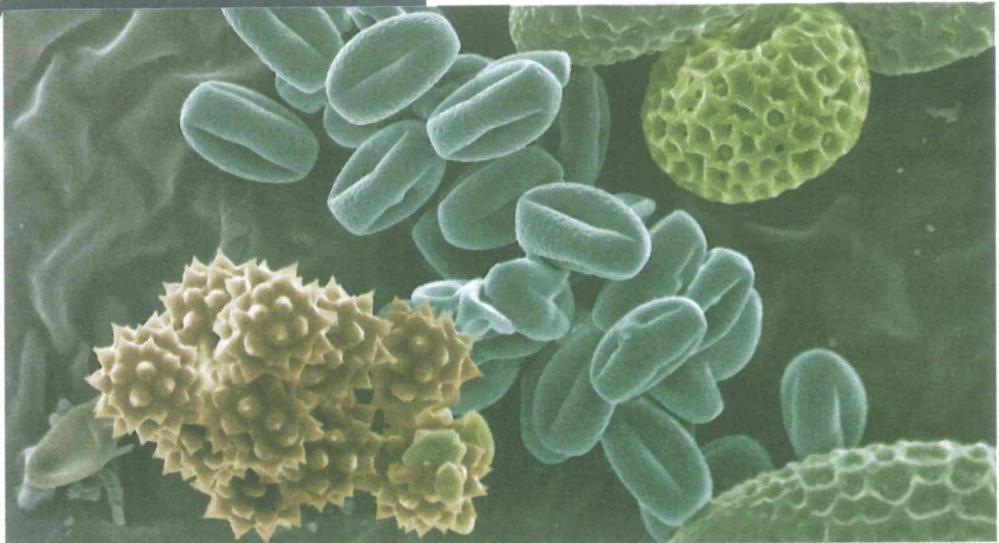


ANATOMIA E FISIOLOGIA DAS PLANTAS



JANNICKE WIJK-NIELSEN/SCIENCE PHOTO LIBRARY/FOTOARENA

As plantas foram os primeiros seres vivos a conquistar a terra firme. Ancestrais das plantas atuais começaram a ocupar as regiões litorâneas há mais de 500 milhões de anos, abrindo caminho para a chegada dos animais. A Botânica, ramo da Biologia que estuda as plantas, e outras áreas biológicas têm conseguido alterar variedades de plantas domesticadas, tornando-as mais produtivas ou mais nutritivas, entre outras características. Um dos grandes desafios atuais é compreender melhor esses organismos, para que possamos atuar em sua preservação.

As plantas são presença constante em nosso dia a dia. Sementes como o arroz e o feijão, legumes, verduras e frutas não podem faltar em nossa alimentação. Além disso, muitos de nós temos ao menos uma planta em casa, em vasos ou no jardim. Sem falar do comércio de flores, que movimenta anualmente cerca de 20 bilhões de dólares no mundo todo.

Graças ao estudo das plantas e de sua fisiologia, podemos conhecer as incríveis soluções e estratégias adaptativas desses seres vivos. Uma delas, talvez a principal, é o fato de elas serem autotróficas, ou seja, capazes de produzir seu próprio alimento; elas certamente sobreviveriam sem nós, mas nós dificilmente sobreviveríamos sem elas. Além disso, as plantas se utilizam de processos relacionados às propriedades da água, como a evaporação, a capilaridade e a tensão superficial, entre outros, para realizar com alta eficiência seus processos metabólicos.

Os conhecimentos sobre as plantas vêm sendo aplicados há séculos em benefício da humanidade. A evolução das técnicas de adubação e de cultivo embasadas no conhecimento científico, aliadas a técnicas de melhoramento genético, vêm possibilitando à humanidade produzir alimentos vegetais em maior quantidade e qualidade, revertendo as sombrias previsões do economista britânico Thomas Malthus (1766-1834), que, no início do século XIX, acreditava que o tamanho da população humana logo excederia sua capacidade de produzir alimentos.

Procure observar sempre as plantas no seu dia a dia e tente aplicar ao mundo o que aprende na escola e nos livros. Quanto maiores forem nossos conhecimentos sobre a natureza, mais ampla será nossa visão de mundo e, consequentemente, maiores serão nossas chances de interagir positivamente com a realidade que nos cerca.

Variedade de grãos de pólen das plantas, cuja ornamentação característica permite associar o pólen à espécie vegetal que o produziu. O estudo de grãos de pólen fósseis tem possibilitado aos paleobiologistas encontrar mais informações sobre plantas de épocas passadas. A microfotografia foi obtida no microscópio eletrônico de varredura, que fornece imagens tridimensionais dos objetos observados. (Microscópio eletrônico de varredura; aumento $\approx 500\times$; cores meramente ilustrativas.)

De olho na BNCC:

- EM13CNT202 • EM13CNT302
- EM13CNT205 • EM13CNT303
- EM13CNT301 • EM13LGG102

Dialogando com o texto

As ideias de Thomas Malthus foram muito impactantes em sua época. Entretanto, elas se revelaram equivocadas, principalmente devido aos avanços na agricultura e na pecuária, amparados por estudos científicos. Peça auxílio aos professores de Geografia e História para encontrar referências sobre as ideias de Malthus; pesquise também em sites confiáveis da internet. O resultado das pesquisas pode ser explicado em um texto, embasado em dados, que responda à seguinte questão: "Seriam falsas as previsões de Malthus sobre as populações humanas? E se considerarmos as mudanças tecnológicas, a exploração do ambiente e o crescimento populacional humano no século XXI?". Compartilhe os resultados das pesquisas com os colegas. (Sugestões de uso de mídias digitais estão disponíveis no início do livro.)

Veja comentários sobre essa atividade no Suplemento do Professor.



✓ 1. Origem e classificação das plantas

Há evidências de que as primeiras plantas que conquistaram a terra firme eram semelhantes aos musgos e às hepáticas de hoje. Essas plantas não apresentavam vasos condutores de seiva. Plantas sem vasos condutores são denominadas pelos botânicos **plantas avasculares** (do grego *a*, prefixo de negação, e do latim *vasculum*, pequeno vaso, túbulo).

Com a evolução das plantas pioneiras surgiram novidades, como o desenvolvimento de estruturas especializadas na absorção de água e sais minerais do solo – raízes – e o aparecimento de estruturas tubulares internas – vasos condutores – que agilizam o transporte de soluções nutritivas por todo o corpo da planta. Plantas dotadas de vasos condutores de seiva são denominadas **plantas vasculares**, ou traqueófitas. As primeiras plantas vasculares apareceram no documentário fóssil cerca de 40 milhões de anos após a conquista da terra firme pelas primeiras plantas (Fig. 1).

Com exceção das briófitas (musgos, hepáticas e antóceros atuais), todos os outros grupos vegetais são **traqueófitas**, assim chamadas por causa da presença de reforços nas paredes dos vasos condutores de seiva que lembram as traqueias dos insetos.

As plantas vasculares também desenvolveram sistemas eficientes de proteção contra a perda de água, como epidermes impermeáveis e estômatos de abertura regulável, características que possibilitaram sua adaptação a regiões relativamente secas, distantes das bordas de rios e lagos onde viveram suas ancestrais. Acredita-se que tenha sido nessa etapa do processo evolutivo que as plantas assumiram uma organização corporal típica, com raízes, caule e folhas. As novidades evolutivas possibilitaram às plantas vasculares atingir grandes tamanhos e constituir vastas comunidades florestais. Esses novos ambientes ofereceram condições propícias à colonização por animais, que encontraram na vegetação abrigo e alimento.

Outra novidade importante ocorrida na evolução das plantas foi o surgimento da **semente**, estrutura resistente que abriga um embrião envolto por tecidos nutritivos produzidos pela planta-mãe. A semente possibilitou às plantas **espermatófitas**, grupo que reúne plantas com sementes, dispersarem-se pelos mais diversos ambientes da Terra.

Grandes grupos de plantas atuais

No sistema de classificação que adotamos neste livro, as plantas atuais são classificadas em 10 filos. Sete deles são de plantas vasculares (traqueófitas) e três são de plantas avasculares, sem vasos condutores de seiva (briófitas) (Tabela 1).

TABELA 1 CARACTERÍSTICAS E CLASSIFICAÇÃO DOS COMPONENTES ATUAIS DO REINO PLANTAE

CARACTERÍSTICAS			FILOS
VASOS CONDUTORES	SEMENTE	FRUTO	
Ausentes	Ausente	Ausente	Bryophyta (musgos) Hepatophyta (hepáticas) Anthocerophyta (antóceros)
Presentes	Ausente	Ausente	Pteridophyta (samambaias, avencas, cavalinhos e psilotos) Lycopodiophyta (licopódios e selaginelas)
	Presente	Ausente	Coniferophyta (coníferas) Cycadophyta (cicadófitas) Gnetophyta (gnetófitas) Ginkgophyta (gincófitas)
		Presente	Anthophyta (angiospermas)

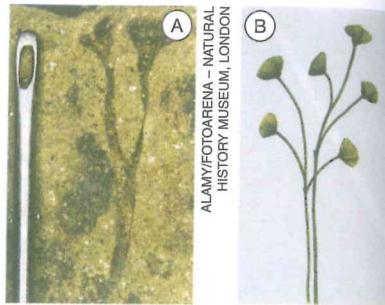


Figura 1 (A) Rocha com fóssil da planta da espécie *Cooksonia pertoni*, junto a uma agulha de costura que serve como referência de tamanho.

(B) Representação artística de plantas do gênero *Cooksonia*, a mais antiga planta conhecida a apresentar vasos condutores de seiva e considerada uma forma de transição entre as plantas avasculares e as vasculares.

Veja comentários sobre essa atividade no Suplemento do Professor.

Dialogando com o texto

A Tabela 1, ao lado, reúne os grandes grupos de plantas atuais segundo a classificação tradicional (reino e principais filos). Seu primeiro desafio é analisar a tabela e conferir quais são as plantas mencionadas que você conhece. Se possível, faça ilustrações simples dessas plantas. Em seguida pesquise, em livros ou em sites confiáveis da internet, as plantas que eventualmente você não conhecia e confira as que lembra de conhecer. De posse dessas informações elabore em seu caderno uma tabela que reúna, além das informações escritas, uma ilustração simplificada de cada grupo de plantas mencionado. Por fim, compartilhe com os colegas a nova tabela. (Sugestões de uso de mídias digitais estão disponíveis no início do livro.)

2. Desenvolvimento e tecidos das plantas com sementes

Germinação da semente

A semente madura abriga em seu interior o embrião vegetal em estado de dormência, além de substâncias nutritivas. Uma das extremidades do embrião é a **radícula** (do latim *radix*, raiz), o primórdio de raiz, que apresenta na extremidade um conjunto de células indiferenciadas com alta capacidade de multiplicação. Essas células compõem o **meristema apical da raiz**, ou meristema subapical, uma vez que o tecido meristemático não está exatamente no ápice, sendo envolvido por um capuz protetor, a coifa.

Na extremidade embrionária oposta situa-se o **caulículo**, o primórdio do caule, em cuja extremidade há um meristema apical propriamente dito. Um pouco abaixo da extremidade do caulículo há uma ou duas folhas modificadas – os **cotilédones** –, especializadas na transferência de nutrientes estocados na semente para o corpo do embrião. Nas plantas **monocotiledôneas**, como diz o nome, o embrião apresenta apenas um cotilédone; nas **dicotiledôneas**, ele apresenta dois cotilédones.

A região inferior do embrião, que se situa entre a radícula e o ponto de implantação do cotilédone (ou dos cotilédones), é denominada **hipocótilo** (do grego *hypo*, abaixo, e *kotyledon*, cotilédone). A região superior do embrião, situada entre o cotilédone e o meristema apical do caulículo, é o **epicótilo** (do grego *epi*, acima) (Fig. 2).

Nas gramíneas a extremidade do caulículo embrionário é envolta por uma bainha protetora, o **coleóptilo** (do grego *koleos*, lâmina, e *ptilon*, pena).

A **germinação** da semente é a retomada do crescimento e da diferenciação do embrião e depende de diversos fatores, sobretudo da presença de água, de gás oxigênio e de temperatura adequada. O primeiro passo para a germinação é a absorção de água, de que as células embrionárias necessitam para retomar suas atividades metabólicas e mobilizar as reservas nutritivas estocadas nos cotilédones ou no endosperma. A absorção de água faz a semente inchar e sua casca se romper, o que permite ao embrião acesso ao gás oxigênio, necessário à respiração das células (Fig. 3).

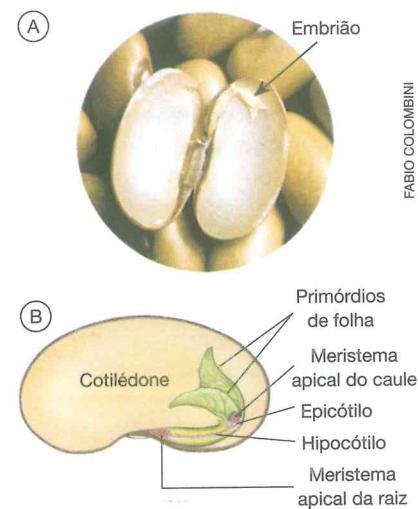


Figura 2 (A) Fotografia de sementes do feijão *Phaseolus vulgaris*, o feijão comum. Na semente aberta o embrião está indicado pela seta. (B) Representação esquemática de uma semente de feijão aberta, mostrando o embrião e suas partes. (Representação fora de proporção; cores meramente ilustrativas.)

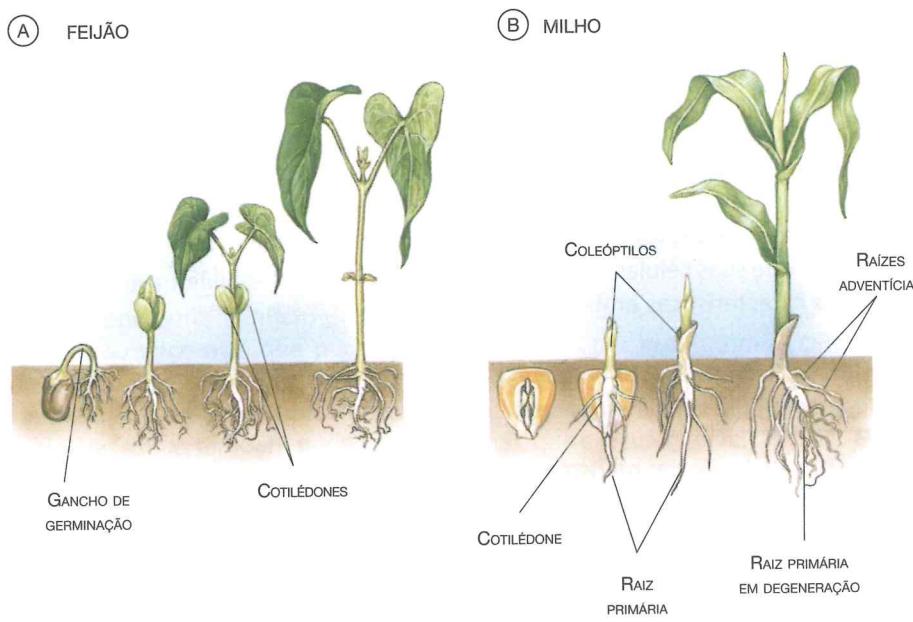


Figura 3 Ilustrações que representam etapas da germinação de sementes. (A) Germinação de semente de feijão, que apresenta dois cotilédones. (B) Germinação de semente de milho, que tem apenas um cotilédone. (Representação fora de proporção; cores meramente ilustrativas.)

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



Estudando a germinação de sementes

Forme um grupo com alguns colegas e divida com eles a tarefa de obter os materiais necessários ao trabalho.

Material

- sementes de milho e de feijão;
- 4 placas de Petri ou pires de tamanho médio;
- algodão;
- água para regar;
- material para desenhar (papel e lápis de cor);
- 8 sementes de feijões grandes, como o feijão-branco ou o rajado, que serão utilizados no item 5 do procedimento;
- faca de ponta arredondada para cortar a casca dos feijões.
- papel-alumínio ou de outro tipo.



Atenção:
Cuidado ao
manusear a faca!

Procedimento, observações e questões

1. Coloque uma camada de algodão no fundo das placas ou pires e embeba-a com água, sem encharcar demais.
2. Coloque 6 sementes de feijão em cada um dos dois pires; faça o mesmo com o milho. Um pires com feijão e o outro com milho devem ser deixados em local bem iluminado e os outros dois, no escuro. O algodão tem que ser mantido sempre úmido para o sucesso da germinação.
3. Anote todas as mudanças observadas diariamente. Quando a germinação começar, observe-as duas vezes por dia. Anote, desenhe e fotografe tudo o que conseguir observar.
Ao final da atividade, prepare um relatório com seus desenhos, fotos e observações escritas. Você pode dar ênfase ao texto, ilustrando-o com imagens, ou ao aspecto visual, criando infográficos que priorizem as imagens, utilizando informações escritas como legendas.
4. Ao observar e comparar sementes de feijão que germinaram no claro e no escuro é possível notar diferenças marcantes. Quais são elas? Pesquise e consulte seus professores sobre a resposta de estiolamento e avalie se ela se enquadra nos resultados experimentais. Por que a resposta do estiolamento de uma semente enterrada no solo, por exemplo, pode ser considerada adaptativa?
5. Devidamente protegido, execute um corte superficial na casca de alguns feijões, ao longo da borda, de modo a separar as duas metades; uma ficará com o embrião aderido e outra não. Aproveite para observar, de preferência com uma lupa, as partes do embrião e onde se inseria a metade (folha cotiledonar) separada. Coloque as metades com e sem embrião sobre o algodão umedecido, com a casca para baixo. Cubra metade dos cotilédones de cada tipo com algodão úmido e papel-alumínio ou de outro tipo, que seja à prova de luz; deixe metade dos cotilédones sem cobrir. Observe diariamente para constatar se ocorreram mudanças. Que hipóteses poderiam ser formuladas com base nesses procedimentos? O que seria esperado para cada grupo experimental, tendo em vista o papel do cotilédone na germinação e na fase inicial do desenvolvimento embrionário?

Meristemas

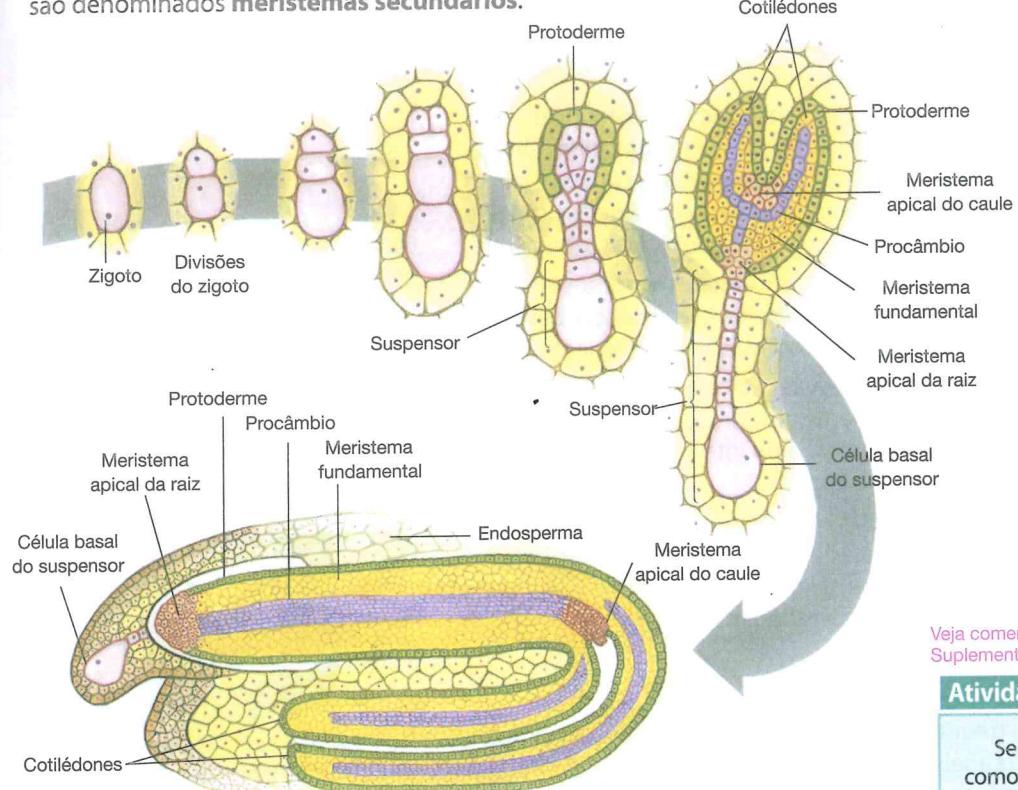
Durante a germinação da semente, assim como nas fases iniciais de desenvolvimento da planta, o crescimento depende da multiplicação das **células meristemáticas** (do grego *merizein*, divisão), que se caracterizam pela alta capacidade de multiplicação por mitose. Tecidos formados por células meristemáticas estão presentes nas extremidades de caules e de raízes, sendo chamados de **meristemas primários**. Essa denominação enfatiza que suas células descendem em linha direta de células do embrião, sem nunca terem perdido suas características embrionárias devido a processos de especialização celular.

Diferenciação celular e tecidos vegetais

As células produzidas incessantemente por atividade dos meristemas primários, situados nas extremidades do caule e da raiz, fazem o embrião se alongar. À medida que as células vão se distanciando de seus locais de origem, elas iniciam a especialização que as levam a realizar determinadas funções, processo conhecido como **diferenciação celular**. Os primeiros tecidos a se diferenciar no embrião das plantas traqueófitas são a protoderme, o meristema fundamental e o procâmbio.

A **protoderme** (do grego *proto*, primeira, e *derma*, pele) é a camada de células que reveste externamente o embrião e que dará origem à epiderme, o primeiro revestimento da planta. O **meristema fundamental** forma um cilindro interno à protoderme o qual originará o **córtex** (do latim *cortex*, casca, invólucro). A região central do embrião, envolvida pelo meristema fundamental, diferencia-se em **procâmbio** (do latim *pro*, antes, e *cambiare*, trocar), que dará origem aos tecidos condutores da planta, o **xilema** e o **floema** (Fig. 4).

Durante o desenvolvimento da planta, células já diferenciadas para o exercício de certas funções podem se desdiferenciar, isto é, voltar atrás na diferenciação e readquirir a capacidade de se dividir. Tecidos formados por esse tipo de células meristemáticas, provenientes de tecidos previamente diferenciados, são denominados **meristemas secundários**.



Tecidos de revestimento

Plantas ainda jovens são revestidas por uma camada de células achatadas e bem encaixadas entre si que constituem a **epiderme** (do grego *epi*, superior, e *derma*, pele). As células epidérmicas secretam, na superfície da planta exposta ao ambiente, substâncias impermeabilizantes que formam uma película, a **cutícula**, que evita a perda de água por transpiração.

As células epidérmicas, exceto as que formam os estômatos, não têm cloroplastos. **Estômatos** são estruturas epidérmicas que contêm um orifício regulável, capaz de controlar a entrada e a saída de gases na planta e evitar a perda de água por evaporação.

Na epiderme também pode haver estruturas filamentosas denominadas **pelos**, ou **tricomas**, que podem ser constituídas por uma ou mais células. A raiz, por exemplo, apresenta grande quantidade de **pelos absorventes**, que aumentam a área epidérmica radicular capaz de absorver água e sais minerais do solo. Nas folhas também pode haver tricomas, que executam diversas funções.

Algumas plantas, à medida que amadurecem, têm a epiderme de suas raízes e caules substituída por um novo revestimento, mais espesso, mais resistente e bastante impermeável, que protege as partes internas de traumas e da perda de água. Esse revestimento que substitui a epiderme é a **periderme**, originada de um cilindro de células meristemáticas formadas por desdiferenciação de células do córtex,

Figura 4 Representação esquemática do desenvolvimento embrionário de uma dicotiledônea mostrando a formação dos primeiros tecidos vegetais.
(Representação fora de proporção; cores meramente ilustrativas.)

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

Veja comentários sobre essa atividade no Suplemento do Professor.

Atividade em grupo

Se você já visitou regiões secas, como uma caatinga ou um deserto, pode ter notado que as plantas que ali vivem são adaptadas à pouca água disponível no solo e na atmosfera. Cactos, por exemplo, têm adaptações como a ausência de folhas, as quais se transformaram evolutivamente em espinhos, além de apresentar caules suculentos e dotados de uma epiderme revestida por uma espessa cutícula. Seus desafios nesta atividade são:

- pesquisar e definir o termo **xeromorfismo**, exemplificando as características principais apresentadas por plantas xeromórficas.
- redigir um parágrafo a ser introduzido no texto sobre tecidos de revestimento; procure destacar as adaptações mais típicas das plantas xeromórficas e em que partes do mundo essas plantas se concentram.

o **felogênio**, um meristema secundário. As células do felogênio multiplicam-se intensamente, produzindo camadas celulares para o interior da planta, onde originam a **feloderme**, e para o exterior, onde originam o **súber**. Enquanto a feloderme é constituída por células vivas, o súber é constituído por células que morreram em decorrência de sua diferenciação, restando apenas as paredes celulares, que formam uma camada resistente e impermeável em raízes e troncos de certas plantas (Fig. 5).

Parênquimas e tecidos de sustentação

Parênquimas são tecidos vegetais constituídos por células de paredes finas e compostas basicamente de celulose, denominadas **paredes primárias**. Além da função de preencher espaços entre tecidos de revestimento e tecidos condutores, as células do parênquima têm capacidade de desdiferenciação, ou seja, elas podem voltar a se dividir, desempenhando papel importante na regeneração de eventuais lesões.

Certos tecidos parenquimáticos se especializam em acumular amido e outras substâncias de reserva (parênquimas de reserva). Plantas de regiões áridas têm parênquimas aquíferos, especializados em reservar água. Nas folhas e em certos caules há um parênquima cujas células apresentam grande número de cloroplastos, sendo por isso chamado de parênquima clorofiliano, cuja função é realizar fotossíntese.

Embora a parede de cada célula vegetal constitua um “microesqueleto” de sustentação, as plantas traqueófitas apresentam ainda dois tecidos especializados na sustentação esquelética do corpo vegetal: o colênquima e o esclerênquima.

O **colênquima** é formado por células vivas e alongadas, cujas paredes apresentam reforços de celulose principalmente nos cantos. As células do colênquima estão organizadas em feixes longitudinais no interior de raízes e caules, principalmente em partes jovens da planta (Fig. 6).

O **esclerênquima** é formado por células que morreram em decorrência de sua diferenciação. As paredes celulares (paredes secundárias) são impregnadas de uma substância altamente impermeável, a lignina, formando elementos de grande resistência, principalmente fibras esclerenquimáticas.

Tecidos condutores de seiva

As plantas vasculares, ou traqueófitas, apresentam dois tecidos condutores de seiva: o xilema, que conduz a seiva mineral (água e sais minerais) da raiz para as folhas, e o floema, que conduz a seiva orgânica, uma solução de substâncias orgânicas produzidas nas folhas, para as diversas partes da planta.

O **xilema** é composto basicamente de dois tipos de elementos condutores: **traqueídes** e **elementos de vaso lenhoso**. Ambos são constituídos de células mortas, das quais restaram apenas as paredes celulares espessas e impregnadas de lignina. Também fazem parte do xilema elementos não diretamente envolvidos na condução de seiva, como fibras, células parenquimáticas e células secretoras (Fig. 7).

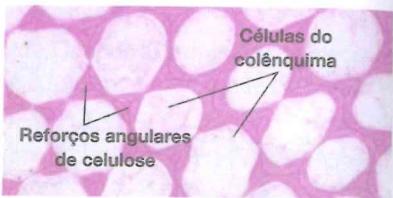
O **floema**, também chamado líber (do latim *liber*, parte interna da casca), é constituído de dois tipos de elementos condutores da seiva orgânica: as **células crivadas** e os **elementos de tubo crivado**. Há também fibras e células acessórias que participam do transporte de seiva orgânica. Os elementos condutores do floema são células vivas mas que perderam o núcleo e a maior parte das organelas citoplasmáticas, restando nelas apenas retículo endoplasmático não granuloso, mitocôndrias e alguns plastos. As células condutoras floemáticas são nutritidas por células acessórias (células companheiras e células albuminosas) (Fig. 8).

As células crivadas e os elementos de tubo crivado recebem essa denominação por apresentarem em suas paredes regiões com grande número de poros; tais regiões, por lembrarem um chuveiro, são denominadas áreas crivadas (crivos são os orifícios do chuveiro). Os poros das áreas crivadas são atravessados por finas pontes citoplasmáticas, os **plasmodesmos**, que se comunicam com células vizinhas ao floema.



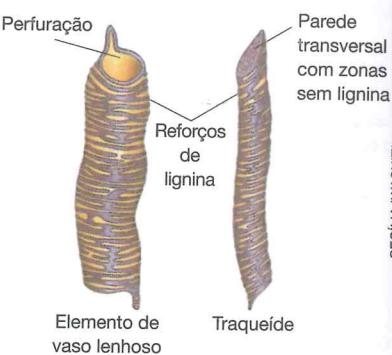
J.D. DALLET/AGEPHOTO/STOCK
AGB PHOTO LIBRARY

Figura 5 Extração de cortiça de árvore da espécie *Quercus suber*, a corticeira (que atinge cerca de 15 m de altura), cujo tronco é revestido por espessa camada de súber (cortiça), material empregado na fabricação de rolhas.



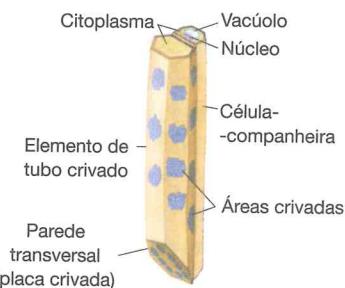
JANE E. KRAUSS/BUSP

Figura 6 Fotomicrografia de corte transversal do caule de uma planta angiosperma mostrando as células vivas do colênquima com reforços de celulose. (Microscópio óptico; aumento $\approx 200\times$; cores meramente ilustrativas.)



CECILIA IWASHITA

Figura 7 Representações esquemáticas de um elemento de vaso lenhoso e de uma traqueíde, componentes do xilema. (Representação fora de proporção; cores meramente ilustrativas.)



JURANDIR RIBEIRO

Figura 8 Representação esquemática de um elemento condutor de seiva orgânica, o floema. A ilustração mostra um tubo crivado e uma célula companheira. (Representação fora de proporção; cores meramente ilustrativas.)

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

3. Organização corporal das plantas angiospermas

À medida que o desenvolvimento embrionário prossegue e a diferenciação dos tecidos vegetais progride, ocorre a **morfogênese** (do grego *morphe*, forma, e *genese*, origem), processo em que se formam a raiz, o caule e as folhas da nova planta.

Raiz

A extremidade de uma raiz é envolta por uma estrutura celular em forma de capuz, a **coifa** (do latim *coifa*, espécie de gorro). A coifa protege a zona de multiplicação celular, constituída basicamente pelo meristema subapical, do atrito com as partículas do solo que poderiam danificá-lo.

Na parte interna da raiz, as células originadas pelo meristema começam a amadurecer e a se diferenciar em córtex e cilindro central. Na parte externa dessa região de maturação celular, forma-se a epiderme, na qual há grande quantidade de **pelos absorventes**, que são projeções tubulares de células epidérmicas recém-diferenciadas.

Internamente ao córtex, na região em que as células amadurecem, diferencia-se uma camada celular em forma de cilindro, a **endoderme** (do grego *endon*, dentro, e *derma*, pele), que delimita a região interna da raiz. A endoderme é constituída de células bem encaixadas entre si e dotadas de reforços em forma de cinta, as **estrias de Caspary**, que formam uma faixa contínua nas paredes laterais das células endodérmicas, vedando completamente os espaços entre elas. Qualquer substância, mesmo a água, para penetrar no cilindro interno onde estão os vasos condutores tem necessariamente que atravessar a membrana e o citoplasma das células endodérmicas, o que possibilita à planta controlar o fluxo de substâncias e a composição da seiva transportada pelos vasos condutores (Fig. 9).

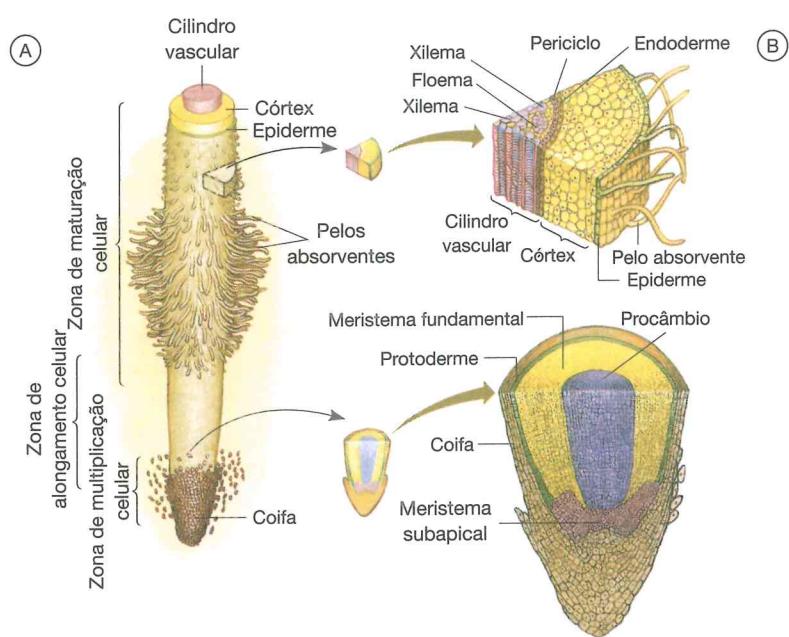


Figura 9 (A) Representação da ponta de uma raiz mostrando suas diversas regiões e a coifa. (B) Representações da extremidade e da porção superior da zona de maturação celular da raiz, em corte, mostrando a organização interna dos tecidos. (Representação fora de proporção; cores meramente ilustrativas.)

Fonte: adaptada de RAVEN, P. H. et al. Biologia vegetal. 8. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2014.

Internamente à endoderme, ocupando toda a região central da raiz, há o **cilindro vascular**, também chamado de **cilindro central**, cujos principais componentes são os tecidos condutores de seiva. O xilema localiza-se mais internamente e o floema, em posição mais periférica do cilindro central. Este é delimitado por um tecido denominado **pericílio** (do grego *peri*, ao redor, e *kyklos*, círculo). O pericílio é constituído de uma ou algumas camadas de células capazes de se desdiferenciar readquirindo assim a capacidade de multiplicação por mitose. O pericílio dá origem às raízes laterais, provenientes, portanto, de regiões internas da planta.

Caule

A função básica do **caule** é interligar raízes e folhas, tanto do ponto de vista estrutural quanto do funcional. Além de constituir a estrutura física em que se inserem raízes e folhas, o caule é o responsável pelo transporte de água, sais minerais e substâncias orgânicas entre esses órgãos.

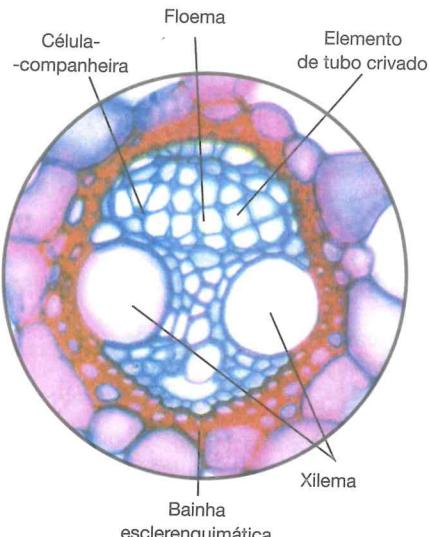
A parte mais jovem do caule é o ápice, onde ocorre continuamente a multiplicação das células do **meristema apical**, responsável pelo crescimento em extensão da planta. À medida que o caule cresce vão surgindo, de espaços a espaços, **primórdios foliares**, estruturas precursoras de folhas em que há células meristemáticas.

Na junção de cada primôrdio foliar com o eixo caulinar há um grupo de células meristemáticas derivadas diretamente dos meristemas embrionários. Essas células formam **gemas laterais**, ou axilares. Essas gemas permanecem em estado de dormência até que, em certas condições, entram em atividade e produzem ramos laterais (Fig. 10).

As células geradas pela atividade do meristema apical do caule originam os três tipos básicos de meristema – protoderme, meristema fundamental e procâmbio –, a partir dos quais se diferenciam, respectivamente, a epiderme, o córtex e os tecidos condutores de seiva caulinares.

Em plantas ainda jovens, os tecidos condutores organizam-se em feixes espalhados pelo interior do caule. Esses feixes, denominados **feixes liberolenhosos**, contêm floema na região voltada para o exterior da planta e xilema na região voltada para o interior dela (Fig. 11).

Os componentes dos feixes liberolenhosos surgem do procâmbio, tecido meristemático que permanece entre o xilema e o floema. O procâmbio possibilita a contínua formação de novos elementos xilemáticos voltados para o interior do caule e de novos elementos floemáticos voltados para o exterior dele.



JANE E. KRAUSS/IBUSP

Figura 11 Fotomicrografia de um feixe liberolênhuso do caule da monocotiledônea *Cyperus papyrus*, o papiru, em corte transversal (Microscópio fotônico; aumento $\approx 330\times$; cores artificiais.)

Folha

As **folhas** são estruturas laminares altamente adaptadas à captação de luz; elas se desenvolvem a partir dos tecidos meristemáticos presentes nos primórdios foliares. O tipo mais comum de folha tem uma área laminar alargada, a **lâmina foliar**, e um pedúnculo, o **pecíolo**, pelo qual a folha se prende ao ramo caulinar.

A folha é totalmente revestida pela epiderme, a qual produz a **cutícula**, camada impermeabilizante localizada sobre a epiderme. As trocas gasosas entre a folha e o ambiente são realizadas por meio dos **estômatos**, presentes principalmente na face inferior da folha.

A parte interna da lâmina foliar, compreendida entre as epidermes superior e inferior, é o **mesofilo** (do grego *mesos*, meio, e do latim *folia*, folha). O mesofilo é preenchido por um tecido parenquimático com células dotadas de cloroplastos, o **parênquima clorofiliano**, ou clorênquima.

Os tecidos condutores da folha estão agrupados em feixes, muitas vezes associados a tecidos de sustentação, formando as **nervuras foliares**. Os feixes condutores da folha são prolongamentos dos feixes liberolenhosos do caule, neles o xilema está voltado para a face superior da folha (adaxial) e o floema está voltado para a face inferior (abaxial) (Fig. 12).

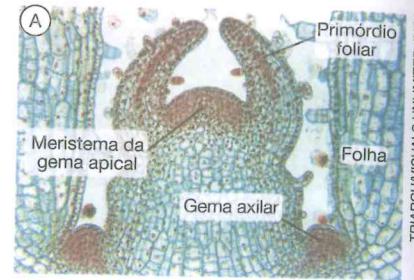
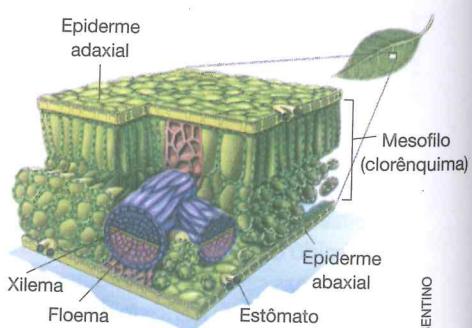


Figura 10 (A) Fotomicrografia do ápice caulinar de *Coleus* sp. em corte longitudinal. (Microscópio fotônico; aumento $\approx 150\times$; cores meramente ilustrativas.) (B) Representação esquemática da organização geral de um caule. (Representação fora de proporção; cores meramente ilustrativas.)

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



NELSON COSENTINO

Figura 12 Representação esquemática tridimensional de uma folha em corte apresentando sua estrutura interna. (Representação fora de proporção; cores meramente ilustrativas.)

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

4. Fisiologia das plantas angiospermas

Nutrição das plantas: fotossíntese e nutrientes minerais

As plantas são seres autotróficos fotossintetizantes. A **fotossíntese** é o processo bioquímico por meio do qual plantas, algas e bactérias fotosintetizantes convertem gás carbônico (CO_2) e água (H_2O) em moléculas orgânicas, liberando gás oxigênio (O_2) como subproduto. A energia para essa conversão é proveniente da luz.

Uma substância essencial à fotossíntese é a **clorofila**, presente em todos os organismos fotosintetizantes. A clorofila absorve energia luminosa, principalmente nas faixas correspondentes às cores azul e vermelha do espectro de radiações eletromagnéticas provenientes do Sol. Os comprimentos de onda de luz menos absorvidos pela clorofila correspondem ao verde, daí a cor verde desse pigmento fotosintetizante, que reflete comprimentos de onda correspondentes a essa faixa do espectro luminoso visível. (Fig. 13).

A fotossíntese é afetada por diversos fatores, entre os quais se destacam a concentração de gás carbônico no ar, a temperatura e a intensidade da luz que incide na planta. Na presença de luz, a planta faz fotossíntese, consumindo gás carbônico e produzindo gás oxigênio; a maior parte do gás oxigênio produzido é eliminada para a atmosfera por meio dos estômatos, geralmente presentes nas folhas, embora também ocorram em caules fotosintetizantes. Ao mesmo tempo que faz fotossíntese, a planta também respira, utilizando para isso parte do gás oxigênio produzido na fotossíntese. Ao respirar, a planta libera moléculas de gás carbônico, que também são utilizadas na fotossíntese.

Na ausência de luz, a planta para de fazer fotossíntese, mas não para de respirar. Uma vez que os estômatos se fecham à noite, a planta utiliza gás oxigênio acumulado no mesofilo durante o dia para a respiração celular. O gás carbônico liberado nesse processo acumula-se no mesofilo e será rapidamente consumido na fotossíntese tão logo a planta receba luz.

Sob determinada intensidade luminosa, as taxas de fotossíntese e de respiração se equivalem; nesse ponto, todo o gás oxigênio liberado na fotossíntese é empregado na respiração, assim como todo o gás carbônico produzido na respiração é utilizado na fotossíntese. A intensidade luminosa em que fotossíntese e respiração se equivalem é chamada de **ponto de compensação fótico**, ou ponto de compensação luminosa (Fig. 14).

Para crescer as plantas precisam receber, pelo menos durante algumas horas do dia, intensidade luminosa superior à de seu ponto de compensação fótico. Nesse caso haverá maior taxa de produção de substâncias orgânicas na fotossíntese do que a taxa consumida na respiração, restando matéria orgânica para o crescimento da planta.

O ponto de compensação fótico varia entre as espécies. Plantas com pontos de compensação fótico elevados só conseguem viver em locais de alta luminosidade, sendo por isso chamadas de plantas **heliófilas** (do grego, *helios*, sol, e *philos*, amigo), ou plantas de sol. Espécies com pontos de compensação fótico baixos podem viver em ambientes sombreados, sendo por isso chamadas de plantas **umbrófilas** (do latim, *umbra*, sombra, e *philos*, amigo), ou plantas de sombra.

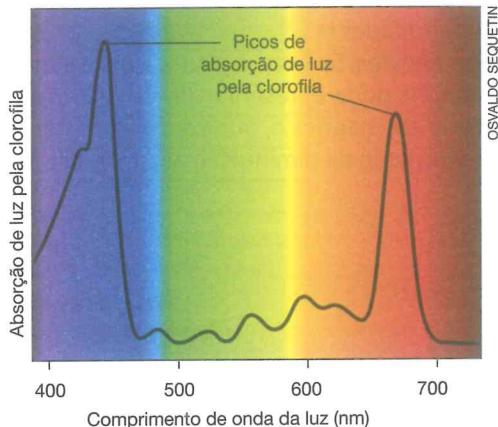


Figura 13 Gráfico que mostra as quantidades relativas de energia absorvida pela clorofila em cada comprimento de onda das radiações visíveis (luz).

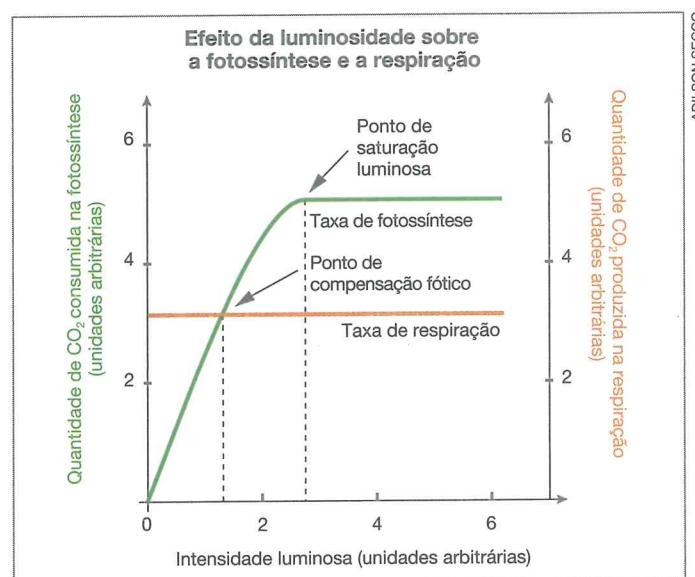


Figura 14 Gráfico que mostra o efeito da luminosidade sobre as taxas de fotossíntese e de respiração de uma planta.

O organismo vegetal necessita de diversos elementos químicos essenciais ao funcionamento de suas células; estes são absorvidos do solo, onde se encontram na forma de sais minerais.

Há elementos químicos de que a planta necessita em quantidades relativamente grandes, e que por isso são chamados de **macronutrientes**. Elementos necessários em quantidades relativamente menores são denominados **micronutrientes**. Se faltar à planta algum elemento químico essencial, ela pode apresentar sintomas específicos da deficiência. Se faltar magnésio, por exemplo, as folhas ficam amareladas, em virtude da diminuição na produção de clorofila (Tabela 2).

* Por ordem de requerimento.

Fonte: adaptada de TAIZ, L.; ZEIGER, E. *Plant Physiology*. Connecticut: Sinauer Associates, 2002.

TABELA 2 ELEMENTOS QUÍMICOS ESSENCIAIS ÀS PLANTAS*

MACRONUTRIENTES	MICRONUTRIENTES
Hidrogênio (H)	Cloro (Cl)
Carbono (C)	Ferro (Fe)
Oxigênio (O)	Boro (B)
Nitrogênio (N)	Manganês (Mn)
Fósforo (P)	Sódio (Na)
Cálcio (Ca)	Zinco (Zn)
Magnésio (Mg)	Cobre (Cu)
Potássio (K)	Níquel (Ni)
Enxofre (S)	Molibdênio (Mo)
Silício (Si)	

Aplicando conhecimentos



Registre as respostas em seu caderno.

1. Suponha um ambiente cuja luminosidade seja intermédia entre os valores correspondentes aos pontos de compensação fótico de uma planta de sombra e de uma planta de sol. Se as duas plantas forem mantidas nesse ambiente, pode-se prever que
- a) ambas crescerão bem.
 b) a planta de sol crescerá bem, mas a planta de sombra será prejudicada.
 c) a planta de sombra crescerá bem, mas a planta de sol será prejudicada.
 d) ambas serão prejudicadas.

Absorção e condução da seiva mineral

A água e os sais minerais penetram na planta pelas extremidades das raízes, principalmente através dos pelos absorventes. Após atravessar a endoderme e chegar ao cilindro central, a solução aquosa de sais minerais penetra nos vasos do xilema, onde passa a constituir a **seiva mineral**, ou seiva xilemática.

A hipótese que explica o deslocamento da seiva mineral denomina-se **hipótese da coesão-tensão**, também chamada de hipótese de Dixon. De acordo com ela, a seiva mineral é arrastada das raízes até as folhas por forças geradas basicamente pelo fenômeno de transpiração foliar. **Transpiração** é a perda de água em forma de vapor que ocorre pela superfície corporal de um ser vivo. As células das folhas, quando perdem água por transpiração foliar, ficam com o citoplasma mais concentrado e a pressão osmótica aumentada, o que as leva a absorver água das células vizinhas. Estas, por sua vez, absorvem a seiva mineral do interior dos vasos xilemáticos, forçando a coluna líquida a subir por eles, desde a raiz até as folhas. Calcula-se que a tensão criada pela transpiração seja suficiente para elevar as colunas de água nos vasos xilemáticos a cerca de 160 m de altura.

A transpiração das plantas ocorre principalmente pelos estômatos. Um **estômato** (do grego *stoma*, boca) é formado por duas células epidérmicas de forma arqueada, ricas em cloroplastos, denominadas **células estomáticas**, ou células-guarda. Entre elas há um orifício denominado **ostíolo** (do latim *ostiolu*, pequena porta), que permite trocas gasosas entre a planta e o ambiente quando o estômato está aberto (Fig. 15).

A abertura e o fechamento do estômato dependem do grau de inchação, que os botânicos denominam **turgor**, ou turgidez, das células-guarda do estômato. Se elas absorverem água e ficarem túrgidas, o ostíolo se abre. Se elas perderem água e tornarem-se flácidas, o ostíolo se fecha. Esse comportamento, em que o grau de turgidez controla a abertura e o fechamento do estômato, deve-se à disposição estratégica das fibras de celulose na parede das células estomáticas.

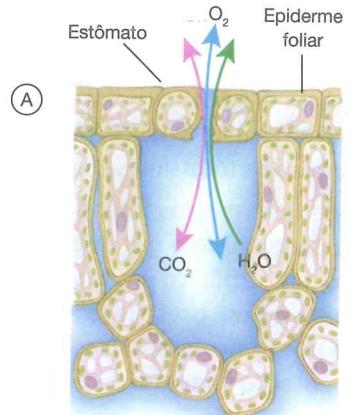


Figura 15 (A) Representação de um corte transversal de folha que mostra o intercâmbio de gases pelo estômato. (Representação fora de proporção; cores meramente ilustrativas) (B) Fotomicrografia em vista frontal de um estômato (Microscópio eletrônico; aumento $\approx 1.000\times$; cores meramente ilustrativas.)

A abertura e o fechamento dos estômatos são regulados por diversos fatores, entre eles a luminosidade ambiental, a concentração de gás carbônico no ar e o suprimento de água disponível no solo para as raízes (Tabela 3).

TABELA 3 FATORES ENVOLVIDOS NA ABERTURA E NO FECHAMENTO DOS ESTÔMATOS		
CONDIÇÕES AMBIENTAIS	COMPORTAMENTO DO ESTÔMATO	
Intensidade luminosa	Alta	Abre
	Baixa	Fecha
Concentração de CO ₂	Alta	Fecha
	Baixa	Abre
Suprimento de água	Alto	Abre
	Baixo	Fecha

Produção e condução da seiva orgânica

A solução de substâncias orgânicas produzidas nas folhas por meio da fotossíntese é denominada **seiva orgânica**, ou seiva floemática, sendo distribuída por toda a planta pelo floema. As substâncias orgânicas que alimentam a planta deslocam-se das células em que são produzidas (ou em que estão armazenadas) para as células em que serão utilizadas. O mecanismo de deslocamento da seiva orgânica pelo floema é explicado pela **hipótese do fluxo de massa**, também chamada de hipótese do desequilíbrio osmótico.

Segundo essa hipótese, nas regiões de produção ou de armazenamento de substâncias orgânicas, chamadas de locais-fontes, há células especializadas do floema que bombeiam ativamente substâncias orgânicas solúveis, principalmente a sacarose, para o interior dos elementos floemáticos. Esse bombeamento faz a pressão osmótica dentro dos vasos ficar maior do que nas células adjacentes; consequentemente os vasos floemáticos passam a absorver água por osmose. O ingresso de água nos elementos floemáticos cria um fluxo que arrasta as moléculas orgânicas em direção a seus locais-destinos, onde elas são absorvidas e utilizadas pelas células consumidoras, denominadas tecnicamente de células-drenos, uma vez que não produzem nem armazenam substâncias orgânicas. (Fig. 16)

A absorção ativa de substâncias orgânicas pelas células-drenos faz com que a pressão osmótica diminua no interior dos elementos floemáticos próximos; mantém-se, portanto, o desequilíbrio osmótico, que possibilita o contínuo transporte de substâncias orgânicas às células consumidoras.

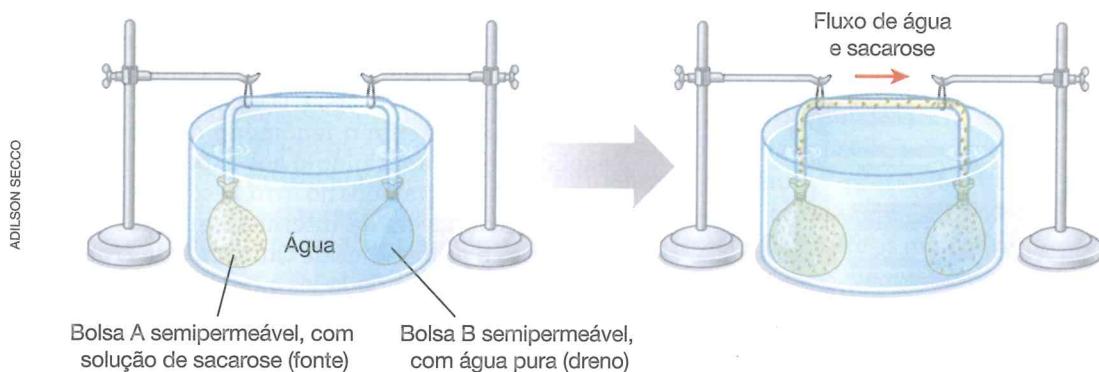


Figura 16 Modelo físico da hipótese do fluxo de massa para explicar o deslocamento da seiva orgânica nos elementos condutores do floema. (Representação fora de proporção; cores meramente ilustrativas.)

Dialogando com o texto

Veja comentários sobre essa atividade no Suplemento do Professor.

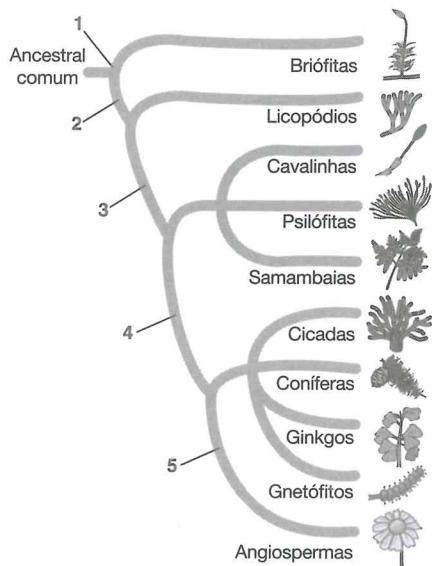
Todas as células de uma planta estão conectadas por finos filamentos de citoplasma chamados de plasmodesmos, que atravessam os poros presentes nas paredes das células vegetais. Assim, em um tecido como o floema, há um citoplasma em continuidade entre as células das folhas e das raízes e destas entre si. Seu desafio, nesta atividade, é pesquisar sobre o papel dos plasmodesmos (tanto em livros como na internet) e analisar o modelo físico que explica a condução floemática, identificando nele o que corresponderia aos plasmodesmos anteriormente mencionados e explicando o porquê.



1. No século XVII, o médico e fisiologista flamengo Jan Baptista van Helmont (1577-1644) realizou o seguinte experimento: em um vaso colocou 190 kg de terra bem seca, molhando-a em seguida, e nela plantou uma estaca de salgueiro com 2,25 kg. Colocando uma tampa sobre o vaso, ele impediu que a poeira do ar se depositasse sobre o vaso, que foi regado diariamente, durante cinco anos.

Depois desse tempo, a estaca havia se transformado em um arbusto com 76 kg e a terra do vaso, depois de seca, pesou 189,94 kg. Van Helmont concluiu que o aumento de massa da planta se devia quase totalmente à água e que os constituintes do salgueiro, embora diferentes da água, tinham sua origem nela.

- a) Com base no que se sabe atualmente sobre a fisiologia das plantas, como podemos explicar os resultados obtidos por van Helmont?
 b) Como se pode explicar o desaparecimento de 60 g da terra original?
2. Duas plantas da mesma espécie são submetidas às seguintes situações: a) ambiente bem iluminado e, em determinado momento, o suprimento de água no solo torna-se insuficiente; b) ambiente de solo bem irrigado com suprimento de água abundante e, em determinado momento, começa a anoitecer. Qual é o comportamento esperado dos estômatos nessas duas situações? Explique a razão desses comportamentos e especule sobre sua possível importância para a planta.
3. (UPE) Todos os vegetais descendem de algas verdes primitivas, porém a complexidade veio com o tempo. Assim, vamos descrever a figura a seguir.



É correto afirmar que as plantas vasculares evoluíram para plantas vasculares com sementes na passagem marcada pelo número

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

4. (Unicamp-SP) Muitas vezes se observa o efeito do vento nas plantas, que faz com que a copa das árvores e eventualmente o caule balancem vigorosamente sem, contudo, se romper. No entanto, quando ocorre a ruptura de um ramo, as plantas têm a capacidade de retomar o crescimento e ocupar novamente o espaço deixado pela queda do ramo.

- a) Cite e caracterize os tipos de tecidos que promovem a sustentação e a flexibilidade dos ramos e caules.
 b) Como se dão o surgimento e o crescimento do novo ramo em plantas danificadas pelo vento?

5. (UFRGS-RS) Em relação às raízes de Angiospermas, 5. e é correto afirmar que
- a) são as responsáveis pela nutrição orgânica das plantas.
 b) absorvem macronutrientes como o manganês (Mn).
 c) têm o câmbio fascicular como o responsável pelo crescimento em altura.
 d) apresentam epiderme e mesofilo altamente diferenciado.
 e) têm pelos absorventes como os principais responsáveis pela absorção de água e sais minerais.
6. O metabolismo das plantas utiliza, de maneira bastante direta, algumas propriedades físico-químicas da água. Por exemplo, o processo denominado transpiração nada mais é do que a evaporação da água na superfície vegetal. Como é explicado fisicamente o processo de evaporação? O objetivo desta atividade é estudar mais a fundo e de maneira integrada certos processos metabólicos vegetais que se utilizam das propriedades físico-químicas da água. A seguir apresentamos algumas propriedades da água. O desafio é conceituar físico-quimicamente o fenômeno da evaporação, explicando-o e aplicando-o aos aspectos fisiológicos das plantas tratados no livro. Pesquise o assunto em sites confiáveis da internet, em livros e peça sugestões a professores de Química e de Física em sua escola. As propriedades citadas são:
- a) A água como solvente (solubilidade e importância das reações químicas vitais);
 b) O calor específico da água (relação entre o valor do calor específico e suas implicações no metabolismo das plantas; importância da evaporação na fisiologia da folha e do próprio processo de transporte pelo xilema).
 c) A físico-química da osmose (aspectos fisiológicos vegetais em que a osmose desempenha papel relevante).
 d) Propriedades de adesão e coesão das moléculas de água (capilaridade e relação com os fenômenos da condução da seiva).