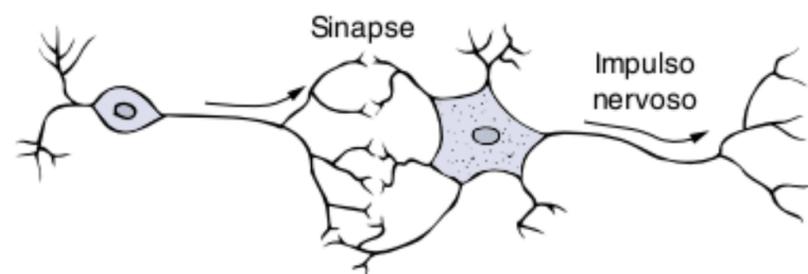
**4 Fatec** O gráfico a seguir mostra a variação do potencial da membrana do neurônio quando estimulado.



O potencial de ação para um determinado neurônio:

- (a) varia de acordo com a intensidade do estímulo, isto é, para intensidades pequenas temos potenciais pequenos e para maiores, potenciais maiores.
- (b) é sempre o mesmo, porém a intensidade do estímulo não pode ir além de determinado valor, pois o neurônio obedece à "lei do tudo ou nada".
- (c) varia de acordo com a "lei do tudo ou nada".
- (d) aumenta ou diminui na razão inversa da intensidade do estímulo.
- (e) é sempre o mesmo, qualquer que seja o estímulo, porque o neurônio obedece à "lei do tudo ou nada".

**5 Cesgranrio** A observação do desenho a seguir nos permite concluir que, na passagem do impulso nervoso pelas sinapses, ocorre:

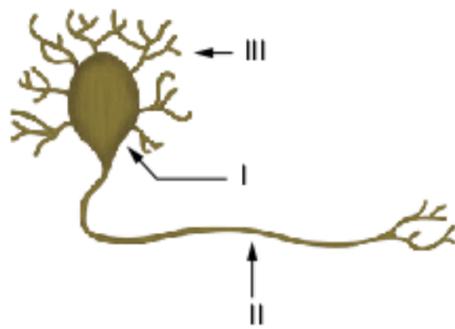


- (a) a liberação de mediadores químicos ou de hormônios.
- (b) o contato direto do axônio de uma célula com os dendritos de outra célula.
- (c) o fenômeno da bomba de sódio e potássio entre as células.
- (d) a troca de cargas elétricas ao nível das sinapses.
- (e) o envolvimento da bainha de mielina, que atua como um isolante elétrico.

**6 UFRGS** Para que um impulso nervoso possa ser transmitido de um neurônio a outro, é necessária a liberação, na fenda sináptica, de mediadores químicos. Um desses mediadores é a:

- (a) insulina.
- (b) tirosina.
- (c) vasopressina.
- (d) acetilcolina.
- (e) histamina.

**7 Unirio** Estão numeradas de I a III, no esquema a seguir, as partes fundamentais do neurônio, que são, respectivamente:



- (a) I – axônio; II – dendritos; III – corpo celular.
- (b) I – axônio; II – corpo celular; III – dendritos.
- (c) I – dendritos; II – axônio ; III – corpo celular.
- (d) I – corpo celular; II – axônio; III – dendritos.
- (e) I – corpo celular; II – impulso nervoso; III – sinapse.

**8 UFC** Considere o texto a seguir.

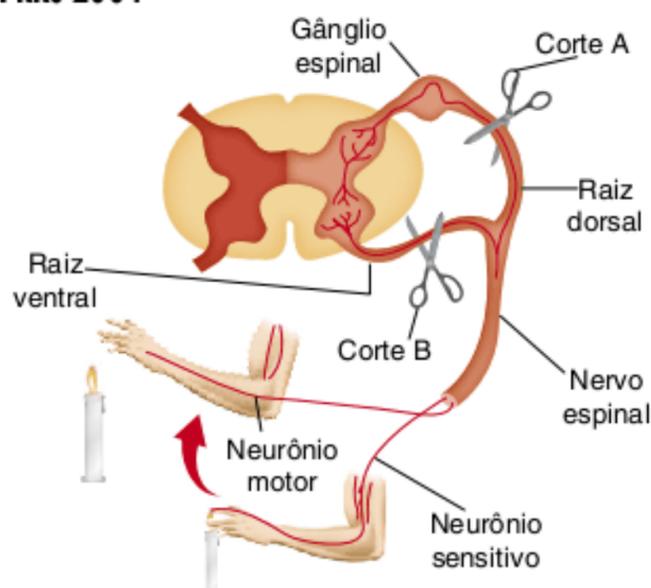
Um implante de células nervosas, já testado com sucesso em ratos para recuperar lesões cerebrais, foi feito pela primeira vez em seres humanos nos EUA, por pesquisadores da Universidade de Pittsburgh, segundo informou ontem o jornal The Washington Post. [...] O material implantado, extraído de um tumor de testículo, foi cultivado em laboratório por 20 anos. Nesse período, os cientistas foram capazes de ‘forçar’ quimicamente a transformação das células cancerosas em neurônios. As células de tumor foram escolhidas porque têm grande poder de multiplicação. [...] Cerca de 2 milhões de novas células nervosas foram aplicadas na região lesada de uma mulher de 62 anos, parcialmente paralisada por um derrame cerebral ocorrido há 19 anos. [...] Segundo os pesquisadores, a eficácia da operação só poderá ser comprovada em alguns meses.

Folha de S.Paulo, 3 jul. 1998.

Ao transformar células cancerosas em células nervosas, os cientistas conseguiram que estas últimas passassem a ter a seguinte constituição básica:

- (a) corpo celular, parede celular e flagelos.
- (b) parede celular, axônio e dendritos.
- (c) corpo celular, axônio e dendritos.
- (d) axônio, dendritos e flagelos.
- (e) corpo celular, parede celular e dendritos.

**9 UFRRJ 2004**



Fonte: J. M. Amabis; G. B. Martho. Curso de Biologia. São Paulo: Moderna, 1995. p. 422, v. 2.

Para a propagação do impulso nervoso, é necessário um estímulo que gera uma resposta. O esquema acima representa um arco reflexo, no qual o calor da chama de uma vela provoca a retração do braço e o afastamento da mão da fonte de calor. Responda:

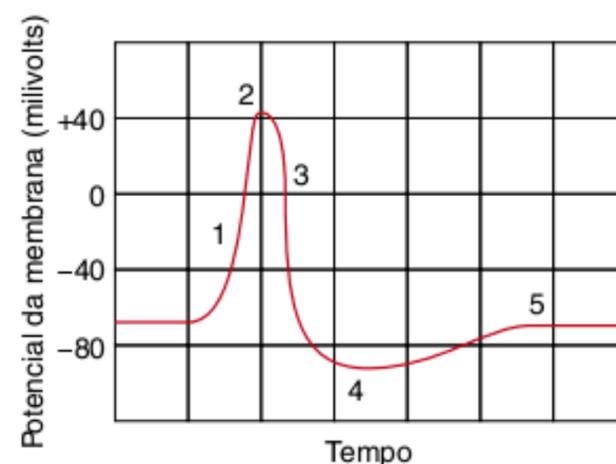
- a) Qual a consequência da seção da raiz dorsal do nervo representada como corte A?
- b) Qual a consequência da seção da raiz ventral do nervo representada como corte B?

**10 UFPE 2004** O impulso nervoso é um fenômeno de natureza eletroquímica, autopropagado, que caminha pela membrana do neurônio. Com relação a esse assunto, podemos afirmar que:

- ao ser estimulada, a membrana de um neurônio em repouso se despolariza. Na área estimulada, ocorre uma alteração momentânea na permeabilidade da membrana plasmática e a entrada de íons sódio.
- ao período de despolarização, segue-se um período de repolarização, em que o potássio se difunde para o meio extracelular. Posteriormente, a bomba de sódio e potássio restabelece os gradientes normais destes íons na célula.
- se o estímulo for de baixa intensidade, inferior ao limiar de excitação, as alterações sofridas pelo neurônio serão suficientes apenas para gerar um impulso nervoso de baixa propagação.
- a membrana do neurônio em repouso é polarizada como uma pilha elétrica. Sua face interna representa o polo negativo, e a face externa funciona como polo positivo.
- axônios amielínicos transmitem o impulso nervoso mais rapidamente que os mielinizados.

**11 UFF 2004** Um estímulo aplicado em um ponto de um nervo desencadeia a formação de um impulso nervoso, caracterizado por despolarização seguida de repolarização da membrana dos axônios. Esse fenômeno, denominado potencial de ação, se propaga pelo nervo. Após determinado período de tempo, em presença de ouabaína – um inibidor específico da enzima  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$  ATPase – qual seria o efeito na formação do potencial de ação? Justifique sua resposta.

**12 UFPE 2004** Analise a figura a seguir, que mostra a variação do potencial de membrana durante a resposta “tudo ou nada” do neurônio a um estímulo eficaz. Analise as proposições com verdadeiro ou falso.



- Na fase 1, a membrana celular apresenta maior permeabilidade ao  $K^+$ , tornando o meio intracelular mais negativo em relação ao meio extracelular.
- Na fase 2, a célula apresenta inversão de sua polaridade, sendo o interior da célula positivo em relação ao meio extracelular.
- A fase 3 corresponde ao momento de repolarização do neurônio, sendo este incapaz de responder a outro estímulo; por isso, esse momento é chamado de período refratário absoluto.

- Na fase 4, ocorre a redistribuição de íons através da membrana, sendo que, ativamente, o sódio é retirado e, ao mesmo tempo, ocorre entrada de potássio.
- Na fase 5, a célula alcançou seu nível de repouso; nesta fase, é mais difícil obter-se uma resposta a qualquer estímulo.

## TEXTOS COMPLEMENTARES

### Alimentação mediterrânea

Com índices de mortalidade por câncer e doenças cardiovasculares inferiores à média mundial e menor incidência de doenças como Parkinson e Alzheimer, os países da costa do mar Mediterrâneo têm muita coisa a ensinar sobre saúde aos demais.

A opinião é de Elliot Berry, professor do Departamento de Nutrição e Metabolismo da Escola de Medicina Hadassah, da Universidade Hebraica de Jerusalém, Israel, que proferiu palestra na 25ª Reunião da Federação de Sociedades de Biologia Experimental (FeSBE), em Águas de Lindoia (SP).

Segundo Berry, a boa saúde dos povos mediterrâneos se explica, em parte, pela alimentação. Mesmo culturalmente diferentes, os países da região partilham alguns ingredientes em comum, entre os quais sete se destacam: trigo, cevada, uva, figo, tâmara, romã e azeitona.

“São alimentos antigos e citados na *Bíblia*. Dois deles – romã e azeite de oliva – são especialmente bons para a saúde. O azeite reduz o risco de doenças cardíacas e a romã possui alto teor de antioxidantes e diminui riscos de aterosclerose na veia carótida”, disse.

Outro diferencial está no próprio modo de se alimentar, com pequenas porções, refeições bem distribuídas ao longo do dia e aproveitamento de alimentos da época e cultivados nas proximidades, o que garante frescor.

Para Berry, o Mediterrâneo ensina que a alimentação é um componente importante da qualidade de vida de cada país e deve ser quantificada. Pensando nisso, ele e mais dois colegas – Joshua Rosenbloom e Dorin Nitzan-Kaluski – elaboraram em 2008 o **Índice de Nutrição Global** (GNI, na sigla em inglês).

O GNI é formado por três itens com peso igual. O primeiro é a taxa de deficiência nutricional, que analisa a qualidade da alimentação e se há deficiência de nutrientes – esse número é calculado pela iniciativa *Global Burden of Disease*.

Outro componente é o excesso nutricional, que mede o percentual de obesos com mais de 15 anos – dados da Organização Mundial da Saúde (OMS). O terceiro indicador é o de segurança alimentar, que representa a porcentagem da população desnutrida – dados da Organização das Nações Unidas para Agricultura e Alimentação (FAO).

O GNI divide os países em desenvolvidos e em desenvolvimento. O Japão é quem está melhor na primeira lista, com índice de 0,930. Três países mediterrâneos estão entre os dez primeiros: França (2º), Itália (9º) e Espanha (10º).

Berry explica que há diferenças entre países ricos e em desenvolvimento ao abordar problemas nutricionais iguais. “A obesidade, por exemplo, é mais prevalente na população pobre dos países desenvolvidos, enquanto nos países em desenvolvimento ela aparece mais nos estratos sociais mais altos”, disse.

O Brasil é o décimo entre os países em desenvolvimento, com um GNI de 0,834, próximo à Argentina (em 7º, com 0,849) e ao Chile (8º, com 0,848). A lista é liderada pela Coreia do Sul (0,930), seguida pelo Uruguai (0,892).

### Altos e baixos

“Os dados ficam muito interessantes ao cruzarmos o GNI com o Índice de Desenvolvimento Humano (IDH): verificamos que boa nutrição e desenvolvimento econômico não são necessariamente sinônimos”, destacou.

Ao sobrepor os *rankings* IDH-GNI, Berry encontrou resultados curiosos. Países com altos índices de desenvolvimento humano apresentaram índice nutricional baixo, como foi o caso dos Estados Unidos, da Austrália e do Canadá. Também houve exemplos reversos, como China e Indonésia, com bons GNIs e IDH abaixo da média mundial.

Por isso, Berry defende a incorporação do GNI ao IDH. “As duas informações juntas poderiam subsidiar políticas públicas que ajudariam inclusive os países ricos com problemas de nutrição”, afirmou.

No entanto, a nutrição somente não explica a boa saúde encontrada no Mediterrâneo. Berry apresentou uma pesquisa realizada durante dois anos e que acompanhou 811 pessoas, comparando a perda de peso por meio de diferentes dietas. Dietas ricas em gordura, proteínas e carboidratos foram comparadas a outras com baixos teores desses componentes.

“A nossa tendência é dizer que os que receberam baixos índices de gordura, proteínas e carboidratos emagreceram mais. Porém, o resultado foi indiferente, mostrando que, para a perda

de peso, a quantidade de alimentos é mais importante do que a qualidade”, disse.

Além da alimentação, a qualidade de vida é um item importante a se destacar nos países do Mediterrâneo. “O horário das refeições, como você come e até com quem você come podem influenciar na saúde”, disse.

Berry também destacou a importância da prática de exercícios físicos. “Toda vez que pegamos um elevador em vez de usar escadas estamos perdendo uma oportunidade preciosa para queimar calorias”, disse.

Segundo o cientista, a quantidade de alimentos ingerida deve estar diretamente ligada ao nível de atividade física executada. “Somos como uma usina de energia, o combustível que consumimos deve ser compatível com o trabalho gerado”, apontou.

Os dez mandamentos do estilo de vida Mediterrâneo segundo Elliot Berry:

O que fazer:

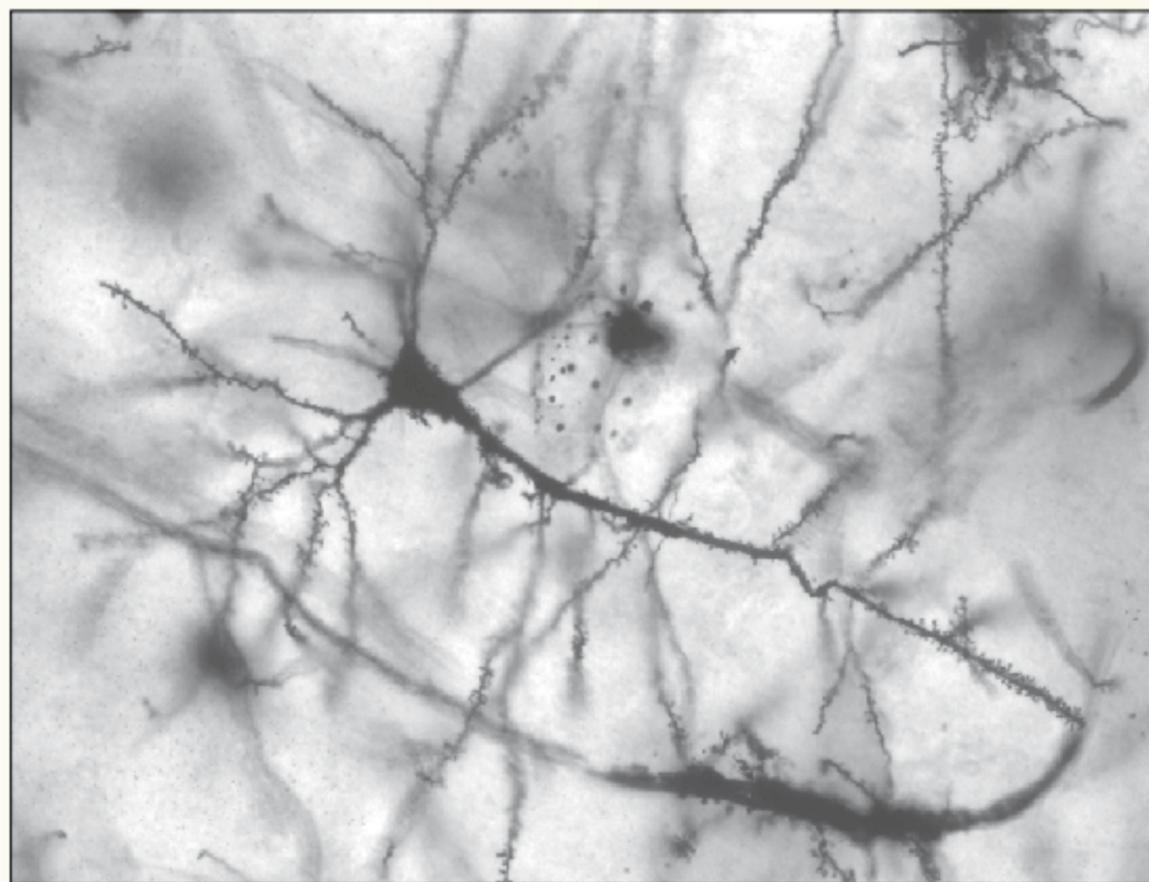
1. Consumir mais óleo/azeite de oliva, abacate e amêndoas.
2. Consumir cinco porções diárias de frutas e vegetais.
3. Consumir peixe duas vezes por semana para adquirir ômega 3.
4. Fazer exercícios de 30 minutos pelo menos três vezes por semana.
5. Ter um dia de descanso com a família e os amigos.

O que não fazer:

1. Fumar.
2. Comer demais.
3. Adicionar sal à comida já preparada.
4. Exagerar no consumo do álcool (limite de 20 a 30 gramas por dia).
5. Dirigir em alta velocidade.

Fábio Reynol. Agência FAPESP, 30 ago. 2010.  
Disponível em: <<http://agencia.fapesp.br/12699>>.

## Cola para os nervos



NETHOXROY/WIKIMEDIA COMMONS

Neurônios.

A realização de reparos eficientes em lesões do sistema nervoso é um desafio para a medicina. Compreender o rearranjo dos circuitos neurais provocado por essas lesões pode ser um passo fundamental para otimizar a sobrevivência e a capacidade regenerativa dos neurônios motores e restabelecer os movimentos do paciente.

A partir de investigações sobre esses mecanismos de rearranjo dos circuitos nervosos, um grupo da Universidade Estadual de Campinas (Unicamp) está desenvolvendo um modelo inovador que associa terapia celular ao replante das raízes nervosas.

Para restabelecer a conexão entre o sistema nervoso periférico e o central, os pesquisadores utilizam células-tronco mononucleares de medula óssea e uma “cola” desenvolvida a partir do veneno de serpentes.

Coordenador do Laboratório de Regeneração Nervosa da Unicamp, Oliveira apresentou, durante o 15º Congresso da Sociedade Brasileira de Biologia Celular, em São Paulo, modelos utilizados por sua equipe para investigar os mecanismos de regeneração do sistema nervoso central e periférico.

“Após lesão no sistema nervoso – periférico ou central –, ocorre um rearranjo considerável dos circuitos neurais e das sinapses. Entender esse rearranjo é importante para determinar a sobrevivência neural e a capacidade regenerativa posterior”, disse Oliveira à Agência Fapesp.

Para estudar os mecanismos de regeneração, os cientistas utilizam técnicas que unem

microscopia eletrônica de transmissão, imunohistoquímica, hibridação *in situ* e cultura de células gliais e neurônios medulares.

“Procuramos associar a terapia celular ao replante das raízes nervosas. Para isso, temos usado células-tronco mesenquimais e mononucleares no local da lesão ou nas raízes replantadas. A ideia não é repor neurônios, mas estimular troficamente essas células e evitar a perda neural, de modo a conseguir otimizar o processo regenerativo”, disse.

O projeto mais recente do grupo envolve o uso de um selante de fibrina – uma proteína envolvida com a coagulação sanguínea –,

produzido a partir de uma fração do veneno de jararaca pelo Centro de Estudos de Venenos e Animais Peçonhentos da Universidade Estadual Paulista (Unesp) em Botucatu.

“Os axônios dos neurônios motores saem da medula espinhal e entram na raiz nervosa, dirigindo-se aos nervos. O nosso modelo emprega essa ‘cola’ biorreabsorvível para reimplantar as raízes nervosas na superfície da medula, onde o sistema nervoso periférico se conecta ao sistema nervoso central. Associamos essa adesão às células-tronco, que produzem fatores neurotróficos – isto é, moléculas proteicas capazes de induzir o crescimento e a migração de expansões das células neurais”, explicou Oliveira.

Quando as raízes motoras são arrancadas, cerca de 80% dos neurônios motores morrem duas semanas após a lesão. Mas os motoneurônios que sobrevivem têm potencial regenerativo após o reimplante de raízes nervosas.

“Porém, na maioria das vezes, o reimplante das raízes não é suficiente para se obter um retorno da função motora, porque a lesão causa uma perda neuronal grande demais. Por isso, é preciso desenvolver estratégias para diminuir a morte neuronal após a lesão. Acreditamos que o uso do selante de fibrina pode auxiliar nesse processo”, indicou.

Segundo Oliveira, quando há uma lesão periférica – comum em acidentes de trabalho, por exemplo –, com transecção ou esmagamento de nervos, ocorre uma resposta retrógrada, isto é, uma reorganização sináptica visível na medula espinhal, onde se encontram os neurônios.

“O interessante é que, quando a lesão é periférica, o neurônio sinaliza de alguma forma para a glia – o conjunto de células do sistema nervoso central que dá suporte aos neurônios –, que se torna reativa. Essa reatividade está envolvida no rearranjo sináptico por meio de mecanismos ainda pouco conhecidos. Nosso objetivo é compreender e otimizar esse processo de rearranjo sináptico para, futuramente, criar estratégias capazes de melhorar a qualidade da regeneração neuronal”, afirmou.

## Rearranjo sináptico

No laboratório da Unicamp, os cientistas induzem em ratos e camundongos doenças como a encefalomielite autoimune experimental – que é um modelo para estudar a esclerose múltipla. Após a indução de uma forma aguda da doença, os animais apresentam

todos os sinais clínicos, tornando-se tetraplégicos de 15 a 17 dias após a indução.

“Por outro lado, eles se recuperam da tetraplegia muito rapidamente, entre 72 e 96 horas. O rearranjo sináptico induzido pela inflamação é tão grande que paralisa completamente a funcionalidade tanto sensitiva como motora, mas de forma transitória”, disse Oliveira.

No entanto, a esclerose múltipla destrói a bainha de mielina, uma substância que isola as terminações dos nervos e garante o funcionamento dos axônios. Segundo Oliveira, porém, essa bainha se recupera em surtos temporários: em alguns momentos há desmielinização; em outros, a resposta imune fica menos ativa, permitindo que a bainha de mielina se recomponha.

“O paradoxal é que, mesmo que a remielinização não tenha se completado, o animal volta a andar normalmente. Nossa hipótese é que o processo autoimune causa lesões cuja repercussão no sistema nervoso central é similar àquela que ocorre após uma injúria axonal. Transitoriamente, os neurônios param de funcionar. Quando a inflamação cede, as sinapses retornam muito rapidamente. No modelo animal, em algumas horas a função é retomada e os sinais clínicos vão desaparecendo”, disse.

Além do modelo da esclerose múltipla, os cientistas trabalham também com um modelo de lesão periférica dos nervos e na superfície da medula espinhal.

“Quanto mais perto da medula ocorre a lesão, mais grave a lesão em termos de morte neuronal. Todas são graves, mas aquela que ocorre perto da medula causa perda neuronal e aí não há perspectiva de recuperação. Mesmo com as vias íntegras, o neurônio que conecta o sistema central com o músculo morre e nunca mais haverá recuperação”, explicou o professor da Unicamp.

“Tanto no animal como no homem, ocorre uma perda grande de neurônios, mas da pequena porcentagem que resta, apenas cerca de 5% consegue se regenerar. No homem, entretanto, há uma demora de mais de dois anos para que se recupere alguma mobilidade. No rato, a mobilidade é recuperada em três ou quatro meses”, disse.

“Uma vez que isso foi descoberto, começou-se a tentar reimplantar as raízes, desenvolvendo estratégias cirúrgicas e tratamentos com drogas que evitem a morte neuronal nesse período em que há desconexão. Essa parece ser a saída mais promissora para evitar a perda neuronal e otimizar a regeneração”, afirmou.

Fábio de Castro. Agência FAPESP, 29 jul. 2010. Disponível em: <[www.agencia.fapesp.br/12544](http://www.agencia.fapesp.br/12544)>.

## RESUMINDO

A organização do sistema nervoso em animais difere de acordo com o grupo abordado. Nos cordados, ele é **tubular** e **dorsal** (originário do **ectoderma** dorsal embrionário). Assim, o **encéfalo** (parte alojada na caixa craniana) e a **medula espinhal** (protegida pela coluna vertebral) constituem o **sistema nervoso central** (SNC), no qual informações vindas do organismo são processadas e respostas adequadas são emitidas.

O **SNC** está ligado ao **sistema nervoso periférico** (SNP), formado por **nervos** (prolongamentos que transmitem informações do SNC, e para ele) e **receptores sensoriais** (terminações nervosas).

- **Neurônios**: principais constituintes do sistema nervoso. São capazes de reagir a estímulos externos (possuem **irritabilidade**) e transmitir informações ao longo de sua membrana plasmática (apresentam **condutibilidade**). As informações são enviadas na forma de um impulso nervoso (alteração da distribuição de íons na membrana). São partes de um neurônio:

- **Corpo celular:** chamado também de pericário, consiste na região que contém o **núcleo**. É responsável pelo controle do metabolismo celular;
- **Axônio:** prolongamento alongado do corpo celular com extremidades ramificadas. Estabelecem contato com outra estrutura, como um outro neurônio, uma glândula ou um músculo. Impulsos nos axônios são **celulífugos**;
- **Dendritos:** apresentam muitas ramificações, são a superfície de captação de estímulos. Ao recebê-los, desencadeiam impulsos nervosos transmitidos ao corpo celular e deste para o axônio e suas ramificações. Impulsos nos dendritos são **celulípetos**.
- **Bainha de mielina:** é formada por células chamadas **células de Schwann** (dotadas de grande quantidade de lipídeos), que podem estar presentes envolvendo axônios e dendritos, promovendo seu isolamento. Áreas do axônio que não são recobertas pela bainha de mielina correspondem aos **nódulos de Ranvier**. O impulso nervoso não percorre os locais mielinizados, ocorrendo apenas através dos nódulos, “saltando” de um nódulo para outro. Os “saltos” ocorrem em função das variações no campo elétrico da célula, o que aumenta muito a velocidade de condução.
- **Neurógliã:** região do encéfalo constituída por células associadas aos neurônios (**astrócitos** e **oligodendrócitos**), que os auxiliam realizando sua sustentação mecânica, nutrição e defesa.
- **Sinapse:** consiste na transmissão de impulsos através de neurotransmissores contidos em vesículas (como a noradrenalina e a acetilcolina), liberados pelos axônios, estimulando estruturas. Ocorre na fenda entre as ramificações do axônio e a estrutura a que estão associadas: chamada **fenda sináptica**. Há um encaixe dos neurotransmissores em receptores químicos específicos da célula pós-sináptica, provocando respostas.
- **Gânglios:** concentração de corpos celulares fora do SNC.
- **Impulso nervoso:** sinal enviado de uma célula nervosa ao sistema nervoso central, resultado de modificações internas e externas da membrana neural. O potencial de membrana é alterado (despolarizado e repolarizado) trecho a trecho, resultando no deslocamento do impulso nervoso.
- **Potencial de membrana:** a face externa da membrana de um neurônio apresenta carga positiva (com grande concentração de íons sódio  $\text{Na}^+$ ), e a face interna carga negativa (com grande concentração de íons potássio  $\text{K}^+$  e cloreto  $\text{Cl}^-$ ). Potencial de repouso é quando o neurônio não apresenta impulso nervoso.
- **Despolarização:** a célula é estimulada e o impulso modifica o potencial elétrico de sua membrana. É desencadeado o **potencial de ação**, que consiste na inversão de polaridade da membrana, que fica com carga negativa na face externa e carga positiva na face interna (membrana torna-se mais permeável ao sódio  $\text{Na}^+$ ).
- **Repolarização:** ocorre com a saída de íons potássio, **restabelecendo a distribuição de cargas** através de difusão e da bomba de sódio e potássio.
  - **Estímulo limiar:** é o que apresenta a menor intensidade capaz de desencadear impulso nervoso.
  - **Lei do tudo ou nada:** considera que estímulos no limiar ou acima do limiar de excitação produzem impulsos que apresentam a mesma velocidade de condução e ocorrem com a mesma intensidade.
- **Arco reflexo:** envolve uma série de estruturas responsáveis por uma resposta inconsciente do corpo, que visa movimentação rápida para solucionar um problema ou retirar o organismo de perigo. Origina-se de um estímulo externo e acontece antes de o cérebro captar o estímulo periférico: é o **ato reflexo**. Entre as estruturas estão:
  - **neurônios sensoriais:** recebem o estímulo e o conduzem até as proximidades da **medula espinal**;
  - **medula espinal:** localizada no interior da coluna vertebral, recebe o impulso do neurônio, que entra pela parte dorsal da medula, na qual estabelece sinapse com **neurônios associativos**, que transformam o estímulo em uma ordem de ação;
  - **neurônios aferentes:** conduzem os impulsos nervosos da parte ventral da medula espinal até o órgão efector;
  - **músculos:** correspondem ao órgão efector (também podendo ser uma glândula) que sofre contração muscular, promovendo a reação de reflexo.

## ■ QUER SABER MAIS?



### FILME

- Curta-metragem premiado pelo Instituto de Neurociência Cognitiva UCL no concurso *Brains on film* (Cérebros em filme) por contar a relação íntima entre a célula nervosa e a droga.  
<<http://cienciahoje.uol.com.br/blogues/bussola/2011/05/amor-de-neuronio/view>>.

## Exercícios complementares

**1** Sobre o neurônio, responda:

- O que é um neurônio?
- Qual sua função?
- Que tipos existem e o que faz cada um?

**2** Explique por que um derrame ou tumor no cérebro pode afetar a visão, a audição ou até mesmo deixar a pessoa parálitica.

**3** O que é bainha de mielina? Qual a sua função?

**4** Explique como ocorre a passagem dos impulsos nervosos de um neurônio ao outro.

**5** Quais são os órgãos do sistema nervoso central humano?

**6 Unesp** Quando um neurônio é estimulado, várias alterações elétricas ocorrem em sua membrana (axônio), as quais são basicamente comandadas pelos movimentos de íons. Quando o nível do estímulo é suficiente, forma-se o impulso nervoso.

- Quais são os íons que comandam estas alterações elétricas que formam o impulso nervoso?
- Que nome se dá à região entre os neurônios, onde ocorre a transmissão do impulso?

**7 PUC-MG** A sinapse é:

- um tipo de fibra muscular envolvida no processo de contração cardíaca.
- uma célula sanguínea envolvida na liberação de tromboplastina para o processo de coagulação.
- um tipo de reprodução sexuada, que envolve a formação de gametas, realizada por protozoários ciliados.
- uma região de contato entre a extremidade do axônio de um neurônio e a superfície de outras células.
- um fenômeno que explica o fluxo de seiva bruta em espermatófitas.

**8 Udesc** O cerebelo é parte integrante do sistema nervoso central e está relacionado com o sincronismo dos movimentos.

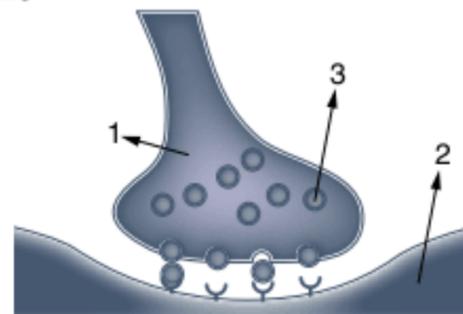
- De que maneira o cerebelo, localizado na caixa craniana, estabelece o sincronismo dos movimentos, por exemplo, nos braços?
- Existe alguma relação entre o cerebelo e o sistema muscular? Justifique.
- Danos ao cerebelo provocam dificuldades ou impossibilidade de movimentos. Esses danos são reversíveis? Justifique.

**9 Udesc** Quando uma pessoa fica, durante alguns minutos, sem oxigenação adequada ao cérebro, pode morrer ou, então, ficar com lesões decorrentes da anoxia.

Com relação a essas lesões cerebrais, responda:

- Por que, em alguns casos, a pessoa fica sem capacidade de articular seus movimentos?
- Quais as chances de ocorrer reversão do quadro de lesão apresentado? Justifique com base na questão citológica.

**10 Mackenzie**



A respeito da sinapse representada anteriormente, é correto afirmar que:

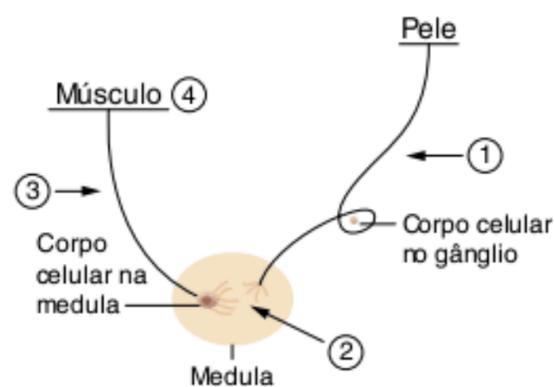
- só está presente no sistema nervoso central.
- o impulso nervoso passa de 2 para 1.
- a liberação das substâncias presentes em 3 determina a passagem de impulso de um neurônio para outro.
- as substâncias presentes em 3 são produzidas exclusivamente nas células desse sistema.
- é possível haver contato físico entre 1 e 2.

**11 Uerj** Podemos analisar a organização morfofuncional do sistema nervoso dos vertebrados quando observamos a reação do indivíduo ao tocar com a mão um objeto muito quente: a musculatura do esqueleto é estimulada e ele retrai a mão da fonte de calor.

Esse fenômeno pode ser explicado pela atuação dos componentes da seguinte estrutura:

- arco reflexo.
- cordão nervoso ventral.
- eixo hipotálamo-hipófise.
- rede nervosa epidérmica.

**12 PUC-SP** O esquema abaixo representa um arco reflexo simples. O conhecimento sobre reflexos medulares deve-se a trabalhos pioneiros feitos, no início deste século, pelo fisiologista inglês C.S. Sherrington.



No esquema, 1, 2, 3 e 4 indicam, respectivamente:

- neurônio aferente, sinapse, neurônio sensorial e órgão receptor.
- sinapse, neurônio aferente, neurônio motor e órgão efetuator.
- neurônio motor, sinapse, neurônio aferente e órgão receptor.
- neurônio aferente, sinapse, neurônio motor e órgão efetuator.
- neurônio motor, neurônio aferente, sinapse e órgão receptor.

**13 UFPR** Durante este ano, muito foi discutido sobre a crise de energia elétrica no Brasil, e todos estivemos conscientes da possibilidade de haver interrupções no fornecimento de energia em diversas cidades do país. Suponha que um indivíduo A não soubesse desse fato (A poderia ser um estrangeiro recém-chegado ao Brasil), que estivesse em uma dessas cidades e que subitamente fosse surpreendido à noite por um "apagão".

Com relação ao que ocorreria ao sistema nervoso de A nessas circunstâncias, é correto afirmar:

- 01 se A se assustasse e exibisse, em função disso, um aumento de frequência cardíaca, é possível afirmar que o sistema nervoso autônomo desse indivíduo estaria envolvido nessa resposta.
- 02 supondo que a ausência de luz fosse um estímulo que desencadeasse a propagação de um impulso nervoso em neurônios de A, para tanto, haveria necessariamente inversão da polaridade da membrana plasmática dessas células, com influxo de íons sódio para o meio intracelular e saída posterior de íons potássio para o meio extracelular.
- 04 supondo-se que os sinais visuais fossem importantes para a manutenção do equilíbrio e da postura de A, para que ele pudesse continuar caminhando no escuro, o cerebelo seria a principal estrutura do sistema nervoso a monitorar outras informações que compensassem a ausência dos sinais visuais citados.
- 08 a capacidade do sistema nervoso de responder a uma ausência total ou parcial de luz está relacionada à intensidade de resposta dos neurônios, uma vez que, diferentemente dos demais neurônios, os neurônios oculares não seguem o padrão de resposta tudo ou nada, segundo o qual a intensidade de resposta é sempre a mesma, desde que o estímulo seja igual ou superior a um dado limiar.
- 16 caso A caísse, em função de estar num local desconhecido no escuro, todas as estruturas citadas a seguir seriam importantes para a proteção do sistema nervoso desse indivíduo: crânio, coluna vertebral, meninges e líquido cefalorraquidiano.
- 32 a cabeça de A corresponderia à região exploratória do ambiente escuro, assim como ocorreria com diversos outros animais, visto que a centralização e a anteriorização das estruturas nervosas são tendências evolutivas que se verificam ao longo da escala zoológica.
- 64 se em vez de ficar no escuro A tivesse posto a mão numa chapa quente, a resposta de retirada rápida da mão constituir-se-ia num ato reflexo e envolveria obrigatória e unicamente as seguintes estruturas: receptor sensorial, neurônio sensorial ou aferente, neurônio motor ou eferente e órgão efetor da resposta.

Soma =

**14 UFPE** Assinale a alternativa que completa corretamente a afirmação a seguir:

O impulso nervoso apresenta duas etapas chamadas de despolarização e repolarização, causadas, respectivamente, por:

- (a) entrada de íons sódio e saída de cloro.
- (b) entrada de íons potássio e saída de sódio.
- (c) entrada de íons cloro e saída de sódio.
- (d) entrada de íons potássio e saída de cloro.
- (e) entrada de íons sódio e saída de potássio.

**15 UFRS** O cérebro faz o controle de várias funções do organismo. Do ponto de vista evolutivo, as estruturas mais antigas do cérebro dos vertebrados são responsáveis por:

- (a) controle da memória.
- (b) processamento visual.
- (c) controle da atividade esquelética.
- (d) controle da fala.
- (e) controle da respiração e circulação.

**16 UFPE 2003** Sobre o sistema nervoso do homem e suas funções, é correto afirmar que:

- o hipotálamo é importante para a homeostase corporal.
- o equilíbrio corporal é controlado pelo bulbo raquidiano.
- os atos de pensar, evocar lembranças e falar dependem da integridade do córtex cerebral.
- os atos reflexos ocorrem no âmbito da medula espinhal.
- o ato de andar de bicicleta é coordenado pelo cerebelo.

**17 Fatec 2005** Uma dona de casa encostou a mão num ferro quente e reagiu imediatamente por meio de um ato reflexo.

Nessa ação, o neurônio efetor levou o impulso nervoso para:

- (a) o encéfalo.
- (b) a medula espinhal.
- (c) os receptores de dor da mão.
- (d) os receptores de calor da mão.
- (e) os músculos flexores do antebraço.

# 16

FRENTE 3

## Sistema nervoso



O sistema nervoso nos coloca em contato com o ambiente e está relacionado a processos de raciocínio, memória e resposta a estímulos externos.

## As grandes divisões do sistema nervoso

O sistema nervoso humano compreende duas grandes divisões (Fig. 1): o **sistema nervoso central (SNC)** e o **sistema nervoso periférico (SNP)**.

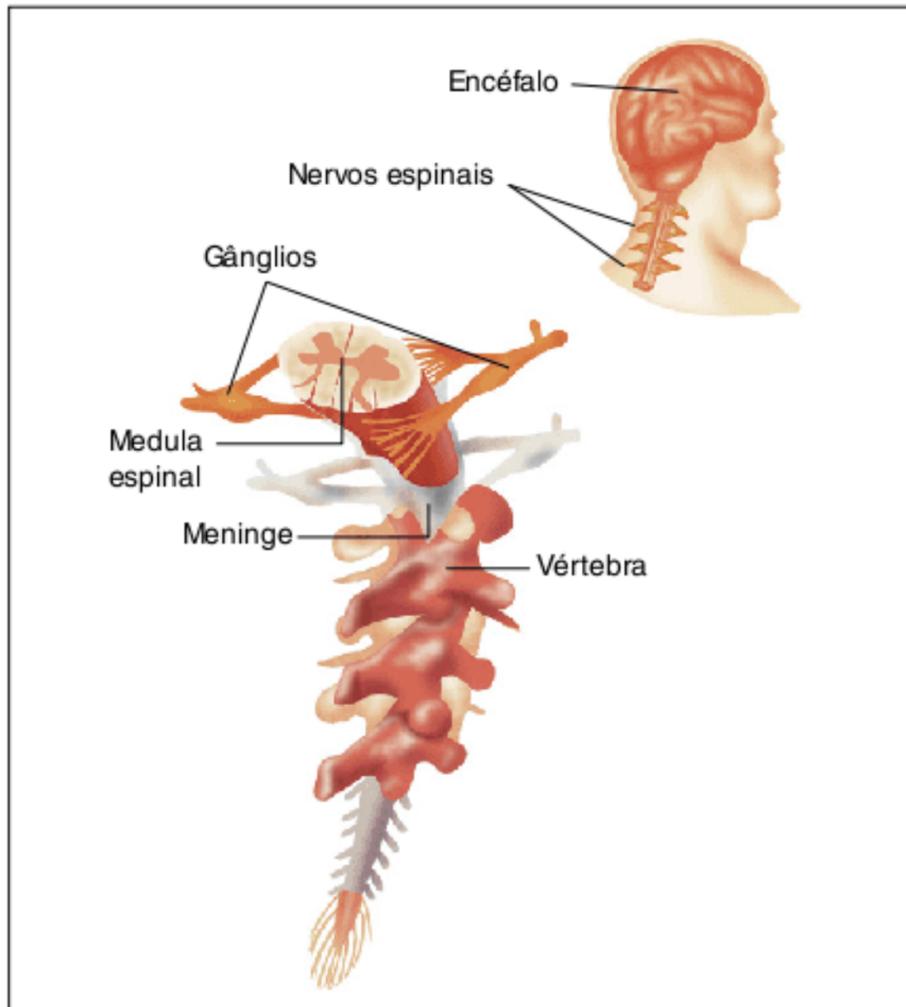


Fig. 1 Aspecto geral do sistema nervoso (central e periférico) com os componentes principais.

## O sistema nervoso central

O **sistema nervoso central** é composto pela medula espinal (protegida pela coluna vertebral) e pelo encéfalo (protegido

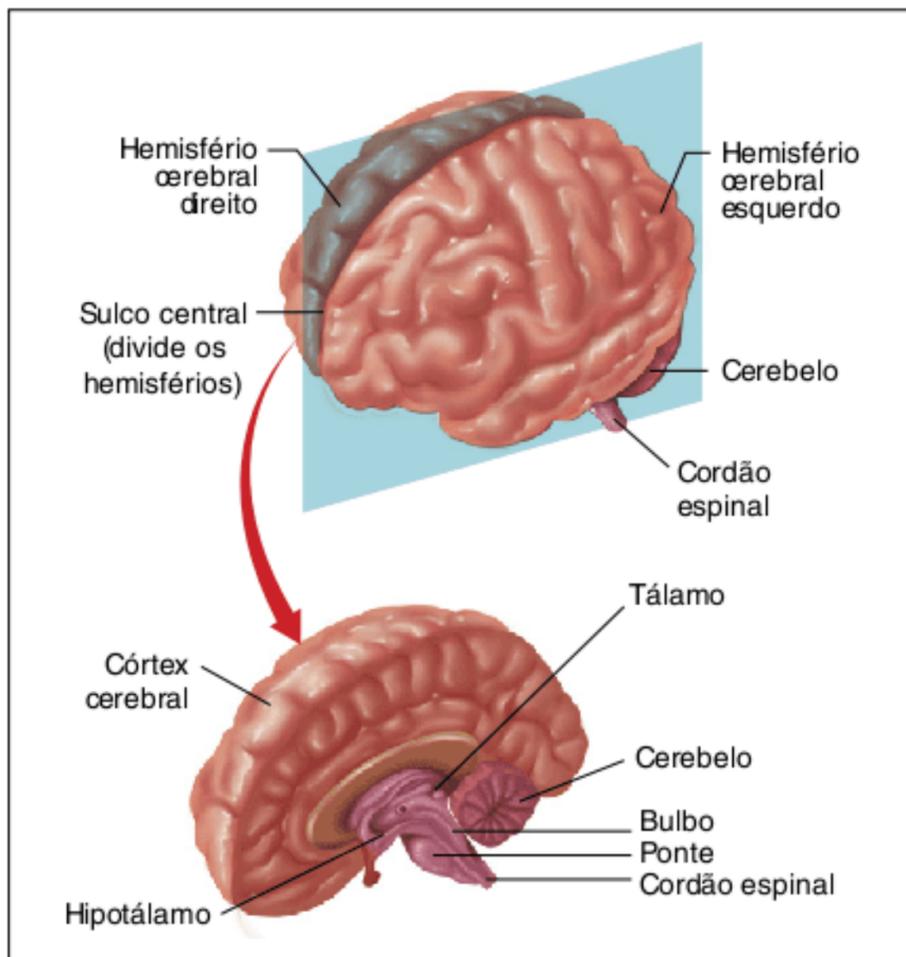


Fig. 2 O encéfalo e seus componentes. No alto, o encéfalo é representado integralmente. Embaixo, é visto em corte pela sua região mediana.

pela caixa craniana). A **medula espinal** é responsável pelos reflexos medulares (vistos no capítulo anterior) e pela ligação entre o sistema nervoso periférico e o encéfalo. O **encéfalo** tem grande complexidade e apresenta inúmeros componentes, como **cérebro, ponte, bulbo** (ou medula oblonga), **mesencéfalo** e **cerebelo**, tratados mais à frente (Fig. 2).

O **SNC** é envolvido por **meninges**, que realizam função protetora de suas estruturas (Fig. 3). As meninges são a **dura-máter** (externa), a **aracnoide** (intermediária) e a **pia-máter** (interna e fica em contato com o tecido nervoso). Entre as meninges e o tecido nervoso há um espaço cheio de líquido, o chamado **fluido cérebro-espinhal**. Esse líquido, com teor proteico, tem como função **amortecer impactos** na delicada estrutura neural, **transportar nutrientes** e **neurotransmissores** pela caixa craniana e dar **apoio mecânico** ao cérebro. Ele também circula por cavidades presentes no sistema nervoso central, chamadas ventrículos.

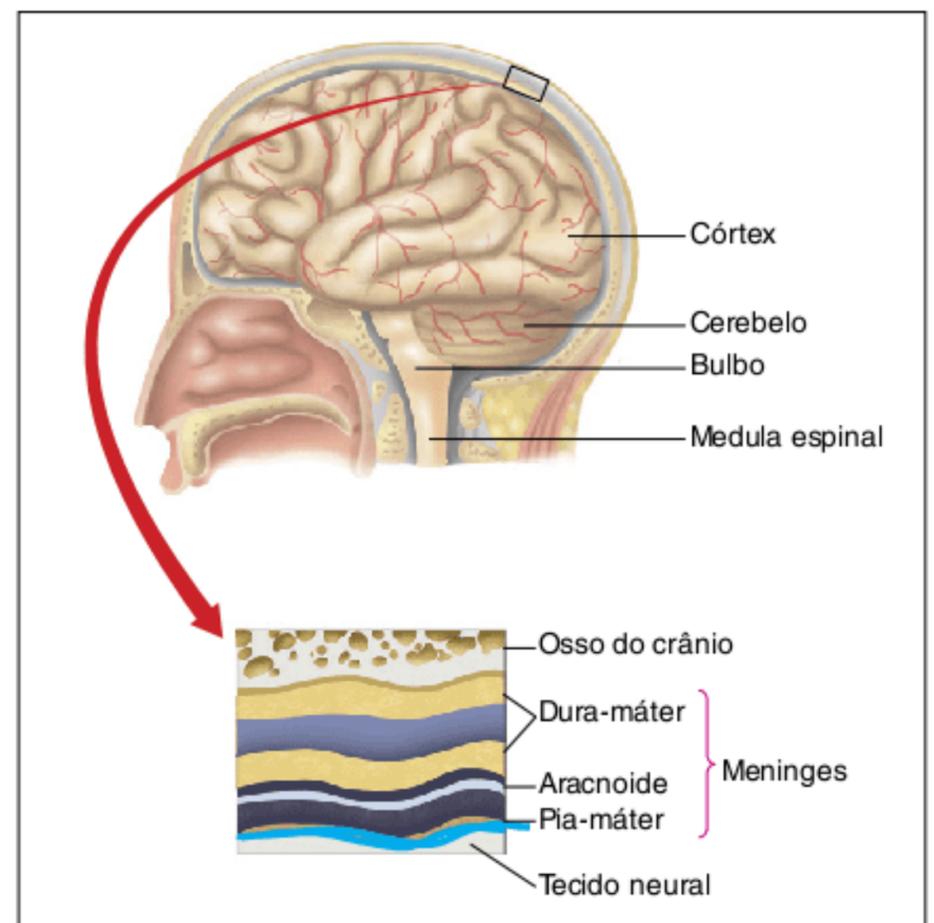


Fig. 3 As meninges estão localizadas entre o tecido ósseo e o tecido nervoso, sendo fundamentais em sua proteção.

A seguir, serão tratados os componentes principais do sistema nervoso central.

## Cérebro

O cérebro é a parte mais desenvolvida do encéfalo humano, sendo constituído por **hemisférios cerebrais, tálamo** e **hipotálamo**. É o responsável por todos os comandos enviados para o organismo, necessitando de grande irrigação sanguínea e oxigenação.

## Hemisférios cerebrais

Correspondem às duas **metades externas do cérebro** (direita e esquerda). Sua superfície é chamada **córtex cerebral**, que apresenta grande quantidade de corpos celulares de neurônios e que corresponde à **substância cinzenta**. Essa estrutura possui inúmeros **dobramentos** (as circunvoluções cerebrais)

que promovem o aumento da superfície de tecido nervoso. Logo abaixo do córtex, mais internamente, há a **substância branca**, constituída por prolongamentos de neurônios (dendritos e axônios).

Os hemisférios cerebrais constituem um **centro motor e sensorial**; isso significa que recebem informações e enviam ordens a várias partes do organismo. Neles, existem áreas responsáveis pela execução de funções bem definidas, como a audição, a visão e os movimentos. Além disso, são o centro de armazenamento e processamento da memória e a parte responsável pelo pensamento consciente e pelas funções intelectuais.

Em termos gerais, o **hemisfério esquerdo** controla a parte direita do corpo, enquanto o **hemisfério direito** controla a parte esquerda do corpo. Os dois hemisférios estão ligados pelo corpo caloso.

Cada hemisfério cerebral é constituído por quatro lobos: frontal, occipital, temporal e parietal (Fig. 4). Os **lobos frontais**, localizados na região da testa, controlam os músculos esqueléticos, a linguagem, a resolução de problemas, a concentração etc. Os **lobos temporais**, localizados nas regiões laterais da cabeça, nas quais estão dispostas as orelhas, estão relacionados com a audição, o paladar e a certos tipos de memória (como a musical e a de padrões visuais). Os **lobos occipitais** são os que estão localizados na região da nuca e são responsáveis pelo controle, entre outras coisas, dos processos que envolvem a visão. Já o **lobos parietais** ficam na parte superior da cabeça e relacionam-se com a percepção de tato, dor, pressão e calor na pele; também é a área responsável pela fala.

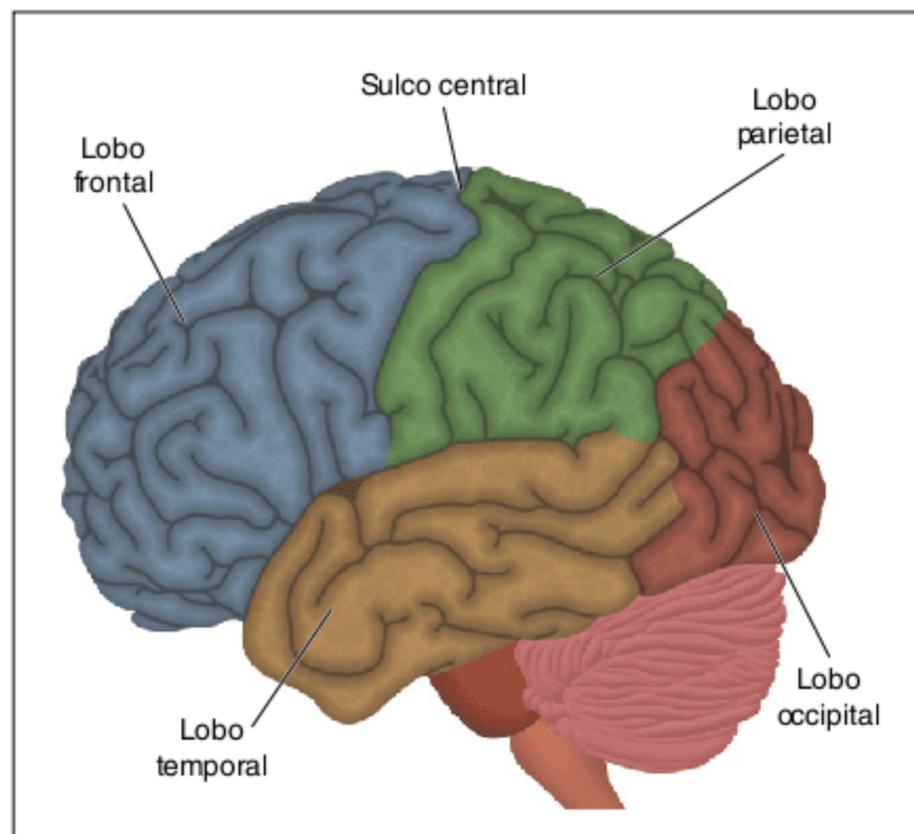


Fig. 4 Os hemisférios cerebrais são divididos em lobos e cada um desempenha funções específicas.

## Tálamo

Fica em posição mais interna e possibilita a conexão entre os hemisférios e o restante do sistema nervoso, sendo que as vias aferentes passam por ele antes de atingir o córtex cerebral; atua como um **centro de transmissão e processamento de informações sensoriais**.

## Hipotálamo

Fica abaixo do tálamo e está **intimamente ligado à hipófise**, controlando a produção de hormônios. É o **centro de controle de emoções e atividades fisiológicas** básicas, como sede, fome, impulso sexual, sono, controle de temperatura etc (Fig.5).

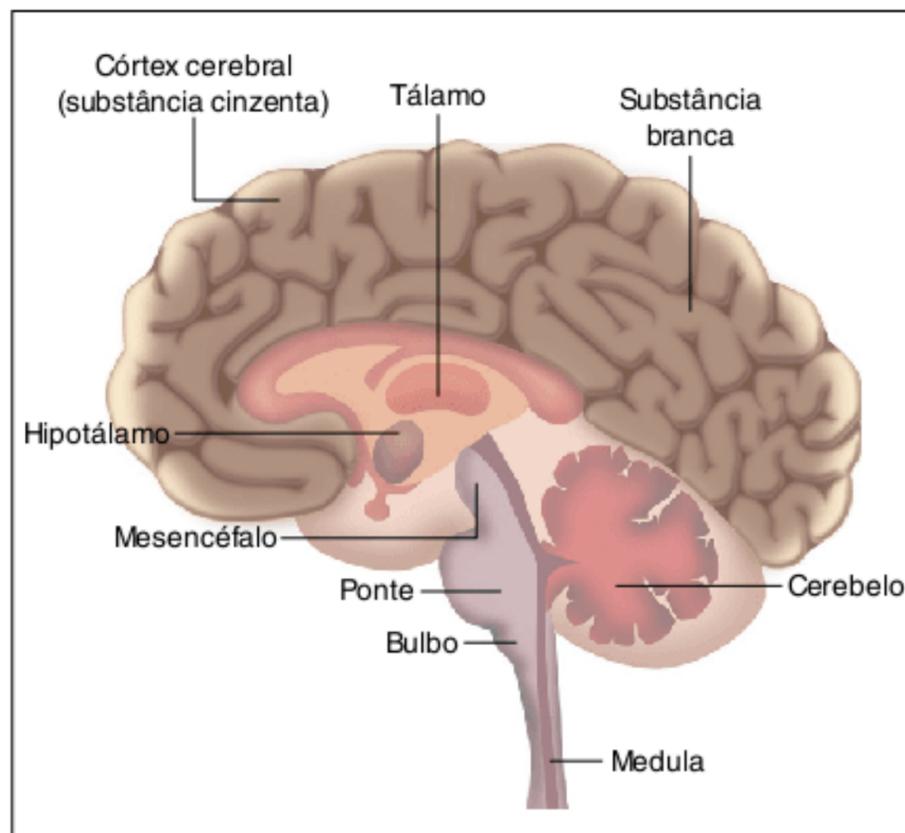


Fig. 5 Cérebro cortado em sua região mediana mostrando suas estruturas associadas: cerebelo, mesencéfalo, ponte e bulbo (medula oblonga).

## Cerebelo

Está localizado abaixo dos lobos occipitais, no interior da nuca. Apresenta dois **hemisférios cerebelares**. Relaciona-se com **equilíbrio e postura**, sendo bastante desenvolvido em animais que voam ou que nadam. O cerebelo ajusta as informações liberadas pelo córtex cerebral motor e a medula espinal, sendo **responsável pela coordenação motora** (Fig.5).

## Mesencéfalo

Situado entre a ponte e o cérebro, contém a **formação reticular**, responsável principal pelo **processamento de dados visuais e auditivos**, promovendo uma seleção de impulsos nervosos que se dirigem ao córtex cerebral, no qual tomamos consciência de alguns estímulos mais relevantes (Fig.5).

## Ponte

É uma **estrutura de conexão**. Nela ocorre o cruzamento de fibras nervosas ligadas ao hemisfério direito e do hemisfério esquerdo do cérebro (Fig.5).

## Medula oblonga (bulbo)

Localizada abaixo da ponte, é também denominada bulbo, **transmite informações sensoriais ao tálamo** e apresenta os centros controladores de funções vitais, como a respiração, os batimentos cardíacos e os reflexos, que incluem a tosse, os movimentos peristálticos normais e o retrocesso de alimento (vômito) (Fig.5).

## O sistema nervoso periférico

O **sistema nervoso periférico** é formado por **nervos** e **gânglios nervosos** e está ligado ao SNC, apresentando com ele dois ramos principais de comunicação: a via aferente e a via eferente.

A **via aferente** apresenta nervos receptores que coletam informações sobre o ambiente e sobre as estruturas do organismo e que as enviam ao SNC; essas informações são obtidas em receptores distribuídos pelo corpo. A **via eferente** envia comandos do SNC, através de nervos, a órgãos efetores do corpo, como músculos e glândulas, e apresenta duas divisões: o **sistema nervoso somático** e o **sistema nervoso autônomo**, também chamado de sistema nervoso visceral (Fig. 6).

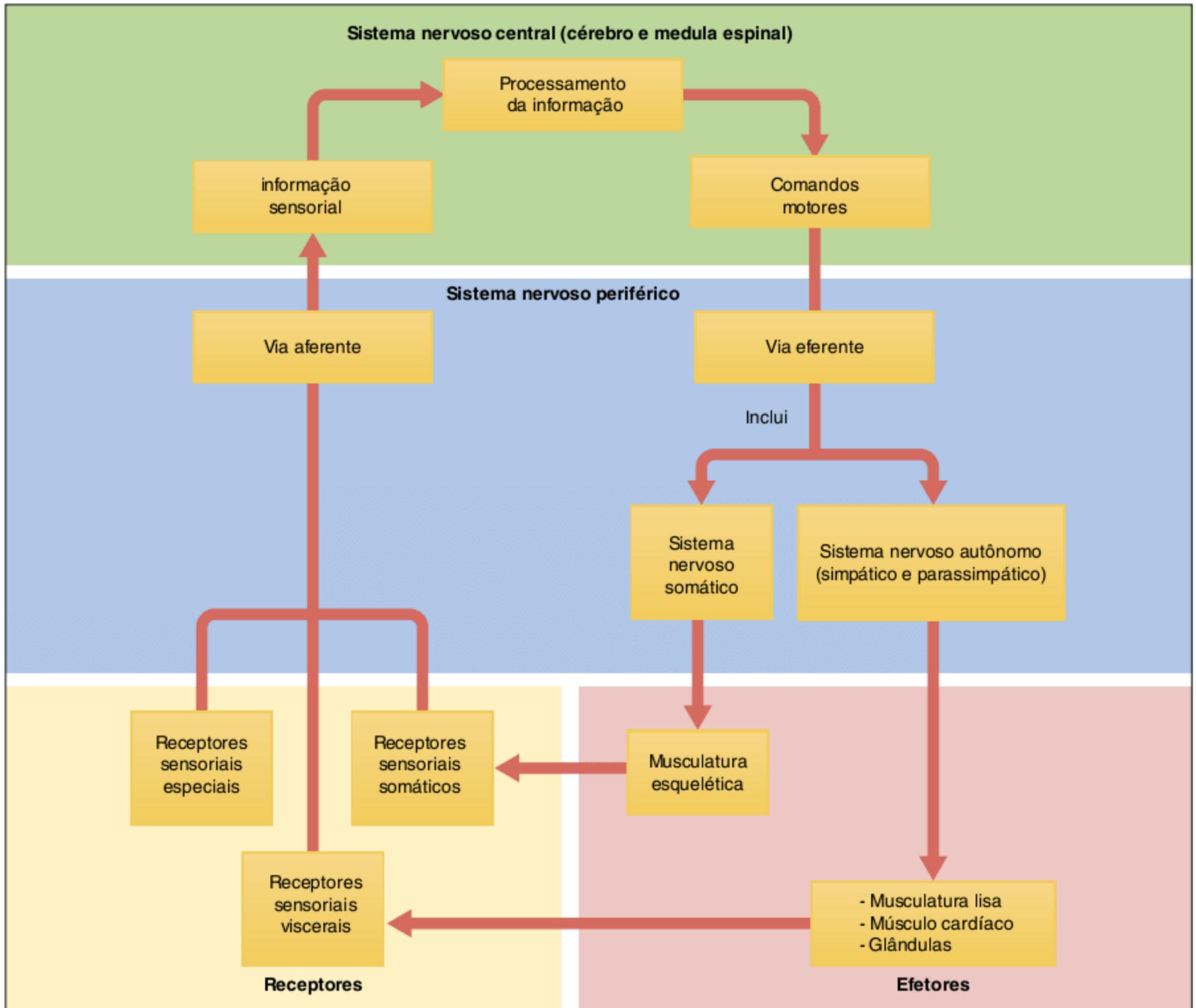


Fig. 6 Quadro geral dos componentes do sistema nervoso (central e periférico). O sistema nervoso está relacionado com estruturas efectoras (executam respostas) e receptoras (enviam informações).

### Sistema nervoso somático

O sistema nervoso somático está ligado aos músculos esqueléticos, que se encontram sob o domínio da vontade consciente, a responsável pela execução de ações como caminhar, correr, escrever e outras. Por exemplo, quando escrevemos algo em um caderno, acionamos muitos músculos esqueléticos que controlamos com nossa vontade; podemos decidir parar de escrever e não mais realizar os movimentos envolvidos na escrita. No entanto, a musculatura esquelética pode ser acionada em uma **atividade reflexa**, como no caso

do afastamento da mão de uma panela quente. Se estivéssemos usando o sistema nervoso somático, poderíamos, antes do acidente, decidir se deveríamos aproximar ou não a mão do objeto.

### Sistema nervoso autônomo

O **sistema nervoso visceral**, ou autônomo, envia ordens para efetores que não são controlados pela vontade consciente, como o coração, as vísceras e as glândulas do corpo. Considerando isso, temos como exemplo o pâncreas, que não

podemos, conscientemente, determinar se ele deve secretar suco pancreático ou não; dessa mesma maneira acontece com as pupilas, que sofrem dilatação involuntária quando entramos em um ambiente com pouca luz. Nenhuma dessas respostas é controlada por nossa vontade.

O sistema nervoso autônomo é constituído por dois ramos, o **simpático** e o **parassimpático**. Ambos controlam os mesmos órgãos, mas apresentam ações antagônicas. Eles têm nervos que se dirigem para os mesmos órgãos-alvo, mas, nesse caminho, cada um possui dois neurônios unidos por uma sinapse, sendo que o segundo neurônio libera mediadores químicos no órgão-alvo.

O sistema nervoso autônomo **parassimpático** origina-se das áreas cranial e sacral do sistema nervoso central; o **simpático** provém das porções torácica e lombar da medula espinal.

### Sistema nervoso autônomo simpático

O **sistema nervoso simpático** altera as atividades que estão sendo desenvolvidas por determinados órgãos com a liberação da **noradrenalina**. Esse mediador químico irá estimular diversos órgãos, ocasionando a dilatação das pupilas; o aumento da atividade cardíaca (taquicardia) e da pressão arterial; a elevação do ritmo respiratório; a dilatação de brônquios; a

contração dos vasos sanguíneos periféricos; e a dilatação de vasos dos músculos. Outros órgãos têm sua atividade reduzida, por exemplo, quando há a diminuição do peristaltismo no aparelho digestivo.

Trata-se de um **mecanismo de defesa do organismo às situações de perigo**, de medo, de estresse. Dessa maneira, apenas órgãos essenciais à situação serão ativados. O coração bate mais rápido, a musculatura recebe mais sangue, a visão torna-se mais apurada e a digestão é interrompida. São fatores que seriam necessários a uma fuga ou a uma luta.

### Sistema nervoso autônomo parassimpático

O **sistema nervoso parassimpático** atua de maneira contrária; com a liberação de acetilcolina, ocorre a diminuição da atividade cardíaca e da pressão arterial; a diminuição do ritmo respiratório; a redução dos níveis de adrenalina, com a dilatação dos vasos sanguíneos periféricos; e o relaxamento das pupilas. Há aumento dos movimentos peristálticos, responsáveis pela continuidade da digestão.

Tal sistema é acionado em situações de calma, de relaxamento, como a observada quando um indivíduo vai dormir ou está em processo de digestão (Fig. 7).

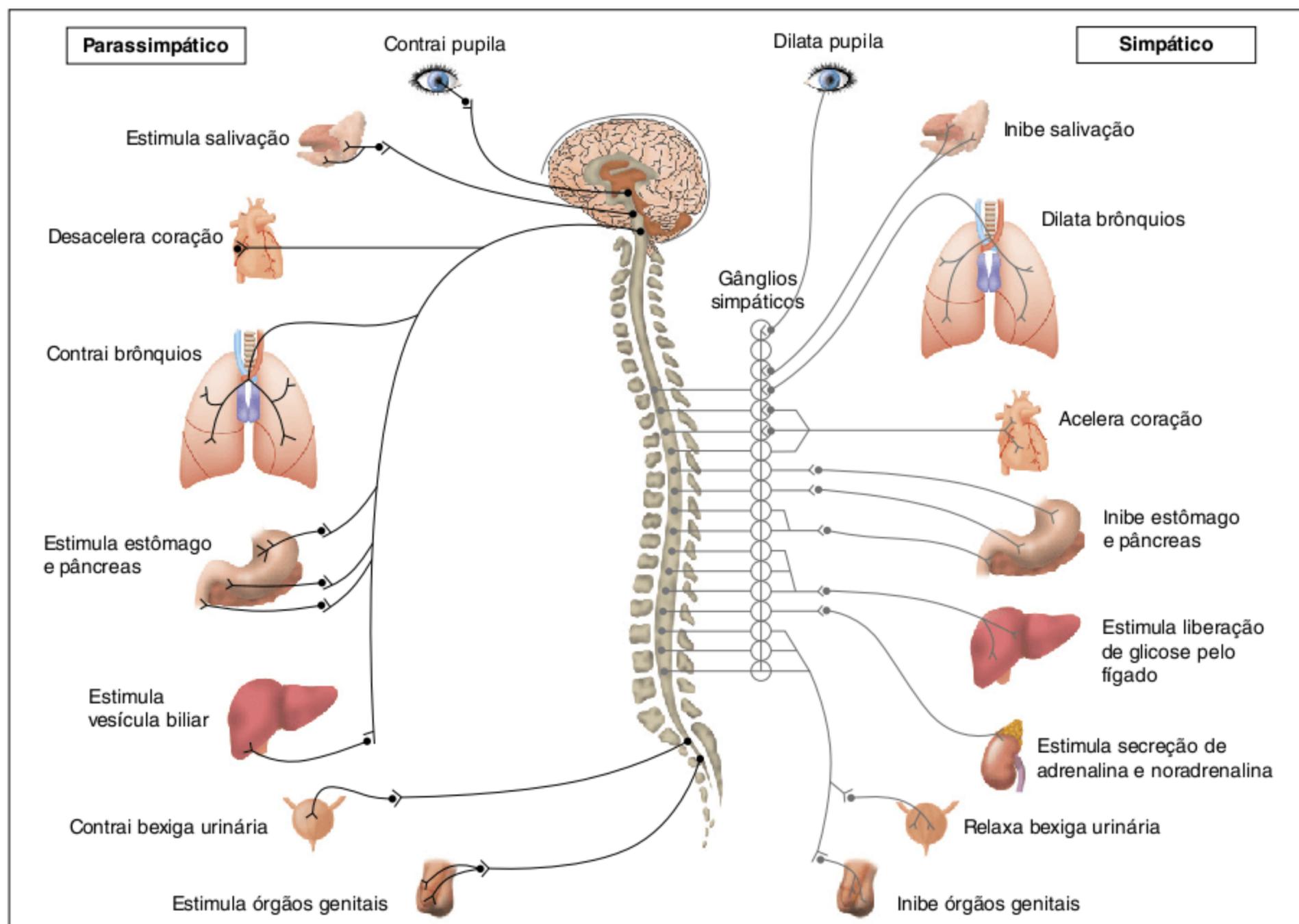


Fig. 7 O sistema nervoso autônomo e sua relação com os órgãos que controlam. O simpático e o parassimpático atuam sobre os mesmos órgãos, apresentando ações antagônicas; esse processo é determinado por diferentes mediadores químicos que liberam.

## Órgãos dos sentidos

Os órgãos dos sentidos pertencem ao grupo das estruturas conhecidas como receptoras. Essas estruturas recebem informações e as transmitem aos **nervos sensitivos**, cujos impulsos nervosos são enviados ao **sistema nervoso central**, onde são processadas. Há dois tipos de receptores: os que recolhem informações do próprio organismo (os **interoceptores** e os **proprioceptores**) e os que recebem informações do ambiente (os **exteroceptores**).

Os **interoceptores** enviam informações acerca das condições do organismo, como, por exemplo, o teor de gás oxigênio no sangue, o pH, a concentração plasmática etc. Os **proprioceptores** permitem que o sistema nervoso central seja informado acerca da posição dos membros e da cabeça em relação ao organismo como um todo. Já os **exteroceptores** recolhem informações do meio, como estímulos físicos e químicos do ambiente; estão localizados em músculos, tendões e articulações.

Esses **exteroceptores** são componentes dos chamados órgãos dos sentidos, que são: tato, paladar, olfato, audição e visão. Vale ressaltar que os receptores do olfato e do gosto estão relacionados à percepção de substâncias químicas e são genericamente denominados **quimioceptores**. A seguir, serão descritos os sentidos.

### Tato

Os receptores responsáveis pelo sentido do tato estão **distribuídos pela superfície do corpo**. Esses receptores são sensíveis à **pressão** e estão em maior concentração nas mãos, principalmente na ponta dos dedos; são também abundantes nos mamilos e nos lábios (Figura 8).

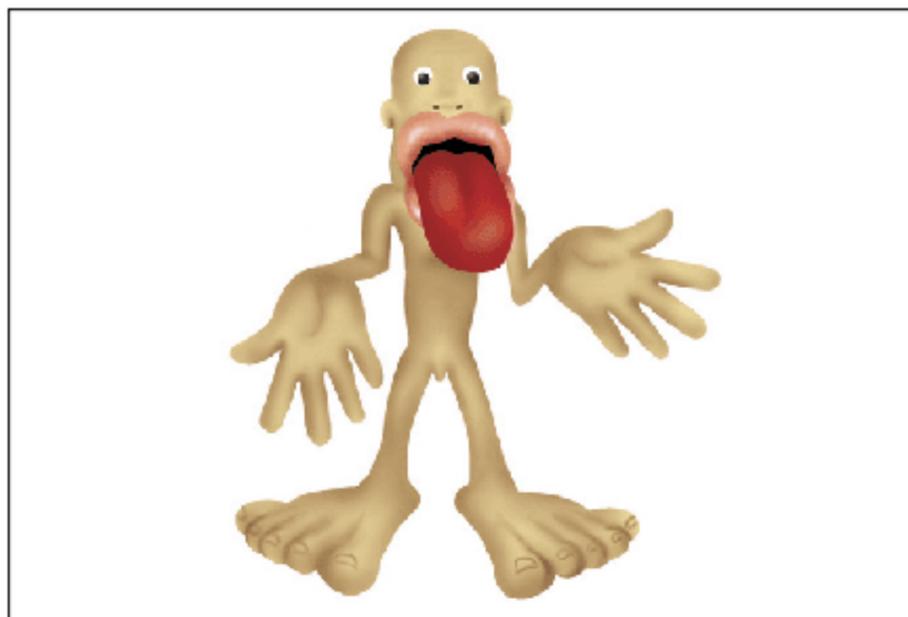
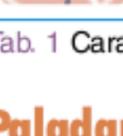


Fig. 8 Homúnculo sensorial de Penfield. Desenho criado pelo neurocirurgião, que representou o corpo humano com as regiões, correspondentes à sensibilidade, à maior densidade de receptores e à maior capacidade discriminativa de tato, proporcionalmente exageradas.

Há três modalidades de receptores de vibração: **corpúsculo de Meissner**, **corpúsculo de Pacini** e **corpúsculo de Merkel**. Além desses receptores, há os relacionados a outros tipos de estímulos: **terminações nervosas livres** (estímulos térmicos e dolorosos) e **terminações de Krause** (pressão) (Tab. 1).

Nome do receptor	Estímulo	Sensação
 Corpúsculo de Meissner	Vibração (20-40 Hz)	Toque rápido
 Terminações do folículo piloso	Deslocamento do pelo	Movimento, direção
 Terminações de Ruffini	Desconhecida	Desconhecida
 Corpúsculo de Krause	Pressão	Pressão
 Corpúsculo de Pacini	Vibração (150-300 Hz)	Vibração
 Terminações livres	Estímulos mecânicos, térmicos e químicos intensos	Dor
 Corpúsculo de Merkel	Endentação estável	Toque, pressão

Tab. 1 Características dos receptores relacionados ao tato.

### Paladar

As **papilas gustativas** são as estruturas responsáveis pela sensação de gosto das coisas; estão distribuídas pela boca, principalmente na língua. São estimuladas por substâncias químicas dissolvidas na camada de líquido que recobre a língua. Podem detectar quatro sabores fundamentais em diferentes regiões da língua: **doce**, **salgado**, **amargo** e **azedo** (Fig. 9).

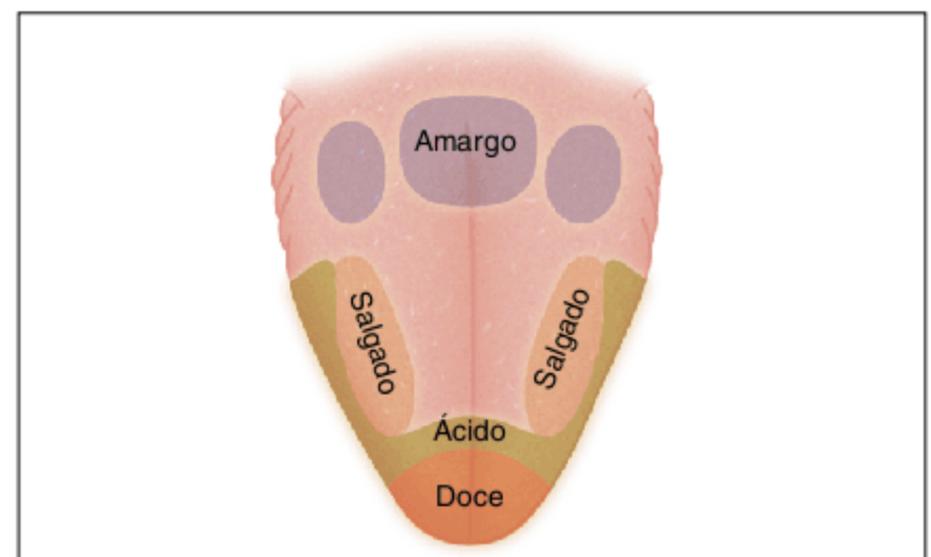


Fig. 9 Regiões da língua e respectivos sabores relacionados

### Olfato

As **células olfatórias** localizam-se no epitélio da cavidade nasal e interagem com substâncias químicas que se dissolvem no líquido que recobre esse epitélio. Essas células olfatórias estão ligadas ao **bulbo olfatório**, que se une ao **nervo olfatório**, cujos impulsos são conduzidos ao **córtex cerebral** (Fig. 10).

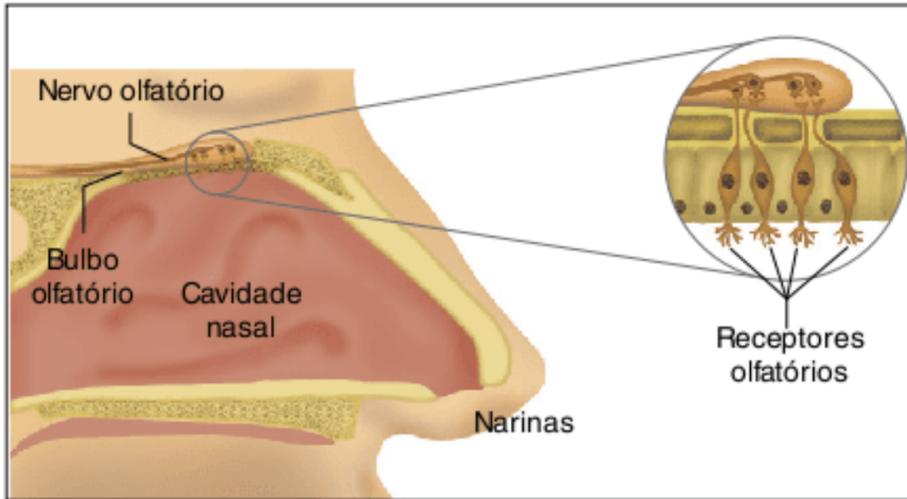


Fig. 10 Estrutura olfativa do nariz

## Audição

O ouvido humano, também denominado orelha, consta de três partes: **orelha externa**, **orelha média** e **orelha interna**; a maior parte da orelha (média e interna) encontra-se imersa no osso craniano mastoide.

A **orelha externa** compreende o **pavilhão auditivo**, com estrutura cartilaginosa que auxilia na captura dos sons, e também o **meato auditivo externo**, revestido por pelos e glândulas, que fabricam a cera.

A **orelha média** apresenta a **membrana timpânica** (tímpano) e três ossículos (martelo, bigorna e estribo); o **martelo** liga-se à membrana timpânica; a **bigorna** liga-se ao martelo; e o **estribo** está ligado em seguida. Esse último ossículo está associado à janela oval, componente da orelha interna. A orelha média comunica-se com a faringe por meio do canal conhecido como **tuba auditiva**, antes denominada trompa de Eustáquio, que contribui para a manutenção de mesma pressão dos dois lados da membrana timpânica.

A **orelha interna**, bastante complexa, é formada pelo **labirinto**, constituído pelo **aparelho vestibular** e **cóclea**. Essas estruturas membranosas são envolvidas por tecido ósseo. A cóclea apresenta um líquido em seu interior, denominado **endolinfa**, fundamental na atividade dessa estrutura.

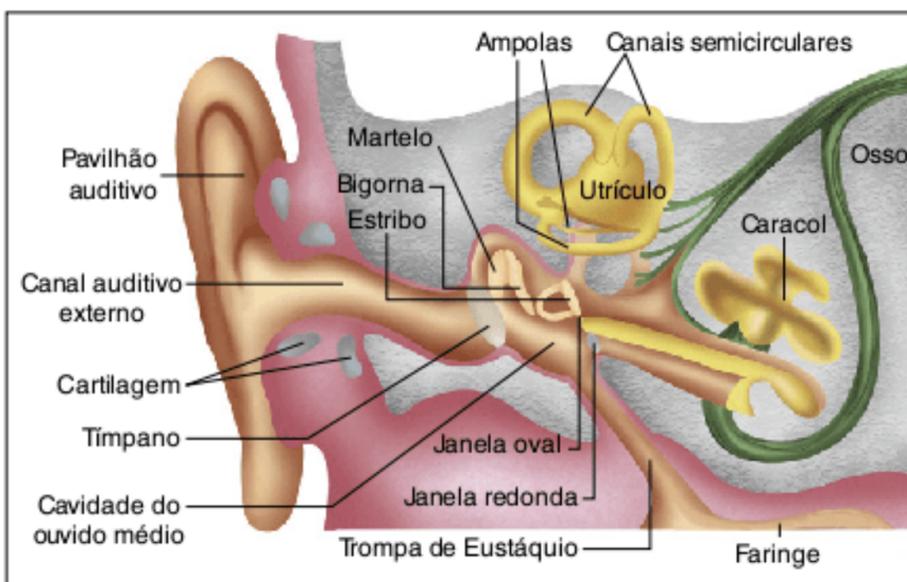


Fig. 11 Estrutura do ouvido

## Aparelho vestibular – ajuste do equilíbrio

O aparelho vestibular (ou **véstibulo**) é composto por estruturas dispostas na sequência: **canais semicirculares**, **utrículo** e **sáculo**. Os canais semicirculares são compostos de três tubos perpendiculares entre si com uma ampola no final (dilatação

observada na região ligada ao utrículo). O sáculo é uma continuação do utrículo e, em ambos, o epitélio é recoberto por cristais de carbonato de cálcio (os **otólitos**); a pressão desses cristais sobre as células ciliares desencadeiam impulsos que são conduzidos pelo nervo vestibular ao cérebro, informando a posição do corpo no espaço. A interação do cérebro com o cerebelo permite a realização dos ajustes da postura corporal, **mantendo o equilíbrio**.

## Cóclea – determina a audição

A cóclea tem o formato semelhante ao da concha de um caracol, enrolada em espiral e seu **interior ocupado por endolinfa**; possui uma estrutura conhecida como janela oval, que está ligada ao ossículo **estribo**.

Ondas sonoras penetram no **meato auditivo** e provocam vibração da membrana timpânica; isso desencadeia movimentos nos ossículos martelo, bigorna e estribo, este último ligado à janela oval. A vibração dessa estrutura é transmitida à endolinfa, que, ao movimentar-se, estimula as células ciliadas (cujo conjunto é o chamado **órgão de Corti**), desencadeando impulsos nervosos que são conduzidos pelo **nervo auditivo** até o **córtex cerebral**. No córtex, os estímulos do nervo são interpretados para a determinação dos sons.

- 1 Os sons entram no organismo pela orelha
- 2 Passam pelo **conduto auditivo**, um canal que amortece as ondas sonoras e as conduzem até o tímpano
- 3 O som causa uma pressão no tímpano, que gera um movimento em três pequenos ossos.
- 4 Esses ossos estimulam a cóclea, um órgão cheio de líquido que recebe o som através de ondas
- 5 Na cóclea, os sons serão decifrados e transmitidos para o cérebro pelo nervo auditivo

Fig. 12 O ouvido humano escuta frequências de 20 Hz (grave) a 20 Mil Hz (agudo). Um gato é capaz de captar 25% a mais de graves (15 Hz) e o triplo de agudos (60 mil Hz).

## Visão

O **olho** (ou **globo ocular**) aloja-se na cavidade craniana conhecida como **órbita**, que assegura proteção. Outras estruturas também conferem proteção ao olho, como as sobrancelhas, os cílios, as pálpebras e a membrana conjuntiva, tecido que recobre a face interna das pálpebras e a parte anterior do globo ocular. O olho é movimentado por alguns músculos esqueléticos externos, que permitem aumentar o campo de visão.

Glândulas lacrimais são estruturas secretoras que liberam lágrimas, com a função de lubrificar a superfície do olho, mantendo sua umidade, e atuar como barreira a agentes invasores, contribuindo para evitar infecções bacterianas pela presença de lisozima (enzima bactericida).

O globo ocular apresenta três envoltórios: esclerótica (mais externa), coróide (média) e retina (interna). A **esclerótica** é branca e rígida; nela se prende a musculatura que movimenta o globo ocular. A parte anterior da esclerótica corresponde à córnea, porção transparente através da qual a luz passa (Fig. 13).

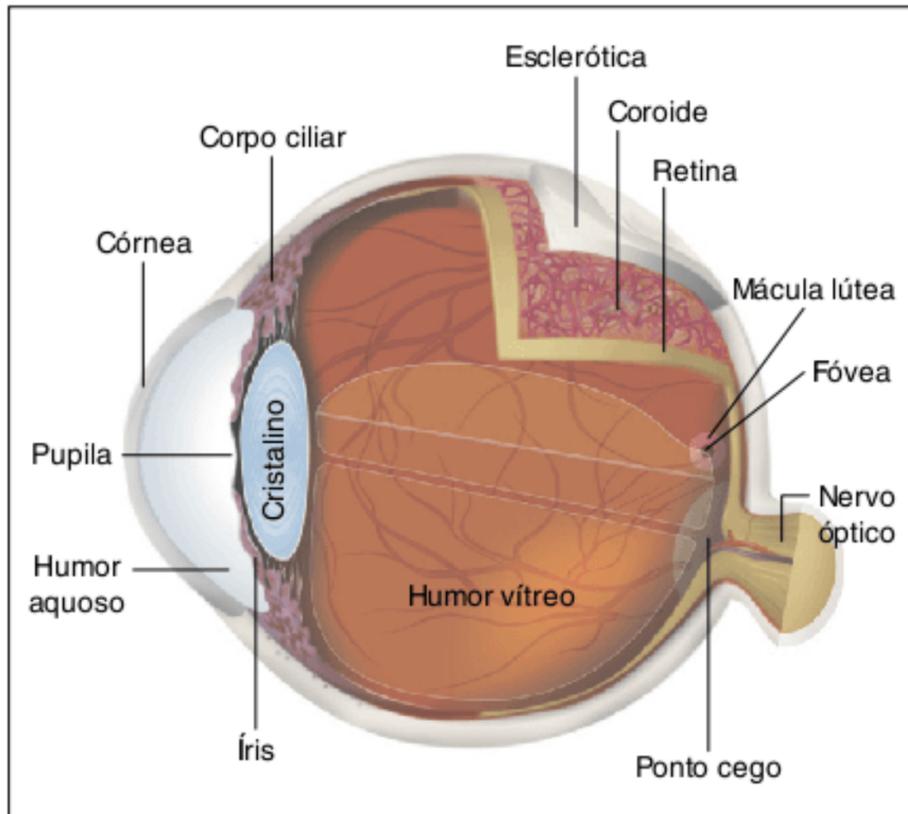


Fig. 13 Estrutura do olho.

A **coróide** situa-se abaixo da esclerótica e é um tecido vascularizado. A parte anterior da coróide forma a **íris**, estrutura que dá cor aos olhos e é dotada de um orifício, a **pupila**, que pode ter seu diâmetro expandido ou reduzido, controlando a quantidade de luz que passa para o interior do globo ocular – luz intensa provoca diminuição de diâmetro e luz fraca promove sua dilatação.

O globo ocular apresenta **humores**, que mantêm o seu formato e servem como suporte mecânico para a lente e para a retina. O **humor aquoso** é líquido e está situado na câmara anterior do olho, espaço entre a córnea e a íris; o **humor vítreo** é menos fluido e preenche a cavidade que fica depois do cristalino.

A retina é constituída por várias camadas de células nervosas e apresenta receptores de luz (**fotoreceptores**) de dois tipos: **cones** e **bastonetes**. Os cones são estimulados com luz intensa e têm sensibilidade a cores; os bastonetes são estimulados com luz fraca. A **fóvea** é uma região da retina mais sensível, sendo que perto desse ponto há o **ponto cego**, região sem nenhuma sensibilidade à luz, sendo desprovida de cones e bastonetes. A retina está associada ao **nervo óptico**, que conduz impulsos nervosos ao **córtex cerebral**, onde as informações visuais são processadas.

O olho possui uma estrutura chamada **cristalino**, atualmente designado como lente. Trata-se de uma **lente biconvexa**, flexível, localizada atrás da íris; converge os raios luminosos para a retina, na qual se forma a imagem do objeto focalizado. O cristalino é acionado por músculos ciliares, que alteram sua forma, adequando-o a diferentes distâncias do objeto focalizado; a lente fica mais arredondada quanto mais próximo é o objeto.

A visão binocular resulta das imagens formadas nos dois olhos, que são enviadas para o córtex cerebral, que proporciona a sensação visual de uma imagem tridimensional (Fig. 14).

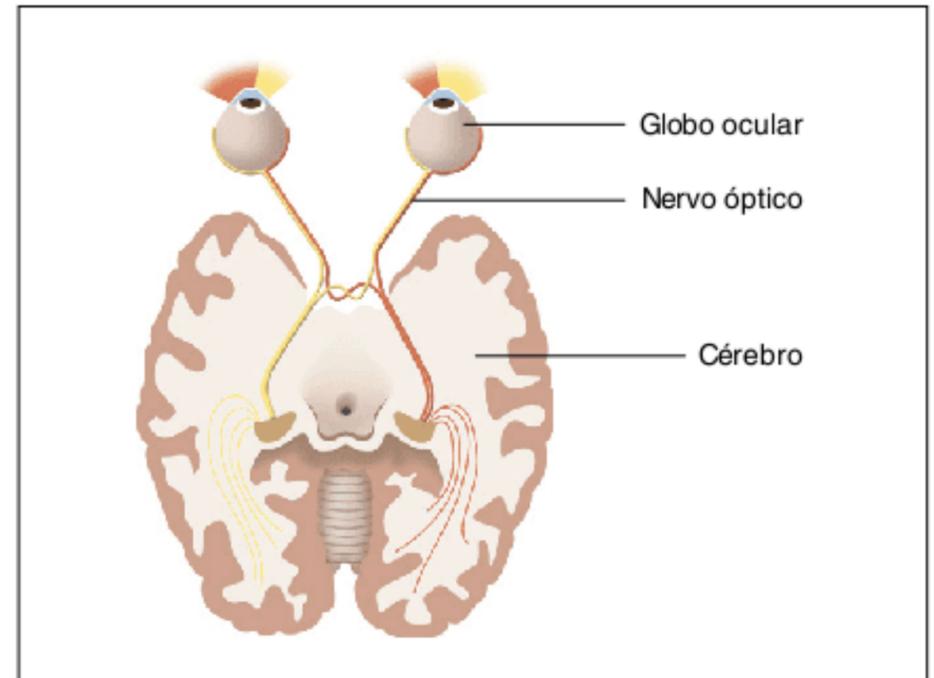


Fig. 14 Visão binocular

Podemos encontrar cinco principais tipos de defeitos visuais:

- **Catarata:** é causada pela **opacidade da lente**. A correção pode ser feita com a substituição da lente.
- **Presbiopia:** também conhecida como vista cansada; é decorrente da perda de elasticidade da lente, que não se encurva o suficiente para promover a convergência dos raios luminosos; acontece em decorrência de os objetos focalizados encontrarem-se muito próximos. A correção da visão pode ser feita com o emprego de **lentes convergentes**.
- **Astigmatismo:** é provocado por irregularidade na curvatura da lente ou da córnea; isso provoca a **formação de imagens distorcidas**. A correção é feita com as chamadas **lentes cilíndricas**.
- **Miopia:** é a chamada visão curta; nela, a lente converge os raios luminosos fortemente e provoca a **formação de imagem antes da retina** (Fig. 15). A correção é feita com o emprego de **lentes divergentes**.
- **Hipermetropia:** corresponde à visão longa; a lente não converge os raios luminosos o suficiente, e a imagem **forma-se depois da retina** (Fig. 15). A correção é feita com o uso de **lentes convergentes**.

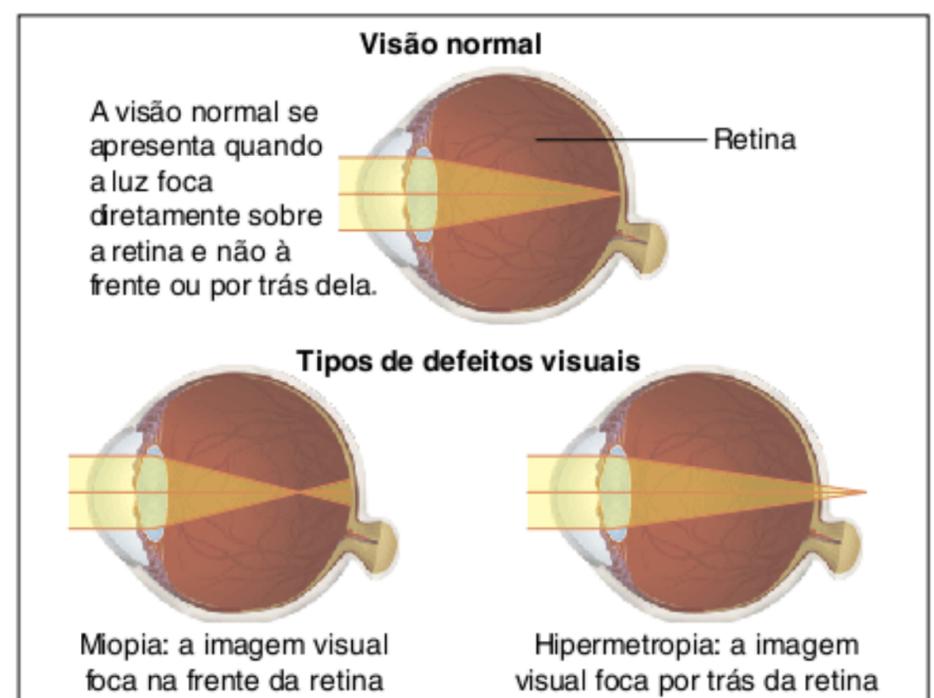


Fig. 15 Formação de imagens em visão normal e visão com defeitos visuais.

## Revisando

**1** Quais são as duas grandes divisões do sistema nervoso dos mamíferos? Cite os principais componentes de cada uma dessas divisões.

---

---

---

**2** Como são denominadas as estruturas membranosas que envolvem o sistema nervoso central? Cite os três tipos dessas estruturas.

---

---

---

**3** O que é fluido cérebro-espinal?

---

---

---

**4** Quais são os dois principais papéis desempenhados pela medula espinal?

---

---

---

**5** Cite os três principais componentes do cérebro. Qual deles apresenta maior volume?

---

---

---

**6** Quais são os quatro lobos dos hemisférios cerebrais? Diferencie córtex cerebral de substância branca do cérebro.

---

---

---

**7** Quais são as funções do tálamo?

---

---

---

**8** O que é o hipotálamo?

---

---

---

**9** O que é a ponte?

---

---

---

**10** O que é a formação reticular?

---

---

---

**11** Qual é o papel da medula oblonga? Que outro nome ela recebe?

---



---

**12** Cite as funções do cerebelo.

---



---

**13** Quais são as duas grandes vias do sistema nervoso periférico? Qual é o papel fundamental de cada uma dessas vias?

---



---

**14** Em relação à via eferente do sistema nervoso periférico, qual ramo comanda atividades voluntárias e qual controla atividades involuntárias?

---



---

**15** Quais são os dois ramos do sistema nervoso autônomo? Cite o mediador químico liberado nas terminações de cada um desses ramos.

---



---



---

**16** O que são interoceptores, proprioceptores e exteroceptores? Quais suas funções no organismo?

---



---



---

**17** Cite os receptores relacionados ao tato e os estímulos aos quais estão associados.

---



---



---

**18** Paladar e olfato possuem uma característica em comum. Que característica é essa?

---



---



---

**19** Descreva o trajeto das ondas sonoras desde o pavilhão auditivo até o córtex cerebral.

---



---



---

**20** Qual a função do cristalino e qual a sua relação com os defeitos de visão?

---



---



---

# Exercícios propostos

## 1 Leia o texto a seguir.

Bons jogadores de futebol precisam realizar ações rápidas. Um chute potente pode fazer a bola rolar a mais de 120 km/h e entrar na rede tão rápido que mal dá tempo para enxergá-la. Os melhores jogadores conseguem ver a bola nitidamente para se lançar ao ataque e ainda driblar o adversário com uma precisão de fração de segundo.

Apesar de parecer que o sistema nervoso trabalha à velocidade de um raio, não é bem assim. Os sinais visuais, por exemplo, levam de 50 a 100 milésimos de segundo para chegar ao cérebro. Uma vez dentro dele, outras conexões são necessárias para transformar sinais brutos em resposta mental.

Disponível em: <[www.afh.bio.br/especial/futebol.asp](http://www.afh.bio.br/especial/futebol.asp)>. Acesso em: 5 set. 2010. (Adapt.).

Assim, considerando o papel do sistema nervoso central no processo de formação de um bom jogador de futebol, analise as alternativas a seguir e assinale a correta.

- (a) O hipotálamo é a porção do encéfalo responsável pela coordenação dos movimentos e pela manutenção do equilíbrio corporal, durante o chute da bola ao gol.
- (b) O cerebelo é a porção do encéfalo responsável pela interpretação dos estímulos sensoriais relacionados com a visão da bola, e pela elaboração de planos de ação.
- (c) A visão correta da posição da bola depende dos impulsos transferidos ao longo do nervo óptico até as células nervosas, os neurônios, da região do córtex cerebral.
- (d) O processo de análise e a interpretação das informações visuais, que permitem reconstruir a posição e o movimento da bola após o chute, ocorrem no bulbo raquidiano.
- (e) A bainha de mielina, que recobre os axônios das células nervosas, reduz a velocidade de propagação dos impulsos relacionados com a visão da bola até o sistema nervoso central.

**2 Enem (Adapt.)** A cafeína atua no cérebro, bloqueando a ação natural de um componente químico associado ao sono, a adenosina. Para uma célula nervosa, a cafeína se parece com a adenosina e combina-se com seus receptores. No entanto, ela não diminui a atividade das células da mesma forma. Então, ao invés de diminuir a atividade por causa do nível de adenosina, as células aumentam sua atividade, fazendo com que os vasos sanguíneos do cérebro se contraiam, uma vez que a cafeína bloqueia a capacidade da adenosina de dilatá-los. Com a cafeína bloqueando a adenosina, aumenta a excitação dos neurônios, induzindo a hipófise a liberar hormônios que ordenam às suprarrenais que produzam adrenalina, considerada o hormônio do alerta.

Disponível em: <<http://ciencia.hsw.uol.com.br>>. Acesso em: 23 abr. 2010. (Adapt.).

Infer-se do texto que o objetivo da adição de cafeína em alguns medicamentos contra a dor de cabeça é:

- (a) contrair os vasos sanguíneos do cérebro, diminuindo a compressão sobre as terminações nervosas.
- (b) aumentar a produção de adrenalina, proporcionando uma sensação de analgesia.
- (c) aumentar os níveis de adenosina, diminuindo a atividade das células nervosas do cérebro.

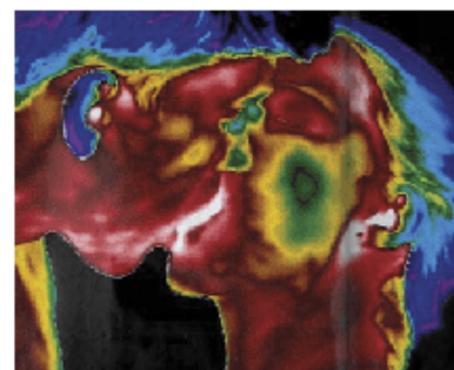
- (d) induzir a hipófise a liberar hormônios, estimulando a produção de adrenalina.
- (e) excitar os neurônios, aumentando a transmissão de impulsos nervosos.

**3 Uece 2009** Os neurônios que conduzem o impulso do sistema nervoso central para o órgão que efetua a resposta, o qual pode ser uma glândula, são do tipo:

- (a) sensitivo.
- (b) associativo.
- (c) misto.
- (d) motor.

**4 UFF 2007** Um beijo estimula eventos fisiológicos importantes de origem involuntária como a vasodilatação. O sistema nervoso autônomo consiste em duas divisões que diferem anatomicamente e fisiologicamente: o simpático e o parassimpático.

O beijo registrado por fotografia térmica infravermelha – técnica que capta as variações de calor e as traduz em distintas cores. O vermelho indica as áreas quentes (onde há mais sangue circulando). O azul, zonas frias.



Veja, 24 maio de 2006.

O sistema simpático, no caso do beijo, será responsável pela:

- (a) contração da pupila, redução dos batimentos cardíacos e produção de noradrenalina.
- (b) contração da pupila, redução dos batimentos cardíacos e produção de acetilcolina.
- (c) dilatação da pupila, redução dos batimentos cardíacos e produção de acetilcolina e noradrenalina.
- (d) contração da pupila, aceleração dos batimentos cardíacos e produção de adrenalina e noradrenalina.
- (e) dilatação da pupila, aceleração dos batimentos cardíacos e produção de adrenalina e noradrenalina.

**5 Unifesp 2007** A tabela mostra os efeitos da ação de dois importantes componentes do sistema nervoso humano.

X	Y
Contração da pupila	Dilatação da pupila
Estímulo da salivação	Inibição da salivação
Estímulo do estômago e dos intestinos	Inibição do estômago e intestino
Contração da bexiga urinária	Relaxamento da bexiga urinária
Estímulo à ereção do pênis	Promoção da ejaculação

- a) A que correspondem X e Y?
- b) Em uma situação de emergência, como a fuga de um assalto, por exemplo, qual deles será ativado de maneira mais imediata? Forneça um outro exemplo, diferente dos da tabela, da ação desse componente do sistema nervoso.

**6 PUC-MG 2006** Todos nós já experimentamos a salivação estimulada pela visão ou pelo aroma da comida. Essa resposta é um reflexo autônomo, assim como é o ato de deglutir após a estimulação tátil que ocorre na boca. É correto afirmar que o reflexo autônomo da salivação:

- (a) depende do envolvimento do sistema nervoso central.
- (b) depende do estímulo luminoso coordenado pelo sistema nervoso periférico.
- (c) é ação combinada envolvendo sistema nervoso periférico, enzima e atividade endócrina.
- (d) depende de estímulos coordenados por mensagens neuro-hormonais do sistema nervoso simpático, mas não do parassimpático.

**7 PUC-RS** O sistema nervoso autônomo (SNA) é subdividido em simpático e parassimpático, os quais têm atividades, em geral, antagônicas, reguladas pela liberação das catecolaminas (adrenalina e noradrenalina) e da acetilcolina, respectivamente. Um dos importantes efeitos desencadeados pela ativação simpática é:

- (a) a contração da pupila.
- (b) a constrição dos brônquios.
- (c) a diminuição da atividade mental.
- (d) o aumento da frequência cardíaca.
- (e) o aumento do peristaltismo.

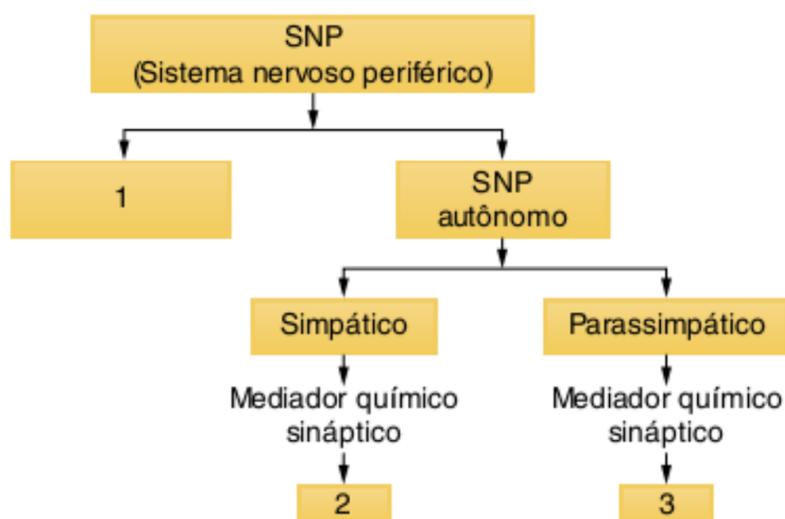
**8 PUC-SP** Nas alternativas a seguir, são mostrados três itens:

- I. Parte do sistema nervoso estimulada;
- II. Substância liberada;
- III. Efeito sobre o ritmo cardíaco.

Qual das alternativas apresenta corretamente o que se dá com uma pessoa em situação de perigo?

- (a) I – simpático; II – acetilcolina; III – aumento.
- (b) I – parassimpático; II – acetilcolina; III – diminuição.
- (c) I – simpático; II – adrenalina; III – aumento.
- (d) I – parassimpático; II – adrenalina; III – diminuição.

**9 UFPE** Diversas atividades humanas estão sob o controle de nossa vontade, enquanto outras ocorrem de forma autônoma. Analise a representação a seguir, considere o neurotransmissor geralmente liberado em cada caso e assinale a alternativa que completa as lacunas 1, 2 e 3, nesta ordem.



- (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.

**10 UFF** Na doença miastenia grave, o corpo humano produz anticorpos contra suas próprias moléculas de receptores de acetilcolina. Esses anticorpos ligam-se e bloqueiam os receptores de acetilcolina da membrana plasmática das células musculares. À medida que a doença progride, a maioria dos músculos enfraquece, e o doente pode apresentar dificuldades para engolir e respirar. Esses anticorpos:

- (a) atuam como a acetilcolina, provocando permanente contração, fadiga e fraqueza muscular.
- (b) impedem que a contração muscular seja estimulada pela acetilcolina.
- (c) promovem a destruição dos receptores da sinapse elétrica, bloqueando a via aferente.
- (d) ligam-se aos receptores de acetilcolina, inibindo a enzima acetilcolinesterase e, conseqüentemente, a transmissão dos impulsos nervosos.
- (e) ligam-se aos receptores de acetilcolina, bloqueando a ação do sistema nervoso simpático.

Texto para a questão 11.

*Professor Astrogildo combinou com seus alunos visitar uma região onde ocorria extração de minério a céu aberto, com a intenção de mostrar os efeitos ambientais produzidos por aquela atividade. Durante o trajeto, professor Astrogildo ia propondo desafios a partir das situações do dia a dia vivenciadas ao longo do passeio. Algumas das questões propostas por professor Astrogildo estão apresentadas a seguir para que você responda.*

**11 UFRN** Como já passava do meio-dia e estavam todos com fome, aproveitaram para almoçar no restaurante *self-service* da fábrica. Famintos, os alunos dirigiram-se ao balcão onde a comida estava exposta. Florinda, a mais gulosa, era a primeira da fila. Quando viu uma lasanha, seu prato predileto, de imediato disse: “Estou com água na boca!” A estrutura ocular e o sistema nervoso envolvidos no reflexo que estimulou a salivação de Florinda são, respectivamente:

- (a) a pupila e o simpático.
- (b) a retina e o parassimpático.
- (c) a pupila e o autônomo.
- (d) a retina e o somático.

**12 PUC-PR (Adapt.)** Com relação ao sistema nervoso, pode-se afirmar:

- I. As meninges – a dura-máter, a aracnoide e a pia-máter – envolvem o encéfalo e a medula espinhal.
- II. A substância branca, no sistema nervoso central, é formada principalmente pelos corpos celulares dos neurônios, enquanto a substância cinzenta é formada principalmente pelos axônios.

III. O sistema nervoso autônomo simpático e parassimpático inervam apenas órgãos do sistema digestório, do respiratório e do excretor.

IV. A sinapse ocorre entre dois axônios de neurônios distintos. Está ou estão correta(s):

- (a) todas.
- (b) apenas I.
- (c) apenas I e II.
- (d) apenas I, II e III.
- (e) apenas III e IV.

**13 PUC-MG** Arteriosclerose, hipertensão arterial e variações na espessura de artérias cerebrais podem acarretar a formação de aneurismas e a ocorrência de derrames cerebrais, provocando lesões em várias regiões do encéfalo.

Lesões no córtex cerebral podem produzir as seguintes perdas funcionais, exceto:

- (a) da visão.
- (b) do reflexo da tosse.
- (c) do controle motor.
- (d) de memória.

**14 UFF** A análise da contaminação de alimentos por pesticidas tem mostrado a presença de compostos organofosforados. Tais substâncias são tóxicas, principalmente por alterarem a fisiologia normal do sistema nervoso, interferindo na degradação do mediador químico do sistema nervoso autônomo parassimpático.

O mediador mencionado e uma de suas ações são, respectivamente:

- (a) adrenalina/estímulo da frequência cardíaca.
- (b) acetilcolina/contração da musculatura esquelética.
- (c) serotonina/inibição da percepção sensorial.
- (d) noradrenalina/relaxamento da musculatura lisa.
- (e) dopamina/controle central dos movimentos.

Texto para a questão 15.

Caros candidatos:

Vocês estão convidados a fazer um passeio em uma área de Mata Atlântica, onde verão um maravilhoso ecossistema.

Nesse passeio, vocês estarão em contato com a natureza, verão de perto a diversidade da fauna e da flora, compreenderão como as espécies se interrelacionam, se reproduzem e como se dão alguns fenômenos biológicos nos seres que vivem ali e até naqueles que visitam esse ambiente.

Vocês terão a oportunidade de verificar de que maneira o homem pode interferir nesse meio, alterando-o, e quais as consequências disso. Também serão convocados a responder a questões básicas no campo da Biologia.

Para tanto, contarão com a companhia de Ribossomildo, um experiente pesquisador, que lhes servirá de guia. Ele dispõe de material para ilustrar, quando necessário, essa atividade de campo.

Fiquem tranquilos: vocês estão preparados, e o passeio será muito proveitoso, pois Ribossomildo só lhes dará informações cientificamente corretas. Vamos lá?

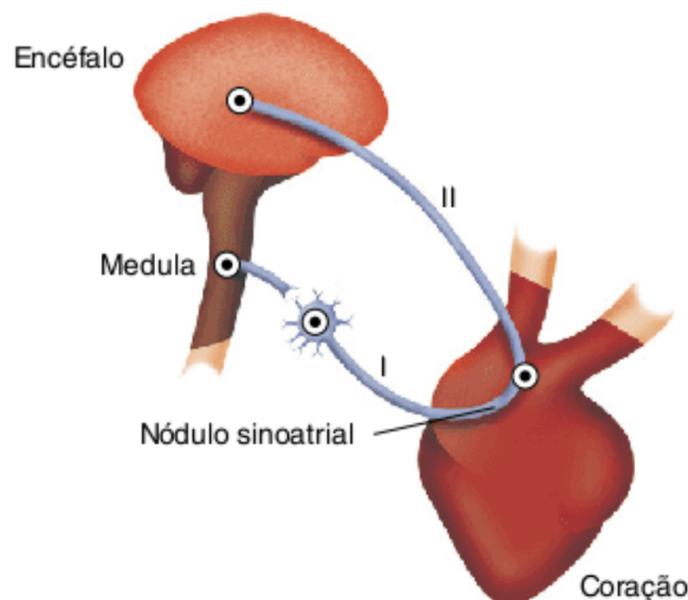
**15 UFRN** Em um dado momento do passeio, o inesperado acontece...



Diante da situação de fuga, o organismo de cada um dos componentes do grupo (excetuando-se o de Ribossomildo) sofre uma série de alterações fisiológicas, que são controladas pelo sistema nervoso:

- (a) somático.
- (b) parassimpático.
- (c) simpático.
- (d) periférico.

**16 UFSCar** No coração humano existe uma região especializada denominada nódulo sinoatrial, sobre o qual age a estimulação nervosa do sistema autônomo. A relação entre essa região cardíaca e o sistema nervoso está representada no esquema.

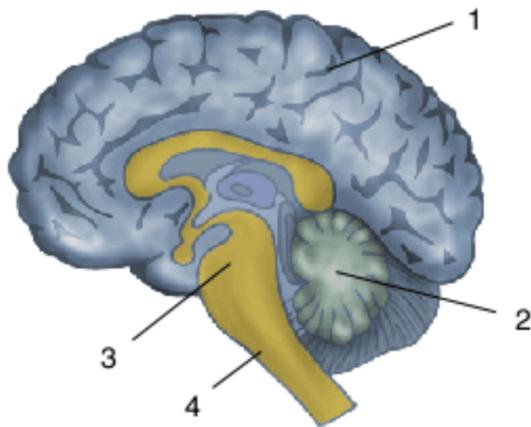


- a) A que ramo do sistema nervoso autônomo correspondem, respectivamente, I e II, e qual a substância neurotransmissora liberada nas terminações dos neurônios pós-ganglionares de cada ramo?
- b) O que acontecerá com o ritmo de batimentos cardíacos, quando ocorrer o aumento da frequência de impulsos transmitidos, respectivamente, por I e II?

**17 UFPI** Um tumor na cabeça que causa distúrbio no equilíbrio postural de um indivíduo, provavelmente, está localizado no:

- (a) bulbo raquidiano.
- (b) hipotálamo.
- (c) cerebelo.
- (d) lobo olfativo.
- (e) lobo óptico.

**18 CEFET-MG 2007** Analise a figura referente ao sistema nervoso central.



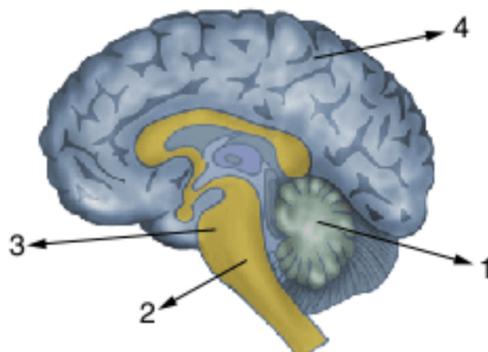
Os números 2 e 3 correspondem, respectivamente, às estruturas:

- (a) bulbo e medula. (c) medula e cerebelo.  
 (b) cerebelo e bulbo. (d) cerebelo e medula.

**19 Cesgranrio** É comum ouvir expressões como estas: “Meu coração disparou”, “Fiquei tão nervoso que comecei a suar”, “Senti a boca seca”. Estas reações são características de um estado emocional alterado, e são controladas sob a ação do(s):

- (a) sistema nervoso autônomo. (d) nervos do cerebelo.  
 (b) sistema nervoso somático. (e) centro nervoso medular.  
 (c) hormônios da tireoide.

**20 Mackenzie** Relacione as estruturas apontadas na figura adiante com as respectivas funções.

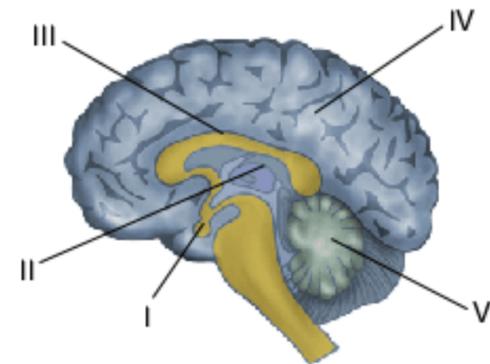


- controle das emoções, percepção sensorial e controle motor.  
 controle da respiração, digestão e batimentos cardíacos.  
 controle do equilíbrio e tônus muscular.  
 liga os hemisférios cerebrais ao cerebelo.

A sequência encontrada, de cima para baixo, é:

- (a) 1, 3, 4, 2. (d) 2, 1, 4, 3.  
 (b) 3, 2, 1, 4. (e) 3, 4, 2, 1.  
 (c) 4, 2, 1, 3.

**21 UFV** O sistema nervoso dos vertebrados pode ser subdividido em central (SNC) e periférico (SNP). O SNC é constituído pelo encéfalo e pela medula espinhal. A figura a seguir representa o encéfalo humano com algumas regiões indicadas (I, II, III, IV e V).



Observe a figura e assinale a alternativa correta.

- (a) O cerebelo tem função de regular o equilíbrio e está indicado por I.  
 (b) O encéfalo é formado apenas por II, III e IV.  
 (c) A hipófise, indicada por III, tem função endócrina.  
 (d) O diencéfalo, localizado na posição mediana, corresponde a II.  
 (e) O centro da memória e da inteligência está localizado em V.

**22 Fuvest 2012** Num ambiente iluminado, ao focalizar um objeto distante, o olho humano se ajusta a essa situação. Se a pessoa passa, em seguida, para um ambiente de penumbra, ao focalizar um objeto próximo, a íris:

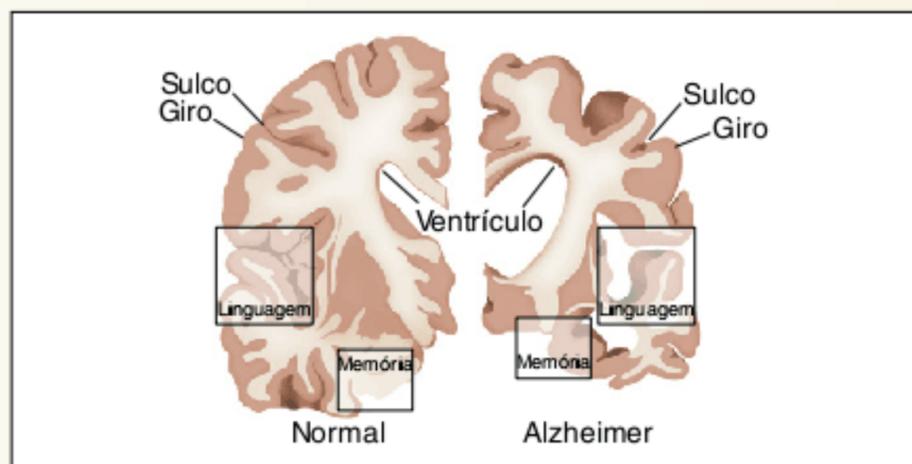
- (a) aumenta, diminuindo a abertura da pupila, e os músculos ciliares se contraem, aumentando o poder refrativo do cristalino.  
 (b) diminui, aumentando a abertura da pupila, e os músculos ciliares se contraem, aumentando o poder refrativo do cristalino.  
 (c) diminui, aumentando a abertura da pupila, e os músculos ciliares se relaxam, aumentando o poder refrativo do cristalino.  
 (d) aumenta, diminuindo a abertura da pupila, e os músculos ciliares se relaxam, diminuindo o poder refrativo do cristalino.  
 (e) diminui, aumentando a abertura da pupila, e os músculos ciliares se relaxam, diminuindo o poder refrativo do cristalino.

## TEXTOS COMPLEMENTARES

### Mal de Alzheimer

Algumas pessoas começam a apresentar um tipo de degeneração das células cerebrais quando se tornam mais velhas; esse dano vem acompanhado de uma redução de processos mentais, que se tornam mais lentos. Podem ocorrer como consequência a redução de memória, a dificuldade no raciocínio e severas alterações comportamentais. Essas mudanças costumam ocorrer em pessoas com idade acima de 70 anos que desenvolvem a doença

chamada mal de Alzheimer, podendo também acometer pessoas mais jovens. Em algumas pessoas, os sintomas já podem ser observados por volta dos 30 a 40 anos de idade; entre eles, nota-se o esquecimento, a irritação, a agressividade e a irracionalidade. A pessoa perde, com o passar do tempo, a capacidade de se alimentar e de cuidar da higiene pessoal; com a evolução da doença, ocorre a morte.



Comparação entre tecidos cerebrais normais e de pessoas acometidas com o mal de Alzheimer. Nota-se que há redução expressiva das áreas responsáveis pela memória, linguagem e outras, o que ocasiona no aparecimento dos sintomas característicos.

## Como o cérebro vê o futuro

A revista *Proceedings of the National Academy of Sciences (Pnas)* escolheu um tema que vem a calhar: prever o futuro.

Mas o trabalho do grupo liderado por Karl Szpunar na Universidade Washington em Saint Louis, nos Estados Unidos, não tem a ver com quiromancia ou outras atividades supostamente divinatórias. O objetivo específico é examinar a capacidade de uma pessoa imaginar a si mesma em situações e momentos que ainda não ocorreram, como uma importante reunião ou uma viagem planejada há tempos.

“Muito do nosso pensamento todos os dias depende da capacidade de nos colocarmos em eventos futuros, conhecida como ‘pensamento episódico futuro’”, escreveram os autores no artigo publicado na *Pnas*.

Os autores do estudo empregaram técnicas de imagem para identificar regiões no cérebro envolvidas com a capacidade de planejar eventos futuros. Segundo eles, diversas pesquisas foram feitas a respeito dessa atividade, mas poucos dados existem a respeito das áreas cerebrais ligadas ao processo.

Os pesquisadores mediram as atividades cerebrais de voluntários enquanto realizavam vários tipos de exercícios mentais, como lembrar episódios passados ou imaginar acontecimentos

O diagnóstico precoce, que pode ser realizado apenas com a exclusão de outras patologias neurológicas, pode auxiliar no retardamento da doença, mas ainda não existe tratamento. Medicamentos podem ser administrados para combater a enzima que degrada os neurotransmissores, retardando o progresso da doença e melhorando a qualidade de vida do paciente. O apoio e a compreensão da família também são fatores essenciais para o bem-estar do doente.

futuros envolvendo o próprio participante ou algum familiar (por exemplo, o que poderá ocorrer no próximo aniversário).

Por meio de técnicas de ressonância magnética funcional, os cientistas identificaram um conjunto de regiões cerebrais que se mostraram mais ativas nos exercícios ligados ao futuro. Outro conjunto de áreas mostrou atividades semelhantes em relação ao passado e ao futuro.

Os dois conjuntos de regiões apresentaram maior atividade em relação a eventos pessoais do que em relação a familiares. “Diferenças entre ações ligadas ao passado e ao futuro podem ser atribuídas a diferenças nas demandas localizadas em regiões que dão suporte a imagens de movimentos corporais. Atividades semelhantes estariam relacionadas à reativação de contextos visuais e espaciais experimentados anteriormente. Ou seja, os indivíduos posicionaram cenários futuros em contextos visuais e espaciais bem conhecidos”, escreveram no artigo.

De acordo com os pesquisadores, mais estudos são necessários para entender melhor os processos analisados, mas os resultados oferecem um ponto de partida para “a capacidade fundamental e pouco estudada da projeção mental vívida do indivíduo no futuro”.

Agência FAPESP, 3 jan. 2007.

Disponível em: <<http://agencia.fapesp.br/6551>>.

## RESUMINDO

O sistema nervoso humano compreende duas grandes divisões: sistema nervoso central e sistema nervoso periférico.

### Sistema Nervoso Central (SNC)

É envolvido por **meninges**, que realizam função protetora de suas estruturas e que são:

- **dura-máter**: mais externa.
- **aracnoide**: intermediária.
- **pia-máter**: mais interna; fica em contato com o tecido nervoso.

Entre as meninges e o tecido nervoso (e em cavidades – ventrículos) do SNC há o **fluido cérebro-espinal**. Suas características são:

- tem função de:

- **amortecer impactos**;
- **transportar nutrientes e neurotransmissores**;
- **dar apoio mecânico** ao cérebro.

O SNC é composto de:

- **Medula espinal**: protegida pela coluna vertebral; é responsável pelos reflexos medulares e pela ligação entre o SNP e o encéfalo.
- **Encéfalo**: protegido pela caixa craniana, apresenta inúmeros componentes:
  - **Cérebro**: parte mais desenvolvida do encéfalo; é responsável por todos os comandos enviados para o organismo. É constituído por:

- **Hemisférios cerebrais:** correspondem às duas **metades externas do cérebro**; o hemisfério **esquerdo** controla a parte direita do corpo e o **direito** controla a parte esquerda. Estão ligados pelo corpo caloso.  
As regiões presentes nos hemisférios são:
  - **córtex cerebral:** superfície dos hemisférios (**substância cinzenta**) formada por corpos celulares de neurônios. Possui **dobramentos** (circunvoluções cerebrais) que promovem o aumento da superfície de tecido nervoso.
  - **substância branca** interna ao córtex; é constituída por prolongamentos de neurônios (dendritos e axônios).
  - **funções:**
    - constituem o centro motor e sensorial: recebem informações e enviam ordens ao organismo;
    - armazenam e processam a memória;
    - responsáveis pelo pensamento consciente e pelas funções intelectuais.
- Os hemisférios possuem áreas denominadas lobos.
  - **Lobos frontais:** localizados na região da testa; controlam os músculos esqueléticos, a linguagem, a resolução de problemas, a concentração etc.
  - **Lobos temporais:** localizados nas regiões laterais da cabeça. Estão relacionados com a audição, o paladar e a certos tipos de memória (como a musical e a de padrões visuais).
  - **Lobos occipitais:** localizados na região da nuca. Responsáveis pelo controle dos processos que envolvem a visão.
  - **Lobos parietais:** localizados na parte superior da cabeça. Relacionam-se com a percepção de tato, dor, pressão e calor na pele e são responsáveis pela fala.
- **Tálamo:** localizado mais internamente, possibilita a conexão entre os hemisférios e o restante do SN (vias aferentes passam por ele). Atua como um **centro de transmissão e processamento de informações sensoriais**.
- **Hipotálamo:** localizado abaixo do tálamo. É **ligado à hipófise**, controlando a produção de hormônios; é o **centro de controle de emoções e atividades fisiológicas** básicas.
- **Cerebelo:** apresenta dois **hemisférios cerebelares**; localiza-se abaixo dos lobos occipitais. Responsável pelo **equilíbrio e postura** e **pela coordenação motora**.
- **Mesencéfalo:** localizado entre a ponte e o cérebro, contém a **formação reticular**, responsável principal pelo **processamento de dados visuais e auditivos**.
- **Ponte:** **estrutura de conexão**; nela ocorre o cruzamento de fibras nervosas ligadas ao hemisfério direito e ao esquerdo.
- **Medula oblonga (bulbo):** localizada abaixo da ponte, **transmite informações sensoriais ao tálamo** e apresenta os centros controladores de funções vitais.

### Sistema Nervoso Periférico (SNP)

É formado por **nervos** e **gânglios nervosos**; está ligado ao SNC por dois ramos de comunicação:

- **Via aferente:** possui nervos receptores que coletam informações sobre o ambiente e sobre as estruturas do organismo e as enviam ao SNC.

• **Via eferente:** envia comandos do SNC através de nervos, ao corpo (músculos e glândulas). Apresenta duas divisões:

- **Sistema nervoso somático:** está ligado aos músculos esqueléticos (que se encontram sob o domínio da vontade consciente).
- **Sistema nervoso autônomo (visceral):** envia ordens para efetores que não são controlados pela vontade consciente (coração, vísceras e glândulas). É constituído por dois ramos que controlam os mesmos órgãos, mas que apresentam ações antagônicas:
  - **Sistema nervoso autônomo simpático:** provém das porções torácica e lombar da medula espinal; altera as atividades de órgãos com a liberação da **noradrenalina**. É um **mecanismo de defesa do organismo às situações de perigo**, de medo, de estresse. Altera condições do organismo necessárias a uma fuga ou a uma luta.
  - **Sistema nervoso autônomo parassimpático:** origina-se das áreas cranial e sacral do sistema nervoso central; altera as ações dos órgãos com a liberação de acetilcolina em situações de calma, como a observada ao dormir ou no processo de digestão.

### Órgãos dos sentidos

Pertencem ao grupo das estruturas receptoras que recebem informações do ambiente (exteroceptores) e também componentes relacionados à percepção de substâncias químicas, os quimioceptores.

Os sentidos podem ser divididos em:

- **Tato:** envolve receptores sensíveis à vibração (**corpúsculo de Meissner, corpúsculo de Pacini e corpúsculo de Merkel**), à pressão (terminações de Krause) e a outros tipos de estímulos, como térmicos e dolorosos (**terminações nervosas livres**). Estão distribuídos na **superfície do corpo**.
- **Paladar:** envolve estruturas relacionadas à sensação de gosto, as papilas gustativas, distribuídas principalmente na língua. O estímulo ocorre por meio de substâncias químicas.
- **Olfato:** envolve **células olfatórias** localizadas no epitélio da cavidade nasal e ligadas ao **bulbo olfatório**, que se une ao **nervo olfatório**. Também está relacionado à percepção de substâncias químicas.
- **Audição:** envolve a orelha humana, a qual pode ser dividida em **orelha externa, orelha média e orelha interna**.
  - Orelha externa: compreende o **pavilhão auditivo** (auxilia na captura de sons) e o **meato auditivo externo** (revestido por pelos e glândulas).
  - Orelha média: apresenta **membrana timpânica** e três ossículos (**martelo, bigorna e estribo**). Comunica-se com a faringe por meio da **tuba auditiva**.
  - Orelha interna: formada por **labirinto**, este constituído pelo **aparelho vestibular** e **cóclea**, estruturas membranosas envolvidas por tecido ósseo.
    - Aparelho vestibular: composto por **canais semicirculares, utrículo e sáculo**. Está relacionado manutenção do equilíbrio.

- Córlea: seu interior é ocupado por um líquido denominado **endolinfa** e revestido por **células ciliadas**. Está relacionada à interpretação dos sons e transmissão de estímulos ao **nervo auditivo**.
- **Visão:** envolve o **olho** (ou **globo ocular**), órgão localizado na cavidade craniana (**órbita**). Internamente é revestido pela **retina**, a qual é constituída por várias camadas de células

nervosas e receptores de luz (**fotoreceptores**), os cones e os **bastonetes**. A retina está associada ao **nervo óptico**, que conduz impulsos nervosos ao **córtex cerebral**. A visão binocular resulta das imagens formadas nos dois olhos. Os cinco principais tipos de defeitos visuais são: **catarata**, **presbiopia**, **astigmatismo**, **miopia** e **hipermetropia**.

## ■ QUER SABER MAIS?



### SITES

- Reportagem apresenta estudo de equipe da Universidade de Mellon (EUA), no qual é afirmado que o cérebro funciona como Facebook. <<http://revistagalileu.globo.com/Revista/Common/0,,EM1201961-17770,00-CEREBRO+FUNCIONA+COMO+FACEBOOK+DIZ+ESTUDO.html>>.
- Infográfico que indica o que acontece no cérebro de uma pessoa em coma. <[http://saude.abril.com.br/edicoes/0277/infograficos/conteudo\\_166207.shtml](http://saude.abril.com.br/edicoes/0277/infograficos/conteudo_166207.shtml)>.

## Exercícios complementares

**1 UFRN** Um motorista infrator, ao dirigir na Via Costeira, em alta velocidade, perdeu o controle do carro em uma curva, sofrendo um acidente. Ao chegar ao pronto-socorro, diagnosticou-se uma isquemia cerebral (bloqueio da circulação nas artérias que fornecem sangue ao encéfalo) no lobo frontal do cérebro.

Como consequência, poderá haver comprometimento da capacidade do motorista para:

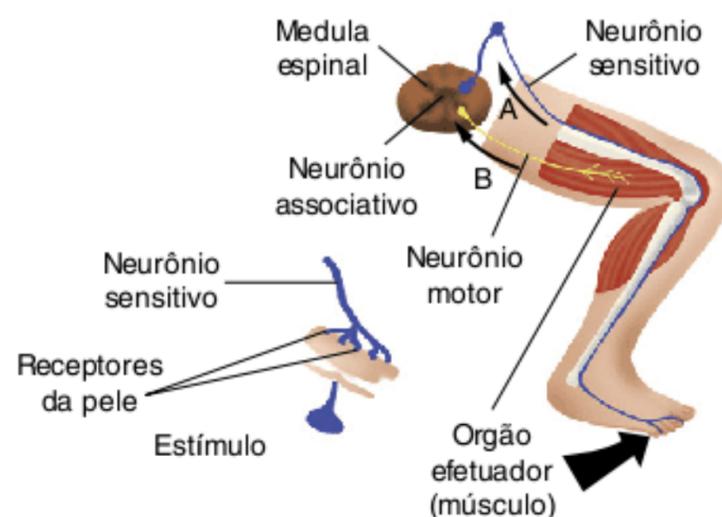
- pisar sob o estímulo de uma luz intensa.
- salivar ao sentir o aroma de uma comida.
- preencher uma ficha de identificação.
- sentir dor ao encostar em um ferro quente.

**2 Unirio** O vestibular é um momento decisivo na vida do estudante, o qual pode apresentar uma certa ansiedade antes e durante as provas. Nesse momento, o organismo sofre intensas alterações fisiológicas.

Como um exemplo de alteração estimulada pelo sistema nervoso simpático, pode-se citar a(o):

- contração da bexiga.
- contração da pupila.
- diminuição da pressão sanguínea.
- aumento da frequência cardíaca.
- aumento da peristalse intestinal.

**3 UnB** A figura a seguir mostra como o sistema nervoso regula a movimentação de um membro do corpo humano.



Com o auxílio dela, julgue os itens seguintes.

- Embora a movimentação dos membros seja habitualmente voluntária, a figura mostra um ato reflexo.
- As setas A e B indicam o sentido de condução da informação nervosa.
- O corpo celular do neurônio motor está localizado dentro do sistema nervoso central.
- O movimento da perna depende da liberação de mediadores químicos nas sinapses nervosas e neuromusculares.

**4 Cesgranrio** O estresse, a chamada doença do século, não é exclusiva da espécie humana. Certamente você já viu algumas fêmeas defendendo seus filhotes, um animal em fuga de um predador ou, ainda, um animal acuado que deve enfrentar o agressor para sobreviver. Essas situações típicas de estresse estão associadas ao seguinte par de fatores:

- (a) atropina ⇔ sistema nervoso parassimpático.
- (b) adrenalina ⇔ sistema nervoso simpático.
- (c) adrenalina ⇔ sistema nervoso somático.
- (d) noradrenalina ⇔ sistema nervoso central.
- (e) noradrenalina ⇔ sistema nervoso somático.

**5 Mackenzie** O controle da frequência respiratória humana é feito pelo \_\_\_\_\_, baseado na taxa de \_\_\_\_\_ sanguíneo, que é transportado principalmente na forma de \_\_\_\_\_.

Assinale a alternativa que preenche correta e respectivamente os espaços da frase anterior.

- (a) cérebro; O<sub>2</sub>; oxiemoglobina
- (b) cerebelo; CO<sub>2</sub>; carboemoglobina
- (c) bulbo; CO<sub>2</sub>; bicarbonato
- (d) cerebelo; O<sub>2</sub>; oxiemoglobina
- (e) cérebro; CO<sub>2</sub>; bicarbonato

**6 Mackenzie** O ritmo respiratório, que depende da quantidade de determinado gás no sangue, é controlado pelo bulbo. Desta forma, considere as seguintes afirmações.

- I. No caso de esforço físico, há uma diminuição da quantidade de oxigênio dissolvido no plasma, percebida pelo bulbo, o que provoca aumento do ritmo respiratório.
- II. Por estímulo do bulbo, ocorre contração do diafragma e consequente aumento do volume pulmonar, o que força a entrada de ar.
- III. O controle exercido pelo bulbo é inconsciente.

Então, apenas:

- (a) I está correta.
- (b) II está correta.
- (c) I e III estão corretas.
- (d) II e III estão corretas.
- (e) I e II estão corretas.

**7** O cerebelo, órgão do sistema nervoso central, é responsável – entre outras funções – pela:

- (a) visão.
- (b) coordenação motora.
- (c) salivação.
- (d) cor da pele.
- (e) audição.

**8** No homem, o controle dos movimentos respiratórios é exercido:

- (a) pelo cérebro.
- (b) pelo cerebelo.
- (c) pelo bulbo.
- (d) pela medula.
- (e) pela hipófise.

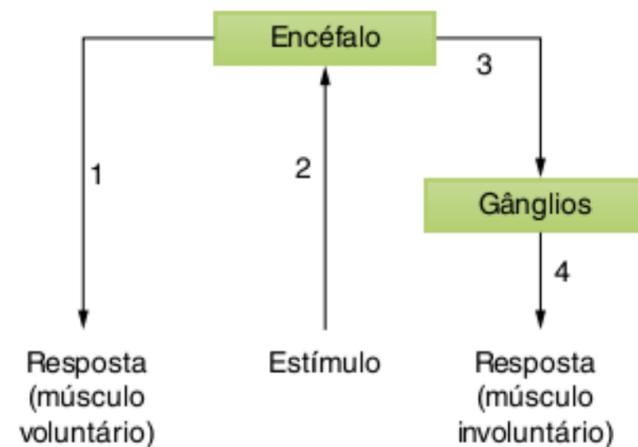
**9** Associe o nome das estruturas adiante com suas respectivas funções.

- a. Tálamo
  - b. Hipotálamo
  - c. Cerebelo
  - d. Corpo caloso
- Coordenação de movimentos e equilíbrio.
  - Analisa e envia informações ao cérebro.
  - Centro de controle da fome, sede, raiva, prazer.
  - Ligação entre dois hemisférios cerebrais.

**10 Faop** O sistema nervoso autônomo é dividido em simpático e parassimpático. Os hormônios que atuam controlando as atividades de ambos são, respectivamente:

- (a) insulina e adrenalina.
- (b) adrenalina e glucagon.
- (c) tiroxina e acetilcolina.
- (d) glucagon e adrenalina.
- (e) adrenalina e acetilcolina.

**11** O esquema adiante representa, de maneira simplificada, as interações do sistema nervoso.



Assinale a alternativa correta em relação à análise desse esquema.

- (a) 1 representa uma fibra sensorial do sistema nervoso somático.
- (b) 2 representa uma fibra motora do sistema nervoso simpático.
- (c) 1 e 4 representam fibras motoras do sistema nervoso autônomo.
- (d) 3 e 4 representam fibras do sistema nervoso autônomo.
- (e) 3 representa uma fibra motora e 4 uma fibra sensorial.

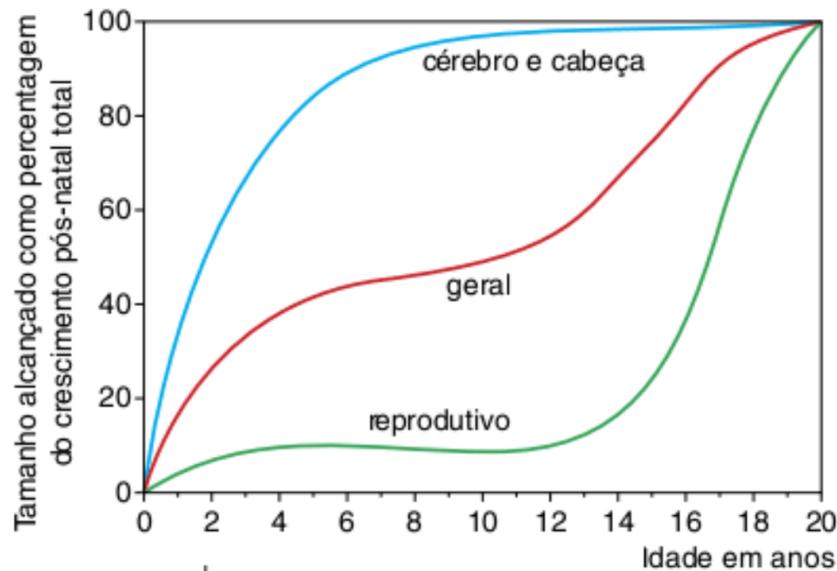
**12** De que se compõe o sistema nervoso periférico? Qual a sua função?

**13** Se uma pessoa leva um susto, seus vasos sanguíneos se contraem (fica branca) e seu coração acelera os batimentos (dispara). Isso acontece porque:

- (a) as glândulas suprarrenais liberam no sangue uma grande quantidade de adrenalina.
- (b) o pâncreas libera no sangue uma grande quantidade de insulina.
- (c) o pâncreas libera no duodeno uma grande quantidade de suco pancreático.
- (d) as glândulas sudoríparas se contraem repentinamente.
- (e) a hipófise libera no sangue uma grande quantidade de hormônio gonadotrópico.

**14** Tanto o sistema nervoso quanto o sistema endócrino controlam nosso organismo. Explique de que maneira cada um realiza essa função, exemplificando.

**15 Udesc** Observe o gráfico a seguir, em que estão representadas as curvas de crescimento (médias) de diferentes partes do corpo.



G. A. Harrison et al, apud M. A. dos Santos. *Biologia Educacional*. São Paulo: Ática, 1986, p. 130.

Baseado no gráfico, responda:

- Em qual faixa etária existe um maior desenvolvimento do sistema nervoso central?
- A partir de qual idade o organismo desenvolve com maior intensidade sua capacidade de reprodução? Justifique sua resposta.
- Comente sobre um fator que pode alterar o quadro de curvas de crescimento, apresentado no gráfico.

**16 Fuvest** Qual dos seguintes comportamentos envolve maior número de órgãos do sistema nervoso?

- Salivar ao sentir o aroma de comida gostosa.
- Levantar a perna quando o médico toca com martelo no joelho do paciente.
- Piscar com a aproximação brusca de um objeto.
- Retirar bruscamente a mão ao tocar um objeto muito quente.
- Preencher uma ficha de identificação.

**17 UFSC 2006**

Fetos humanos provavelmente não sentem dor antes do início do terceiro trimestre de gestação, afirmam cientistas em recente estudo feito pela Universidade da Califórnia, em São Francisco, e publicado no periódico "Jama", da Associação Médica Americana (Vol. 294, n.8, ago. 2005. pp. 24-31).

Alguns pesquisadores afirmam, em contraponto, que o feto apresenta uma resposta hormonal a partir da 22ª semana, que seria evidência de dor, mas a nova pesquisa sugere que as respostas sejam automáticas e não um sinal de desconforto.

Com base no texto anterior, assinale a(s) proposição(ões) correta(s).

- 01 A sensibilidade à dor, em fetos, está acompanhada do desenvolvimento da placenta, o que só ocorre após a 30ª semana de gestação.

02 Um feto que já possui o sistema nervoso completo deve sentir dor e, em humanos, isto ocorre ao final do primeiro mês de gestação.

04 O fenômeno da gastrulação é importante para a formação do cordão nervoso e, por acontecer apenas após o terceiro mês de gestação, temos a certeza de que antes disso o feto não pode sentir dor.

08 Aos oito meses de gestação há consenso, baseado nos dados expostos, de que os fetos sentem dor.

16 A sensação de dor está vinculada à presença de receptores especiais na pele, presentes desde a neurulação.

Soma =

**18 Ufes** A esclerose múltipla é uma doença causada pela perda da bainha de mielina (desmielinização) dos neurônios. Essa alteração dos neurônios tem como consequência:

- o aumento das expansões da membrana plasmática do axônio, na tentativa de repor a bainha de mielina.
- a diminuição do espaço entre os nódulos de Ranvier, dificultando a transmissão dos impulsos nervosos nesses neurônios.
- a diminuição da velocidade de propagação dos impulsos nervosos nos neurônios afetados pela doença.
- o aumento da produção de neurotransmissores para facilitar a condução do impulso nervoso nos nódulos de Ranvier.
- a propagação do impulso nervoso nos dois sentidos da fibra nervosa, causando, assim, um colapso do sistema nervoso.

**19 UFTM 2012** Muitos jovens ficam expostos a sons de elevada intensidade, como em casas noturnas e shows, além de utilizar fones de ouvido, de forma que quem os circunda também ouve a "música". A exposição prolongada a ruídos de tais intensidades pode causar danos irreversíveis à audição, que são devidos:

- à destruição dos ossículos da orelha média, impedindo a transformação da energia mecânica em química.
- ao rompimento da membrana timpânica, que não transmite as ondas sonoras aos ossículos da orelha interna.
- à destruição de algumas substâncias no interior da orelha média, sem as quais a orelha interna não é estimulada.
- à impossibilidade do ar contido no interior da cóclea estimular as células sensoriais dos canais semicirculares.
- aos danos às células ciliadas presentes no interior da cóclea, que deixam de transformar energia mecânica em elétrica.

## Frente 1

12

### O transporte através da membrana

#### Revisando

1. Transporte de partículas e transporte em massa (ou vesicular).
2. Exocitose é a eliminação de materiais contidos em vesículas que se fundem à membrana plasmática.
3. F; V; F; F.
4. Transporte passivo e transporte ativo. O primeiro não envolve gasto de energia pela célula e compreende difusão e osmose. Já o segundo ocorre com gasto de energia, como é o caso da bomba de sódio e potássio.
5. Osmose é o transporte de água (solvente) através de uma membrana semipermeável, partindo de uma solução hipotônica em direção a uma solução hipertônica. Tal processo não gasta energia e tende a manter a igualdade das concentrações.
6. É a força com que as moléculas de água movem-se em direção à solução hipertônica.
7. Exemplos de transporte ativo: bomba de íons  $H^+$ ; bomba de sódio e potássio.

#### Exercícios propostos

1. D
2. C
3. E
4. 14
5. C
6. a) Transporte ativo e transporte passivo.  
O transporte de A ocorre contra um gradiente de concentração, como mostra a relação  $C_{\text{intra}} / C_{\text{extra}}$  maior que 1.  
O transporte de B não ocorre contra um gradiente de concentração, atingindo o equilíbrio com  $C_{\text{intra}} / C_{\text{extra}}$  igual a 1.  
b) O transporte da substância A deve ser inibido pelo cianeto, pois o transporte ativo depende de fonte energética (ATP).  
O transporte passivo de B não deve ser alterado pelo cianeto.
7. B
8. A
9. D
10. D
11. D
12. D

#### Exercícios complementares

1. C
2. B
3. B
4. C
5. C
6. a) Transporte passivo de água por osmose.  
b) Soluções de diferentes concentrações separadas por membrana semipermeável.

- c) A diferença de comportamento deve-se à presença da parede celular nas células vegetais e à ausência dessa estrutura nas células animais (hemácias).

Em água destilada:

- célula vegetal fica túrgida.
- hemácias estouram.

Em solução salina:

- célula vegetal fica plasmolisada.
- hemácias ficam crenadas.

7. E
8. E
9. D
10. D
11. D
12. D

13

### Introdução à Genética clássica

#### Revisando

1. Probabilidade pode ser definida como a relação entre o número de eventos favoráveis e o número de eventos igualmente possíveis.

$$\text{Probabilidade} = P = \frac{\text{número de eventos favoráveis}}{\text{número de eventos igualmente possíveis}}$$

2.  $n = n^\circ$  de eventos favoráveis = 1 rei de ouros  
 $m = n^\circ$  de eventos possíveis = 52 cartas  
 $P(\text{rei de ouros}) = \frac{n}{m} = \frac{1}{52}$
3. Genética é o ramo da Biologia que estuda as leis e os mecanismos das transmissões das características hereditárias. Estuda também mecanismos de expressão e influências fenotípicas.
4. a) Denominam-se autossômicos.  
b) Sim. Os genes localizados nesses 44 cromossomos são responsáveis pela chamada herança autossômica.
5. a) É a manifestação de uma característica. É determinado pelo genótipo, podendo ser influenciado pelo ambiente. Exemplo: olhos castanhos.  
b) Um exemplo de fenótipo influenciado pelo meio pode ser uma pele originalmente clara bronzeada pelo sol.
6. Homozigoto – Quando os dois alelos que determinam uma característica são iguais (AA, BB, aa e bb). Heterozigoto – Quando os dois alelos que determinam uma característica são diferentes (Aa e Bb).
7. Heredogramas são diagramas baseados em levantamentos históricos, nos quais estão representadas características hereditárias de famílias.
8.  $Aa \times Aa \rightarrow AA : Aa : Aa : aa$   
 $\frac{3}{4}$  ou 75% olhos castanhos
9. 50%
10. 50%
11. Fêmea ( $A_1-$ ), porque um macho vermelho só pode ser genotipicamente  $A_2A_2$  e a vaca mogno é  $A_1A_1$ .

#### Exercícios propostos

1. B
2. D
3. E
4. Herança dominante. A filha II-2 é normal, porém é filha de pais afetados; isso demonstra que os pais são heterozigotos para a característica.
5. C
6. a) Heterozigotos (Aa): II-1, II-2, II-3 e II-4.  
b) Geração possível:  
(AA, Aa, Aa) e (aa)  
 $\frac{3}{4}$  normais  $\frac{1}{4}$  afetados  
 $P(\text{homem afetado}) = \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{4} = \frac{1}{8}$   
 $P(2 \text{ homens afetados}) = \frac{1}{8} \cdot \frac{1}{8} = \frac{1}{64}$
7. B
8. a) A anomalia não pode ser recessiva; se fosse o caso, os indivíduos 7 e 8 da F2, afetados pela anomalia, não poderiam ter filhos normais.  
b) Sendo normal, a mulher em questão apresenta genótipo aa. Se tiver filhos com um homem afetado, duas possibilidades podem ocorrer:  
1. mulher aa x homem AA  
100% dos filhos Aa e afetados pela anomalia  
2. mulher aa x homem Aa  
50% dos filhos normais (aa) e 50% afetados (Aa)
9. C
10. D
11. B
12. D
13. Mutação, porque a segregac o independente e a permutac o cromossômica são processos característicos da meiose normal, fenômeno que não ocorre na laranja-da-baía.
14. B
15. B

#### Exercícios complementares

1. B
2. E
3. A
4. A
5. 95
6. C
7. A
8. A probabilidade de o homem ser heterozigoto é igual a 1,0 (certeza).  
A mulher é normal e tem um irmão afetado. Considerando "A" o alelo normal e "a" o alelo que determina a fibrose cística, os pais são necessariamente heterozigotos (Aa) e ela pode ser AA, Aa, ou aA, com igual probabilidade para cada genótipo. Logo, a probabilidade de ela ser heterozigota é igual a  $\frac{2}{3}$ .  
A probabilidade de um casal heterozigoto ter um filho homozigoto recessivo é igual a  $\frac{1}{4}$ .

Logo, a probabilidade de o casal ter um filho com

$$\text{a doença é: } 1,0 \cdot \left(\frac{2}{3}\right) \cdot \left(\frac{1}{4}\right) = \frac{2}{12} = \frac{1}{6}.$$

9. C
10. D
11. C
12. 26
13. A
14. C
15. B

14

### As variações da Primeira Lei de Mendel

#### Revisando

1. A Primeira Lei de Mendel aborda o estudo de um par de alelos situado em cromossomos homólogos.
2. Alelos letais são genes que podem provocar transtornos metabólicos e, por consequência, causar a morte do indivíduo.
3. Pleiotropia é a capacidade de um alelo determinar mais de uma característica.
4. a) Na figura II.  
b) Gêmeos bivitelinos são aqueles que apresentam cargas genéticas distintas, ou seja, são geneticamente diferentes um do outro. Em relação ao sexo, são como dois irmãos comuns, podendo ter sexos diferentes (figura II) ou o mesmo sexo.  
c) Gêmeos dizigóticos ou fraternos.  
d) Gêmeos univitelinos são aqueles que apresentam a mesma carga genética e o mesmo sexo.  
e) Gêmeos monozigóticos ou idênticos (figura I).  
f) A formação dos gêmeos univitelinos ocorre durante a fase embrionária da blástula, que se parte em duas, gerando dois embriões geneticamente idênticos e que compartilham a mesma placenta.

#### Exercícios propostos

1. B
2. B
3. E
4. C
5. B
6. E
7. C
8. A
9. E
10. a) Os resultados obtidos indicam que o gene B (fenótipo Manx) é letal embrionário em dose dupla.  
b) Alelos:  
B – Manx (cauda curta)  
b – cauda normal  
Pais: macho Bb e fêmea Bb  
F1: BB – morte, 66% Manx, 33% normais
11. D
12. D

#### Exercícios complementares

1. C
2. D

3. C
4. C
5. B
6. B
7. C
8. C
9. C
10. C

15

### Alelos múltiplos

#### Revisando

1. Por exemplo, os pelos dos coelhos podem ser: aguti, chinchila, himalaia ou albino. Os alelos múltiplos proporcionam variabilidade genética e fenotípica maiores.
2. Prevenir acidentes em transfusões sanguíneas. Antigamente, era comum um paciente receber transfusão de sangue e morrer por causa da obstrução de vasos, provocada por aglutinação do sangue recebido.
3. A determinação do tipo sanguíneo de um indivíduo é feita misturando gotas de seu sangue com gotas de soro próprio para teste de tipagem sanguínea. Há dois tipos de soro: o que contém anti-A e o que contém anti-B. Duas gotas de sangue são colocadas em uma lâmina de microscopia. Sobre uma gota, é depositado soro anti-A e na outra gota, soro anti-B. Verifica-se, então, com auxílio do microscópio, se ocorreu ou não aglutinação do sangue. O sangue do tipo A aglutina em presença de anti-A, mas não se altera em contato com soro anti-B. Esse procedimento determina os demais tipos sanguíneos.
4. Joaquim apresenta tipo sanguíneo AB.
5. Pela tipagem de sangue AB, Sílvia é uma receptora universal, ou seja, pode receber sangue de todos os outros grupos (A, B e O).
6. a) Três alelos.  
b)  $I^A$ ,  $I^B$  e  $i$ .  
c) Os alelos  $I^A$  e  $I^B$  são codominantes, enquanto  $i$  é recessivo.  $I^A$  condiciona tipo A e  $I^B$  condiciona tipo B. O alelo  $i$  determina tipo O. Já um indivíduo heterozigoto  $I^A I^B$  pertence ao grupo sanguíneo AB.
7. Nos humanos, a presença do antígeno Rh confere o tipo sanguíneo Rh positivo ( $Rh^+$ ), e sua ausência o tipo sanguíneo Rh negativo ( $Rh^-$ ).
8. A tipagem sanguínea do sistema Rh é realizada com a utilização de um soro com anticorpos anti-Rh, que é misturado a uma amostra de sangue da pessoa. No caso de o sangue aglutinar, trata-se do tipo  $Rh^+$ ; caso não aglutine, trata-se de sangue tipo  $Rh^-$ .
9. A transfusão sanguínea, considerando o sistema Rh, deve seguir os preceitos de que indivíduos  $Rh^+$  podem receber sangue do mesmo tipo ( $Rh^+$ ) e também do tipo  $Rh^-$  (indivíduos  $Rh^+$  são receptores universais). Os indivíduos  $Rh^-$  podem receber sangue apenas do seu mesmo tipo ( $Rh^-$ ); não devem receber sangue tipo  $Rh^+$  (pessoas com sangue tipo  $Rh^-$  são doadoras universais).

10. O sistema Rh apresenta dois alelos principais, R (dominante) e r (recessivo), que conferem aos indivíduos dois tipos de fenótipo (tipos sanguíneos  $Rh^+$  e  $Rh^-$ ) e 3 genótipos (RR, Rr e rr).
11. Eritroblastose fetal é a doença hemolítica do recém-nascido (DHRN). É uma doença que é decorrente da incompatibilidade entre o sangue da mãe e o sangue do filho; desenvolve-se em fetos que sejam  $Rh^+$  e tenham mães com sangue  $Rh^-$  que tenham tido contato com sangue  $Rh^+$  anteriormente. O contato anterior da mãe com o sangue tipo Rh positivo sensibilizou-a e isso resulta na atuação do organismo da mãe contra o do feto, por meio da ação dos anticorpos anti-Rh.
12. A eritroblastose fetal acontece mais comumente com casais formados por homem com sangue Rh positivo (R<sub>L</sub>) e mulher com sangue Rh negativo (rr). A prevenção deve ser feita, pois há chances de filhos do casal terem sangue Rh positivo (Rr) e assim sensibilizar a mãe contra o seu tipo sanguíneo. Caso o casal tenha um segundo ou terceiro filho com tipo sanguíneo  $Rh^+$ , há grande probabilidade de que ele desenvolva a doença.
13. A prevenção da doença deve ser feita constatando-se a probabilidade de o casal gerar filhos com DHRN (homem  $Rh^+$  e mulher  $Rh^-$ ), e, após o nascimento do primeiro filho  $Rh^+$ , inocular na mulher o soro anti-Rh, promovendo a destruição de hemácias  $Rh^+$  que ela recebeu do feto, evitando que ela seja sensibilizada.
14. O tratamento do bebê que desenvolve eritroblastose fetal é a transfusão sanguínea com sangue Rh negativo logo ao nascer, o que evita que as suas hemácias sejam atacadas pelos anticorpos anti-Rh da mãe presentes em seu organismo. Após certo período, os anticorpos maternos serão destruídos e deixarão de atuar e a criança produzirá novas hemácias do tipo Rh positivo, de acordo com o seu genótipo.
15. Outro sistema sanguíneo existente na população humana é o sistema MN. Ele possui dois alelos, M e N, tratando-se de um caso de codominância. Esse sistema não apresenta interferência nas transfusões sanguíneas.

#### Exercícios propostos

1. a) Genótipos:  
Azul – AA; Azul-clara – Aa; Branca – aa  
AA – 25%  
Aa – 50%  
aa – 25% de plantas que não apresentam flores abertas.  
Nesse jardim, as flores que têm menor possibilidade de se abrirem são as de cor azul (25%), pois as flores azuis-claras estão em maior proporção.
- b) Possibilidades de cruzamentos:  
1: AA x AA – 100% de cor azul  
2: AA x Aa – 50% de cor azul e 50% de cor azul-clara.  
3: Aa x Aa – aproximadamente 33,33% azul e 66,66% de cor azul-clara.  
Nesse jardim, as flores que têm maior possibilidade de se abrirem são as de cor azul.

2. Os genótipos são:  
A1A1; A1A2; A1A3; A1A4  
A2A2; A2A3; A2A4  
A3A3; A3A4  
A4A4
3. B
4. A
5. A
6. E
7. 14
8. 16
9. V; V; V; V
10. C
11. V; V; F; F; F
12. A
13. E
14. C
15. E
16. B
17. E
18. 91
19. C
20. C
21. C
22. E
23. D
24. C
25. A
26. D
27. C
28. C
29. B
30. A
31. A

### Exercícios complementares

1. E
2. D
3. D
4. D
5. D
6. D
7. A
8. A
9. E
10. B
11. C
12. E
13. a) A eritroblastose fetal ocorre por incompatibilidade do fator Rh entre a mãe Rh<sup>-</sup>, sensibilizada por transfusão sanguínea Rh<sup>+</sup> ou por meio do parto de uma criança Rh<sup>+</sup>, e o feto Rh<sup>+</sup>. Os anticorpos (anti-Rh<sup>+</sup>) produzidos pela mãe sensibilizada destroem os glóbulos vermelhos fetais.
- b) Pode-se evitar a ocorrência da eritroblastose fetal através de injeções de soro contendo anti-Rh. O anti-Rh destrói os glóbulos vermelhos fetais – com o antígeno Rh – que circulam no sangue materno.
- c) O tratamento usual para a criança afetada pela doença consiste em:  
– transfusão de sangue Rh<sup>-</sup> em substituição ao sangue Rh<sup>+</sup> que contém os anticorpos maternos;

- banhos de luz para diminuir a icterícia causada pela destruição das hemácias fetais;
- nutrição adequada para reverter o quadro de anemia.

14. C
15. C
16. C
17. D
18. D

## Frente 2

### 13 Angiospermas

#### Revisando

1. Raiz, caule, folha, flor, fruto e semente.
2. O fruto e a semente.
3. Significa urna com semente.
4. Flor e fruto.
5. Antófitas ou magnoliófitas.
6. Cálice (com sépalas), corola (com pétalas), androceu (com estames) e gineceu (com pistilos, ou carpelos).
7. O estame tem filete e antera. O pistilo possui estigma, estilete e ovário.
8. É do tipo sifonogâmica e envolve o crescimento do tubo polínico.
9. É o óvulo fecundado e desenvolvido.
10. É o ovário desenvolvido.
11. Flores monóclinas têm pistilos e estames. Flores díclinas têm pistilos ou têm estames.
12. O esporófito é o vegetal desenvolvido e o gametófito é o vegetal reduzido.
13. Micrósporos são gerados em microsporângios, ou sacos polínicos, no interior da antera. Megásporos são produzidos no interior do óvulo, que é o megasporângio imaturo.
14. Grão de pólen.
15. Dois tegumentos (2n) e um saco embrionário (n).
16. Oosfera.
17. Núcleos polares.
18. São os núcleos gaméticos, ou espermáticos.
19. A semente de angiosperma tem dois tegumentos (2n), um embrião (2n) e o endosperma (3n).
20. Origina-se da união de um núcleo gamético com dois núcleos polares, formando uma célula triploide, a qual gera o endosperma (3n) por mitose.
21. Gimnospermas têm fecundação simples e angiospermas têm dupla fecundação.
22. Cotilédone é uma folha modificada que pode disponibilizar nutrientes para o embrião.
23. Angiospermas podem ter um cotilédone (plantas denominadas monocotiledôneas) ou dois cotilédones (denominadas dicotiledôneas).
24. As reservas localizam-se nos cotilédones, que são muito espessos. Exemplos: feijão, ervilha e soja.
25. Família das gramíneas, como a cana-de-açúcar e os cereais (arroz, milho e aveia).
26. Família das leguminosas, como soja, ervilha, feijão, lentilha, grão-de-bico e pau-brasil.
27. Raiz fasciculada, vasos no caule são difusos, folhas paralelinérveas e flores trímeras.

28. Raiz axial, ou pivotante, vasos no caule com disposição regular, folhas reticulínérveas e flores pentâmeras ou tetrâmeras.
29. Os agentes de polinização são vento (anemofilia), insetos (entomofilia), aves (ornitofilia) e morcegos (quiropterofilia).
30. Na polinização feita pelo vento, o pólen é abundante e seco; a polinização executada por animais tem pólen aderente e produzido em menor quantidade.
31. Os alimentos são néctar ou pólen. Os elementos de atração são cor vistosa e odor.

#### Exercícios propostos

1. C
2. D
3. D
4. C
5. A
6. A
7. A
8. C
9. B
10. C
11. A
12. D
13. A
14. E
15. A
16. E
17. C
18. C
19. E
20. a) O substrato que possibilita uma produção mais rápida de etanol é o caldo, porque é rico em sacarose (um dissacarídeo), molécula menor e mais fácil de ser degradada que a celulose do bagaço.

b)

Monocotiledôneas	Eudicotiledôneas
Nervuras paralelas	Nervuras reticuladas
Flores trímeras	Flores tetrâmeras ou pentâmeras
1 cotilédone	2 cotilédones
Folhas invaginantes	Folhas pecioladas
Feixes vasculares dispersos no caule	Feixes vasculares dispostos em único círculo
Sistema radicular fasciculado	Sistema radicular pivotante
Fruto com 3 lóculos	Frutos com 2 ou 5 lojas/lóculos

21. D

#### Exercícios complementares

1. E
2. a) No ciclo vital de uma angiosperma, as fases heterotróficas são representadas pelos gametófitos (tubo polínico e saco embrionário) dependentes do esporófito verde e autótrofo e pelo embrião no interior da semente, que é nutrido pelo endosperma, ou albúmen.

- b) Durante a germinação, o consumo de alimento através da respiração supera a fotossíntese. Nessa fase, o vegetal jovem consome as reservas acumuladas na semente. Durante o crescimento, e na fase adulta, a produção de matéria orgânica pela fotossíntese é maior do que o consumo pela respiração. Dessa forma, o vegetal pode acumular matéria e crescer.
3. As angiospermas; pois as células sexuais das pteridófitas (anterozoides) são liberadas na água. Nas angiospermas, os gametas masculinos são representados pelos núcleos espermáticos do tubo polínico. Esses gametas são conduzidos até o gameta feminino (oosfera) através do crescimento do gametófito masculino, sem a necessidade de água para o seu transporte.
4. a) Produção de sementes e flores.  
b) A classificação das fanerógamas em gimnospermas e angiospermas é baseada no fato de que nas angiospermas a semente é envolvida por um fruto, o que não ocorre com as sementes de gimnospermas, que são "nuas".
5. a) Dentre as características exclusivas das fanerógamas, podem ser citadas as estruturas reprodutoras visíveis a olho nu – estróbilos nas gimnospermas e flores nas angiospermas –, o tubo polínico, as sementes, além do processo de polinização.  
b) Gimnospermas.  
c) Pteridófitas.
6. 35
7. 39
8. a) São angiospermas dicotiledôneas os vegetais indicados pelos números II e IV.  
b) Plantas com flores trímeras são angiospermas monocotiledôneas e devem ficar na vitrine com as de números I e III.  
c) Angiospermas dicotiledôneas possuem nervuras reticuladas em suas folhas e raízes pivotantes.  
d) Sim. Monocotiledôneas como o milho possuem feixes condutores difusos no caule, ao contrário, as dicotiledôneas como o feijão apresentam feixes liberolenhosos organizados.  
e) O dono da loja deve mudar de ramo já que acredita que plantas monocotiledôneas como as sementes do milho apresentam "dois" cotilédones, enquanto as dicotiledôneas como o feijão possuem apenas "um" cotilédone.
9. a) I. Polinização  
II. Formação do tubo polínico  
III. Dispersão das sementes  
IV. Germinação da semente com a formação da radícula  
b) Flores vistosas providas de nectários e glândulas odoríferas são adaptadas para atrair insetos e pássaros. Flores sem coloração que se abrem ao anoitecer são adaptadas para atrair morcegos polinizadores.  
c) A ausência dos agentes polinizadores causará o desaparecimento dos vegetais que são dependentes deles para a sua perpetuação.

10. a) As flores coloridas das angiospermas atraem os agentes polinizadores representados por insetos e pássaros. Esses animais promovem a polinização, a fecundação cruzada e a variação genética das plantas.  
b) As flores não coloridas das gramíneas são polinizadas pelo vento.
11. As flores noturnas normalmente são brancas, pois no escuro é mais fácil atrair polinizadores pelo odor. Já as plantas que apresentam flores diurnas costumam apresentar cores brilhantes, o que facilita a identificação pelos seus polinizadores, uma vez que estes, em geral, têm capacidade de distinguir cores.
12. a) Presença de sementes, vasos condutores e pólen.  
b) Angiospermas. Flores e frutos.
13. 60
14. V; V; V; F
15. a) Nos mamíferos, a fecundação é interna e envolve a união, no interior do organismo feminino, dos gametas masculino móvel (espermatozoide) e feminino imóvel (óvulo). O desenvolvimento é direto e ocorre, em geral, no interior do útero materno.  
b) Em angiospermas, a fecundação é dupla e ocorre no interior da flor, mais precisamente no interior do ovário, onde estão localizados os óvulos. Nessas estruturas, localizam-se os gametas femininos, a oosfera e os núcleos polares. Os gametas masculinos representados pelos dois núcleos espermáticos contidos no tubo polínico fecundam, respectivamente, a oosfera, originando o embrião 2n, e os núcleos polares, originando o endosperma 3n.

16. 45

14

## Morfologia externa das plantas

### Revisando

1. Subterrâneas: fasciculada (gramíneas), axial (manacá-da-serra), tuberosa (mandioca).  
Aéreas: escora (milho), tabular (figueira), sugadora (erva-de-passarinho), grampiforme (imbé), respiratória (manguezais), velame (orquídea), estrangulante (mata-pau).  
Aquáticas: flutuadoras (aguapé), submersas (cabomba).
2. Raiz fasciculada (em cabeleira) não possui um eixo principal. É típica de angiospermas monocotiledôneas. Axial possui um eixo principal de onde partem ramificações. Típica de dicotiledôneas.
3. Monocotiledôneas apresentam raízes fasciculadas, enquanto dicotiledôneas possuem raízes pivotantes.
4. a) Cenoura, beterraba, mandioca.  
b) Batata-inglesa, cebola, alho.
5. Tronco: caule aéreo de estrutura lenhosa; apresenta ramificações. Ex.: árvores.

Estipe: cilíndrico, não ramificado. Ex.: palmeira.  
Colmo: caule dividido em nó e entrenó; pode ser maciço ou oco. Ex.: cana.  
Tubérculo: caule subterrâneo que produz ramos espessos que acumulam reservas nutritivas. Ex.: batata-inglesa.

6. a) Laranjeira, limoeiro.  
b) Maracujá, uva.  
c) Cactos.  
d) Plantas de mangue (*Avicennia* sp.).
7. As folhas de dicotiledôneas são reticulínervas (possuem nervuras com disposição em rede), têm uma lâmina (limbo, no qual se encontram células clorofiladas em abundância) e um cabo (pecíolo) ligados ao caule.  
As folhas de monocotiledôneas são paralelinérveas (possuem nervuras paralelas), têm limbo e normalmente há uma bainha, estrutura que envolve o caule.
8. Gavinhas possibilitam a fixação da planta a um suporte; espinhos servem como defesa da planta e, no caso de espinhos formados por folhas modificadas, servem também para diminuir a perda de água por transpiração.

### Exercícios propostos

1. D
2. a) Rizófora possui raízes-escoras e respiratórias (pneumatóforos).  
b) Figueira-mata-pau tem raízes estrangulantes.  
c) Orquídea possui raízes aéreas com velame para absorver a umidade do ar.  
d) Erva-de-passarinho apresenta raízes sugadoras de seiva bruta (hemiparasita).  
e) Cipó-chumbo também possui raízes sugadoras de seiva elaborada (holoparasita).
3. C
4. 30
5. B
6. A
7. D
8. A
9. A
10. E
11. C
12. E
13. D
14. São folhas geralmente coloridas e grandes que protegem as flores. Ocorrem no antúrio, no copo-de-leite, em primaveras etc. Outras modificações são gavinhas e espinhos.
15. E
16. D
17. a) A folha indicada pela figura B indica uma planta que vive em campo aberto, pois possui folhas com menor superfície para evitar a transpiração excessiva. A figura A indica uma folha de vegetal habitante de floresta, já que apresenta maior superfície adaptada ao melhor aproveitamento de luz.  
b) A folha A possui maior quantidade de clorofila. Em ambientes menos iluminados, a produção dos pigmentos fotossintetizantes aumenta para intensificar a captação de luz.

18. E  
19. A  
20. 1.  
a) Órgão 1: Trata-se da raiz do vegetal, responsável pela sustentação da planta no meio terrestre e pela absorção de água e sais minerais do solo.  
b) Neste órgão vegetal, observa-se a presença de tecido de revestimento externo especializado na absorção. Suas células formam os pelos absorventes.
2.  
a) Órgão 2: Trata-se do caule, responsável pela sustentação das partes aéreas da planta e pela condução das seivas mineral (bruta) e orgânica (elaborada).  
b) Possui tecido de revestimento externo para proteção (súber), tecidos condutores de seivas (xilema e floema) e tecidos de crescimento (gemas e câmbio).
21. A  
22. E  
23. a) As raízes fixam a planta ao solo (ou a outro substrato qualquer), absorvem e conduzem água e sais minerais e atuam, por vezes, no armazenamento de reservas nutritivas. O caule provê suporte a folhas, flores e frutos e realiza a condução da seiva inorgânica para as regiões fotossintetizadoras e da seiva orgânica para todas as demais partes da planta, podendo ainda acumular reserva nutritiva e água e atuar na propagação vegetativa (reprodução assexuada) das plantas.  
b) As raízes são geralmente aclorofiladas, não segmentadas, desprovidas de folhas, gemas e subterrâneas (geotropismo positivo). Têm uma organização bastante simples, podendo-se distinguir uma coifa, capa de células estratificadas que protege o ápice meristemático, tecido que se divide e se diferencia formando as zonas de distensão, pilífera e suberosa (ou de ramificação). A raiz principal tem origem na radícula do embrião e as raízes secundárias têm origem endógena, a partir do periciclo, e possuem uma estrutura semelhante à da raiz principal. Eixos caulinares apresentam, em geral, geotropismo negativo (sendo, portanto, aéreos) e fototropismo positivo, podendo ser fotossintetizantes ou não. Sua estrutura externa é composta de nós, entrenós, gemas terminais e laterais. As gemas laterais localizam-se nas axilas de folhas, inseridas nos nós e são responsáveis pela formação do sistema de ramificação caulinar.  
c) São exemplos de raízes aéreas:  
1. Suporte/escoras (raízes adventícias que oferecem equilíbrio ou sustentação à planta).  
2. Tabulares (ramos radiculares unidos ao caule, como tábuas, comuns em árvores de florestas tropicais, como figueiras e bombacáceas).  
3. Estranguladoras (raízes que envolvem o tronco hospedeiro, por vezes impedindo seu desenvolvimento e ocasionando a morte da

planta, comum em figueiras hemiepífitas, também denominadas mata-pau).

4. Grampiformes (raízes adventícias formadas nos nós caulinares que desenvolvem forte ação preênsil. Ex.: *Hedera helix*, *Philodendron*).  
5. Pneumatóforos (raízes respiratórias, lenhosas, com geotropismo negativo, que ocorrem em espécies típicas de ambientes pantanosos, como os manguezais. Ex.: *Avicennia*).  
6. Coletoras (variação presente em algumas orquídeas, têm função de armazenar água de chuva).
- São exemplos de caules subterrâneos:  
1. Rizoma (apresenta crescimento horizontal, formando diretamente folhas ou ramos verticais com folhas. Ex.: espada-de-são-jorge, bananeira).  
2. Tubérculo (porção terminal intumescida de ramos caulinares longos e finos. Ex.: batata-inglesa).  
3. Cormo (sistema caulinar espessado e comprimido verticalmente, geralmente envolvido por catafilos secos. Ex.: palma-de-santa-rita).  
4. Bulbo (caule comprimido, reduzido a um disco basal do qual partem catafilos armazenadores, densamente dispostos. Ex.: cebola).  
5. Xilopódio (geralmente lignificado e duro, comum em espécies de cerrado, podendo ser formado, parcialmente, por caule e raiz).

24. B

25. B

### Exercícios complementares

1. a) Captação de água disponível no lençol freático subterrâneo, não alcançado pelas raízes das gramíneas.  
b) Galhos retorcidos das árvores, espessa casca dos caules, folhas coriáceas e revestidas de cera ou pelos.
2. C  
3. a) A região/zona pilífera. Os resultados mostram que a planta mutante tem menos fosfato na matéria seca do que a planta normal. A planta mutante, portanto, absorveu menos fosfato pelas raízes, pois a região da raiz responsável pela absorção de sais minerais e água está afetada pela mutação.  
b) Foram perdidas a coifa, a região/zona de multiplicação celular (meristema) e a região/zona de alongamento ou distensão celular (zona lisa). Sem essas partes, a raiz não crescerá em extensão, pois perdeu as regiões que têm a capacidade de formar novas células para diferenciação e de crescer por alongamento celular. Entretanto, a raiz poderia continuar o processo de absorção de água e elementos minerais, que ocorre, principalmente, na região/zona pilífera.
4. C  
5. Proteção contra evaporação; isolante térmico; proteção das partes internas e delicadas de caules e raízes.  
6. a) Originam-se do meristema secundário (câmbio), sendo influenciados por água e temperatura.

b) Não, pois as monocotiledôneas não crescem em espessura pela atividade do câmbio.

7. B  
8. O ecossistema B. Uma menor SF diminui a perda de água por evaporação/transpiração, condição importante para a sobrevivência da planta em um ambiente onde há pouca disponibilidade de água.  
9. A filotaxia oposta reduz o autossombreamento das folhas, permitindo maior captação da luz solar, necessária aos processos fotossintéticos.  
10. C  
11. B  
12. E  
13. A  
14. a) Porque uma área foliar menor significa menos transpiração, portanto, economia de água.  
b) Porque já que as folhas foram transformadas em espinhos, o caule clorofilado passou a realizar a fotossíntese.
15. D

15

### Apresentação dos tecidos vegetais

#### Revisando

1. Histologia.  
2. a) Tecidos meristemáticos, ou meristemas, são formados por células indiferenciadas, com grande capacidade mitótica.  
b) São responsáveis pelo crescimento da planta e pela formação dos tecidos permanentes por meio do processo de diferenciação celular.  
3. Os tecidos permanentes são classificados, de acordo com as funções que exercem, em quatro modalidades: revestimento, condução, sustentação e parênquimas.  
4. O xilema, ou lenho, é o vaso condutor (tecido de condução) responsável pelo transporte de seiva bruta até as folhas. Por ficar posicionado mais internamente no caule, também contribui para a sustentação da planta.  
5. Epiderme e súber (ou cortiça). A epiderme é bastante delgada e recobre folhas, frutos e partes jovens de caules e raízes. O súber, de aspecto mais rugoso, recobre partes do caule e da raiz que apresentam crescimento em circunferência.  
6. Parênquimas são tecidos que preenchem espaços existentes entre os demais tecidos.  
7. Parênquima clorofiliano ou assimilador ou clorênquima. É encontrado no interior de folhas e de caules jovens.  
8. 1; 3; 2

#### Exercícios propostos

1. A  
2. D  
3. a) Localizados no ápice do caule e da raiz e nas gemas laterais do caule, os meristemas primários atuam no crescimento geral do vegetal, pois são tecidos com intensa atividade mitótica.  
b) Crescimento vegetal em espessura.

- c) O esclerênquima é formado por células mortas.  
 d) Parênquimas clorofilianos paliádico e lacunoso.
4. D  
 5. a) Xilemas.  
 b) Floema.  
 6. D                      10. B  
 7. B                      11. 76  
 8. B                      12. B  
 9. D                      13. B

**Exercícios complementares**

1. A  
 2. V; V; V; F; V  
 3. A  
 4. A  
 5. D  
 6. D  
 7. B  
 8. D  
 9. a) O esclerênquima é composto de células mortas, alongadas e dotadas de paredes espessas e resistentes, devido à presença de uma substância denominada lignina. As células do esclerênquima podem ser de dois tipos: as fibras esclerenquimáticas e os escleroides.  
 b) É o tecido responsável pela sustentação do vegetal.  
 10. A  
 11. A  
 12. A

**Revisando**

1. Podem ser observadas em uma planta a nutrição orgânica e a inorgânica.  
 2. A fotossíntese é um processo bioenergético envolvido com a nutrição orgânica de plantas, sendo responsável pela produção de substâncias orgânicas a partir de substâncias inorgânicas.  
 3. Os parênquimas clorofilianos são responsáveis pela realização da fotossíntese, portanto, pela nutrição orgânica do vegetal. Existem dois tipos de parênquima clorofiliano: paliádico e lacunoso. Os órgãos da planta que os possui são as folhas e os caules jovens.  
 4. Na folha, podemos observar diversos tipos de tecido. A epiderme é o tecido de revestimento que recobre as duas faces da folha. A cutícula é uma película impermeável, recobrindo toda a epiderme. Entre as duas epidermes, superior e inferior, está a região chamada de mesófilo, onde se localizam os parênquimas clorofiliano paliádico (com células perpendiculares às da epiderme da face superior) e clorofiliano lacunoso, situado mais internamente na folha (com grandes espaços entre as células, permitindo a passagem de ar). Outras estruturas podem ser observadas no mesófilo, como os vasos condutores de seiva: xilema e floema. Na epiderme, estão também localizados os estômatos e anexos.

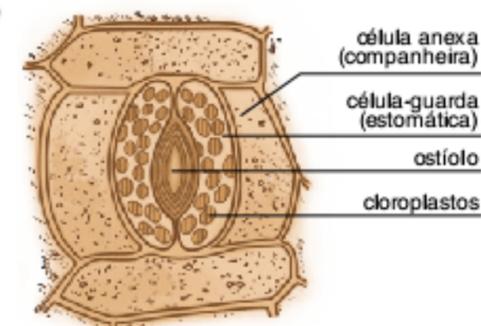
5. Os vasos sanguíneos de um animal e os vasos condutores de uma planta transportam os nutrientes necessários para a nutrição do organismo, com a diferença que o meio de transporte de nutrientes dos animais é o sangue e o das plantas não.  
 6. O xilema transporta água e sais minerais, absorvidos pelas raízes. O floema transporta açúcares, água e outras substâncias orgânicas, das folhas para outras partes da planta.  
 7. O principal órgão na absorção de nutrientes minerais de uma planta é a raiz.  
 8. A nutrição mineral pode também acontecer através de pelos das folhas, dos estômatos e através da digestão de presas por folhas modificadas (como ocorre nas plantas carnívoras).  
 9. Como nutrientes vegetais, podem ser citados:  
 Macronutrientes  
 Nitrogênio: importante na formação de aminoácidos, proteínas e bases nitrogenadas.  
 Fósforo: que integra as moléculas de ATP, ADP, DNA e RNA.  
 Potássio: importante em fenômenos osmóticos da célula vegetal.  
 Micronutrientes  
 Cobre: atua em processos enzimáticos.  
 Ferro: faz parte de moléculas de citocromos.  
 Manganês: essencial para a produção de cloroplastos.  
 10. A zona pilífera de uma raiz apresenta, nessa sequência, os tecidos chamados epiderme (que reveste a raiz e possui pelos para absorção de nutrientes minerais), o córtex (parênquima que pode servir de reserva nutricional), endoderme (regula o fluxo de íons ao xilema e assim a osmolaridade das células), periciclo (origina raízes secundárias que auxiliarão na absorção de nutrientes), xilema e floema (transportam os nutrientes pela planta) e medula (parênquima central encontrado nas monocotiledôneas). Com diversas estruturas de absorção e transporte de nutrientes, tal parte da raiz é essencial na nutrição inorgânica do vegetal.  
 11. Os tecidos observados em um caule podem ser: epiderme, esclerênquima, parênquimas, vasos condutores de seiva (xilema e floema), córtex, câmbio (felogênio) e medula.  
 12. A principal diferença entre caules de mono e dicotiledôneas é a disposição dos feixes liberolêrmosos, que nas monocotiledôneas são dispostos de forma irregular e nas dicotiledôneas são dispostos de forma regular, com a presença de um câmbio entre floema e xilema que será responsável pelo crescimento secundário.  
 13. Podem ser citados como tecidos de secreção os nectários, os laticíferos e os canais resiníferos.  
 14. As plantas podem ter sua reprodução beneficiada pelas estruturas secretoras chamadas nectários. Os nectários secretam néctar, um líquido adocicado que é bastante apreciado para alimentação por animais, potenciais polinizadores. Com o atrativo a mais nas plantas, ela recebe mais visitantes e a polinização é intensificada, melhorando suas chances de reprodução.

**Exercícios propostos**

1. D  
 2. D  
 3. 15  
 4. B  
 5. C  
 6. B  
 7. A planta A. Com a menor disponibilidade de nutrientes, a planta utilizou a maior parte de seus recursos no desenvolvimento de suas raízes, aumentando a superfície de absorção, o que lhe permitiu atingir regiões do solo em que os nutrientes ainda estavam disponíveis.  
 8. a) 2 (xilema ou lenho).  
 b) 1 (floema ou líber).  
 c) 2 (xilema ou lenho).  
 d) 5 (epiderme da raiz).  
 9. 46

**Exercícios complementares**

1. B  
 2. F; F; V; F; V; F.  
 3. a) Dependendo da quantidade em que são utilizados e/ou encontrados nos tecidos vegetais, os nutrientes minerais essenciais são classificados em macronutrientes (nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio, carbono, hidrogênio, oxigênio, enxofre e magnésio) e micronutrientes (manganês, molibdênio, cobre, ferro, zinco, cloro e boro).  
 b) Tanto os experimentos como os cultivos comerciais com hidroponia devem ter um sistema eficiente de aeração da solução nutritiva, pois isso é fundamental para que a respiração celular ocorra na raiz, possibilitando a produção de energia (ATP) necessária aos processos de absorção ativa de íons.  
 4. A  
 5. a) Epidermes da folha ou do caule jovem.  
 b)



6. A  
 7. a) O cipó-chumbo é um vegetal aclorofilado e, por este motivo, retira a seiva elaborada ou orgânica da planta hospedeira.  
 b) As estruturas invadidas são, respectivamente, os vasos liberianos (floema ou líber) e os vasos lenhosos (xilema ou lenho). Suas raízes são denominadas haustórios (ou sugadoras), que retiram das plantas hospedeiras os nutrientes necessários à sua sobrevivência.  
 8. D  
 9. E  
 10. a) A região/zona pilífera. Os resultados mostram que a planta mutante tem menos fósforo na matéria seca do que a planta normal.

A planta mutante, portanto, absorveu menos fosfato pelas raízes, pois a região da raiz responsável pela absorção de sais minerais e água está afetada pela mutação.

- b) Foram perdidas a coifa, a região/zona de multiplicação celular (meristema) e a região/zona de alongamento ou distensão celular (zona lisa). Sem estas partes, a raiz não crescerá em extensão, pois perdeu as regiões que têm a capacidade de formar novas células para diferenciação e de crescer por alongamento celular. Entretanto, a raiz poderia continuar o processo de absorção de água e elementos minerais que ocorre, principalmente, na região/zona pilífera.
11. a) A planta é um ser autótrofo, isto é, sintetiza os compostos orgânicos necessários a partir de água, nutrientes minerais e dióxido de carbono.
- b) Nitrogênio (N) – absorvido sob forma de nitratos e utilizado na síntese de proteínas, ácidos nucleicos e clorofilas. Magnésio (Mg) – absorvido sob forma de óxidos de magnésio, participando na síntese de clorofila. Fósforo (P) – absorvido sob forma de óxidos e relacionado com a produção de energia – síntese de ATP.
12. C
13. A

## 17 Revestimentos e trocas gasosas

### Revisando

- Uma planta pode ser beneficiada pelo revestimento com a proteção contra animais, controle térmico, absorção de água pelas raízes, trocas gasosas e secreção de substâncias.
- O acúmulo de pigmentos diferentes em uma planta, principalmente nas flores, pode servir de atrativo para animais polinizadores.
- A epiderme de uma planta é um tecido fino, constituído por células vivas. São aclorofiladas e dispostas em uma única camada, podendo também apresentar mais camadas, de acordo com a espécie. As células apresentam bastante coesão entre si, garantindo a integridade do vegetal.
- a) Gás carbônico.  
b) Gás oxigênio.
- Eliminação de água no estado de vapor e realização de trocas gasosas nos vegetais.
- Difusão pela superfície do corpo no ar e na água, pela superfície de estruturas respiratórias como brânquias, pulmões, traqueias e filotraqueias.
- A epiderme é constituída por células aclorofiladas, portanto, não realiza fotossíntese. No entanto, células estomáticas são clorofiladas e realizam fotossíntese.
- A epiderme possui uma película fina chamada cutícula (constituída de cutina ou cera), que é impermeável. Em partes do vegetal sujeitas à desidratação, como em caules e folhas, a cutícula diminui a perda de água na forma de vapor, inibindo as trocas gasosas através da epiderme.

- A epiderme pode ter como estruturas anexas: pelos, de diversos tipos (como absorventes ou urticantes); tricomas, que podem contribuir para a retenção de vapor-d'água na superfície do vegetal; acúleos, com função protetora contra animais e estômatos, constituídos por células especializadas e que atuam nas trocas gasosas entre a planta e o meio externo.
- O súber é um tecido de revestimento formado pela atividade de um meristema secundário chamado felogênio. É constituído por células mortas, com maior espessura que a epiderme e que são suberizadas. O súber inicia seu desenvolvimento em caules e raízes que apresentam crescimento em circunferência.
- A periderme é um conjunto de tecidos presentes em plantas que apresentam crescimento secundário. Constituem a periderme: o súber (mais externo), o felogênio (tecido meristemático mais interno) e a feloderme (mais interna ao felogênio).
- As trocas gasosas de uma planta incluem a perda de vapor-d'água e a entrada e a saída de gás carbônico e oxigênio da planta.
- As trocas gasosas efetuadas entre a planta e o ar podem ocorrer através da epiderme, mas são realizadas em grande parte através dos estômatos.
- Os estômatos são constituídos por células-guarda e células anexas. A fenda formada entre as células-guarda é chamada de ostíolo, sendo através dela que se processam as trocas gasosas. Os estômatos funcionam como uma válvula, que se abre e se fecha, controlando a passagem de gases. São controlados pelos mecanismos hidroativo e fotoativo.
- O mecanismo fotoativo determina a abertura e o fechamento dos estômatos, condicionado pela presença ou ausência de luz. O funcionamento acontece com a determinação do transporte ativo de íons potássio das células subsidiárias para as células estomáticas na presença de luz. Com a elevação de concentração da célula estomática, ocorre entrada de água por osmose, assim, as células estomáticas ficam túrgidas e ocorre a abertura do estômato. No escuro, não se dá o transporte ativo de potássio e ocorre o fechamento dos estômatos.
- A transpiração das plantas consiste na perda de vapor-d'água proveniente da evaporação para o ar (por difusão), que ocorre através da cutícula (transpiração cuticular) e dos estômatos (transpiração estomática) de uma planta. Para haver transpiração, o ar externo deve estar mais seco que o do interior da folha.
- A transpiração pode ser vantajosa pelo fato de contribuir para a regulação térmica da planta e por colaborar na movimentação de seiva bruta no interior do xilema.

### Exercícios propostos

- D
- a) Células glandulares localizadas na base dos pelos urticantes.

- b) Anexos epidérmicos que pertencem ao sistema de revestimento vegetal.
3. B
4. B
5. Proteção contra perda de água; isolante térmico; proteção das partes internas e delicadas dos caules e raízes; realização de trocas gasosas.
6. C
7. A: Estômatos. Os estômatos são importantes por realizarem as trocas gasosas e controlar a saída de água da planta por transpiração.  
B: Tricoma, ou pelo. Proteção mecânica contra a perda de água por excesso de transpiração.
8. E
9. a) A abertura estomática é influenciada por fatores como o grau de turgescência das células-guarda, a luminosidade ambiental, a concentração de CO<sub>2</sub> e potássio no interior das células estomáticas, entre outros. Células-guarda bem iluminadas produzem glicose, tornam-se hipertônicas e ganham água das células vizinhas por osmose. Quando túrgidas, elas se afastam, determinando a abertura da fenda estomática (ostíolo).  
b) Respiração celular. Consiste na oxidação de substâncias orgânicas, liberando energia que será armazenada no ATP. A hidrólise do ATP fornece energia para o trabalho celular.
10. C
11. Os vegetais produzem o oxigênio necessário para sua respiração através do processo fotossintético. Nos animais isso não ocorre, já que são seres heterótrofos.
12. a) As três estruturas estão relacionadas com as trocas gasosas entre o vegetal e o meio.  
b) Estômatos são observados na epiderme das folhas e em outras partes verdes do vegetal. Lenticelas no caule e pneumatódios em raízes respiratórias de plantas de mangue.
13. B
14. a) A abertura e o fechamento dos estômatos dependem diretamente do grau de turgescência das células-guarda que formam estas estruturas. Quanto maior o turgor, maior o grau de abertura dos estômatos; quanto menor o turgor, menor será o grau de abertura.  
b) Estômatos abertos durante o dia favorecem dois fenômenos fundamentais: as trocas gasosas necessárias para a realização do processo de fotossíntese e a transpiração necessária para o sistema de condução de seiva bruta pelos vasos lenhosos do vegetal. Relativamente fechadas durante a noite, as fendas estomáticas impedem a perda excessiva de água pela transpiração. Na ausência de luz, torna-se desnecessária a absorção de gás carbônico.
15. a) III  
b) Cloroplastos.  
c) Transpiração e captação de gases (O<sub>2</sub> e CO<sub>2</sub>).
16. B
17. A
18. D
19. A

20. A
21. C
22. E
23. 06
24. 35

**Exercícios complementares**

1. D
2. B
3. B
4. C
5. a) Desenvolveram rizoides (briófitas) e, posteriormente, raízes (pteridófitas, gimnospermas e angiospermas)
- b) Presença de cutícula, folhas pequenas, folhas transformadas em espinhos etc.
- c) Através de vasos condutores, no caso, xilema, ou lenho, e floema, ou líber.
6. C
7. 51
8. D
9. C
10. A
11. a) A planta A, que teve suas folhas cobertas por vaselina, transpirará muito menos do que a planta B.
- b) Estômatos.
- c) Estômatos são estruturas epidérmicas responsáveis pela captação de CO<sub>2</sub>, matéria-prima necessária para a fotossíntese.
12. B
13. B
14. B

**Frente 3**

**12** Sangue

**Revisando**

1. O sangue humano é constituído de plasma, glóbulos brancos (leucócitos), glóbulos vermelhos (hemácias, ou eritrócitos) e plaquetas (trombócitos).
2. É auxiliar na respiração celular, pois são elas que realizam o transporte do oxigênio e do gás carbônico. A hemoglobina é responsável por fixar esses gases na célula.
3. Os glóbulos brancos, ou leucócitos, fazem parte do mecanismo de defesa do organismo contra agentes externos.
4. Os glóbulos brancos e os vermelhos são células, enquanto as plaquetas são fragmentos de células. Os leucócitos apresentam núcleo, as hemácias não.
5. Porque se um vaso sanguíneo sofrer uma lesão, a perda de sangue em grandes quantidades pode causar dano ao organismo.
6. O O<sub>2</sub> é obtido nos alvéolos pulmonares e conduzido pelo sangue até as células. Tal processo libera CO<sub>2</sub>, que é transportado pelo sangue aos alvéolos pulmonares. O sangue é um intermediário entre os pulmões e os tecidos do organismo, transportando os gases respiratórios.
7. A troca ocorre pelos capilares sanguíneos. A pressão sanguínea força a saída de líquido para

o espaço intersticial, saindo água, íons, glicose e aminoácidos. As proteínas plasmáticas permanecem no interior do capilar e “puxam” parte do líquido para o interior do capilar. A outra parte é recolhida por terminações de capilares linfáticos. Na extremidade arterial do capilar, a pressão sanguínea é mais elevada e promove a saída de líquido; na porção mais próxima a uma vênula, a pressão sanguínea é mais baixa e provoca o retorno de líquido.

**Exercícios propostos**

1. a) Os vírus destroem as células responsáveis pela defesa orgânica das focas.
- b) Macrófagos – fagocitose; Linfócitos – reconhecimento e produção de anticorpos.
2. E
3. C
4. D
5. A
6. A coagulação sanguínea ocorre quando, após um ferimento ou pancada, as plaquetas e os tecidos lesados liberam tromboplastina, enzima capaz de catalisar a transformação de protrombina (inativa) em trombina (ativa). A trombina converte o fibrinogênio (solúvel) em fibrina (insolúvel). A malha de fibrina retém os glóbulos sanguíneos formando o coágulo, que estanca a hemorragia. As proteínas relacionadas ao processo são tromboplastina, protrombina, trombina, fibrinogênio e fibrina.
7. E
8. a) Eritrograma: contagem de glóbulos vermelhos (hemácias, ou eritrócitos); leucograma: contagem de glóbulos brancos (leucócitos)
- b) Eritropenia: diminuição na produção de glóbulos vermelhos (hemácias, ou eritrócitos); anemia: diminuição na produção de hemoglobina, pigmento vermelho contido nos glóbulos vermelhos.
9. B
10. A
11. D
12. D
13. D
14. D
15. B
16. C
17. C
18. a) No organismo adulto, a produção das hemácias ocorre na medula óssea pelo tecido conjuntivo hematopoiético mieloide e sua remoção no baço e no fígado.
- b) As globulinas estão relacionadas à defesa imunitária (síntese de anticorpos). As albuminas estão associadas à manutenção de uma pressão osmótica sanguínea adequada no interior dos vasos, que é importante no retorno de líquido dos tecidos para os capilares. As albuminas também são importantes no transporte de hormônios, reserva de aminoácidos etc.
19. C

**Exercícios complementares**

1. A
2. 21
3. V; F; F; F
4. V; F; V; V
5. a) Porque o sistema linfático não é responsável pela absorção nem pela eliminação de gordura do corpo.
- b) Absorver excesso de líquido acumulado.
- c) Dificuldade para remover do corpo microrganismos patogênicos e resíduos celulares; redução da produção de células de defesa como macrófagos e linfócitos.
6. B
7. B
8. B
9. a) Porque cada tipo de glóbulo branco está associado a um tipo de defesa orgânica.
- b) É a contagem de cada tipo de leucócito expressa em porcentagem em relação ao total encontrado na amostra em questão.

**13** Sistema imunitário

**Revisando**

1. Pele e mucosas. A saliva e a lágrima têm a enzima lisozima que ataca a parede bacteriana. O muco presente na traqueia e nos brônquios retém partículas de poeira e microrganismos.
2. Órgãos primários: medula óssea e timo. Participam na produção e maturação de células de defesa. Muitos leucócitos são produzidos na medula e alguns amadurecem no timo. Órgãos secundários: linfonodos, vasos linfáticos, baço e tonsilas (amígdalas e adenoides). Microrganismos podem penetrar em vasos linfáticos e serem retidos em linfonodos que estão no trajeto do vaso; no interior dos linfonodos há diversos leucócitos ou macrófagos que podem combater o agente invasor. Os vasos linfáticos transportam a linfa, essencialmente o plasma do sangue. No baço são produzidos anticorpos. As tonsilas são aglomerados de tecido linfóide.
3. A região afetada por uma lesão recebe maior fluxo sanguíneo, ficando avermelhada e mais quente. Os capilares ficam mais permeáveis, o que faz com que mais líquido seja liberado para o fluido intersticial, causando inchaço. A liberação de substâncias como as bradicinas, por exemplo, provocam dor. A rede de fibrina que se forma e envolve o local dificulta a dispersão de bactérias. Leucócitos atravessam a parede dos capilares e fagocitam as bactérias; a morte de bactérias, leucócitos e células do tecido atingido constitui o pus que é eliminado para a superfície da pele por uma abertura.
4. É o processo de combate aos antígenos invasores, promovendo a imunização, que pode ser de dois tipos: imunização humoral (envolve a produção de anticorpos) e imunização celular (envolve a atuação das células de defesa). A primeira exposição ao antígeno desencadeia a resposta imunitária primária que demora alguns

- das para iniciar a síntese de anticorpos. Com o passar do tempo, o desaparecimento do antígeno faz com que cesse a produção de anticorpos, mas permanecem as células de memória imunológica; o organismo pode entrar novamente em contato com o mesmo antígeno e será desencadeada a resposta imunitária secundária, com a participação dessas células.
5. Osoro é um produto que contém anticorpos prontos. Ele é usado em casos em que há necessidade de atuação rápida, com efeito curativo.
6. a) Prevenção de doenças.  
b) Antígenos.  
c) Os antígenos estimulam a produção ativa de anticorpos.

### Exercícios propostos

- 43
- A
- a) Serpentes peçonhentas possuem dentes inoculadores de veneno que deixam marcas características no local da picada. Além disso, são atraídas por animais homeotermos por possuírem, geralmente, uma fosseta loreal. Esses répteis apresentam também, em geral, a cabeça triangular, escamas ásperas, pupilas verticais e cauda que termina abruptamente.  
b) O soro contém anticorpos específicos para neutralizar o veneno da cobra. Em institutos especializados, cavalos, bois ou cabras recebem pequenas doses do veneno e passam a produzir ativamente os anticorpos que constituirão o soro antiofídico.
- F; F; F; V
- C
- Os resultados seriam positivos. Tanto a infecção pelo vírus quanto as vacinas (que contêm antígenos virais) induzem a formação dos anticorpos específicos que são detectados nos testes.
- D
- A
- C
- E
- A
- a) Porque o soro antiofídico já apresenta os anticorpos apropriados prontos, produzidos em outro animal. Quando administrado logo após a picada, atingem rapidamente níveis elevados no sangue, neutralizando prontamente a toxina da serpente. No entanto, esses níveis também caem rapidamente, como mostrado no gráfico 1. Por essa razão, nos casos mais graves, a aplicação deve ser repetida até que toda a toxina inoculada seja neutralizada.  
b) O feto deve ser capaz de produzir fator Rh, ou seja, ser Rh<sup>+</sup>. Como a produção inicial de anticorpos pela mãe Rh contra o fator Rh fetal é pequena, esses anticorpos não chegarão a transpor com eficiência, na primeira gestação, a barreira placentária que separa a circulação materna da fetal.
- C

- B
- B
- a) Há uma inversão, ou seja, o número de casos de doenças contagiosas diminui, enquanto as doenças da velhice tendem a aumentar.  
b) Vacinas e antibióticos provocam uma diminuição nos casos de doenças contagiosas.
- C
- E
- B

### Exercícios complementares

- Não. O soro contém anticorpos prontos para uso terapêutico e a vacina é profilática e contém antígenos que estimulam o organismo a produzir ativamente anticorpos.
- a) O antígeno introduzido através da vacinação induz o organismo a produzir ativamente anticorpos específicos. A curva correspondente às respostas primária e secundária é a indicada pela letra A.  
b) Na resposta primária, o número de anticorpos aumenta pouco e diminui rapidamente. Na resposta secundária, o número de anticorpos circulantes aumenta muito rapidamente, declinando lentamente.
- B
- D
- C
- E
- A
- A vacina é uma substância que contém formas mortas ou enfraquecidas de agentes infecciosos. Os antígenos são isolados e injetados no organismo, servindo para estimular o sistema imunológico a produzir ativamente anticorpos específicos.
- Soro:
  - Imunidade adquirida, passiva, com anticorpos produzidos em outro organismo.
  - Ação imediata.
  - Duração temporária.
  - Emprego curativo.
 Vacina:
  - Imunidade adquirida, ativa, com antígenos de culturas microbianas mortas ou toxinas atenuadas.
  - Ação posterior.
  - Duração longa.
  - Emprego preventivo.
- C
- D
- a) A destruição inespecífica de bactérias patogênicas é realizada através do processo de fagocitose. Essa reação imunológica é realizada por macrófagos do tecido conjuntivo e neutrófilos presentes no sangue.  
b) A reação específica para cada agente infeccioso consiste na produção de anticorpos produzidos por linfócitos B e plasmócitos ativados.

### Revisando

- São os resíduos tóxicos ou inúteis gerados pelas atividades metabólicas. São tipos de excretas a amônia, o gás carbônico e os sais em excesso.
- Amônia: protozoários, poríferos, cnidários, platelmintos, peixes ósseos, larvas de anfíbios. Ureia: Anelídeos, condrictes, anfíbios adultos e mamíferos.  
Ácido úrico: insetos, aracnídeos, miriápodes, aves e mamíferos.  
Guanina: aracnídeos.
- É formado por dois rins, dois ureteres, uma bexiga e uma uretra. A urina é formada nos rins a partir do plasma sanguíneo. Os bacinetes (dilatações dos rins) são ligados a dois ureteres que conduzem a urina até a bexiga. A bexiga é responsável por armazenar e eliminar a urina por meio da uretra.
- Os néfrons são unidades microscópicas dos rins. Um néfron é um longo tubo, com uma extremidade aberta e outra fechada e dilatada, correspondente à cápsula renal (cápsula de Bowman). A partir dela, seguem-se o túbulo contorcido proximal, a alça de Henle (alça néfrica) e o túbulo contorcido distal, que desemboca no tubo coletor, ao qual chegam líquidos provenientes de diversos néfrons. Nos túbulos renais e no tubo coletor, o líquido que passa pelo seu interior sofre modificações, determinando a formação da urina.
- A pressão sanguínea força moléculas pequenas e íons do plasma sanguíneo a passarem dos capilares para o interior da cápsula renal, formando o filtrado glomerular (água, glicose, aminoácidos, íons e ureia).
- Porque boa parte do filtrado retorna ao sangue em um processo de reabsorção.

### Exercícios propostos

- B
- a) Hormônio antidiurético (ADH) ou vasopressina, produzido no hipotálamo, armazenado e secretado pela neuro-hipófise.  
b) Diminui o volume urinário aumentando a reabsorção de água nos túbulos renais.  
c) Ureia. Esse composto orgânico é produzido no fígado a partir da amônia derivada do metabolismo de aminoácidos.
- E
- E
- A
- E
- E
- E
- D
- a) Os vacúolos pulsáteis (ou contráteis) são observados em protistas de água doce tais como amebas, euglenas etc. Têm por funções realizar a excreção e a regulação osmótica nesses microrganismos.  
b) Em meio hipotônico, os vacúolos pulsáteis entram em atividade com a finalidade de

eliminar o excesso de água que penetra na célula, passivamente, por osmose.

11. A
12. D
13. a) A unidade filtradora do rim denomina-se néfron.  
b) O filtrado é reabsorvido principalmente nas alças de Henle, localizadas na região indicada pelo número VIII.  
c) O sangue arterial é inicialmente filtrado nas cápsulas de Bowman, localizadas na região indicada pelo número VII.  
d) A ureia é o principal catabólito eliminado na urina.  
e) A urina é conduzida do rim à bexiga através dos ureteres, indicados pelo número V.
14. O tubarão é um peixe cartilaginoso predominantemente marinho e ureotélico, ou seja, excreta ureia.  
A galinha é uma ave e uricotélica, ou seja, elimina ácido úrico na forma de cristais através das fezes. Este mecanismo excretor representa economia de água no ambiente terrestre.  
O macaco é um mamífero terrestre e ureotélico, ou seja, pode excretar ureia na urina, pois dispõe de água para beber em seu hábitat.
15. a) Os problemas osmóticos são influxo de íons e perda osmótica de água.  
b) As estratégias disponíveis para os peixes ósseos são as seguintes:  
a. redução no gradiente osmótico entre os fluidos corporais e o meio.  
b. alteração na permeabilidade da superfície corporal.  
c. transporte ativo de íons para dentro e para fora do animal.  
d. alteração na taxa do fluxo de urina.
16. B

### Exercícios complementares

1. O mecanismo deve ser ativo porque a concentração de sal do meio externo é maior que a do meio interno.
2. a) Esponjas e hidras são animais desprovidos de estruturas excretoras especializadas. A eliminação dos catabólitos é realizada exclusivamente por difusão simples entre as células do corpo e o meio líquido em que vivem.  
b) Os túbulos de Malpighi desempenham função excretora em baratas e borboletas. Nos insetos, os produtos de excreção são conduzidos, pelos túbulos de Malpighi do celoma para o interior do intestino, do qual são eliminados para o meio.
3. a) I - ureia  
II - amônia  
b) O padrão de excreção do nitrogênio nos anfíbios muda durante a metamorfose. A maior parte do produto de excreção de nitrogênio do girino é constituída por amônia, característica dos animais aquáticos. Os animais aquáticos podem excretar, diretamente, a amônia produzida, pois, apesar de ser bastante tóxica, é extremamente solúvel em água. Depois da metamorfose, a rã, agora capaz de viver em terra, passa a excretar a

maior parte do nitrogênio na forma de ureia, que é menos tóxica e que pode ser eliminada em menor quantidade de água de forma mais concentrada.

4. B
5. A
6. D
7. A
8. E
9. D
10. A
11. A
12. a) Alguns exemplos de hormônios que participam do controle do volume hídrico no homem:  
– Hormônio antidiurético, também conhecido como vasopressina – produzido pelo hipotálamo e liberado pela pituitária – promove o aumento da permeabilidade à água e sua reabsorção nos túbulos coletores renais;  
– Aldosterona – produzida pelo córtex das glândulas suprarrenais – promove o aumento da reabsorção de sódio e de água, a sua liberação envolve a ação de renina e de angiotensina.  
b) Algumas diferenças entre mecanismos de controle hídrico no homem e nos peixes marinhos:  
– presença de grande número de glomérulos renais no homem e poucos e pequenos glomérulos nos peixes marinhos;  
– maior concentração de solutos (ureia e outros compostos nitrogenados) na urina humana do que na dos peixes marinhos;  
– perda de maior quantidade de sais através do suor humano e essencialmente água por osmose na superfície corpórea dos peixes marinhos;  
– perda de água por meio da respiração humana e eliminação de sais através das brânquias nos peixes marinhos;  
– presença de duas substâncias nitrogenadas (ureia e trimetilamina) no sangue dos peixes marinhos, possibilitando a sua isotonicidade em relação à água do mar, o que não ocorre no homem.
13. D
14. A
15. C
16. A

15

### Sistema nervoso – Neurônios e impulso nervoso

#### Revisando

1. a) Tubular e dorsal, sendo originário do ectoderma dorsal embrionário.  
b) Os poríferos não apresentam sistema nervoso.
2. Encéfalo e medula espinal constituem o sistema nervoso central (SNC).
3. É no SNC que as informações provenientes do organismo são processadas para posteriormente serem emitidas respostas adequadas,

contribuindo para o funcionamento e a sobrevivência do indivíduo.

4. O SNC está ligado ao sistema nervoso periférico (SNP), o qual é constituído por nervos e diversos tipos de receptores sensoriais, como terminações nervosas que detectam calor, frio, pressão etc.
5. Nervos são prolongamentos que enviam ordens do SNC ou conduzem informações a ele.
6. Neurônios, que possuem duas capacidades bastante desenvolvidas: a irritabilidade e a condutibilidade; isso significa que os neurônios reagem (irritabilidade) a estímulos externos (variações que ocorrem no entorno da célula, como pressão, temperatura, composição química ou um choque elétrico, por exemplo). Um neurônio estimulado envia informações ao longo de sua membrana plasmática (condutibilidade) na forma de um impulso nervoso, que consiste na alteração da distribuição de alguns íons em sua membrana.
7. V; V; V; F; V; V.
8. Há uma minúscula fenda entre as ramificações do axônio e a estrutura a que estão associadas; esse espaço é conhecido como fenda sináptica. Nessa fenda, as ramificações do axônio (que possui vesículas contendo neurotransmissores) desprendem substâncias químicas, como resposta a um impulso nervoso, podendo estimular a estrutura que fica do outro lado da fenda. Tais substâncias são neurotransmissores ou mediadores químicos (como a noradrenalina e a acetilcolina).
9. Sinapse nervosa.
10. A membrana plasmática dos neurônios apresenta grande concentração de íons sódio ( $\text{Na}^+$ ) em sua face externa, enquanto o interior da célula tem grande concentração de íons potássio ( $\text{K}^+$ ) e de cloreto ( $\text{Cl}^-$ ). O saldo polar encontrado é que a face externa apresenta carga positiva e a face interna carga negativa. Isso pode ser detectado inserindo-se eletrodos dentro e fora da membrana ligados a um voltímetro sensível; o registro será de uma ddp (diferença de potencial) de  $-70$  mV (milivolts). Essa distribuição de cargas e sua consequente ddp é denominada potencial de membrana.
11. A despolarização constitui uma inversão de polaridade da membrana, que passa a ficar com carga negativa na face externa e carga positiva na face interna; essa inversão de polaridade é conhecida como potencial de ação.
12. Os reflexos correspondem a uma modalidade de resposta simples dada pelo sistema nervoso central, útil em uma situação de perigo.

#### Exercícios propostos

1. A
2. C
3. B
4. E
5. A
6. D
7. D
8. C
9. a) A pessoa não sente a queimadura e não afasta a mão da fonte de calor.

- b) A pessoa sente a queimadura, mas não afasta a mão da fonte de calor.
10. V; V; F; V; F.
11. A ouabaina ocasiona bloqueio da bomba de sódio e potássio. Contudo, essa substância ocasiona uma pequena redução imediata do potencial de membrana, porque o fator determinante do potencial de repouso é o gradiente de concentração do íon potássio, e não a bomba.
12. F; V; V; V; F

### Exercícios complementares

- Uma célula nervosa.
  - Conduzir impulsos elétricos gerados por diversos tipos de estímulos.
  - Neurônios sensoriais: recebem os estímulos. Neurônios associativos: transmitem os impulsos nervosos dos neurônios sensoriais aos motores. Neurônios motores: conduzem a ordem de ação para a contração muscular.
- O cérebro é o órgão coordenador das atividades relacionadas com o raciocínio, a inteligência e atividades sensoriais. Também comanda os movimentos voluntários do corpo.
- Membrana lipídica que envolve o axônio. Ela serve como um isolante elétrico e aumenta a velocidade de condução dos impulsos nervosos.
- Inicia-se no dendrito, passando ao corpo celular e ao axônio que está polarizado. A onda de despolarização se desloca até as terminações axônicas em que são liberados os neurotransmissores. Essas substâncias químicas atravessam a sinapse neural e ligam-se a receptores específicos do neurônio seguinte estimulando-o.
- Encéfalo (cérebro, cerebelo e bulbo raquidiano) e medula espinal (raquidiana).
- Sódio ( $\text{Na}^+$ ) e potássio ( $\text{K}^+$ ).
  - Sinapse neural.
- D
- O cerebelo possui dois hemisférios distintos. O direito coordena os movimentos do braço esquerdo e o esquerdo coordena os movimentos do braço direito.
  - O cerebelo é relacionado com a manutenção do tônus muscular e dá a "partida" nas atividades motoras do organismo.
  - Os danos são irreversíveis se houver morte dos neurônios do cerebelo.
- A falta de oxigênio pode causar lesões no córtex motor do cérebro.
  - A reversão das lesões cerebrais depende diretamente do estado de conservação dos neurônios e de seus prolongamentos. As células nervosas não são capazes de se multiplicar – sofrer mitoses – para repor as estruturas lesadas, pois são altamente diferenciadas.
- C
- A
- D
- 55
- E
- E
- V; F; V; V; V
- E

16

Sistema nervoso

### Revisando

- As duas grandes divisões são: sistema nervoso central (com encéfalo e medula espinal) e sistema nervoso periférico (formado por nervos e gânglios nervosos).
- As estruturas membranosas que envolvem o sistema nervoso são as meninges, cujos tipos são: dura-máter, pia-máter e aracnoide.
- Fluido cérebro-espinal é um líquido que percorre os espaços presentes entre as meninges e o sistema nervoso central, e as cavidades do sistema nervoso central (os ventrículos).
- A medula espinal é responsável pelos reflexos medulares e pela interligação entre o sistema nervoso periférico e o encéfalo.
- Os três principais componentes do cérebro são os hemisférios cerebrais, o tálamo e o hipotálamo. Os hemisférios cerebrais apresentam maior volume.
- Os quatro lobos dos hemisférios cerebrais são: frontal, occipital, temporal e parietal. Córtex cerebral é a parte superficial dos hemisférios cerebrais, sendo constituído pela substância cinzenta, formada por grande quantidade de corpos celulares de neurônios; a substância branca fica abaixo do córtex e é constituída por prolongamentos de neurônios (dendritos e corpos celulares).
- O tálamo estabelece a conexão entre os hemisférios cerebrais e o restante do sistema nervoso; atua como um centro de transmissão e processamento de informações sensoriais.
- Hipotálamo é o componente situado abaixo do tálamo e se encontra ligado à hipófise; é o centro de controle de emoções e atividades fisiológicas básicas, como sede, fome, impulso sexual, sono, controle de temperatura.
- A ponte é uma estrutura de conexão; nela ocorre o cruzamento de fibras nervosas ligadas ao hemisfério direito e ao hemisfério esquerdo.
- Formação reticular é um componente do mesencéfalo, responsável pelo processamento de dados visuais e auditivos, promovendo uma seleção de impulsos nervosos que se dirigem ao córtex cerebral.
- A medula oblonga é também chamada de bulbo; transmite informações sensoriais ao tálamo; apresenta os centros controladores da respiração, dos batimentos cardíacos, da tosse e do vômito.
- O cerebelo tem por funções o controle de equilíbrio, postura e coordenação motora.
- O sistema nervoso periférico tem a via aferente e a via eferente. A via aferente envia informações procedentes dos receptores ao sistema nervoso central; a via eferente envia ordens do sistema nervoso central aos efetores (músculos e glândulas).
- As atividades voluntárias são comandadas pelo sistema nervoso somático. As atividades involuntárias são comandadas pelo sistema nervoso autônomo (visceral).

- O sistema nervoso autônomo apresenta dois ramos: o simpático (suas terminações liberam noradrenalina) e o parassimpático (suas terminações liberam acetilcolina).
- Os interoceptores e os propioceptores recolhem informações do interior do organismo; os exteroceptores recolhem informações do ambiente. Os interoceptores estão relacionados às condições do organismo, como pH, teor de oxigênio no sangue etc. Os propioceptores informam sobre a posição dos membros e cabeça em relação ao restante do corpo. Os exteroceptores transmitem estímulos físicos e químicos do ambiente.
- Os receptores relacionados ao tato são: corpúsculo de Meissner, corpúsculo de Pacini e corpúsculo de Merkel, sensíveis à vibração; as terminações de Krause, sensíveis à pressão; e as terminações nervosas livres, sensíveis a outros tipos de estímulos, como térmicos e dolorosos.
- Paladar e olfato estão relacionados à percepção de substâncias químicas; possuem receptores denominados quimioceptores.
- As ondas sonoras são captadas com o auxílio do pavilhão auditivo e conduzidas pelo conduto auditivo até o tímpano. A pressão causada pelo som nessa membrana movimentada os ossículos martelo, bigorna e estribo, os quais, por sua vez, estimulam a cóclea. Nessa estrutura, os estímulos sonoros são decifrados e transmitidos ao córtex cerebral por meio do nervo auditivo.
- O cristalino é uma lente biconvexa e flexível cuja função é convergir os raios luminosos para a retina, região onde a imagem do objeto focalizado se forma. A opacidade do cristalino causa catarata; a perda de elasticidade da lente causa presbiopia; irregularidades na curvatura da lente causam astigmatismo; falhas na convergência dos raios luminosos pelo cristalino podem provocar a formação de imagens antes da retina (miopia) e depois da retina (hipermetropia).

### Exercícios propostos

- C
- A
- D
- E
- X = sistema nervoso autônomo parassimpático; Y = sistema nervoso autônomo simpático.
  - Sistema nervoso autônomo simpático. A liberação de adrenalina aumenta a pressão arterial e os batimentos cardíacos.
- A
- D
- C
- A
- B
- B
- B
- B
- B
- B
- C
- I – Ramo do SNA simpático; suas fibras pós-ganglionares liberam o neurotransmissor adrenalina.

II – Ramo do SNA parassimpático; suas fibras liberam acetilcolina.

- b) A estimulação do ramo simpático provoca taquicardia, ou seja, aumento da frequência cardíaca. O ramo parassimpático causa bradicardia, ou seja, desaceleração do ritmo cardíaco.

17. C  
18. B  
19. A  
20. C  
21. D  
22. B

**Exercícios complementares**

1. C  
2. D  
3. V; F; V; V  
4. B  
5. C  
6. D  
7. B  
8. C  
9. (c)  
(a)  
(b)  
(d)  
10. E  
11. D  
12. É formado por gânglios e por nervos cranianos e raquidianos, responsáveis por conectar o SNC às diversas estruturas do corpo.  
13. A  
14. Sistema nervoso – recebe informações dos vários órgãos dos sentidos através de nervos. Estes enviam informações para os músculos, as glândulas e o coração.  
Sistema endócrino – é um controlador químico das funções orgânicas; lança na corrente sanguínea hormônios que são transportados aos locais de ação. Agem especificamente sobre a atividade de determinadas células, tecidos, órgãos ou sistemas. Podem ser excitantes ou inibidores.  
15. a) 0-4 anos.  
b) A partir dos 20 anos, em média, quando o organismo atinge o completo desenvolvimento fisiológico.  
c) Disfunções hormonais como falta do hormônio do crescimento (somatotrófico) produzido pela hipófise anterior.  
16. E  
17. 08  
18. C  
19. E