



# Morfofisiologia vegetal

# **Morfofisiologia vegetal**

**Fernanda Armani**

© 2017 por Editora e Distribuidora Educacional S.A.  
Todos os direitos reservados. Nenhuma parte desta publicação poderá ser reproduzida ou transmitida de qualquer modo ou por qualquer outro meio, eletrônico ou mecânico, incluindo fotocópia, gravação ou qualquer outro tipo de sistema de armazenamento e transmissão de informação, sem prévia autorização, por escrito, da Editora e Distribuidora Educacional S.A.

**Presidente**

Rodrigo Galindo

**Vice-Presidente Acadêmico de Graduação**

Mário Ghio Júnior

**Conselho Acadêmico**

Alberto S. Santana  
Ana Lucia Jankovic Barduchi  
Camila Cardoso Rotella  
Cristiane Lisandra Danna  
Danielly Nunes Andrade Noé  
Emanuel Santana  
Grasiele Aparecida Lourenço  
Lidiane Cristina Vivaldini Olo  
Paulo Heraldo Costa do Valle  
Thatiane Cristina dos Santos de Carvalho Ribeiro

**Revisão Técnica**

Marcia Cristina Aparecida Thomaz  
Mariana de Castro Ibañez

**Editorial**

Adilson Braga Fontes  
André Augusto de Andrade Ramos  
Cristiane Lisandra Danna  
Diogo Ribeiro Garcia  
Emanuel Santana  
Erick Silva Griep  
Lidiane Cristina Vivaldini Olo

---

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)**

Armani, Fernanda  
A727m Morfofisiologia vegetal / Fernanda Armani. – Londrina :  
Editora e Distribuidora Educacional S.A., 2017.  
160 p.

ISBN 978-85-8482-894-4

1. Morfofisiologia vegetal. 2. Botânica. I. Título.

CDD 580

---

# Sumário

<b>Unidade 1   Ciclo de vida e morfologia externa vegetal</b> _____	<b>7</b>
Seção 1.1 - Classificação e ciclo de vida vegetal _____	9
Seção 1.2 - Morfologia externa de caule e raiz _____	21
Seção 1.3 - Morfologia externa de folha, flor e fruto _____	33
<b>Unidade 2   Tecidos vegetais e crescimento</b> _____	<b>47</b>
Seção 2.1 - Citologia e histologia vegetal _____	49
Seção 2.2 - Morfologia interna _____	63
Seção 2.3 - Crescimento vegetal _____	76
<b>Unidade 3   Regulação do crescimento e movimentos vegetais</b> _____	<b>89</b>
Seção 4.1 - Hormônios vegetais _____	91
Seção 4.2 - Movimentos vegetais _____	103
Seção 4.3 - Ritmos circadianos _____	112
<b>Unidade 4   Relação hídrica e nutrição vegetal</b> _____	<b>123</b>
Seção 4.1 - Movimento da água e transporte de solutos _____	125
Seção 4.2 - Fotossíntese _____	138
Seção 4.3 - Nutrição vegetal _____	147



## Palavras do autor

Todos os organismos vivos compartilham de atributos comuns, como sua constituição por células e a capacidade de realizar seu metabolismo e reprodução. Eles compõem milhões de diferentes espécies no nosso planeta, evocando a necessidade de um sistema para classificá-los. Assim, Robert Whittaker, em 1969, distribuiu os seres vivos de acordo com suas características filogenéticas em cinco reinos: *Animalia*, *Plantae*, *Monera*, *Protista* e *Funghi*.

O reino *Plantae*, especialmente, é fundamental à manutenção da vida na Terra, visto que as plantas, ao produzirem seu próprio alimento, são a base da cadeia alimentar, responsáveis pela nutrição de todos os outros organismos, fornecendo a energia necessária para a realização de suas funções vitais. Além de fonte de alimento, as plantas disponibilizam o gás O<sub>2</sub>, essencial à respiração de muitos seres vivos e matéria-prima para a produção de casas, barcos, roupas, entre outros diversos utensílios.

Portanto, a morfofisiologia vegetal se propõe ao estudo das formas, estruturas e funções dos vegetais para o conhecimento dos elementos da sua configuração e desenvolvimento. Isso permitirá ao aluno identificar e comparar as estruturas externas e internas dos órgãos vegetais e relacioná-los com as suas funções, contribuindo com sua formação profissional. Assim, a unidade inicial "Ciclo de vida e morfologia externa vegetal" destina-se a entender como ocorre a fecundação e o desenvolvimento do embrião e a conhecer a morfologia externa vegetal. A unidade seguinte, "Tecidos vegetais e crescimento", visa compreender a organização da célula e do tecido vegetal e os diferentes tipos de crescimento - primário e secundário. A penúltima unidade, "Regulação do crescimento e movimentos vegetais", objetiva identificar hormônios e movimentos vegetais que influenciam e regulam a homeostase e o crescimento vegetal. Por fim, a unidade de fechamento, "Relação hídricas e nutrição vegetal", pretende conhecer os mecanismos fisiológicos de transporte de água e fotoassimilados nos vegetais, além dos fatores internos e externos que influenciam seu desenvolvimento.

Então, caro aluno, animado para conhecer melhor o reino *Plantae*, que tem grande interferência em nossas vidas e no equilíbrio ecológico do nosso planeta? Vamos lá!

# Ciclo de vida e morfologia externa vegetal

## Convite ao estudo

Caro aluno, esta unidade inicia o estudo do reino *Plantae*, que contempla musgos, samambaias, pinheiros, mangueiras, roseiras, coqueiros e muitas outras espécies, compondo um total de aproximadamente 400.000 espécies vegetais catalogadas no mundo. Cabe destacar que atualmente são reconhecidas 46.097 espécies para a flora brasileira, responsáveis pela maior diversidade de plantas do mundo, com o registro de 334 novas espécies a cada ano. Entretanto, muitos dos exemplares vegetais do país entraram para a lista de espécies potencialmente em extinção, desequilibrando ecologicamente nossos ecossistemas e todo planeta.

Assim, conceitos apresentados nesta unidade, como as etapas envolvidas no ciclo da vida das plantas e a morfologia externa vegetal para sua identificação, garantem informações fundamentais a uma maior preservação da flora. Para auxiliar a construção desse conhecimento, será apresentada uma situação hipotética que visa aproximar os conteúdos teóricos da prática. Leia com atenção!

Ao fazer uma caminhada pelo sítio de seu avô, Sophia encontrou caído no chão um ramo de macieira com folha, flor e fruto. Curiosa e prestativa, ela quis fazer uma contribuição a um herbário – uma coleção de plantas secas e prensadas com informações sobre cada espécie vegetal – que estava sendo montado na cidade vizinha. Chegando lá, ela acompanhou o processo de identificação de seu exemplar, a coleta de informações como o tipo de folha, flor e fruto. A partir dessa situação, você conseguiria imaginar a importância do estudo do desenvolvimento e da morfologia externa de plantas?

Ainda, você seria capaz de explicar por que esse fruto da maçã foi identificado como os pontinhos pretos dentro da maçã e não como aquela parte carnosa comestível?

# Seção 1.1

## Classificação e ciclo de vida vegetal

### Diálogo aberto

Caríssimo aluno, vamos estudar a partir de agora a origem, a classificação e as etapas do ciclo vital de um vegetal. Para tanto, vamos lembrar a situação destacada no “Convite ao estudo” sobre o ramo de macieira encontrado e levado ao herbário por Sophia, com a identificação do fruto como sendo os pontinhos pretos dentro da maçã e não aquela parte carnosa comestível. Muito curiosa, Sophia ainda ficou extremamente preocupada ao ler que as abelhas entraram pela primeira vez na lista de espécies em extinção. Além de menos mel, um menor número de abelhas implica diretamente em uma menor produção de grande parte do que comemos, pensou. A partir da reflexão de Sophia, você conseguiria indicar os motivos pelos quais a redução no número de abelhas influenciaria na diminuição dos demais alimentos? Ainda, qual é a importância de insetos como abelhas para manutenção da produção de alimentos e um equilíbrio ecológico?

Para organizar e assimilar conceitos que permitirão que você chegue a uma conclusão, apresentaremos tópicos relacionados às características gerais dos vegetais, incluindo sua origem, classificação e etapas envolvidas em seu ciclo de vida, como a fecundação e a formação de um embrião vegetal muitas vezes mediado por vetores no fenômeno denominado de polinização.

### Não pode faltar

#### Características gerais

O reino *Plantae* ou *Metaphyta* compartilha de características com os animais e muitas espécies de fungo enquanto indivíduos pluricelulares e eucariotos.



## Vocabulário

Organismos pluricelulares são aqueles que apresentam mais de uma célula em sua composição, enquanto eucariotos possuem organelas membranosas e envoltório nuclear, o qual separa o material genético do citoplasma.

Entretanto, a capacidade dos vegetais de transformar compostos inorgânicos em orgânicos (glicose) durante o processo de fotossíntese os diferencia dos outros. Assim, esses seres são denominados autotróficos, ou seja, produzem seu próprio alimento, sendo responsáveis pela nutrição e fornecimento de energia a todos os demais seres vivos.



## Assimile

Os vegetais são denominados autotróficos por apresentarem uma nutrição própria a partir da luz (fototróficos) e dióxido de carbono como fontes de energia primária e carbono, respectivamente. Portanto, as plantas ocupam a base da cadeia alimentar, fornecendo nutrição e energia para todos os demais seres vivos realizarem suas funções vitais.

Os vegetais também são distintos pela presença de celulose como componente da parede celular que envolve a célula, que possui estruturas especializadas, como cloroplastos e vacúolos em seu interior.



## Refleta

### Origem vegetal

A capacidade de conseguir sua fonte de energia por meio da alimentação autossuficiente garantiu às plantas colonizarem a Terra a partir de um grupo ancestral de algas verdes pluricelulares constituídas por um talo sem órgãos especializados. Segundo registros fósseis, a primeira planta terrestre considerada foi a *Cooksonia*. Esse gênero

difícilmente ultrapassava uma altura de 5 cm e deveria apresentar uma porção subterrânea (com maior absorção de água e minerais) e outra emersa (mais impermeabilizada e relacionada à fotossíntese). Essa possível ancestralidade é sustentada por características comuns quando se comparam as algas verdes pluricelulares com as demais plantas, como a presença de celulose na parede celular e cloroplastos (organela especializada na realização da fotossíntese) contendo clorofila (pigmento verde). A clorofila assume diferentes formas, como a tipo “a”, que está presente em todas as células fotossintéticas e realiza a primeira etapa de absorção de luz. Já a clorofila “b” consiste em um pigmento acessório que auxilia no restante do processo, presente em algas verdes e vegetais superiores. O processo de fotossíntese será abordado de forma mais aprofundada na Unidade 4.

Figura 1.1 | Floresta Amazônica, destacando a alta biodiversidade de espécies da flora brasileira



Fonte: <[http://www.istockphoto.com/br/en/photo/riparian-forest-or-vegetation-gm453919519-25858270?st=\\_p\\_amazon%20rainforest](http://www.istockphoto.com/br/en/photo/riparian-forest-or-vegetation-gm453919519-25858270?st=_p_amazon%20rainforest)>. Acesso em: 19 out. 2016.

Ainda, a seleção natural de características adaptadas ao ambiente terrestre correlacionadas à reprodução – como a proteção das células

sexuais (gametas) por uma camada celular que evita a desidratação e o abrigo do embrião no interior da fêmea, conferindo grande proteção à semente – possibilitaram a expansão dos vegetais nesse ambiente e sua colonização em biomas distintos. Assim, embora a reprodução sexuada seja um processo lento e com grande dispêndio de energia, ela proporciona uma recombinação gênica entre fêmeas e machos das espécies vegetais que garante uma alta variabilidade de seus descendentes, permitindo maior capacidade de sobrevivência frente a possíveis mudanças ambientais e à manutenção de novas características adaptadas ao meio.

### Classificação vegetal

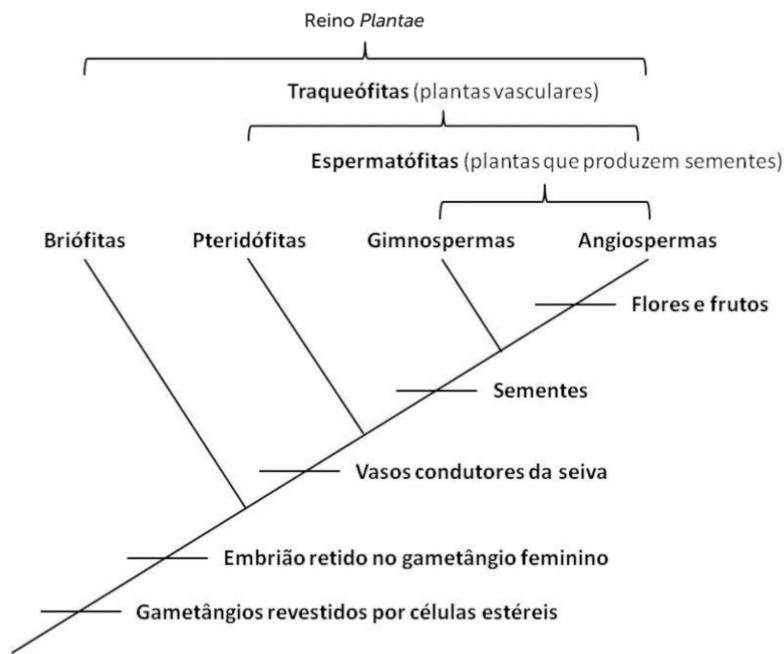
Como dito anteriormente, as plantas possuem um ancestral pluricelular eucarioto fotossintetizante comum, compartilhando características que determinam evolutivamente seu grau de semelhança. Assim, os vegetais podem ser classificados de acordo com a presença (espermatófitas) ou ausência de sementes (criptógamas). As espermatófitas são subdivididas em: as que possuem flores (fanerógamas) e frutos (angiospermas) ou não (gimnospermas). As criptógamas podem igualmente serem distribuídas segundo a presença (pteridófitas) ou ausência de vasos condutores (briófitas).



#### Exemplificando

Plantas criptógamas, ou seja, aquelas que apresentam suas estruturas reprodutoras escondidas (do grego *cripto* – escondido; *gamae* – gameta) abrangem briófitas, como musgos e hepáticas, e pteridófitas, como samambaias e avencas. Por sua vez, as gimnospermas (*gimno* – nu; *sperma* – semente) são representadas pela araucária e sequoia, enquanto as angiospermas, que possuem sementes abrigadas no interior de frutos (*angio* – urna; *sperma* – semente), contemplam mangueira, figueira, laranjeira, entre outras.

Figura 1.2 | Cladograma do reino *Plantae*



Fonte: elaborada pelo autor.



Pesquise mais

A atribuição de nomes científicos aos vegetais e às categorias em que são classificados segue o *Código Internacional de Nomenclatura Botânica*, disponível em: <[http://www.biologia.ufc.br/backup/monitoria/TaxoVeg/arquivos/Codigo\\_Vienna\\_2005.pdf](http://www.biologia.ufc.br/backup/monitoria/TaxoVeg/arquivos/Codigo_Vienna_2005.pdf)>. Acesso em: 19 out. 2016.

## Ciclo de vida e reprodução

O ciclo de vida da planta começa com uma semente que vai germinar e produzir um pequeno indivíduo imaturo chamado de “muda”. O crescimento segue para a fase adulta, marcada pela capacidade de reprodução e multiplicação da espécie por meio de novas sementes, que irão iniciar um próximo ciclo. Todos os vegetais apresentam um ciclo de vida marcado por alternância de gerações entre uma fase haploide ( $n$ , possui um único conjunto completo

de cromossomos) e outra diploide ( $2n$ , apresenta dois conjuntos completos de cromossomos).

Dessa forma, nas briófitas a fase gametofítica ( $n$ ) sobressai-se à esporofítica ( $2n$ ), enquanto nas pteridófitas a fase esporofítica é a mais desenvolvida, além de ser independente da fase gametofítica, que é muito reduzida. Nas gimnospermas e particularmente nas angiospermas, a fase gametofítica é extremamente reduzida e caracterizada pelo desenvolvimento do gametófito feminino no interior do óvulo, dando origem ao gameta feminino (oosfera), e do gametófito masculino em células germinativas no grão de pólen. É importante notar que nas angiospermas a flor representa a principal estrutura reprodutiva, apresentando o gineceu como órgão feminino, composto pelo ovário, que produz e armazena os óvulos contendo oosferas, e também o androceu como órgão masculino, composto por estames, que sustentam uma bolsa (saco polínico) que contém grãos de pólen que são formados por células germinativas.

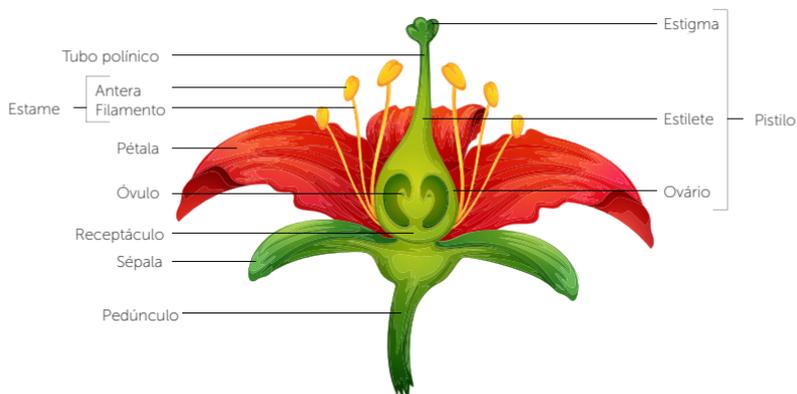
As adaptações das etapas do ciclo de vida e reprodução vegetal foram fundamentais à conquista do ambiente terrestre por esses indivíduos. Portanto, na evolução das plantas verifica-se uma redução da fase gametofítica e maior desenvolvimento da fase esporofítica.

### **Polinização, fecundação e formação do embrião**

Sejam em plantas que possuem ambos os órgãos sexuais no mesmo indivíduo (monoicas), como ocorre nas angiospermas, seja em indivíduos separados (dioicas), a fecundação pelo encontro e fusão do gameta feminino (oosfera) com o masculino (núcleo espermático) gerando um zigoto (embrião) depende do transporte do grão de pólen. Dessa forma, o grão de pólen formado na antera é levado até o estigma, estruturas reprodutivas masculina e feminina, respectivamente, e estimulado a desenvolver um tubo longo (tubo polínico) que cresce no interior do pistilo até atingir o óvulo. Como resultado desse encontro, um dos núcleos espermáticos do pólen fecunda a oosfera e gera um zigoto, que resultará no embrião protegido pela semente, enquanto os outros se unem aos núcleos polares dos óvulos para formar um tecido (endosperma) que nutrirá esse novo organismo. Assim, a semente é constituída basicamente pelo embrião, cotilédones, endosperma secundário e tegumentos,

estruturas que serão abordadas mais detalhadamente ao longo das próximas unidades. Também cabe destacar que o desenvolvimento do ovário originará o fruto, e este abriga os óvulos que posteriormente se tornarão sementes.

Figura 1.3 | Abelha como agente polinizador de uma flor



Fonte: <[http://www.istockphoto.com/br/en/photo/wasp-in-a-flower-gm91881785-2122885?st=\\_p\\_polen%20bees](http://www.istockphoto.com/br/en/photo/wasp-in-a-flower-gm91881785-2122885?st=_p_polen%20bees)>. Acesso em: 19 out. 2016.

É importante notar que o transporte do grão de pólen até o estigma é realizado por agentes polinizadores como o vento (anemofilia), água (hidrofilia), insetos (entomofilia), aves (ornitofilia) ou mamíferos (mastofilia). As plantas anemófilas apresentam flor com estigma plumoso que aumenta a superfície para receber o pólen trazido pelo vento, como no dente-de-leão. Já as flores entomófilas ou ornitófilas apresentam características que atraem o agente polinizador, como cores vibrantes, cheiros acentuados e substâncias açucaradas (néctar). As flores polinizadas por mamíferos são robustas e apresentam grande quantidade de néctar para sustentar esses animais de “sangue quente”. No caso dos morcegos, a orientação se dá pelo olfato, uma vez que eles possuem hábito noturno.



**Pesquise mais**

Para saber mais sobre a polinização, seus mecanismos ecológicos, sua importância e a conservação de seus agentes, leia o artigo abaixo.  
*Polinização: serviços ecossistêmicos e o seu uso na agricultura,*

disponível em: <<http://www.gvaa.com.br/revista/index.php/RVADS/article/view/2598/2010>>. Acesso em: 19 out. 2016.

Figura 1.4 | Abelha como agente polinizador de uma flor



Fonte: <[http://www.istockphoto.com/br/en/photo/wasp-in-a-flower-gm91881785-2122885?st=\\_p\\_polen%20bees](http://www.istockphoto.com/br/en/photo/wasp-in-a-flower-gm91881785-2122885?st=_p_polen%20bees)>. Acesso em: 19 out. 2016.



Refleta

Você sabia que existe uma íntima relação entre forma, estrutura e arranjo das estruturas vegetativas e reprodutoras das plantas e aspectos biológicos da polinização? De fato, as diversas variações morfológicas vegetais estão diretamente associadas às mudanças em atributos específicos de agentes polinizadores em um processo evolutivo simultâneo denominado de **coevolução**, em que duas ou mais populações com alto grau de interdependência passam por adaptações e cada uma delas age como uma força seletiva sobre a outra. É o caso da coevolução de estruturas altamente especializadas na relação entre machos de abelhas *Euglossini* (*Apidae*), que apresentam a estrutura tibial modificada para coleta de odores (nutrição), e flores de *Orchidaceae*, com morfologia e buquês de odores especializados para atrair essas abelhas, que garantem

sua reprodução. Para saber mais, acesse o artigo abaixo. *Mutualismos Extremos de Polinização: História Natural e Tendências Evolutivas*, disponível em: <<http://www.oecologiaaustralis.org/ojs/index.php/oa/article/view/oeco.2012.1602.08/697>>. Acesso em: 9 nov. 2016.

## Sem medo de errar

Agora que você teve a oportunidade de conhecer as características gerais dos vegetais, incluindo sua origem, classificação, etapas envolvidas em seu ciclo de vida e os fenômenos de fecundação na formação de um embrião vegetal, muitas vezes mediados por vetores no fenômeno denominado de polinização, vamos resolver a situação-problema apresentada nesta seção, no “Diálogo aberto”.

Sophia refletiu sobre um menor número de abelhas implicar diretamente em uma diminuição na produção de alimentos. De fato, o transporte do grão de pólen até o estigma para que haja a fecundação e formação de frutos e sementes é mediado por agentes polinizadores. Estima-se que aproximadamente 75% da alimentação humana dependa direta ou indiretamente de plantas polinizadas ou favorecidas pela polinização por animais, gerando US\$ 12 bilhões por ano às principais culturas do Brasil. A importância do papel dos polinizadores na produção de alimentos e a necessidade de promover a conservação e o uso sustentável desses animais incentivaram o projeto Polinizadores do Brasil, coordenado pelo Fundo Brasileiro para a Biodiversidade (Funbio) e pelo Ministério do Meio Ambiente (MMA). Assim, entre 2010 e 2015 o estudo da polinização de culturas agrícolas brasileiras resultou em planos de manejo e registro de diferentes espécies de polinizadores. É igualmente importante destacar que a polinização contribui com o controle e a manutenção da diversidade de espécies do nosso ecossistema, auxiliando no equilíbrio ecológico de todo o planeta.

### São João!

#### Descrição da situação-problema

Carlinhos adora ir a quermesses em junho, quando se comemora a Festa de São João. Ele gosta principalmente das comidas típicas feitas nessa época, como pamonha, pé de moleque e pinhão. Dessa vez, o pinhão tinha causado uma curiosidade diferente que fez com que Carlinhos perguntasse ao irmão Edu, que estava no segundo ano de Biologia, onde estava a flor do pinhão. Edu deu um leve sorriso, pegou um livro de morfofisiologia vegetal e indicou a “flor” do pinhão ao irmão, que não ficou convencido.

A partir dessa situação, você conseguiria indicar qual é o motivo da descrença de Carlinhos e como foi a explicação de Edu? Ainda, qual é a importância da identificação correta de uma espécie vegetal?

#### Resolução da situação-problema

Os pinhões são sementes de pinheiros, como o pinheiro-do-paraná – araucária. Fazem parte do grupo das gimnospermas, ou seja, plantas terrestres que apresentam sementes expostas e livres da proteção de frutos, que de fato estão ausentes. Interessantemente, os pinhões derivam de um cone feminino denominado pinha, que são as flores diferenciadas em estróbilos. A descrença de Carlinhos se deve, especialmente, à falta de semelhanças entre nossa associação com a imagem do que seja uma flor, colorida, com pétalas e um miolo amarelo, e a imagem da pinha, que também representa uma flor, por ser a estrutura reprodutora característica das plantas.

Além disso, a identificação correta de espécies vegetais garante o conhecimento de informações como nome popular, o reconhecimento de estruturas, de possíveis animais relacionados com seu controle e manutenção, entre outras que causam familiaridade e valorização, garantindo a maior preservação da espécie, como indicado na matéria do Instituto Florestal em parceria com a Secretaria do Meio Ambiente (SMA). BRASIL. Governo do Estado de São Paulo. Secretaria do Meio Ambiente. Instituto Florestal. Conhecer para conservar: a importância da identificação das espécies vegetais.

28 out. 2015. Disponível em: <<http://iflorestal.sp.gov.br/2015/10/28/conhecer-para-conservar-a-importancia-da-identificacao-das-especies-vegetais/>>. Acesso em: 20 out. 2016.

## Faça valer a pena

**1.** Os microscópios, aparelhos que ampliam o tamanho de objetos que não podemos ver a olho nu, possibilitaram o aumento da capacidade de vermos os detalhes deste objeto de acordo com o Limite de Resolução (LR), distância mínima entre dois pontos em que podemos observá-los como pontos individualizados. Isto permitiu a observação e conhecimento das células, assim como de seus componentes.

Em uma aula de microscopia, os alunos foram capazes de identificar uma lâmina como sendo de um organismo vegetal e não animal pela presença em suas células de:

- a) Parede celular, núcleo desorganizado (ausência de envoltório nuclear) e vacúolos.
- b) Parede celular, cloroplastos contendo pigmento verde fotossintetizante e vacúolos.
- c) Membrana plasmática, mitocôndrias e Complexo de Golgi.
- d) Membrana celular, cloroplastos contendo pigmento verde fotossintetizante e vacúolos.
- e) Membrana plasmática, citoplasma e núcleo.

**2.** A morfofisiologia, ou seja, o estudo da forma e função dos seres vivos ou de parte deles, é uma ferramenta fundamental para a identificação e classificação de todas as espécies a partir das comparações entre seus diferentes tipos de organização estrutural e funcional. Isso permite sua correta identificação e, conseqüentemente, sua adequada preservação. Analise as afirmativas:

- I. Criptógamas são plantas que não possuem sementes.
- II. As espermatófitas, plantas que possuem sementes, podem ser também representadas por plantas que não possuem flores ou frutos, as gimnospermas.
- III. As briófitas são caracterizadas pela ausência de vasos condutores.

De acordo com a classificação dos vegetais, podemos afirmar que:

- a) I e II estão corretas.
- b) I, II e III estão corretas.
- c) I e III estão corretas.
- d) II e III estão corretas.
- e) Somente a I está correta.

**3.** A reprodução sexuada das plantas, ou seja, o encontro entre o gameta feminino (oosfera) e o masculino (núcleo espermático) gerando um zigoto (embrião), proporciona uma recombinação gênica que garante uma alta variabilidade de seus descendentes, permitindo maior capacidade de sobrevivência frente a possíveis mudanças ambientais e a manutenção de novas características adaptadas ao meio.

Correlacione as colunas de acordo com as estruturas vegetais presentes antes e após seu desenvolvimento pela fecundação e indique a alternativa correta:

- |                               |               |
|-------------------------------|---------------|
| 1. Óvulo                      | a. Fruto      |
| 2. Núcleos polares dos óvulos | b. Endosperma |
| 3. Ovário                     | c. Semente    |

- a) 1.a., 2.b., 3.c.
- b) 1.b., 2.a., 3.c.
- c) 1.b., 2.c., 3.a.
- d) 1.c., 2.b., 3.a.
- e) 1.c., 2.a., 3.b.

# Seção 1.2

## Morfologia externa de caule e raiz

### Diálogo aberto

Caro aluno, vamos apresentar a partir de agora a forma e estrutura externa de caules e raízes, incluindo seus principais tipos e representantes. Para isso, vamos retomar a situação destacada no “Convite ao estudo” sobre o ramo de macieira encontrado e levado ao herbário por Sophia, com a identificação do fruto da maçã como sendo os pontinhos pretos dentro da maçã, e não aquela parte carnosa comestível.

Interessada em fazer uma reeducação alimentar, Sophia consultou uma nutricionista, que elaborou um cardápio indicado à sua rotina e meta. Ao olhar mais cuidadosamente para o menu, ela pôde perceber que havia um grupo indicado como “raízes e tubérculos”, reconhecendo diversos alimentos contidos nessa categoria. Você seria capaz de mencionar três deles? Qual é a importância da identificação de tipos de caule e raiz, incluindo aqueles que são usados na nossa alimentação?

Para que você organize e assimile conceitos a fim de chegar a uma conclusão, apresentaremos tópicos relacionados à morfologia externa das estruturas vegetais do caule e da raiz, incluindo suas partes, tipos e funções relacionadas.

### Não pode faltar

A morfologia, ou seja, o estudo da forma dos seres vivos ou de suas estruturas separadamente, é uma ferramenta fundamental para a identificação e classificação de todas as espécies a partir das comparações entre seus diferentes tipos de organização estrutural. Dessa forma, a maioria das plantas pode ser dividida em partes localizadas sob o solo, constituídas pelas raízes, ou em uma

porção aérea relacionada ao caule, folhas, flores e frutos. A seguir, destacaremos a morfologia externa de caules e raízes.

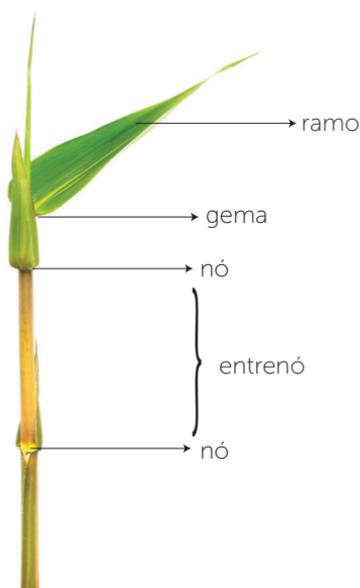
### Morfologia externa do caule

O caule é um órgão essencial das plantas ao conectar e integrar a água e os sais minerais absorvidos pelas raízes até as folhas, assim como a matéria orgânica produzida pelas folhas até as raízes. Ele também compreende um tecido de suporte e sustentação, permitindo a inserção de folhas em áreas privilegiadas para captação da luz e produção de nutrientes orgânicos essenciais ao seu crescimento e desenvolvimento. Além disso, caules jovens e adultos de plantas herbáceas são providos de clorofila e capazes de realizar fotossíntese, enquanto outros assumem a função de realizar reservas nutritivas, como nas batatas, cebolas e alhos.

São em geral estruturas aéreas que crescem verticalmente em relação ao solo, embora existam variações, como caules subterrâneos, que podem ser distintos de raízes pela presença de gemas, estruturas a partir das quais podem se desenvolver ramos e folhas. Podem ser separados nas seguintes regiões caulinares:

- **nós:** geralmente dilatados, nos quais são inseridos órgãos apendiculares como folhas e estípulas, entre outros.
- **entrenós:** situados entre dois nós consecutivos.
- **gemas:** estruturas meristemáticas responsáveis pelo crescimento de ramos e folhas, geralmente formadas na axila – ângulo formado entre a folha e o ramo.

Figura 1.5 | Regiões do caule

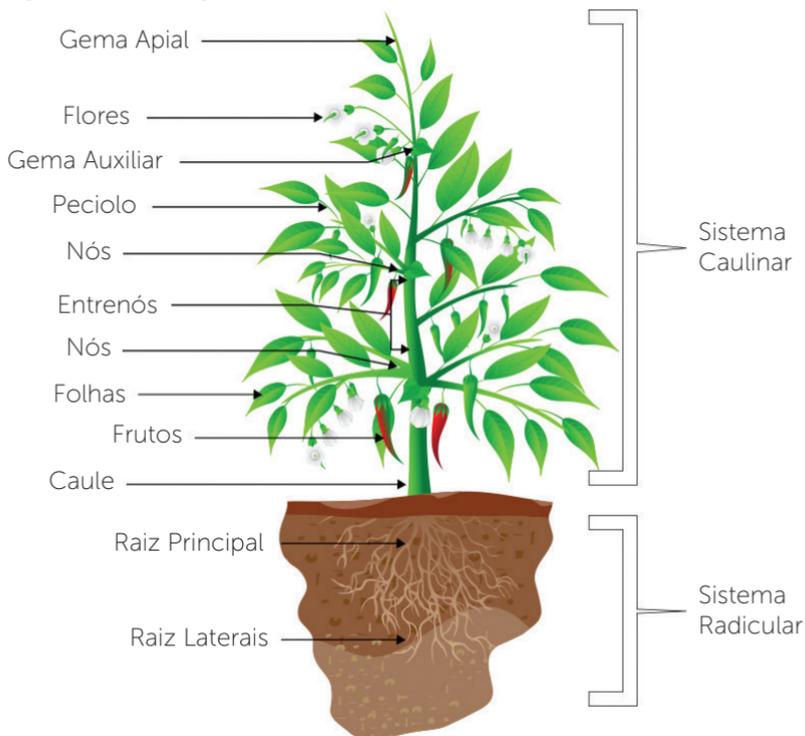


Fonte: adaptada de: <<http://www.istockphoto.com/br/foto/frescos-de-bambu-isolado-no-fundo-branco-gm488220821-39171154>>. Acesso em: 31 out. 2016.

## Gemas

As gemas, ou botões vegetativos, de um caule são regiões de tecido meristemático que permitem o crescimento ativo por mitose a partir dos nós de folhas e estípulas, entre outros. O ápice do caule apresenta uma gema apical que possibilita seu crescimento em extensão, enquanto gemas axilares ou laterais promovem o desenvolvimento de ramos que garantem maior largura. Cabe destacar que as gemas axilares permanecem inativas durante certo período (dormência), após o qual podem entrar em atividade e originar ramos laterais a partir de condições ambientais favoráveis (especialmente de umidade) e ação de hormônios vegetais, como veremos na Seção 1 da Unidade 3.

Figura 1.6 | Morfologia Externa do Caule



Fonte: adaptada de: <[http://www.istockphoto.com/br/vetor/anatomia-de-planta-gm177457349-24738392?st=\\_p\\_root%20anatomy%20plants](http://www.istockphoto.com/br/vetor/anatomia-de-planta-gm177457349-24738392?st=_p_root%20anatomy%20plants)>. Acesso em: 31 out. 2016.

## Tipos de caule

Antes de identificarmos os diferentes tipos de caule, cabe destacar que, com relação ao desenvolvimento, os caules podem ser classificados como **ervas** – plantas geralmente de pequeno porte com hastes mais delicadas e finas –; **arbustos** – vegetais medianos, lenhosos e ramificados desde a base –; ou **árvores** – vegetais de porte avantajado, lenhosos e providos de um tronco que se ramifica na parte superior, formando uma copa.

Quadro 1.1 | Tipos de caule

Hábitat	Tipo		Exemplos
Aéreos	Eretos: crescem perpendicularmente ao solo.	Tronco: caule das árvores, lenhoso e robusto.	Flamboyant, Ipê, Sibipiruna.
		Haste: caule das ervas, verde, flexível e fino.	Margarida, Copo-de-Leite, Arroz.
		Estipe: caule das palmeiras, cilíndrico e sem meristemas secundários.	Palmeiras.
		Colmo: caule das gramíneas, dividido em "gomos".	Milho, Bambu, Cana-de-açúcar.
	Rastejantes: crescem apoiando-se paralelamente ao solo.	Estolão: rastejante, que se alastra pelo solo.	Morango, Hortelã, Trevinho.
		Sarmentoso: rastejante com um ponto de fixação ao solo.	Abobrinha.
	Trepadores	Volúvel: se enrola ao redor de um suporte	Hera, Chuchu, Primavera.
Subterrâneos	Rizoma: cresce horizontalmente ao solo, podendo emitir ramos aéreos.		Samambaia, Bananeira, Gengibre.
	Tubérculo: ramo de caule que intumesce para armazenar reservas.		Batata-inglesa, Cará, Inhame.
	Bulbo: "sistema caulinar" modificado.		Cebola, Alho, Lírio.
	Xilopódio: caule subterrâneo que armazena água, típico de plantas do cerrado.		Maniçoba.

Aquáticos	Com parênquimas aeríferos que servem para trocas gasosas e flutuação.	Plantas aquáticas, exceto vitória-régia.
-----------	---	--

Fonte: elaborado pelo autor.

Além desses, existem caules modificados como resultado de adaptações a ambientes específicos para permitir a sobrevivência e manutenção de algumas espécies vegetais. É o caso do **rizóforo**, que apresenta estruturas semelhantes a raízes de suporte que constituem um eficiente sistema de sustentação em ambientes alagadiços, como no mangue vermelho. Outra modificação caulinar são os **cladódios**, caules laminares que assumem o aspecto de folhas e realizam fotossíntese, como na carqueja, podendo ainda agir como órgão de reserva de água, como em alguns cactos.



### Exemplificando

Modificações caulinares são ainda exemplificadas por estruturas transformadas para a função de defesa contra a predação, como os **espinhos caulinares** presentes no limoeiro; para suporte e fixação pelo enrolamento em trepadeiras, como as **gavinhas**, presentes no maracujá, e para o alojamento de animais (domácias), como o **caule oco da embaúba**, que é habitado por formigas.

## Morfologia externa da raiz

A raiz é o órgão vegetativo cilíndrico e aclorofilado originado a partir da radícula do embrião (**raiz primária**) localizado na semente, que geralmente cresce em direção ao solo fixando a planta e derivando **raízes secundárias (raízes laterais)** no denominado **sistema axial**. Entretanto, em algumas espécies a raiz primária tem vida curta e o sistema radicular se desenvolve a partir de **raízes adventícias** que se originam do caule, compondo o **sistema fasciculado**.

Figura 1.7 | Sistema axial e sistema fasciculado



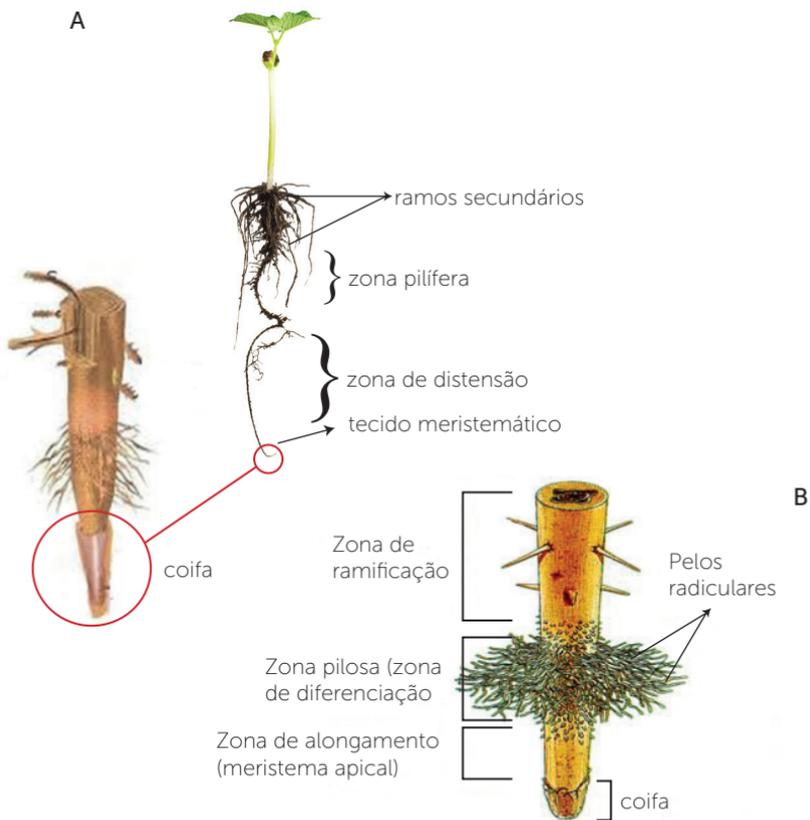
Fonte: <[http://www.istockphoto.com/br/vetor/%C3%ADcone-em-branco-de-%C3%A1rvore-vetorial-redondo-bot%C3%A3o-gm517519530-89526445?st=\\_p\\_primary%20root](http://www.istockphoto.com/br/vetor/%C3%ADcone-em-branco-de-%C3%A1rvore-vetorial-redondo-bot%C3%A3o-gm517519530-89526445?st=_p_primary%20root)> e <<http://www.istockphoto.com/br/vetor/crescendo-%C3%A1rvore-%C3%ADcone-no-bot%C3%A3o-branco-vetorial-redondo-gm542178306-97025543>>. Acesso em: 31 out. 2016.

O contato com o solo permitiu que as raízes se tornassem responsáveis pela absorção de água e sais minerais (**seiva bruta**) a partir desse substrato, além da realização de funções especiais como o armazenamento de reservas nutritivas e aeração. São constituídas por cinco regiões:

- **Coifa:** estrutura resistente na forma de cone que envolve a extremidade da raiz, protegendo o meristema apical e auxiliando sua penetração no solo pela produção de muco contendo enzimas.
- **Tecido meristemático:** região de divisão celular responsável pela multiplicação e diferenciação dos tipos de célula radicular.
- **Zona de distensão:** local em que as células originadas a partir do sistema meristemático se alongam e promovem o crescimento longitudinal da raiz.
- **Zona pilífera:** apresenta pelos radiculares que aumentam significativamente a superfície de absorção da raiz.

▪ **Zona dos ramos secundários:** área relacionada ao brotamento de novas raízes que surgem de regiões internas da raiz principal.

Figura 1.8 | (A) Partes do sistema radicular (B) Destaque da coifa



Fonte: (A) adaptada de <[http://www.istockphoto.com/br/foto/plantas-de-feij%C3%A3o-gm174665302-8801319?st=\\_p\\_root%20cap](http://www.istockphoto.com/br/foto/plantas-de-feij%C3%A3o-gm174665302-8801319?st=_p_root%20cap)>. (B) Evert et al, 2014, cap.24.



**Assimile**

Apesar da aparente semelhança entre caules, como os subterrâneos e raízes, as gemas laterais que permitem o desenvolvimento de ramos e folhas são estruturas exclusivas dos caules, enquanto a coifa e a zona pilífera são particulares das raízes.

## Tipos de raiz

Quadro 1.2 | Tipos de raiz

Hábitat	Tipo	Exemplos
<b>Aéreas:</b> raízes adventícias produzidas pelas partes aéreas da planta.	<b>Suporte:</b> apresentam sistema radicular bem desenvolvido como forma de dar suporte à planta.	Milho.
	<b>Escoras:</b> adaptadas à sustentação pelo aumento da base de fixação ao solo.	Figueira.
	<b>Respiratórias (Pneumatóforos):</b> crescem no sentido contrário ao solo para realizar trocas gasosas em ambientes pantanosos pobres em O <sub>2</sub> .	Em geral plantas típicas de mangues.
	<b>Cintura ou Estragulante:</b> raízes adventícias que envolvem o tronco da planta hospedeira, impedindo seu crescimento em espessura.	Figueira Mata-Pau.
	<b>Sugadoras ou Haustório:</b> fixam estruturas modificadas (haustórios) e parasitam o caule da planta hospedeira para retirada de água e alimento.	Cipó-Chumbo, Erva-de-Passarinho.
	<b>Tabulares:</b> apresentam aspecto de tábuas ou pranchas verticais, dispostas radialmente em torno da base do caule, auxiliando no equilíbrio e na sustentação do tronco, além de aumentarem a superfície de aeração.	Chichá.
	<b>Raízes adesivas:</b> aderem à superfície de objetos e fornecem sustentação para o caule trepador.	Hera.
<b>Subterrâneas:</b> raízes localizadas abaixo do solo.	<b>Tuberosas:</b> armazenam reservas alimentares (grãos de amido) utilizadas durante a floração e a produção de frutos pela planta.	Nabo, Batata-Doce, Mandioca, Cenoura.
<b>Aquáticas:</b> raízes de plantas que flutuam na água.		Aguapé, Vitória-Régia.

Fonte: elaborado pelo autor.



Para consultar as ilustrações dos tipos de caule e raiz, acesse o Atlas Fotográfico de Botânica, disponível em: <<http://www.nucleodeaprendizagem.com.br/botanica2.htm>>. Acesso em: 31 out. 2016.

## **Sem medo de errar**

Agora que você teve a oportunidade de conhecer a morfologia externa das estruturas vegetais do caule e da raiz, incluindo partes, tipos e funções relacionadas, vamos resolver a situação-problema apresentada nesta seção, no “Diálogo aberto”. Interessada em uma reeducação alimentar, Sophia reconheceu diversos alimentos no grupo “raízes e tubérculos”, presente no cardápio elaborado por uma nutricionista. Dentre eles, ela destacou a batata-doce, cenoura e mandioca como representantes de raízes, e a batata-inglesa, rabanete e mandiocinha como tubérculos comestíveis, ambos caracterizados por um acúmulo de reservas sob a forma de amido e açúcares. É importante notar que essas reservas nos vegetais podem ser utilizadas em condições de escassez de fonte de energia, como temperatura, umidade e oferta de sais minerais inadequados.

Já a importância da identificação de tipos de caule e raiz é sua correta identificação e classificação, permitindo, por exemplo, o reconhecimento de estruturas vegetais ricas em nutrientes funcionais (vitaminas, sais minerais) que compõem uma dieta saudável e balanceada.

## **Avançando na prática**

### **Mandacaru quando fulora na seca**

#### **Descrição da situação-problema**

De férias, viajando, a família de Carlinhos e Edu ficaram encantados com o formato exótico de uma vegetação típica do Nordeste denominada de mandacaru. O formato cilíndrico, globoso, anguloso ou achatado e os tamanhos variados intrigaram todos: qual parte da planta corresponde à porção visível do cacto mandacaru? Ainda, qual

é a importância dessa modificação para a sobrevivência da espécie no meio em que habita?

### Resolução da situação-problema

A porção visível do cacto mandacaru refere-se a um tipo de caule modificado, denominado de cladódio, adaptado às necessidades da planta de realização de fotossíntese e armazenamento de água. Dessa forma, esses caules conseguem sobreviver e colonizar ambientes com clima extremamente seco e árido, como o bioma da caatinga, no Nordeste brasileiro, especialmente pela sua capacidade de acumular água nos tecidos e evitar a desidratação de suas folhas, que são modificadas em espinhos.

### Faça valer a pena

**1.** O crescimento e desenvolvimento das plantas estão associados a fatores internos, como seu arcabouço genético, níveis de hormônios e vitaminas; ou externos, como a intensidade de luz, temperatura e disponibilidade de água. Dessa forma, em condições adequadas desses fatores, há o aumento de massa e volume vegetal por meio de sucessivas multiplicações celulares no processo denominado mitose.

Como são denominadas as estruturas meristemáticas responsáveis pelo crescimento ativo dos vegetais?

a) Coifas.

b) Ramos secundários.

c) Entrenós.

d) Nós.

e) Gemas.

**2.** Além das funções típicas de absorção de água e sais minerais, fixação ao solo e eventualmente reserva de nutrientes e aeração, as raízes possuem propriedades medicinais que são uma alternativa ou complemento aos medicamentos sintéticos no tratamento de algumas doenças. Realmente, um estudo recente realizado no Departamento de Química e Bioquímica da Universidade de Windsor, Canadá, apresentou dados promissores sobre a raiz do dente-de-leão no combate a células cancerígenas.

A raiz é um órgão vegetativo cilíndrico e tipicamente \_\_\_\_\_ que pode auxiliar a classificação das famílias botânicas de acordo com sua organização, visto que a presença de uma raiz central que deriva raízes secundárias compõe o sistema \_\_\_\_\_, enquanto raízes uniformes (adventícias) originadas do caule que não permitem a diferenciação de uma raiz principal são relativas ao sistema \_\_\_\_\_.

Preencha corretamente as lacunas e indique a sequência correta:

- a) Clorofilado, caulinar, radicular.
- b) Aclorofilado, fasciculado, axial.
- c) Aclorofilado, axial, fasciculado.
- d) Clorofilado, fasciculado, axial.
- e) Clorofilado, axial, fasciculado.

**3.** Alguns caules que reservam substâncias nutritivas são fonte de alimento a seres humanos e animais, sendo denominados de caules comestíveis. Apesar do inicial estranhamento, esse é o caso de diversos alimentos que compõem a nossa dieta, como o palmito, aspargo, alho, broto-de-bambu e cana-de-açúcar.

Relacione cada alimento originado do caule com a sua classificação:

- |                    |               |
|--------------------|---------------|
| 1. Gengibre.       | a. Bulbo.     |
| 2. Batata-Inglesa. | b. Rizoma.    |
| 3. Cebola.         | c. Tubérculo. |
- a) 1.a., 2.b., 3.c.
  - b) 1.b., 2.a., 3.c.
  - c) 1.c., 2.a., 3.b.
  - d) 1.b., 2.c., 3.a.
  - e) 1.c., 2.b., 3.a.

# Seção 1.3

## Morfologia externa de folha, flor e fruto

### Diálogo aberto

Caro aluno, vamos apresentar a partir de agora a forma e estrutura externa de folhas, flores e frutos, incluindo seus principais tipos e representantes. Para isso, vamos retomar a situação baseada na realidade destacada no "Convite ao estudo" sobre o ramo de macieira encontrado e levado ao herbário por Sophia, com a identificação do fruto da maçã como sendo os pontinhos pretos dentro da maçã, e não a parte carnosa comestível.

Certa manhã Sophia acordou com muita vontade de comer caju. Sua mãe, então, para satisfazer seu desejo, comprou meia dúzia de cajus. Entretanto, antes de entregá-los, fez a seguinte pergunta: qual parte do caju você gostaria de comer? Sophia respondeu prontamente: "Ué, a fruta". Sua mãe então retirou a castanha do caju e entregou à filha, que ficou com cara de questionamento. Você saberia explicar por que, ao pedir pela fruta de caju, Sophia recebeu sua castanha? Nesse caso, qual seria a porção responsável pela fruta do caju?

Para que você organize e assimile conceitos a fim de chegar a uma conclusão, apresentaremos tópicos ligados à morfologia externa das estruturas vegetais da folha, flor e fruto, incluindo partes, tipos e funções relacionadas.

### Não pode faltar

Na seção anterior, pudemos compreender a estrutura, tipos e funções da porção vegetal localizada sob o solo – a raiz –, assim como de um dos componentes da porção aérea – o caule. A partir de agora, continuaremos o estudo das partes aéreas da planta referentes às folhas, flores e aos frutos.

## Morfologia externa e classificação da folha

As folhas são órgãos vegetativos originados das gemas caulinares com formato geralmente laminar que aumenta sua superfície de captação luminosa, adaptação evolutiva que garante a realização de suas principais funções de fotossíntese, trocas gasosas e transpiração vegetal. Esses apêndices caulinares também apresentam, comumente, coloração verde pela presença de pigmento fotossintetizante (clorofila), simetria bilateral e crescimento limitado. Além das funções previamente mencionadas, modificações foliares são relacionadas a outros papéis, como as **gavinhas**, transformadas para prender as plantas trepadeiras a um suporte, ou as **brácteas** coloridas, alteradas para atração de polinizadores, ou modificações da folha de plantas carnívoras, que permitem a apreensão e digestão de pequenos animais, especialmente insetos, para complemento nutricional.

Uma folha completa compreende as seguintes estruturas:

- **Limbo:** área de expansão laminar da folha com nervuras (ramificações a partir do pecíolo que correspondem aos vasos condutores de seiva).
- **Nervura central:** espessamento foliar de plantas vasculares constituído por vasos condutores de seiva que garantem a sustentação do restante da folha, funcionando como um esqueleto. Dessa nervura central, que divide a folha longitudinalmente, derivam nervuras mais finas.
- **Pecíolo:** haste de sustentação que interliga o limbo ao ponto de fixação no ramo caulinar.
- **Bainhas:** invaginações foliares que envolvem o caule e são suporte às folhas, podendo estar presentes ou não na base de uma folha comum.
- **Estípulas:** pequenas projeções filamentosas associadas ao ponto de inserção do pecíolo, também podendo estar presentes ou não na base de uma folha comum.

Figura 1.9 | Partes da folha



Fonte: adaptada de: <[http://www.istockphoto.com/br/foto/folha-de-amazon-gm174482856-25858589?st=\\_p\\_petiole%20](http://www.istockphoto.com/br/foto/folha-de-amazon-gm174482856-25858589?st=_p_petiole%20)>. Acesso em: 14 nov. 2016.

Cabe destacar que todas essas estruturas foliares são típicas de plantas **dicotiledôneas** – apresentam dois cotilédones –, enquanto folhas com bainha são mais comuns em **monocotiledôneas** – apresentam apenas um cotilédono. Ainda, aquelas que não apresentam pecíolo são denominadas sésseis, enquanto as que possuem unicamente um pecíolo achatado em substituição ao limbo ausente ou reduzido são denominadas de **filódios**.



## Vocabulário

Cotilédones são folhas embrionárias que irrompem durante a germinação de sementes de angiospermas e gimnospermas com a função de uma estrutura de reserva de nutrientes (ou funcionam como órgão de transferência de reservas) essenciais ao desenvolvimento da plântula enquanto esta ainda não é capaz de ter autonomia nutricional pela realização de fotossíntese.

Figura 1.10 | Cotilédones no desenvolvimento vegetal



Fonte: adaptada de: <<http://www.istockphoto.com/br/foto/crescendo-de-%C3%A1rvore-gm487160215-38736694>>. Acesso em: 14 nov. 2016.

A identificação das diferentes famílias botânicas é auxiliada pela classificação das folhas em diversos critérios, como sua duração, hábitat, forma básica, ápice, base e margem do limbo, assim como morfologia e disposição das estípulas e pecíolos. Dessa forma, as folhas podem ser categorizadas quanto à forma do limbo, superfície foliar, coloração e consistência. O Quadro 1.3 indica outros critérios de classificação das folhas.

Quadro 1.3| Classificação da Folha

Nervação foliar		Divisão da lâmina foliar			Disposição foliar no ramo			
Paralelinérveas	Reticulinérveas	Simplex	Compostas		Recomposta	Alternata	Opostata	Verticilada
Nervuras paralelas como a maioria das monocotiledôneas	Nervura principal contínua ao pecíolo ramificada e nervuras secundárias típicas de dicotiledôneas.	Apresentam apenas um limbo inteiro.	Limbo formado por folíolos ligados a uma nervura principal denominada raque.		Divisão da folha em folíolos e destes em folíolos sustentados pela raque secundária.	Cada folha sai de um nó em regiões ligeiramente deslocadas entre si.	Duas folhas por nó, inseridas em regiões opostas.	Mais de duas folhas estão inseridas em um mesmo nó.
			Palmeadas/ Digitadas: folíolo só na porção final do pecíolo.	Penadas: folíolos em toda raque. Se em nº ímpar: imparipinadas. Se em par: paripinadas.				

Fonte: elaborado pelo autor.



### Faça você mesmo

Construa uma tabela com os diferentes parâmetros de classificação dos variados tipos de folha, seus principais representantes e o desenho esquemático a partir do acesso ao recurso didático sobre anatomia vegetal da folha. Disponível em: <<http://www.anatomiavegetal.lib.ufu.br/pdf-recursos-didaticos/morfvegetalorgaFOLHA.pdf>>. Acesso em: 30 nov. 2016.

## Morfologia externa da flor

As flores são estruturas originadas de gemas floríferas ou de folhas modificadas (bráctea fértil) que se apresentam de forma externa e notável em angiospermas e de forma mais rudimentar ou ausente em gimnospermas, constituindo em conjunto o aparelho sexual dessas plantas. Assim, as flores são responsáveis pela reprodução sexuada que origina as sementes dentro do fruto, consequentemente, possibilitando a perpetuação dos vegetais superiores. Além disso, as flores também apresentam importância ornamental e medicinal pela extração de óleos vegetais com propriedades terapêuticas.

Como ilustrado na **Figura 1.3**, da Seção 1 desta unidade, uma flor completa é constituída por:

- **Elementos acessórios:** não estão diretamente relacionados à reprodução.
- **Pedúnculo floral:** eixo de sustentação da flor.
- **Brácteas:** folhas modificadas, localizadas próximo aos verticilos florais – peças florais inseridas em um dos nós do ramo, agora reduzido a um receptáculo.
- **Receptáculo floral:** porção dilatada do extremo do pedúnculo, onde se inserem os **verticilos florais**.
- **Cálice (1º verticilo floral):** conjunto de **sépalas** – estruturas mais externas da flor geralmente verdes com o papel de proteção do botão floral.
- **Corola (2º verticilo floral):** conjunto de **pétalas** – estruturas geralmente coloridas e delicadas, localizadas internamente às sépalas.
- **Elementos essenciais:** diretamente relacionados à reprodução.
- **Androceu:** verticilo floral fértil masculino formado pelo conjunto de **estames** constituídos por anteras – produzem os grãos de pólen; **conectivos** – as unem; e **filetes** – as sustentam.

- Gineceu:** verticilo floral fértil feminino formado pelo conjunto de **pistilos (ou carpelos)** constituídos por **estigma** – superfície superior do pistilo coberta de papilas secretoras de uma substância viscosa para facilitar a fixação do grão de pólen e a germinação; **estilete** – prolongamento da parte superior do ovário em forma de haste, abrigando a projeção do tubo polínico do estigma até a cavidade ovular; e **ovário** – porção dilatada da parte inferior do pistilo que possui cavidades (lóculos) que alojam os óvulos e que é transformada em fruto após a fecundação e seu amadurecimento.

Assim como nas folhas, a identificação das diferentes famílias botânicas é amparada pela classificação das flores segundo diferentes parâmetros. Podemos citar os planos de simetria no arranjo das peças florais, fusão das peças do cálice ou corola, número e disposição de estames em relação à corola, abertura da antera para liberação do grão de pólen, número de carpelos e posição do ovário, tipos de óvulo, entre outros. O Quadro 1.4 indica alguns critérios de classificação das flores.

Quadro 1.4 | Classificação da flor

Número de Peças do Perianto (Cálice + Corola)			Número de Sépalas ou Pétalas			Sexo		
Aclamí-dea	Mono-clamí-dea	Diclamí-dea	Trímera	Tetrá-mera	Pentá-mera	Monoica Unissexual		Dioica
						Mascu-lina	Femini-na	
N ã o a p r e - s e n t a m cálice ou corola.	Ausência de cálice ou corola.	A p r e - s e n t a m cálice e corola.	Em nº de 3 ou múltiplo de 3, com o n a maioria das monocotiledóneas.	Em nº de 4 ou múltiplo de 4, com um às dicotiledóneas.	Em nº de 5 ou múltiplo de 5, com um às dicotiledóneas.	Flores apresentam apenas androceu.	Flores apresentam apenas gineceu.	Flores apresentam androceu e gineceu.

Fonte: elaborado pelo autor.



## Pesquise mais

Para saber mais sobre as distintas categorias em que os frutos podem ser classificados, acesse o recurso didático sobre anatomia vegetal do fruto. Disponível em: <<http://www.anatomiavegetal.ib.ufu.br/pdf-recursos-didaticos/morfvegetalorgaFRUTO.pdf>>. Acesso em: 30 nov. 2016.

## Inflorescências

Algumas espécies se apresentam organizadas por inflorescências, conjuntos formados por flores reunidas em um mesmo eixo floral principal denominado ráquis e localizadas nas axilas das folhas (axilares) ou na gema apical da ráquis (terminais).



## Exemplificando

Inflorescências do tipo cacho que apresentam flores em pedicelos saindo ao longo da ráquis sem atingir o mesmo nível de desenvolvimento, são comuns à banana e ao coqueiro, enquanto as do tipo **espiga**, que apresentam flores sésseis situadas em várias alturas do eixo floral principal são representadas pelo milho e trigo. Ainda, inflorescências envolvidas por uma grande bráctea (espata) comuns ao antúrio e comigo-ninguém-pode são classificadas em **espádice**; as situadas em pedicelos, que saem do mesmo ponto de um eixo floral principal e atingem a mesma altura como na salsa, erva-doce e cenoura em **umbela**; e as que imitam uma flor por estarem inseridas em um pedúnculo floral modificado, como o girassol, margarida ou crisântemo em **capítulo** ou **pseudanto**.

## Morfologia externa e classificação do fruto

A grande diversidade de organização das flores de Angiospermas permitiu igualmente uma ampla variação na morfologia dos frutos – órgão originado a partir do desenvolvimento do ovário que abriga a semente que corresponde ao óvulo fecundado –.

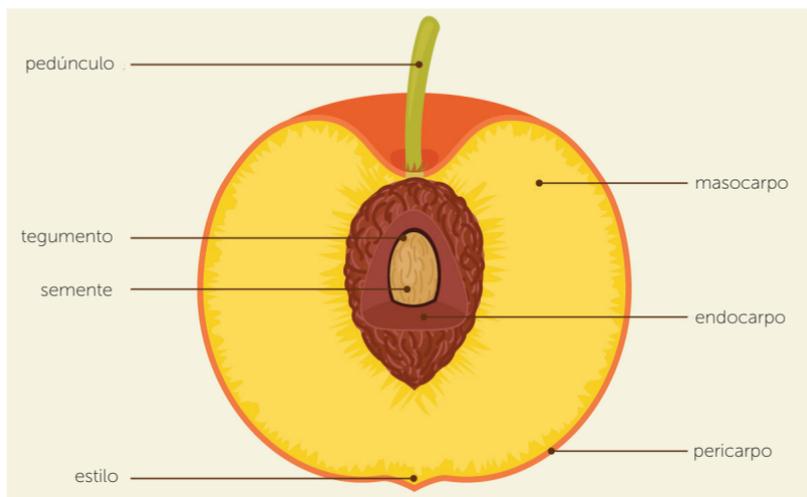


Os frutos surgem do desenvolvimento do ovário após a fecundação dos óvulos que serão posteriormente amadurecidos em sementes. Estas transformações são usualmente induzidas por hormônios liberados pelos embriões em desenvolvimento, como veremos na Seção 1 da Unidade 3.

Dessa forma, o fruto atua como um envoltório protetor da semente, garantindo a propagação e perpetuação das espécies vegetais especialmente ao servir de alimento a animais que podem dispersar suas sementes, como discutido na Seção 1 desta unidade. Para tanto, os frutos de muitas espécies adquirem cores, aromas e texturas (suculência) atrativas aos animais que, ao se alimentarem dele, espalham suas sementes a certa distância da planta produtora. Já os frutos secos possuem frequentemente uma abertura explosiva que lançam as sementes a distâncias igualmente grandes.

Um fruto completo é constituído pelo **pericarpo**, originado pelo desenvolvimento da parede do ovário, e **semente** pelo óvulo fecundado. O pericarpo é constituído pelo **epicarpo**; **mesocarpo** – parte geralmente comestível por ser a porção mais desenvolvida de um fruto carnoso ao sintetizar e acumular substâncias nutritivas como açúcares; e **endocarpo** – revestimento da cavidade do fruto dificilmente distinto do mesocarpo. Já a semente possui um envoltório (**tegumento**); um **embrião** composto de um eixo formado pelas estruturas rudimentares do caule e raiz – **caulículo** e **radícula**, respectivamente; e de material de reserva alimentar (**endosperma**). Os cotilédones inserem-se no caulículo embrionário. Sob condições ambientais favoráveis como umidade adequada, a semente é hidratada e inicia sua germinação.

Figura 1.11 | Partes do Fruto



Fonte: adaptado de: <[http://www.istockphoto.com/br/vetor/peach-parts-names-vector-gm608005650-104309499?st=\\_p\\_exocarpo](http://www.istockphoto.com/br/vetor/peach-parts-names-vector-gm608005650-104309499?st=_p_exocarpo)>. Acesso em: 14 nov. 2016.

Em concordância com a importância das características das estruturas vegetais, como folha e flor, para identificação das diferentes espécies da nossa flora, os frutos podem ser classificados de acordo com diversos critérios. Segue o quadro indicando alguns deles:

Quadro 1.5 | Classificação do Fruto

Composição			Tipo		Abertura	
Simplex	Agregados	Múltiplos	Carnoso	Seco	Deiscentes	Indeiscentes
Derivados de 1 ovário de 1 flor. Carpelos unidos entre si. Ex.: maionária dos frutos, como limão, mamão e goiaba.	Derivam de ovários amadurecidos de 1 flor. Carpelos separados entre si. Ex.: magnólia.	Derivam de ovários amadurecidos de flores de uma inflorescência. Ex.: amora.	Fruto suculento.	Frutos pobres em água, sem substâncias nutritivas. Ex.: aveia, girassol, aveia, trigo.	Abrem-se na maturação para liberação das sementes. Ex.: castanhas e leguminosas (feijão, soja, ervilha).	Não se abrem espontaneamente para liberação das sementes. Ex.: laranja, melão.
			Baga: ovário com 1 ou mais carpelos com sementes livres. Ex.: tomate, uva, abóbora.			
			Drupa: ovário unicarpelar com semente aderida ao endocarpo duro (caroço). Ex.: pêssego, ameixa, azeitona.			

Fonte: elaborado pelo autor.



## Pesquise mais

Para saber mais sobre as distintas categorias em que os frutos podem ser classificados, acesse o recurso didático sobre anatomia vegetal do fruto. Disponível em: <<http://www.anatomiavegetal.ib.ufu.br/pdf-recursos-didaticos/morfvegetalorgaFRUTO.pdf>>. Acesso em: 30 nov. 2016.



## Refleta

Existe certa confusão entre os termos fruto, fruta e legume. Como dito anteriormente, o fruto é o órgão originado a partir do desenvolvimento do ovário, enquanto fruta é o nome popular dado a frutos e pseudofrutos de sabor adocicado. Já os legumes são frutos carnosos com duas aberturas longitudinais característicos das leguminosas como: feijão, soja, ervilha, fava, amendoim, entre outras. Cabe destacar que popularmente os legumes são entendidos como frutos não adocicados, causando conflitos, como a classificação do tomate como fruta ou legume.

## Pseudofrutos, infrutescências e frutos partenocárpicos

Pseudofrutos ou falsos frutos são estruturas vegetais provenientes de outras partes da planta diferente do ovário que sofreram uma hipertrofia, assemelhando-se aos frutos verdadeiros pela suculência de sua parte comestível.



## Exemplificando

Quando comemos o caju estamos na verdade ingerindo o pedúnculo floral, enquanto no caso da maçã e da pera é o receptáculo floral que se tornou carnoso. Estas frutas são classificadas como **pseudofrutos simples** por serem provenientes de uma única flor. Já a porção suculenta do morango e da framboesa é proveniente do receptáculo floral de uma flor com múltiplos ovários, categorizados como **pseudofrutos compostos**. Finalmente, o figo, amora e abacaxi são originados do desenvolvimento de uma inflorescência, sendo denominados **de pseudofrutos múltiplos** ou **infrutescências**.

Frutos partenocárpicos são formados a partir do ovário não fecundado, não possuindo, portanto, sementes por não apresentarem óvulos desenvolvidos. É o caso da banana, limão taiti e laranja baiana. A partenocarpia pode ser autônoma ou induzida, estimulada ou não por hormônios vegetais, como a giberelinina e auxina, durante a época da floração, como estudaremos mais profundamente na Seção 1 da Unidade 3.

## Sem medo de errar

Agora que você teve a oportunidade de conhecer a morfologia externa das estruturas vegetais da folha, flor e fruto, incluindo partes, tipos e funções relacionadas, vamos resolver a situação-problema apresentada nesta seção, no "Diálogo aberto". Ao ser questionada por sua mãe sobre qual parte do caju Sophia gostaria de comer, ela respondeu: "A fruta", e recebeu sua castanha. De fato, o caju é um pseudofruto simples em que a parte comestível é originada da hipertrofia do pedúnculo floral, e a porção derivada do ovário, o fruto popularmente nomeado como fruta, corresponde à castanha.

## Avançando na prática

### Pamonha, o puro creme do milho verde!

#### Descrição da situação-problema

Ao colher milho com seus primos para que sua tia Magali fizesse uma pamonha, Enrico percebeu que a folha desse cereal não apresentava o "cabinho", como as de outras plantas que conhecia – roseiras, laranjeiras e tomateiros. Ficou pensando então que a folha do milho era "defeituosa" ou que o tal "cabinho" estivesse escondido de forma que não conseguisse ser visualizado.

De acordo com a descrição acima, as hipóteses de Enrico estão corretas? Caso não estejam, como a estrutura da folha do milho poderia ser explicada?

#### Resolução da situação-problema

O milho, monocotiledônea pertencente à família *Poacea*, antiga

família das gramíneas, apresenta uma folha séssil, ou seja, que não apresenta pecíolo (o “cabinho” entendido por Enrico). Dessa forma, a estrutura foliar desse cereal se insere diretamente e envolve o caule, sendo denominada de invaginante. Cabe destacar ainda que o milho é organizado em inflorescências do tipo espiga, que igualmente apresentam flores séssis situadas em várias alturas do eixo floral principal.

## Faça valer a pena

**1.** As flores são estruturas originadas de gemas floríferas ou de folhas modificadas (bráctea fértil) que apresentam grande importância na perpetuação dos vegetais, além de possuírem uma relevância ornamental e medicinal pela extração de óleos vegetais com propriedades terapêuticas. Em relação às flores, podemos afirmar que:

I. São estruturas responsáveis pela reprodução sexuada de plantas vasculares, especialmente as Angiospermas.

II. Apresentam elementos acessórios como o cálice, conjunto de sépalas, e a corola, conjunto de pétalas.

III. Podem ser classificadas como díocicas quando apresentam androceu e gineceu na mesma flor, ou monoicas quando apresentam estes elementos essenciais em flores distintas.

Escolha uma:

- a. I e II.
- b. I, II e III.
- c. II e III.
- d. Somente I.
- e. I e III.

**2.** A variedade de formatos, cores e diagramações das flores está intimamente relacionada com a perpetuação dos vegetais superiores, além de representar uma importância ornamental e medicinal pela extração de óleos vegetais com propriedades terapêuticas. É o caso do óleo de primula extraído das flores de *Oenothera biennis*, utilizado como coadjuvante no tratamento de hipertensão, artrite e sintomas da tensão pré-menstrual e/ou menopausa.

As flores são estruturas presentes \_\_\_\_\_ relacionadas à \_\_\_\_\_, especialmente pelos verticilos florais férteis masculino, o \_\_\_\_\_, e feminino, o \_\_\_\_\_.

Preencha corretamente as lacunas e indique a sequência correta:

- a) Exclusivamente em angiospermas, proteção, androceu, gineceu.
- b) Exclusivamente em gimnospermas, reprodução, androceu, gineceu.
- c) Em angiospermas e de forma rudimentar ou ausente em gimnospermas, proteção, gineceu, androceu.
- d) Em angiospermas e de forma rudimentar ou ausente em gimnospermas, reprodução, gineceu, androceu.
- e) Em angiospermas e de forma rudimentar ou ausente em gimnospermas, reprodução, androceu, gineceu.

**3.** As frutas, nome popular dado à parte comestível de estruturas vegetais específicas, são alimentos que oferecem grande quantidade de água, fibras, proteínas, sais minerais e açúcares, compondo por muitas vezes o cardápio de uma dieta saudável e nutricionalmente funcional. Frutas vermelhas ou alaranjadas apresentam alta concentração de caroteno, substância com propriedades anticancerígenas, enquanto as cítricas são ricas em vitamina C e flavonoides que fortalecem o sistema imunológico.

Relacione cada classificação dos frutos com sua definição:

- |                         |  |
|-------------------------|--|
| 1. Fruto                | a. Estrutura derivada de ovário que não possui semente.            |
| 2. Pseudofruto          | b. Órgão derivado do ovário que possui semente.                    |
| 3. Fruto partenocárpico | c. Estrutura derivada de outras partes da planta que não o ovário. |

a) 1.a., 2.b., 3.c.

b) 1.b., 2.a., 3.c.

c) 1.c., 2.a., 3.b.

d) 1.b., 2.c., 3.a.

e) 1.c., 2.b., 3.a.

# Referências

- APPEZZATO, B. G.; CARMELLO, S. M. G. **Anatomia vegetal**. 2. ed. Viçosa: UFV, 2006.
- BARROSO, G. M. MORIM, M. P.; PEIXOTO, A. L.; ICHASO, C. L. F. **Frutos e sementes**. Morfologia aplicada à sistemática de dicotiledôneas. Viçosa: UFV, 1999.
- CUTTER, E. G. **Anatomia vegetal**. Parte 1 - Células e tecidos. 2. ed. São Paulo: Roca, 2007.
- \_\_\_\_\_. **Anatomia vegetal: órgãos experimentos e interpretação**. São Paulo: Roca, 2002.
- FERRI, M. G. **Botânica: morfologia interna das plantas (anatomia)**. 9. ed. São Paulo: Nobel, 2005.
- FIORAVANTI, C. **A maior diversidade de plantas no mundo**. 2016. Disponível em: <<http://revistapesquisa.fapesp.br/2016/03/21/a-maior-diversidade-de-plantas-do-mundo/>>. Acesso em: 19 out. 2016.
- GONÇALVES, G. E.; LORENZI, H. **Morfologia vegetal**. Organografia e dicionário ilustrado de Morfologia de Plantas Vasculares. 2. ed. Nova Odessa: Instituto Plantarum, 2008.
- PROJETO POLINIZADORES DO BRASIL. Disponível em: <<http://www.polinizadoresbrasil.org.br/index.php/pt/>>. Acesso em: 20 out. 2016.
- RAVEN, P. H.; EVERT, R. F.; EICHHORN, S. E. **Biologia vegetal**. 7. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2007.
- SOUZA, L. A. **Morfologia e anatomia vegetal; célula, tecidos, órgãos e plântula**. Ponta Grossa: Editora UEPG, 2003.
- VIDAL, W. N.; VIDAL, M. R. R. **Botânica - organografia: quadros sinóticos ilustrados de fanerógamos**. 4. ed. Viçosa: UFV, 2007.

# Tecidos vegetais e crescimento

## Convite ao estudo

Caro aluno, dada a importância que a coleta de informações fundamentais à classificação dos vegetais tem para uma maior preservação da flora, como destacado na unidade anterior, esta unidade propõe-se à identificação da célula e tecidos vegetais, incluindo sua morfogênese e diferenciação nos sistemas dérmico, fundamental e vascular, que estão relacionados com processos e atividades exercidas pelas plantas. Uma vez que a diferenciação celular e conseqüente desenvolvimento corporal dependem de um acréscimo das dimensões (volume, altura, peso) e funções em geral de um organismo, também serão apresentados os processos de crescimento vegetal primário e secundário. Assim, esperamos que ao final desta unidade você consiga compreender a organização da célula e tecido vegetal e os diferentes tipos de crescimento – primário e secundário – de forma a possibilitar a aplicação desse conhecimento em situações próximas da sua realidade profissional.

Para auxiliar a construção desse conhecimento, será apresentada uma situação hipotética – contexto de aprendizagem – que visa aproximar os conteúdos teóricos e a prática. Leia com atenção!

Em uma aula de Morfofisiologia Vegetal, os alunos do 3º ano de Biologia foram levados ao laboratório de microscopia para analisarem algumas lâminas a fresco preparadas alguns minutos antes pela equipe técnica. O professor João então orientou que a turma se dividisse em duplas, observasse as lâminas no microscópio óptico e registrasse, por meio de um desenho, o que havia visto.

Em seguida, João perguntou aos alunos o que observaram e houve unanimidade na identificação de um tecido composto por um conjunto com células. Entretanto, ao questionar se essas células tinham origem animal ou vegetal, houve uma discordância que foi rapidamente desfeita pelos argumentos de Mariana na defesa da classificação das células como sendo de plantas.

A partir dessa situação, você seria capaz de destacar a importância da identificação adequada de um material biológico como pertencente a uma planta ou animal? Ainda, você conseguiria imaginar quais foram os argumentos de Mariana que comprovaram a origem das células como componentes de um tecido vegetal?

# Seção 2.1

## Citologia e histologia vegetal

### Diálogo aberto

Caríssimo aluno, vamos estudar a partir de agora características gerais das células e tecidos vegetais, assim como os meristemas envolvidos no crescimento da planta que estão relacionados aos fenômenos de divisão, diferenciação e morfogênese celular. Para tanto, vamos relembrar o contexto de aprendizagem destacado no “Convite ao estudo” sobre a identificação que a Mariana fez de células observadas em lâminas a fresco como pertencentes a um tecido de origem vegetal, durante uma aula de microscopia de Morfofisiologia Vegetal.

Ricardo, colega de sala de Mariana, estava em casa quando notou que sua mãe, Rosa, estava cultivando cebolinhas em vidros com água. Intrigado, ele perguntou para Rosa quais eram os cuidados para que esses vegetais se mantivessem vivos e ficou impressionado ao saber que ela apenas comprava um maço de cebolinha fresca, cortava as folhas para consumo deixando aproximadamente 5 cm referentes ao talo e à raiz embebidos no vidro com água e então a hortaliça crescia novamente. Você conseguiria imaginar de que forma vegetais como as cebolinhas são capazes de crescer e se desenvolver? Ainda, qual seria a importância da correta identificação de células vegetais e dos fenômenos de crescimento, desenvolvimento, diferenciação e morfogênese para a origem dos diversos tipos de tecido vegetal?

Para que você organize e assimile conceitos que permitirão com que você chegue a uma conclusão, apresentaremos tópicos relacionados às características gerais das células e tecidos vegetais, incluindo os tecidos meristemáticos primários e secundários, responsáveis pelo crescimento ativo da planta. O desenvolvimento e especialização celular relacionados ao desenvolvimento vegetal também serão abordados por meio da exposição dos fenômenos de diferenciação celular e morfogênese.

## Não pode faltar

A capacidade de nutrição, crescimento, reprodução e adaptação são algumas das características que permitem a classificação de diferentes organismos em seres vivos. Dessa forma, os vegetais compartilham desses atributos, sendo igualmente constituídos por unidades estruturais e funcionais que compõem os organismos vivos, denominadas células. Entretanto, como destacado anteriormente, as plantas apresentam aspectos singulares que permitem sua distinção dos demais indivíduos que habitam nosso planeta.

### Célula vegetal

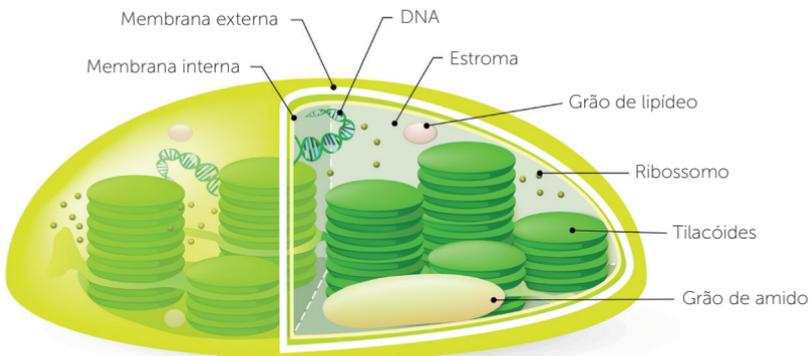
A célula vegetal apresenta semelhança com a célula animal, como a organização do núcleo pelo envoltório nuclear típico de organismos eucariontes e a presença de membrana plasmática, citoplasma e organelas citoplasmáticas (retículo endoplasmático, ribossomos, lisossomos, complexo de Golgi e mitocôndrias). No entanto, os vegetais possuem estruturas especializadas que os diferem dos demais seres vivos – **os plastos**, que em conjunto com os elementos celulares supracitados compõem os **componentes protoplasmáticos**. De acordo com sua cor e função, os plastos podem ser classificados em:

- **Leucoplastos:** quando são incolores e responsáveis pelo armazenamento de substâncias como proteínas, amidos e lipídeos.
- **Cromoplastos:** coloridos e estruturalmente irregulares contendo pigmentos como os carotenoides, relacionados à coloração da cenoura e xantofilas que dão coloração para flores e frutos;
- **Cloroplastos:** possuem um pigmento verde fotossintetizante denominado **clorofila**, associado à conversão de matéria inorgânica em orgânica durante a fotossíntese, sendo encontrados em células expostas à luz. Os cloroplastos têm formato discoide e dupla membrana que sofre invaginações e forma sacos, os **tilacoides**, que, quando dispostos uns sobre os outros, originam um *granum*. A matriz interna semifluida chamada de **estroma** contém enzimas, carboidratos, lipídeos, água, minerais, material genético e ribossomos.



Assim como as mitocôndrias, os cloroplastos possuem ribossomos e seu próprio genoma, sendo que a capacidade de autoduplicação de seu DNA confere um aspecto de relativa independência das estruturas em relação ao resto da célula, incluindo o núcleo. Essa habilidade fundamentou a Teoria Endossimbiótica, postulada por Lynn Margulis, em 1981, de que mitocôndrias e cloroplastos seriam organismos procariontes de vida livre que foram englobados (por meio da endocitose) por células maiores aeróbias ou fotossintetizantes, respectivamente. Como resultado, foi estabelecida uma relação simbiótica em que essas estruturas forneciam energia à célula hospedeira, que em troca as protegeria de ameaças do meio externo.

Figura 2.1 | Cloroplasto



Fonte: adaptada de <<http://www.istockphoto.com/br/vetor/cloroplasto-estrutura-gm477798956-67023063>> e <[http://www.istockphoto.com/br/vetor/cloroplasto-gm491949822-76044261?st=\\_p\\_cloroplasto](http://www.istockphoto.com/br/vetor/cloroplasto-gm491949822-76044261?st=_p_cloroplasto)>. Acesso em: 13 dez. 2016.

Outra peculiaridade dos vegetais é possuírem externamente à membrana plasmática uma estrutura relativamente rígida pela deposição de substâncias variadas (cutina, suberina, cera e lignina) e compostas especialmente por celulose – a **parede celular**. Ela demarca o tamanho da célula e oferece resistência à ruptura ou desidratação por trocas hídricas, além de proteção contra agentes patogênicos. Da mesma forma, os vacúolos são elementos vegetais delimitados por uma membrana (tonoplasto) que contém substâncias de reserva ou

resíduos do metabolismo celular – **substâncias ergásticas** (amidos, proteínas, lipídeos e taninos). Dentre diversos papéis, os vacúolos atuam no armazenamento de substâncias e na regulação osmótica. Em conjunto com a parede celular e as substâncias ergásticas, os vacúolos formam os **componentes não protoplasmáticos**.

Figura 2.2 | Célula vegetal



Fonte: adaptada de: <<http://www.istockphoto.com/br/vetor/c%C3%A9lula-vegetal-anatomia-gm509785951-46400080>>. Acesso em: 13 dez. 2016.



## Assimile

Apesar das semelhanças de constituição por núcleo organizado (eucarionte), citoplasma, membrana celular e organelas como retículo endoplasmático, ribossomo, lisossomos, complexo de Golgi e mitocôndrias, a célula vegetal é distinta das demais pela presença de uma parede celular composta especialmente por celulose e de estruturas especializadas referentes a grandes vacúolos e plastos, como o cloroplasto. Ainda, as plantas apresentam **glioxissomos**, peroxissomos responsáveis pela conversão de lipídeos em glicídeos ou carboidratos, que estão intimamente relacionados ao fenômeno de germinação das sementes.

## Tecido vegetal – meristemas

Como discutido na Seção 1 da unidade anterior, o zigoto, originado pela fecundação de um dos núcleos espermáticos do grão de pólen com a oosfera presente no óvulo, também é composto por células vegetais que sofrerão divisões mitóticas para formar o embrião.

Inicialmente, essas células são **totipotentes** por serem indiferenciadas e possuírem a aptidão de multiplicação e diferenciação em toda a diversidade de tecidos que formam um vegetal.

Porém, cabe destacar que, apesar de um metabolismo mais intenso no início do desenvolvimento, as plantas ainda apresentam tecidos originados de células embrionárias, capazes de sucessivas divisões e diferenciação para dar continuidade ao crescimento e desenvolvimento vegetal ao atingir a fase adulta. Esses tecidos, denominados de **tecidos meristemáticos**, são formados por células pequenas com parede bem delgada, núcleo centralizado e vacúolos pequenos ou ausentes espalhados pelo citoplasma. Assim, durante a fase adulta, uma planta ainda manifesta indícios de meristema, classificados como primário e secundário.



### Assimile

Células embrionárias que compõem tecidos meristemáticos estão relacionadas ao crescimento e desenvolvimento vegetal pela sua capacidade de multiplicação e diferenciação, originando os diversos tecidos permanentes da planta cujas células não mais se dividem.

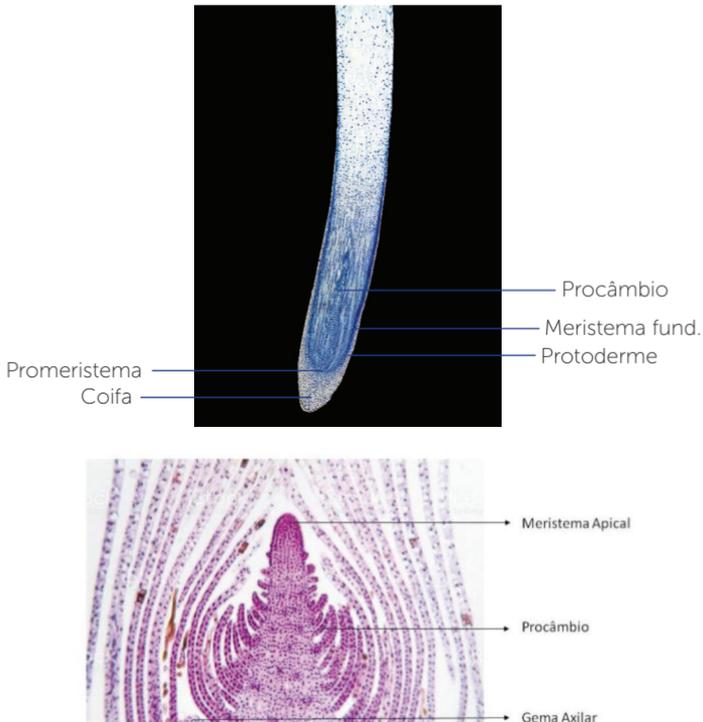
## Meristemas apicais e primários

Células meristemáticas podem estar localizadas na extremidade da raiz, do caule e de todas as suas ramificações, compondo os **meristemas apicais**; ou restritos a entrenós caulinares de tecidos maduros das variadas espécies de gramíneas ou bainhas foliares de monocotiledôneas, como **meristemas intercalares**. Por serem originados a partir das primeiras células embrionárias presentes nas sementes das plantas, são denominados de **meristemas primários**, sendo responsáveis pela formação do corpo primário ou estrutura primária da planta a partir do seu crescimento em comprimento (longitudinal). São formados por células iguais, com parede celular delgada, citoplasma denso, núcleo grande e múltiplos vacúolos e podem ser distintos em **meristemas vegetativos**, quando resultam em tecidos e órgãos vegetativos, ou **meristemas reprodutivos**, quando relacionados a tecidos e órgãos reprodutivos.



Meristemas apicais também são designados como **meristema subapical radicular**, pela presença adjacente à coifa que ocupa a posição terminal ou apical da raiz; ou **meristema apical caulinar**, quando localizado no caule. Este último meristema corresponde à **meristema vegetativo** quando atua formando primórdios foliares e ramos, ou à **meristema reprodutivo** quando origina estruturas relacionadas, à reprodução como flores e inflorescências.

Figura 2.3 | Micrografias indicando o meristema radicular e o caulinar



Fonte: adaptada de: <<http://www.istockphoto.com/br/foto/c%C3%A9lulas-mitosis-micrografia-gm492396468-76281787>> e <<http://www.istockphoto.com/br/foto/stem-dica-ls-incluindo-bud-gm182403892-11529995>>. Acesso em: 10 jan. 2016.

Os tecidos meristemáticos primários podem ser divididos em:

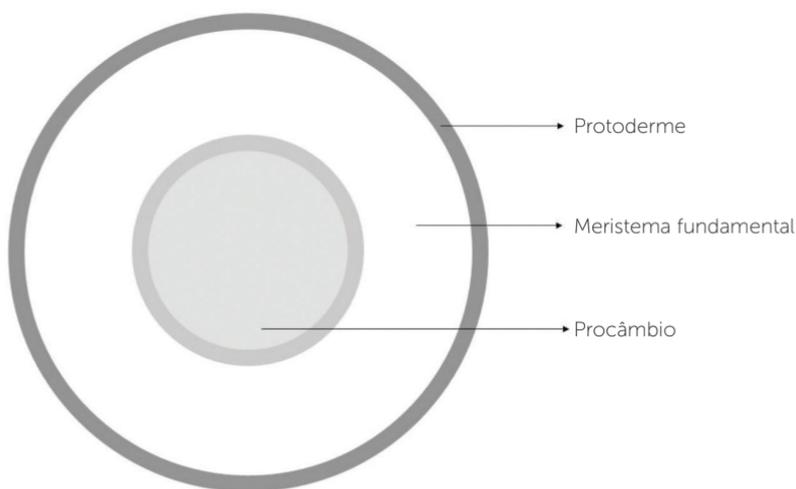
- **Protoderme:** camada mais externa que originará a epiderme e seus anexos como componentes do sistema dérmico ou de

revestimento.

- **Meristema fundamental:** será diferenciado nos tecidos fundamentais (colênquima, esclerênquima e parênquima) do sistema fundamental.
- **Procâmbio:** resultará nos tecidos vasculares (xilema e floema primários) do sistema vascular.

Cabe destacar que os diferentes tipos de tecido vegetal que constituem os sistemas dérmico, fundamental e vascular serão abordados mais detalhadamente na próxima seção desta unidade.

Figura 2.4 | Tipos de tecido meristemático primário



Fonte: elaborada pela autora.

Apesar da diagramação comum, os meristemas apicais da raiz e do caule se organizam de forma distinta, já que na raiz o procâmbio é relacionado a um canal central envolvido pelo meristema fundamental e subsequentemente pela protoderme; enquanto no caule o procâmbio está organizado em feixes e o meristema fundamental é localizado na região central e entre o procâmbio e a protoderme. Meristemas apicais caulinares ainda podem ser descritos pelo conceito de **túnica-corpo** (SCHMIDT, 1924 apud OGURA, 1972), em que túnica abrange uma ou mais camadas periféricas de células

que se dividem em planos perpendiculares; e corpo, ao agrupamento localizado abaixo da túnica (no qual as células dividem-se em vários planos); enquanto meristemas radiculares pelo conceito clássico dos histógenos (HANSTEIN, 1868 apud RAVEN, 2007) referentes a dermatogênio correspondente à protoderme, **periblema** e **pleroma** como meristemas formadores do córtex e centro do eixo radicular, e **caliptrogênio** pela origem da coifa.

### Meristemas secundários

Enquanto meristemas primários são originados a partir de células presentes na planta desde o embrião e associados ao crescimento em comprimento (longitudinal) na formação do corpo primário vegetal, **meristemas secundários** resultam da desdiferenciação celular de tecidos primários adultos e são relacionados ao crescimento em largura (lateral) dos vegetais – crescimento secundário.



### Vocabulário

Em botânica, o fenômeno de desdiferenciação celular é relacionado a uma alteração gênica que promove o retorno de células embrionárias primárias já especializadas como integrantes dos distintos sistemas vegetais adultos (epidérmico, fundamental ou vascular) em células meristemáticas novamente capazes de realizar divisão celular.

É importante ressaltar que enquanto a maioria das monocotiledôneas e dicotiledôneas completa seu ciclo de vida apenas com o crescimento primário, a maioria das gimnospermas e angiospermas dicotiledôneas apresenta crescimento secundário. Esse aumento de tecidos vasculares a partir do meristema primário ocorre pela adição de camadas em sequência à espessura da planta, resultando na formação do **corpo secundário** da planta. Assim, os meristemas secundários originam a periderme e os tecidos vasculares secundários (floema e xilema) de gimnospermas e angiospermas dicotiledôneas, sendo que o crescimento secundário ocorre pelos meristemas da periferia (**felogênio**) ou do centro (**câmbio vascular**) da raiz e do caule.

- **Felogênio:** gera o tecido de revestimento denominado periderme em plantas lenhosas, em substituição à epiderme daquelas que apresentam apenas crescimento primário a partir de divisões periclinais celulares que produzem o **felema**, **súber** ou **cortiça** em direção à periferia da raiz ou caule e o **feloderma** ou córtex secundário em direção ao centro do órgão.

- **Câmbio vascular:** origina os tecidos vasculares secundários (floema e xilema secundários) a partir da diferenciação do procâmbio e se localiza entre os tecidos vasculares primários (floema e xilema primários). A porção do câmbio proveniente de outro meristema relacionada à criação dos raios parenquimáticos presentes entre o xilema é denominada periciclo.



### Pesquise mais

Para mais detalhes sobre a origem, constituição e representação dos meristemas primários e secundários, acesse os sites disponíveis em: <<http://www.anatomiavegetal.ib.ufu.br/exercicios-html/Meristema.htm>> e <<http://atlasveg.ib.usp.br/focara.html>>. Acesso em: 19 dez. 2016.

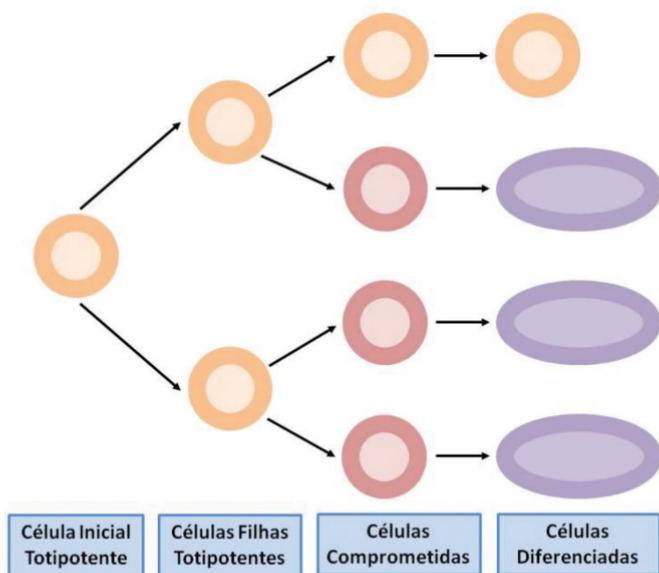
## Morfogênese e diferenciação

A formação de uma planta desde seu estágio inicial de embrião até o indivíduo adulto capaz de florescer, produzir frutos com sementes, senescer e eventualmente morrer, ou seja, o seu processo de **desenvolvimento**, depende de uma sequência precisa e ordenada de eventos referentes ao **crescimento**, diferenciação e morfogênese. Sob essa perspectiva, destacamos que crescimento é um termo quantitativo relacionado ao acréscimo de tamanho, massa, volume ou área, sendo geralmente mediado pela divisão celular e avaliado pela medição de altura e/ou diâmetro ou mesmo pesagem da matéria fresca, condicionada ao estado hídrico vegetal ou seco pela desidratação em estufa da matéria fresca. Já a **diferenciação** é um termo qualitativo que reflete um processo de especialização celular a partir de **células iniciais** localizadas na zona meristemática como fonte contínua de novas células totipotentes. As células iniciais sofrem divisões anticlinais e periclinais por estímulos exógenos ou endógenos

e originam **células derivadas** especializadas em diferentes funções e distintas morfologicamente pela posição que estão no interior do vegetal, portanto, a localização das células derivadas determinará o papel que elas desempenharão como diferentes componentes dos sistemas vegetais mais complexos.

Dessa forma, as etapas de crescimento e desenvolvimento celular compreendem basicamente a divisão celular, seguida pelo aumento de tamanho, massa, volume ou área celular e finalmente pela diferenciação em que as células iniciais totipotentes geram células-filhas que podem permanecer indiferenciadas ou se tornarem derivadas para sofrerem diferenciação.

Figura 2.5 | Etapas de crescimento e desenvolvimento celular



Fonte: elaborada pela autora.

A soma dos processos de crescimento e diferenciação também pode ser entendida em um sentido mais amplo como constituinte do desenvolvimento do organismo vegetal, que ainda abrange a emergência, forma e arranjo espacial dos novos órgãos referentes ao fenômeno de **morfogênese**. Assim, a origem das mudanças nas formas vegetais é exemplificada pela transição da fase vegetativa

(desenvolvimento vegetativo) para a reprodutiva (desenvolvimento reprodutivo ou florescimento) ou durante o desenvolvimento de uma folha a partir de um primórdio foliar.



### Pesquise mais

Para mais detalhes sobre os fenômenos de crescimento, diferenciação e morfogênese, acesse o seguinte material sobre esse assunto. Disponível em: <<http://www.fisiologiavegetal.ufc.br/Aulas%20em%20PDF/Grad%20Unidade%20VIII%20-%20Desenvolvimento.pdf>>. Acesso em: 19 dez. 2016.

## Sem medo de errar

As cebolinhas são brotos caulinares verdes que surgem antes de o bulbo da cebola começar a se desenvolver, sendo consideradas, portanto, cebolas imaturas. Como bulbos, elas são estruturas complexas formadas por caules e folhas modificadas, sendo que especialmente a região do talo, que Rosa deixa quando retira as folhas para consumo, corresponde a um tecido meristemático caulinar responsável pelo aumento no número de células desse vegetal a partir de divisões mitóticas. Dessa forma, a capacidade de células meristemáticas de se multiplicarem e diferenciarem, originando os diversos tecidos permanentes da planta, permite que a cebolinha seja cultivada para consumo, mesmo após ser cortada, pela sua renovação tecidual.

Assim, o conhecimento das estruturas celulares que compõem os vegetais permite o entendimento de suas diferentes etapas de crescimento, desenvolvimento, diferenciação e morfogênese para a origem dos diversos tipos de tecido vegetal, muitos dos quais fazem parte da nossa alimentação e são indicados em uma dieta saudável por serem fonte de nutrientes e vitaminas.

### Mosaico celular

#### Descrição da situação-problema

Em uma aula de microscopia, os alunos foram orientados a colocar três gotas deorceína lático/acética a 2% em uma lâmina e depositar a ponta da raiz de uma cebola nessa solução, coberta posteriormente por uma lamínula. Ao observar essa preparação no microscópio, Denise ficou maravilhada com as diferenças em formas e composições, especialmente dos cromossomos nucleares das células da raiz. Ela visualizou diferenças como: estruturas ramificadas no centro da célula, cromossomos mais condensados e corados e até mesmo a presença de dois cromossomos nas extremidades da mesma célula. De acordo com a situação acima, você conseguiria explicar qual fenômeno poderia estar relacionado a essas mudanças nucleares de tamanho e forma? Ainda, a partir de uma pesquisa sobre as etapas envolvidas nesse processo de divisão celular, você seria capaz de compreender as diferenças morfológicas cromossômicas nas células da raiz da cebola visualizada por Denise?

#### Resolução da situação-problema

Aorceína lático/acética é um fixador e corante que permite a observação dos distintos componentes celulares da região terminal da raiz, correlacionada com uma área de intensa multiplicação pela sua constituição por tecido meristemático. Dessa forma, o que Denise observou foi o fenômeno do crescimento, entendido como alterações de tamanho e forma geralmente mediadas pela divisão celular nomeada de mitose. Cabe destacar que a mitose é caracterizada por fases distintas ao longo de sua progressão, ilustradas pelo aparecimento de cromossomos altamente condensados e empacotados correspondentes à prófase; de uma placa metafásica por aqueles alinhados na parte central da célula correspondente à fase da metáfase e de cromossomos nos polos celulares condizentes com a telófase, fase em que já houve a duplicação do material genético e que precede a divisão de uma única célula em duas.

## Faça valer a pena

**1.** A capacidade de nutrição, crescimento, reprodução e adaptação são algumas das características que permitem a classificação de diferentes organismos em seres vivos. Dessa forma, os vegetais compartilham desses atributos, sendo igualmente constituídos por unidades estruturais e funcionais que compõem os organismos vivos, denominadas células. Entretanto, as plantas apresentam aspectos singulares que permitem sua distinção dos demais indivíduos que habitam nosso planeta.

Dentre os diferentes elementos que compõem uma célula, qual deles é único e exclusivo de organismos fotossintetizantes como os vegetais?

- a) Vacúolo.
- b) Cloroplasto.
- c) Parede celular.
- d) Mitocôndria.
- e) Ribossomo.

**2.** A reprodução vegetal ocorre pela fecundação de um dos núcleos espermáticos do grão de pólen com a oosfera presente no óvulo, originando o zigoto, composto por células embrionárias que sofrerão divisões mitóticas para formar o embrião. Inicialmente, essas células são totipotentes por serem indiferenciadas e meristemáticas, além de possuírem a aptidão de multiplicação e diferenciação em toda a diversidade de tecidos que formam um vegetal. Analise as afirmativas.

I. Meristemas primários são originados a partir de células embrionárias e responsáveis pelo crescimento longitudinal, enquanto meristemas secundários resultam da desdiferenciação de tecidos primários adultos e são relacionados ao crescimento lateral.

II. Meristemas reprodutivos originam estruturas relacionadas às folhas e ramos.

III. O felogênio gera a periderme em plantas lenhosas, que substitui a epiderme daquelas que apresentam apenas crescimento primário.

Com relação aos tecidos meristemáticos, podemos afirmar que:

- a) I e II estão corretas.
- b) II e III estão corretas.

c) I, II e III estão corretas.

d) I e III estão corretas.

e) Somente I está correta.

**3.** A formação de uma planta, desde seu estágio inicial de embrião até o indivíduo adulto capaz de florescer, produzir frutos com sementes, senescer e eventualmente morrer – seu desenvolvimento – depende de uma sequência precisa e ordenada de eventos referentes aos processos de crescimento, diferenciação e morfogênese.

Correlacione os fenômenos inerentes às etapas do ciclo de vida de um vegetal e sua respectiva descrição:

1. Crescimento.	a. Origem das mudanças nas formas de um indivíduo.
2. Diferenciação.	b. Acréscimo de tamanho, massa, volume ou área.
3. Morfogênese.	c. Especialização celular a partir de células iniciais.

a) 1.a., 2.b., 3.c.

b) 1.c., 2.b., 3.a.

c) 1.b., 2.c., 3.a.

d) 1.b., 2.a., 3.c.

e) 1.c., 2.a., 3.b.

## Seção 2.2

### Morfologia interna

#### Diálogo aberto

Caríssimo aluno, nesta seção apresentaremos a morfologia interna das plantas por meio da identificação das características gerais de estrutura e organização dos tecidos vegetais, incluindo aqueles que constituem o sistema dérmico, fundamental e vascular. Para isso, vamos recordar a situação destacada no “Convite ao estudo” sobre o reconhecimento de um tecido vegetal observado em lâminas a fresco por Mariana durante uma aula de microscopia de Morfofisiologia Vegetal. Na aula seguinte, dessa mesma disciplina, os alunos foram novamente conduzidos ao laboratório e convidados a observarem algumas lâminas de cortes transversais de folhas de *Ronnbergia carvalhoi*, uma espécie de bromélia endêmica do Brasil. Ao olhar pelo microscópio, Jonas visualizou rapidamente uma invaginação na parte inferior da folha, semelhante a pequenas bocas, que acreditou ser criada por algum ferimento na planta. Entretanto, Jonas foi corrigido pela professora Lara que disse que essa invaginação foliar se tratava de uma estrutura extremamente relevante na manutenção e sobrevivência da planta pela realização de trocas gasosas essenciais ao processo de fotossíntese e a perda de água pela sua abertura e fechamento.

A partir da situação descrita acima, você conseguiria imaginar que estrutura é essa que Jonas observou? Além disso, qual é a importância do reconhecimento e da identificação de diferentes tecidos e estruturas vegetais?

Para que você organize e assimile conceitos que lhe permitirão chegar a uma conclusão, apresentaremos tópicos relacionados às diferentes estruturas e organizações dos variados tecidos vegetais. Visto que após a diferenciação dos tecidos ocorre sua especialização nos sistemas dérmico, fundamental e vascular, também abordaremos a morfofisiologia desses sistemas.

## Não pode faltar

### Origem e organização dos tecidos vegetais

Na unidade anterior pudemos compreender que células meristemáticas embrionárias possuem a capacidade de multiplicação e diferenciação em toda a diversidade de tecidos que formam um vegetal. Essa habilidade é mantida ao longo da vida, já que na sequência de eventos de crescimento e desenvolvimento vegetal a divisão das células meristemáticas origina tanto células modificadas e especializadas como células que permanecem totipotentes, como se fossem células iniciais (veja a Figura 2.4).

As mudanças morfológicas que resultam nos diferentes tecidos vegetais durante a diferenciação ocorrem como consequência de alterações anatômicas e funcionais da célula vegetal mediadas pela transmissão de características hereditárias contidas nos genes. Entretanto, é importante apontar que fatores ambientais, como o comprimento do dia e a qualidade e quantidade da luz e nutrientes disponíveis, interagem e modificam a expressão gênica de alguns caracteres.



#### Refleta

Se a diferenciação celular dependesse única e exclusivamente da expressão gênica, haveria diversas células diferenciadas, porém, dispersas ao longo do corpo vegetal, sem compor uma unidade. Assim, a diferenciação celular também decorre da posição que a célula ocupa no corpo da planta, sendo que essa localização se dá pela comunicação entre as células mais próximas (comunicação intercelular) que desencadeiam cascatas de sinalizações dentro da própria célula (comunicação intracelular).

Consequentemente, durante o crescimento e desenvolvimento de um embrião vegetal, as células iniciais se especializam nos mais variados tecidos, classificados em três grupos principais: sistema dérmico, fundamental e vascular. O sistema dérmico é responsável pelo revestimento e proteção do corpo vegetal, enquanto o sistema

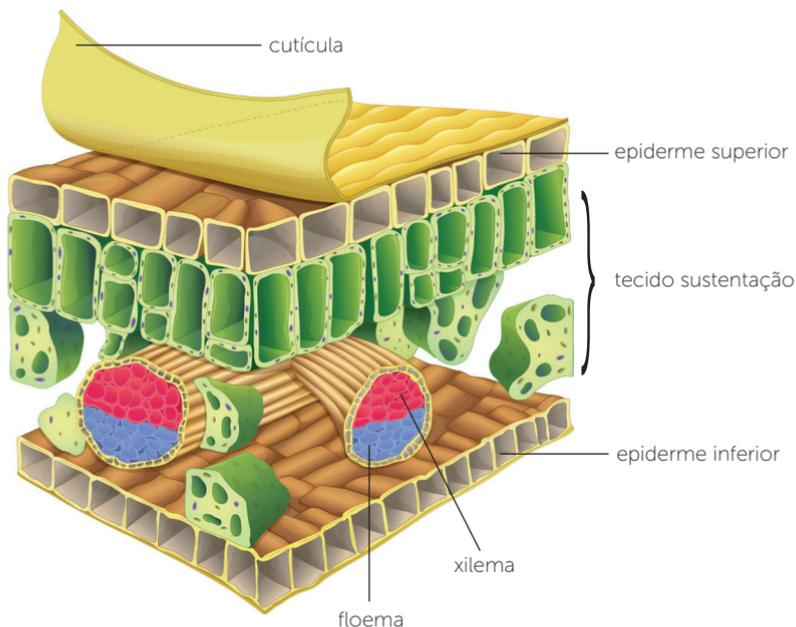
fundamental apresenta tecidos – parênquima, colênquima e esclerênquima – que o sustentam, e o vascular transporta água e/ou solutos por meio de vasos condutores (xilema e floema). Cabe destacar que após a diferenciação, as células-filhas apresentam as mesmas características que suas progenitoras, ou seja, células dérmicas originam células dérmicas, as fundamentais geram células fundamentais e aquelas vasculares produzem células vasculares.



### Assimile

A diferenciação de células embrionárias em especializadas tem início ao longo do crescimento e desenvolvimento celular, sendo que de acordo com o local em que células meristemáticas estejam elas formarão células-filhas que exercem funções específicas enquanto células de revestimento, sustentação e condutoras.

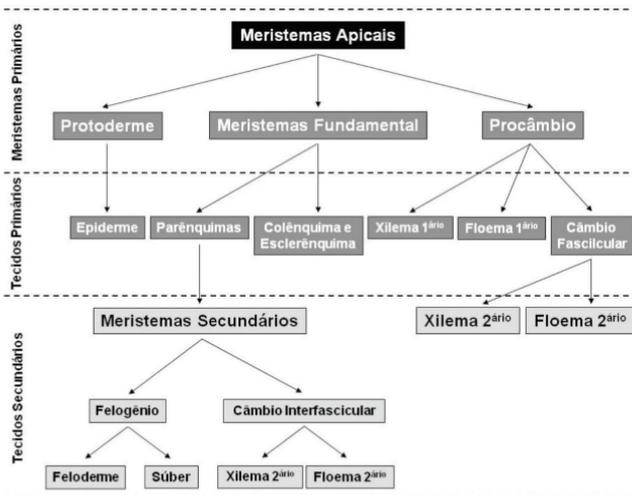
Figura 2.5 | Tecidos vegetais



Fonte: <[http://www.istockphoto.com/br/vetor/tecido-vascular-vegetal-gm480054581-36285046?st=\\_p\\_vascular%20tissue%20plant](http://www.istockphoto.com/br/vetor/tecido-vascular-vegetal-gm480054581-36285046?st=_p_vascular%20tissue%20plant)>. Acesso em: 22 dez. 2016.

Portanto, uma planta madura é constituída por tecidos primários e secundários que originam toda a variedade de tecidos especializados, como proposto na Figura 2.6.

Figura 2.6 | Etapas de crescimento e desenvolvimento celular



Fonte: elaborada pela autora.

## Sistema dérmico ou de revestimento

O sistema dérmico ou de revestimento é representado pela epiderme, formada por tecido primário e, posteriormente, pela periderme, por meio do crescimento secundário.

- **Epiderme:** constituída por uma camada de células que recobrem externamente e protegem todo o corpo primário da planta até ser substituída pela periderme no início do crescimento secundário. Com relação ao seu formato e estrutura, células epidérmicas geralmente são justapostas, achatadas e apresentam uma única camada (uniestratificadas), embora a possibilidade de várias camadas de células (multiestratificadas) também exista. Apresentam-se incolores pela ausência de cloroplastos, com grandes vacúolos que contêm pigmentos ou taninos e recobertas pela **cutícula** – uma camada composta por substâncias lipídicas impermeabilizantes, como a cutina, que evitam a perda de água. De fato, a espessura das camadas de cutina determina o quanto ela é protegida da perda de

água por evaporação, além de sua suscetibilidade à ação de herbicidas e seu potencial para a exploração econômica.

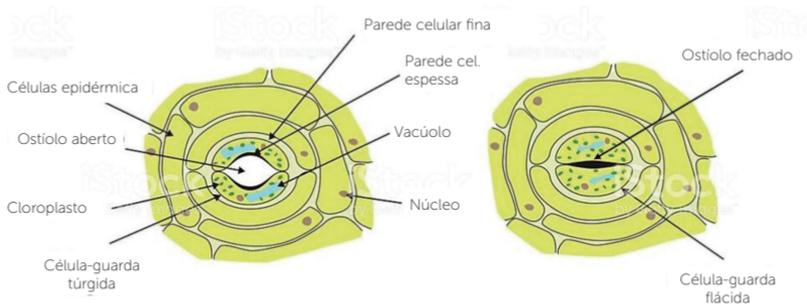
Além das células epidérmicas usuais, a epiderme pode apresentar células especializadas em funções celulares específicas – os **anexos dérmicos**, que serão abordados a seguir.

- **Periderme:** a periderme substitui a epiderme em caules e raízes que sofreram o crescimento secundário (em largura) e é composta por três distintos tecidos: **súber**, felogênio (câmbio da casca) e feloderma. Como descrito na seção anterior, o felogênio gera externamente o súber, que é um tecido morto na maturidade (por exemplo, a cortiça), responsável por proteção mecânica e resistência à perda de água; e internamente a **feloderma**, que representa um tecido parenquimático que permanece vivo na maturidade. Para as trocas gasosas, os estômatos são substituídos por **lenticelas**.

### Anexos do sistema dérmico

- **Estômatos:** estruturas epidérmicas presentes especialmente nas folhas e compostas por duas **células-guarda** ou **estomáticas** clorofiladas, alongadas e recurvadas, formando uma abertura denominada **ostíolo** ou **poro estomático**, que controla as trocas gasosas (vapor de água, oxigênio e gás carbônico) e a perda de água pela sua abertura e fechamento. Portanto, sob alta pressão, as células-guarda ficam túrgidas e promovem a abertura do ostíolo, enquanto baixas pressões as tornam flácidas e beneficiam seu fechamento.

Figura 2.7 | Estômatos



Fonte: adaptada de <[http://www.istockphoto.com/br/vetor/planta-c%C3%A9lula-guarda-com-stoma-totalmente-identificados-gm467389092-60526650?st=\\_p\\_stomata](http://www.istockphoto.com/br/vetor/planta-c%C3%A9lula-guarda-com-stoma-totalmente-identificados-gm467389092-60526650?st=_p_stomata)>. Acesso em: 22 dez. 2016.

- **Tricomas ou pelos:** formações epidérmicas, distribuídas amplamente pelas folhas, frutos, sementes, raízes e caules, que atuam na proteção contra o excesso de transpiração principalmente nas folhas de regiões com clima quente.

- **Acúleos:** elementos rígidos e pontiagudos presentes especialmente no caule que podem oferecer tanto proteção à planta quanto diminuição da superfície de perda de água.

- **Hidatódios:** porções de tecido fundamental, diferenciadas em glândulas que secretam água na forma líquida (gutação) por estômatos modificados localizados nas pontas e margens foliares, observado pela presença de gotinhas nas superfícies de algumas folhas pela manhã.

- **Papilas:** saliências epidérmicas que promovem um aspecto aveludado nas pétalas de algumas flores.

- **Escamas:** modificações de pelos em formato discoide com a função de proteção contra a perda de água ou mesmo absorção de água e nutrientes, como em bromélias.

### Sistema fundamental

De acordo com a estrutura e organização, o sistema fundamental apresenta três tipos de tecido de sustentação:

- **Parênquima:** possui a capacidade de se dividir, atuando nos processos de cicatrização e regeneração celular ou mesmo na união de enxertos e formação de estruturas vegetativas adventícias, como raízes laterais. É formado por células semelhantes (isodiamétricas), vivas na maturidade, com grandes vacúolos e parede celular primária delgada composta por celulose, unida às demais pela **lamela média** e com depressões variadas denominadas de **pontuações**. Após o crescimento primário, pode haver um espessamento da parede celular pelo depósito de lignina, constituindo a **parede secundária**. Nesta, as pontuações das paredes primárias se transformam geralmente em canais ou cavidades. Consequentemente, as células parenquimáticas se comunicam umas com as outras por filamentos citoplasmáticos finos e contínuos que atravessam a parede celular e agrupam-se nas pontuações – os **plasmodesmos**. Ainda, cabe indicar que a

forma, organização e componentes dos tecidos parenquimáticos determinam sua função.



### Exemplificando

O **parênquima clorofiliano**, especialmente localizado nas folhas, atua na fotossíntese por conter cloroplastos em abundância. Por outro lado, os **parênquimas de reserva**, presentes comumente nas raízes, caules e sementes, são responsáveis pelo armazenamento de nutrientes como o amido. Já os **parênquimas aeríferos** apresentam um tecido com grandes espaços intercelulares que beneficiam a fluutuabilidade necessária para maior exposição à luz, como em plantas aquáticas. Por fim, os **parênquimas aquíferos** armazenam água como forma de sobrevivência das plantas de regiões áridas e semiáridas.

- **Colênquima:** é um tecido primário de sustentação de órgãos em crescimento ou maduros de plantas herbáceas disposto continuamente em forma de cilindro ou faixas longitudinais localizado sob a epiderme de caules, pecíolos foliares e margeando as nervuras de folhas dicotiledôneas. As células colenquimáticas são alongadas, justapostas, poliédricas e, assim como as parenquimáticas, vivas na maturidade. É importante destacar que apresentam uma parede celular primária irregularmente espessa e não lignificada que permite, além da sustentação, a flexibilidade dos órgãos jovens em crescimento. Essa parede celular é identificada em cortes a fresco por possuir um aspecto brilhante. De acordo com sua configuração, o colênquima pode ser **angular**, quando as células formam ângulos entre si; **laminar** ou **lamelar**, quando as paredes formam lâminas com células anteriores e posteriores; **lacunar**, quando há espaço entre as células; **radial**, com células dispostas em torno de um eixo; ou **anelar**, quando formam anéis.

- **Esclerênquima:** assim como o colênquima, o esclerênquima possui como principal função a sustentação do tecido primário ou secundário de qualquer parte da planta. Entretanto, suas células são mortas na maturidade pela impregnação de lignina, que impermeabiliza as paredes esclerenquimáticas espessas, impedindo as trocas metabólicas. Assim, a principal característica das células esclerenquimáticas é a presença de paredes secundárias espessas

e frequentemente lignificadas, conferindo rigidez e sustentação nas regiões da planta que cessaram o alongamento. Ainda, elas podem se apresentar como células longas e afiladas, organizadas em cordões ou feixes – fibras – ou isoladas em grupos de tecidos dérmicos, fundamentais ou vasculares de caules, folhas, frutos e sementes, com parede secundária espessa, lignificada e com pontuações – **esclereídeos** ou **esclereídes**.



### Pesquise mais

Para mais detalhes sobre a forma e organização dos tecidos fundamentais – parênquima, colênquima e esclerênquima, acesse: OLIVEIRA, D M. T.; MACHADO, S R. **Álbum didático de anatomia vegetal**. PROIN - CAPES UNESP: Instituto de Biociência de Botucatu, nov. 2009. Disponível em: <[http://www.ibb.unesp.br/Home/Departamentos/Botanica/album\\_didatico\\_de\\_anatomia\\_vegetal.pdf](http://www.ibb.unesp.br/Home/Departamentos/Botanica/album_didatico_de_anatomia_vegetal.pdf)>. Acesso em: 22 dez. 2016.

## Sistema vascular

Como dito anteriormente, o sistema vascular é responsável pelo transporte de água e/ou solutos por meio de vasos condutores – o **xilema** e o **floema**. Ambos podem ser formados a partir do crescimento primário (em comprimento) e secundário (em espessuras), sendo que plantas com estrutura primária apresentam **xilema** e **floema primários**, originados a partir do procâmbio, e aquelas com estrutura secundária exibem **xilema** e **floema secundários**, gerados pela atividade do câmbio vascular. Embora o xilema primário seja geralmente voltado para parte interior do órgão e o floema primário para a exterior, as distintas posições entre os vasos condutores podem classificá-los como **colaterais** quando o xilema se situa de um lado e o floema de outro; **bicolaterais**, com o floema em ambos os lados do xilema, ou concêntrico, quando um dos vasos condutores circunda totalmente o outro.

- **Xilema**: é o principal tecido condutor de água, nutrientes e sais minerais (**seiva bruta**) absorvidos pelas raízes, mas também atua no armazenamento de substâncias alimentares (no parênquima axial e radial) e na sustentação do corpo de plantas vasculares. É composto por:

- **Fibras:** proporcionam suporte e armazenamento de substâncias.
- **Células parenquimáticas:** atuam na reserva e no transporte de substâncias.
- **Elementos traqueais:** células alongadas com paredes secundárias espessas e lignificadas, portanto, mortas quando adultas, que podem exibir pontuações. Esses elementos podem se apresentar como:
  - **Traqueídes:** possuem células que se comunicam e conduzem água de forma lenta por pontuações areoladas nas paredes laterais, comuns em vegetais mais antigos como pteridófitos e gimnospermas.
  - **Elementos de vaso:** além de pontuações areoladas, as células dos elementos de vaso apresentam perfurações nas paredes terminais e também laterais, que em conjunto são denominadas **placas perfuradas**. A possibilidade do livre fluxo de água tanto pelas pontuações como perfurações garante maior eficiência na condução da água em relação às traqueídes. Também cabe apontar que os elementos de vaso são associados a **células companheiras** por meio de canais que permitem a comunicação entre células vizinhas (**plasmodesmos**), secretando ativamente substâncias no interior dos elementos do **tubo crivado** do floema e os removendo a partir deles.
  - **Floema:** associado ao sistema vascular do xilema, o floema é o principal responsável pelo transporte de elementos orgânicos (**seiva elaborada**) produzidos nas folhas durante a fotossíntese até os caules e raízes. É composto por:
    - **Fibras e esclereídes:** são originadas a partir da lignificação e espessamento da parede de células não funcionais, sendo que as fibras se apresentam bastante alongadas e com terminações oblíquas, e as esclereídes em formatos variados, distintos de estruturas alongadas. Ambas garantem suporte do corpo vegetal.
    - **Células parenquimáticas:** assim como no xilema, atuam na reserva e transporte de substâncias.

- **Elementos crivados:** possuem células vivas, mas anucleadas na maturidade e elementos com grupos de poros (**áreas crivadas**) responsáveis pela comunicação entre as células adjacentes, classificados como **células crivadas** ou **elementos de tubo crivados**.
- **Células crivadas:** exibem áreas crivadas nas paredes celulares laterais e típicas de pteridófitas, gimnospermas e angiospermas.
- **Elementos de tubo crivado:** além das áreas crivadas nas paredes celulares laterais, apresentam regiões especializadas nas paredes terminais (**placas crivadas**) comuns à maioria das angiospermas.
- **Células companheiras:** como destacado anteriormente, essas células possuem todo o equipamento de uma célula vegetal e secretam ativamente substâncias como açúcares, aminoácidos e vitaminas no interior dos elementos do tubo crivado, principalmente de angiospermas, e as removem a partir deles.
- **Células Albuminosas:** desempenham um papel semelhante às células companheiras, mas realizam a troca de substâncias orgânicas pela sua íntima relação com células crivadas, especialmente de Gimnospermas. É importante mencionar que quando o elemento crivado morre suas células companheiras ou albuminosas também morrem.



### Pesquise mais

Para mais detalhes sobre a forma e organização dos tecidos vasculares – xilema e floema – acesse: UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO. Instituto de Física de São Carlos. Introdução à Biologia Vegetal. São Carlos, 2002. Disponível em: <<http://biologia.ifsc.usp.br/bio3/outros/02-Morfologia.pdf>>. Acesso em: 22 dez. 2016.

OLIVEIRA, D M. T.; MACHADO, S R. Álbum didático de anatomia vegetal. PROIN - CAPES UNESP: Instituto de Biociência de Botucatu, nov. 2009. Disponível em: <[http://www.ibb.unesp.br/Home/Departamentos/Botanica/album\\_didatico\\_de\\_anatomia\\_vegetal.pdf](http://www.ibb.unesp.br/Home/Departamentos/Botanica/album_didatico_de_anatomia_vegetal.pdf)>. Acesso em: 22 dez. 2016.

## Sem medo de errar

As estruturas visualizadas como invaginações no formato de uma boca e localizadas na porção inferior da folha da bromélia, *Ronnbergia carvalhoi*, são anexos epidérmicos referentes a estômatos, compostos por duas células-guarda alongadas e recurvadas que formam uma abertura denominada ostíolo. Assim, o ostíolo se conecta com o meio externo e possibilita o controle das trocas gasosas (vapor de água, oxigênio e gás carbônico) e da perda de água pela abertura e fechamento estomático por diferença de pressão. Cabe destacar que a localização dos estômatos é altamente importante para a identificação da família botânica da espécie vegetal, sendo que quando uma folha apresenta essa estrutura apenas na face interior, ela é nomeada hipoestomática; na face superior epiestomática e em ambas as faces, anfiestomática.

## Avançando na prática

### Morangueiro choroso

#### Descrição da situação-problema

Marcela acordou e foi tomar café da manhã no seu quintal. Durante esse desjejum, ela notou que as pontas e margens das folhas do morangueiro apresentavam gotinhas que chegavam a cair. Em um primeiro momento ela acreditou que esse fenômeno era atribuído à transpiração, processo relacionado à perda de água na forma de vapor. No entanto, após pesquisar em livros de botânica, descobriu se tratar de outro fenômeno igualmente importante na manutenção da homeostase (equilíbrio) vegetal. Você conseguiria explicar por que as folhas do morangueiro estavam cobertas com gotículas de água? Ainda, quais seriam os motivos para essa situação ocorrer?

#### Resolução da situação-problema

O fenômeno observado por Marcela refere-se à gutação e é promovido por porções de tecido fundamental diferenciadas em glândulas que secretam água na forma líquida por meio de estômatos modificados localizados nas pontas e margens foliares – os hidatódios.

A gutação é mais comum em condições de alta umidade, quando o processo de transpiração está lento e é insuficiente para eliminar possíveis excessos de água no corpo vegetal. Esse excedente hídrico pode acontecer quando a quantidade de água absorvida pelas raízes é maior do que a capacidade da planta em eliminá-la a partir das folhas. Cabe destacar que a gutação é diferente do orvalho, que está relacionado à condensação da água sobre a planta em situações climáticas específicas.

## Faça valer a pena

**1.** O processo de diferenciação celular é mediado tanto pela expressão gênica de alguns caracteres quanto pela posição que a célula ocupa no corpo da planta. Consequentemente, durante o crescimento e desenvolvimento de um embrião vegetal, as células indiferenciadas especializam-se nos mais variados tecidos, classificados em três grupos principais: sistema dérmico, fundamental e vascular.

Os diferentes tecidos vegetais que apresentam como principais funções o revestimento, assimilação e reserva, sustentação e condução correspondem à(ao):

- a) Xilema/floema, epiderme, colênquima e parênquima.
- b) Colênquima, xilema/floema, esclerênquima e parênquima.
- c) Epiderme, esclerênquima, parênquima e colênquima.
- d) Epiderme, parênquima, esclerênquima e xilema/floema.
- e) Colênquima, esclerênquima, parênquima e xilema/floema.

**2.** Além de células epidérmicas usuais que recobrem externamente e protegem todo o corpo primário da planta até ser substituída pela periderme no início do crescimento secundário, a epiderme pode apresentar células especializadas em funções celulares específicas – os anexos dérmicos.

Com relação aos anexos dérmicos, está correto afirmar que:

- I. Os estômatos presentes especialmente nas folhas controlam as trocas gasosas e a perda de água pela sua abertura e fechamento.
- II. Tricomas e acúleos atuam tanto na proteção como contenção da superfície de perda de água da planta.

III. O fenômeno de gutação observado pela presença de gotinhas nas superfícies de algumas folhas pela manhã é realizado pelos hidatódios.

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

**3.** O sistema vascular atua no transporte de água e/ou solutos por meio dos vasos condutores xilema e floema, sendo que o primeiro é o principal tecido condutor de água, nutrientes e sais minerais (**seiva bruta**) absorvidos pelas raízes, e o último é o principal responsável pelo transporte de elementos orgânicos (**seiva elaborada**) produzidos nas folhas durante a fotossíntese até os caules e raízes.

Correlacione as colunas entre os componentes dos vasos condutores como relacionados ao xilema (1) ou floema (2) e indique a sequência correta:

1. Xilema	a. Elementos crivados.
2. Floema	b. Elementos traqueais.
	c. Fibras e esclereides.

- a) 2, 2, 1.
- b) 1, 2, 1.
- c) 2, 1, 2.
- d) 1, 1, 2.
- e) 1, 2, 2.

## Seção 2.3

### Crescimento vegetal

#### Diálogo aberto

Caríssimo aluno, nesta seção abordaremos o crescimento primário e secundário como fenômeno relacionado ao aumento no número de células em comprimento ou largura, respectivamente. Para tanto, vamos lembrar a situação destacada no “Convite ao estudo” sobre a identificação de células observadas em lâminas a fresco como pertencentes a um tecido de origem vegetal por Mariana, durante uma aula de microscopia de Morfofisiologia Vegetal. Mantendo-se curiosa sobre o reino *Plantae*, Mariana foi a uma biblioteca pública alugar um atlas de anatomia vegetal para conseguir visualizar as distintas formas e organizações dos tecidos das diversas espécies botânicas. Ela ficou particularmente surpreendida com a diferença de disposição dos elementos caulinares entre uma espécie de monocotiledônea e outra de dicotiledônea. De acordo com o contexto descrito acima, você conseguiria determinar quais poderiam ser essas diferenças na organização tecidual do caule de monocotiledôneas e dicotiledôneas? Ainda, o padrão de crescimento dessas plantas poderia ter influenciado tal configuração?

Para que você organize e assimile conceitos que te permitirão chegar a uma conclusão, apresentaremos tópicos relacionados ao crescimento primário e secundário do caule, raiz, pecíolo e nervura enquanto processos que participam ativamente da formação e desenvolvimento do corpo vegetal maduro. É importante apontar que uma vez que esses crescimentos influenciam diretamente as diferenças na anatomia interna dos órgãos vegetais, também serão apresentadas as estruturas derivadas do meristema primário e secundário, assim como a anatomia da madeira.

## Não pode faltar

### Crescimento primário e secundário

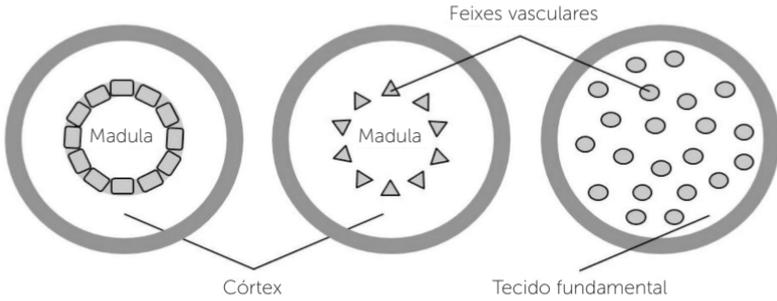
O crescimento é responsável pela formação do corpo primário da planta por meio do aumento de células do meristema primário no sentido longitudinal que resultam em um crescimento em comprimento, ou do meristema secundário no sentido lateral, originando maior largura ao vegetal. Como destacado na primeira seção desta unidade, os tecidos meristemáticos primários podem ser divididos em **protoderme**, camada mais externa que originará tecidos de revestimento referentes à epiderme e seus anexos; **meristema fundamental**, diferenciado no colênquima, esclerênquima e parênquima do sistema fundamental; e **procâmbio**, que deriva os tecidos vasculares (xilema e floema primários) do sistema vascular. Cabe destacar que na raiz o procâmbio é relacionado a um canal central envolvido pelo meristema fundamental e subsequentemente pela protoderme; enquanto no caule o procâmbio está organizado em feixes com distintas configurações, e o meristema fundamental está localizado na região central e entre o procâmbio e a protoderme.



### Exemplificando

A organização de tecidos primários do caule permite sua classificação em um cilindro contínuo com os feixes bem próximos uns dos **outros** – **sifonosteles** – ou separados por faixas mais largas de parênquima – **eusteles** comum em dicotiledôneas e **coníferas** – ou um arranjo mais complexo com os feixes isolados, distribuídos de maneira caótica – **atactosteles** – característico de *monocotiledôneas* e *algumas dicotiledôneas herbáceas*.

Figura 2.8 | Organização dos tecidos primários e/ou secundários do caule



Fonte: elaborada pela autora.

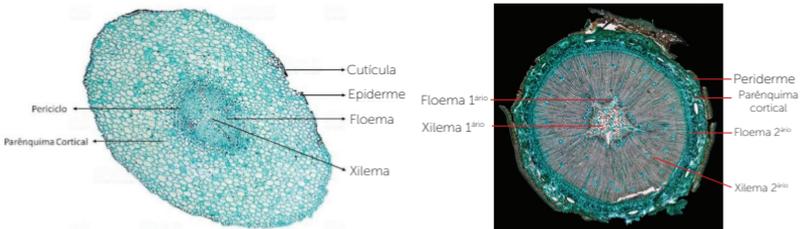
Já o crescimento secundário (resultante da desdiferenciação celular de tecidos primários adultos) ocorre pelo **felogênio** – meristema periférico que gera a **periderme**, tecido de revestimento que origina o **súber** (ou **felema**) e a **feloderma**; ou câmbio vascular – dá origem ao **xilema e floema secundários** (a partir da diferenciação do procâmbio) e também aos raios parenquimáticos presentes entre o xilema (**periciclo**).



### Assimile

Enquanto o crescimento primário derivado de células embrionárias do meristema primário é responsável pelo acréscimo em comprimento (longitudinal) da planta, o crescimento secundário resultante da desdiferenciação celular de tecidos primários adultos é relacionado ao seu crescimento em largura (lateral).

Figura 2.9 | Micrografias dos tecidos primários da raiz e secundários do caule



Fonte: adaptada de: <<http://www.istockphoto.com/br/foto/vicia-faba-micrografia-raiz-gm525750861-52159362>> e <<http://www.istockphoto.com/br/foto/micrografia-de-madeira-de-pinhoiro-gm492397208-76282455>>. Acesso em: 23 jan. 2016.

## Crescimento secundário: raiz

Como dito anteriormente, o crescimento secundário está relacionado à formação de tecidos vasculares (xilema e floema secundários) a partir do câmbio vascular (derivado do procâmbio) e da periderme gerada pelo felogênio. Dessa forma, o câmbio radicular localizado entre os xilemas e floemas primários é inicialmente formado de faixas, sendo que a divisão das células do periciclo resulta no envolvimento de todo o xilema pelo câmbio e origina o xilema secundário. Em conjunto com a atividade das regiões do câmbio voltadas ao floema (que geram o floema secundário a partir do floema primário), o aumento de tecidos vasculares secundários modifica a estrutura da raiz para comportar esse crescimento. O felogênio, que deriva o **felema** ou **súber** em direção à periferia da raiz e o **feloderma** ou **córtex secundário** em direção ao centro do órgão, também se divide para formar a periderme, sendo que ela pode se destacar ou não da região cortical (incluindo a endoderme) e da epiderme.

Cabe apontar que a maioria das raízes de monocotiledôneas não exhibe crescimento secundário, e as dicotiledôneas que o fazem podem apresentar variações nas etapas descritas acima.



### Pesquise mais

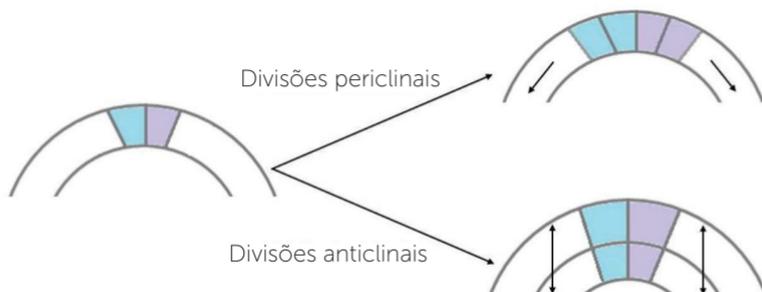
Para descobrir mais detalhes e representações por desenhos do desenvolvimento da estrutura secundária de órgãos vegetativos como caule e raiz, acesse o site, disponível em: <<http://www.anatomiavegetal.ib.ufu.br/exercicioshtml/Raiz.htm>>. Acesso em: 10 jan. 2016.

## Crescimento secundário: caule

Assim como na raiz, o crescimento secundário do caule está relacionado à formação de tecidos vasculares secundários a partir do câmbio vascular derivado da interligação de faixas do procâmbio e da periderme gerada pelo felogênio. A partir de **divisões periclinais** celulares, há a produção do **felema** ou **súber** em direção à periferia da raiz ou caule e o **feloderma** ou **córtex secundário** em direção ao centro do órgão, resultando na configuração em que o xilema secundário é voltado para o interior do caule, e floema secundário

para a periferia. Já as **divisões anticlinais** geram um aumento no diâmetro da planta que acompanha o crescimento em espessura do órgão.

Figura 2.10 | Divisões periclinais e anticlinais



Fonte: elaborada pela autora.



**Refleta**

O acréscimo de novos tecidos vasculares promove aumento no diâmetro caulinar, causando uma tensão em seu interior que pressiona especialmente o floema pela posição do vaso condutor externamente ao câmbio. Dessa forma, o floema vai sendo deslocado para fora, esmagado e vai deixando de ser funcional.

Igualmente à raiz, no caule a epiderme é substituída pela periderme gerada a partir do felogênio, o qual é derivado principalmente de camadas subepidérmicas do parênquima e esclerênquima.

### Anatomia da madeira

A anatomia da madeira é o estudo das diferentes partes que compõem o xilema secundário ou **lenho** relacionado a um material orgânico composto especialmente por fibras de celulose e hemicelulose unidas por lignina e diferenciado nas regiões de medula, cerne, alburno, nós e casca, que compõem o tronco da árvore. É importante mencionar que em árvores de grande porte, apenas o xilema desempenha a função de transporte, sendo que a porção mais

interna do tronco (cerne) é obstruída pelo depósito de resinas, gomas e outras substâncias.



## Vocabulário

A **medula** é um tecido mole e esponjoso da porção central do tronco, enquanto o **cerne** e o **alburno** correspondem às zonas do lenho mais escuras, relacionadas à resistência, ou mais claras, responsáveis pelo transporte de seiva bruta, respectivamente.

A **casca** representa o súber, tecido de revestimento (periderme) responsável por proteção mecânica e resistência à perda de água.

O conhecimento principalmente do formato e da organização da madeira, usualmente obtido pela observação de cortes transversais do tronco – que expõem vários anéis circulares concêntricos correspondentes à estimativa da idade da árvore (**anéis de crescimento**) – é útil na identificação e preservação de espécies que produzem madeira, assim como na sua utilização sob um plano de manejo e condições adequados.



## Refleta

O crescimento de uma espécie vegetal lenhosa, ou seja, que apresenta xilema secundário como o tecido vascular responsável pelo transporte de água e sais minerais da raiz para todo corpo da planta é registrado por **anéis de crescimento**. Eles correspondem a zonas mais claras e espessas (lenho inicial) pelo maior aporte de água em períodos úmidos e aquelas mais escuras e compactas, que se desenvolvem em épocas secas. Geralmente, um par de anéis representa um ano de crescimento, embora isso seja restrito e evidente em plantas de clima temperado, onde há uma divisão clara das estações. Há, ainda, espécies vegetais de clima tropical que podem produzir mais de um par de anéis por ano, evidenciando que essa relação entre número de anéis e anos de crescimento não é uma regra.

Figura 2.11 | Micrografia caulinar e anatomia da madeira



Fonte: adaptada de: <[http://www.istockphoto.com/br/foto/estaminais-modelo-de-treinamento-planta-isolado-no-fundo-branco-gm452790145-30000600?st=\\_p\\_micrografia%20do%20caule](http://www.istockphoto.com/br/foto/estaminais-modelo-de-treinamento-planta-isolado-no-fundo-branco-gm452790145-30000600?st=_p_micrografia%20do%20caule)> e <<http://www.istockphoto.com/br/vetor/wood-cross-section-scheme-gm618647706-107719759>>. Acesso em: 10 jan. 2016.



**Pesquise mais**

Para compreender mais detalhes sobre a estrutura, organização e função das diferentes partes que compõem a madeira, acesse os seguintes materiais, disponíveis em: <<http://www.ebah.com.br/content/ABAAABCCEAJ/apostila-anatomia-madeira>> e <<http://www.madeira.ufpr.br/disciplinassilvana/APOSTILA-ANATOMIA-2P-2016.pdf>>. Acesso em: 10 jan. 2016.

## Crescimento secundário: pecíolo e nervuras

Geralmente as folhas não apresentam crescimento secundário e, conseqüentemente, a epiderme permanece como o único tecido de revestimento foliar. É importante notar que a ausência de um acréscimo de espessura da folha por esse tipo de crescimento facilita a captação de luz e as trocas gasosas imprescindíveis à conversão de matéria inorgânica em orgânica por meio da fotossíntese. Entretanto, mesmo sendo raro, em alguns casos ocorre o crescimento secundário em nervuras foliares maiores, que correspondem a ramificações a partir do pecíolo que satisfaz aos vasos condutores de seiva; ou mesmo no pecíolo que representa a haste de sustentação que interliga o limbo ao ponto de fixação no ramo caulinar.

### Sem medo de errar

O crescimento primário, relacionado ao aumento de comprimento e à formação de protoderme, meristema fundamental e procâmbio, e o crescimento secundário, relativo ao maior diâmetro e a desdiferenciação dos tecidos primários formados em secundários, são distribuídos de forma distinta entre monocotiledôneas e dicotiledôneas. Assim, monocotiledôneas geralmente apresentam apenas crescimento caulinar primário, em que os vasos primários xilema e floema são dispersos no meristema fundamental; enquanto dicotiledôneas apresentam comumente crescimento secundário, em que os feixes vasculares estão dispostos como um cilindro contínuo separado por faixas largas de parênquima. Portanto, os crescimentos primário e secundário interferem em organizações caulinares classificadas como do tipo atactostole ou eustele, respectivamente.

### Avançando na prática

#### A idade das árvores

##### Descrição da situação-problema

Após uma forte chuva que derrubou muitas árvores pela cidade, Camila pôde observar o interior do tronco de uma delas, reparando especialmente na configuração de diversos raios circulares e

concêntricos intercalados por zonas mais claras e mais escuras. Ao chegar em casa, a menina contou o ocorrido e ao relatar o que visualizou para sua irmã Cláudia, ficou surpresa com a afirmação dela: "Se havia muitos círculos, trata-se de uma árvore antiga".

A partir dessa situação, você seria capaz de evidenciar a relação entre a quantidade de raios internos no tronco de uma árvore e sua idade? Ainda, o que poderíamos inferir sobre a distância entre os raios e o clima em que a espécie vegetal habita?

### Resolução da situação-problema

Camila observou os **anéis de crescimento**, que compõem a morfologia interna do tronco das árvores, estruturas circulares concêntricas e úteis na identificação e preservação de espécies que produzem madeira, assim como na sua utilização sob um plano de manejo e condição adequados. De forma geral, um par de anéis pode representar um ano de crescimento em plantas de clima temperado e é caracterizado por zonas mais claras ou escuras, de acordo com maior ou menor disponibilidade de água. Assim, em ambientes ou períodos úmidos, as células dos anéis se apresentam com calibre maior para transportar essa demanda maior de água, distanciando-se daquelas do anel subsequente. Inversamente, condições e períodos secos causam configurações celulares mais compactas e próximas daquelas do anel subsequente. Portanto, o registro dos anéis de crescimento no tronco está relacionado à quantidade de água disponível para a planta, indicando se a espécie vegetal habita ambientes mais úmidos ou áridos.

Também é importante destacar que a investigação da estrutura e organização dos anéis de crescimento oferece subsídios importantes ao estudo da situação de disponibilidade de água ao longo do tempo, evidenciando indiretamente mudanças climáticas ocorridas em milhares de anos.

### Faça valer a pena

1. O sistema vascular é responsável pelo transporte de água e/ou solutos por meio de vasos condutores – o xilema e o floema. Ambos podem ser formados a partir do crescimento primário (em comprimento) e secundário

(em espessura), sendo que plantas com estrutura primária apresentam xilema e floema primários originados a partir do procâmbio e aquelas com estrutura secundária exibem xilema e floema secundários gerados pela atividade do câmbio vascular.

O procâmbio está organizado como um canal central recoberto primeiramente por meristema fundamental e subsequentemente pela protoderme em qual dos órgãos vegetais abaixo?

- a) Raiz.
- b) Caule.
- c) Pecíolo.
- d) Nervuras foliares.
- e) Flor.

**2.** Assim como na raiz, o crescimento secundário do caule está relacionado à formação de tecidos vasculares secundários a partir do câmbio vascular derivado da interligação de faixas do procâmbio e da periderme gerada pelo felogênio. Ainda, em ambos os órgãos a epiderme é substituída pela periderme gerada a partir do felogênio, o qual é derivado principalmente de camadas subepidérmicas do parênquima e esclerênquima.

Com relação ao crescimento secundário do caule, podemos afirmar que:

I. As divisões periclinais formam o súber (ou felema) e o feloderma e resultam na disposição do xilema secundário ser voltado para o interior do caule, e floema secundário para a periferia.

II. Divisões anticlinais geram um aumento no comprimento da planta, que acompanha o crescimento em altura do órgão.

III. O aumento do diâmetro caulinar pressiona o floema e o torna disfuncional.

- a) V, V, V.
- b) V, F, V.
- c) V, V, F.
- d) F, V, V.
- e) F, F, F.

**3.** O desenvolvimento de uma planta, desde seu estágio inicial de embrião até o indivíduo adulto capaz de florescer, produzir frutos com sementes, senescer e eventualmente morrer, depende de uma sequência precisa e ordenada de eventos, como crescimento, diferenciação e morfogênese celular, que dependem da divisão da célula vegetal. De acordo com a observação dos padrões de divisão celular no ápice de caules realizado por Schmidt (1924 apud OGURA, 1972), podemos apontar divisões perpendiculares ao eixo denominadas de anticlinais ou paralelas ao eixo e em muitos planos nomeadas de periclinais.

Referente ao crescimento caulinar secundário, relacione as colunas e indique a sequência correta.:

1. Divisões periclinais.	( ) Felema (súber).
1. Divisões anticlinais.	( ) Feloderma (córtex secundário).
	( ) Crescimento em espessura.

- a) 2, 2, 1.
- b) 1, 2, 2.
- c) 1, 2, 1.
- d) 1, 1, 2.
- e) 2, 1, 2.

# Referências

- APPEZZATO-DA-GLÓRIA, B.; CARMELLO-GUERREIRO, S. M. **Anatomia vegetal**. 2. ed. Viçosa: UFV, 2006.
- BARROSO, G. M.; MORIM, M. P.; PEIXOTO, A. L.; ICHASO, C. L. F. **Frutos e sementes: morfologia aplicada à sistemática de dicotiledôneas**. Viçosa: UFV, 1999.
- CUTTER, E. G. **Anatomia vegetal: parte 1 - células e tecidos**. 2. ed. São Paulo: Roca, 2007.
- \_\_\_\_\_. **Anatomia vegetal: órgãos experimentos e interpretação**. São Paulo: Roca, 2002.
- FERRI, M. G. **Botânica: morfologia interna das plantas (anatomia)**. 9. ed. São Paulo: Nobel, 2005.
- GONÇALVES, G. E.; LORENZI, H. **Morfologia vegetal: organografia e dicionário ilustrado de morfologia de plantas vasculares**. 2. ed. Nova Odessa: Instituto Plantarum, 2008.
- OGURA, Yudzura. **Comparative anatomy of vegetative organs of the pteridophytes**. Berlin: Gebrüder Bornträger, 1972.
- RAVEN, P. H.; EVERT, R. F.; EICHHORN, S. E. **Biologia vegetal**. 7. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2007.
- SOUZA, L. A. **Morfologia e anatomia vegetal: células, tecidos, órgãos e plântula** Ponta Grossa: Editora UEPG, 2003.
- VIDAL, W. N.; VIDAL, M. R. R. **Botânica - organografia: quadros sinóticos ilustrados de fanerógamos**. 4. ed. Viçosa: UFV, 2007.



# Regulação do crescimento e movimentos vegetais

## Convite ao estudo

Caro aluno, na unidade anterior compreendemos que a formação de uma planta, desde seu estágio inicial de embrião até o de um indivíduo adulto capaz de florescer, produzir frutos com sementes, senescer e eventualmente morrer, depende de uma seqüência precisa e ordenada de eventos relacionados ao crescimento, diferenciação e morfogênese celular. Cabe destacar que esses fenômenos são orientados por fatores externos, como a disponibilidade de luz, água, nutrientes e a temperatura e comprimento do dia, e por fatores internos, que são basicamente químicos e mediados por hormônios vegetais ou fitormônios. Dessa forma, esta unidade pretende apresentar os principais hormônios e movimentos vegetais, além dos ritmos circadianos, para a identificação como fatores que influenciam e regulam o crescimento e a homeostase.

Para auxiliar na construção do conhecimento, será apresentada uma situação hipotética, contexto de aprendizagem, que visa à aproximação dos conteúdos teóricos com a prática. Leia com atenção!

Paulo sempre foi um menino muito interessado nos fenômenos da natureza. Certo dia, ele estava no quintal da sua casa observando a forma da roseira quando notou que ela parecia crescer mais em direção à luz. Intrigado, ele resolveu testar sua hipótese e deitou o vaso no chão. Passados alguns dias, o menino ficou encantado ao comprovar que de fato a haste caulinar e os ramos da roseira localizados na porção aérea da planta tinham entortado para retornarem à posição vertical (perpendicular ao solo), no sentido

para cima. Entretanto, Paulo também pôde notar que a raiz apresentou igualmente uma mudança de forma orientada para a posição vertical perpendicular ao solo, porém, no sentido para baixo, contrário à luz.

A partir dessa situação, você seria capaz de explicar o que poderia ter ocorrido com o crescimento e desenvolvimento da roseira após ter sido colocada na posição horizontal? Ainda, por que a luz não foi suficiente para orientar o sentido da raiz? Que outros fatores estão envolvidos nesse processo?

# Seção 3.1

## Hormônios vegetais

### Diálogo aberto

Caríssimo aluno, vamos estudar a partir de agora características gerais do mecanismo de ação, efeitos e importância dos principais hormônios vegetais responsáveis pela divisão, alongamento e diferenciação celular no crescimento e desenvolvimento das plantas. Para tanto, vamos lembrar o contexto de aprendizagem destacado no "Convite ao estudo", sobre a comprovação de Paulo de que a porção aérea (caules e ramos) e a subterrânea (raiz) de sua roseira, quando colocada deitada no chão, tiveram seu crescimento e desenvolvimento orientados em sentidos diferentes (o caule para cima e a raiz para baixo). Após ter retornado à roseira para a posição vertical e passado algum tempo, Paulo observou que a área da ponta da planta, ou seja, sua parte mais alta, crescia dia a dia. Pensando na possibilidade de que cortando a região apical da roseira ela cresceria em comprimento de forma ainda mais rápida, o menino foi surpreendido ao notar que após alguns meses da poda apical a planta praticamente parou de crescer verticalmente e cresceu de forma acentuada em largura (longitudinalmente) pelo brotamento de gemas caulinares (galhos). De acordo com a situação acima, você conseguiria imaginar por que a poda apical cessou seu crescimento em comprimento e estimulou em largura? Ainda, qual seria a importância da identificação e do conhecimento dos fatores envolvidos no crescimento e desenvolvimento vegetal?

Para que você organize e assimile conceitos que te permitirão chegar a uma conclusão, apresentaremos tópicos relacionados às características gerais dos principais hormônios vegetais, incluindo seu mecanismo de ação e efeitos. Ainda, apresentaremos o etileno como fitormônio relacionado à interação com a luz e outros hormônios e aqueles envolvidos nos fenômenos de dormência e germinação de sementes.

## Não pode faltar

### Principais hormônios vegetais

Como dito na unidade anterior, o crescimento e desenvolvimento de uma planta depende tanto de fatores ambientais externos quanto de fatores químicos internos relativos aos **hormônios vegetais** ou **fitormônios**. Fitormônios são, portanto, substâncias orgânicas endógenas que atuam de forma integrada como reguladores e mediadores químicos das atividades e funções de tecidos e órgãos vegetais específicos ou **alvos**. Desse modo, a secreção dos hormônios causa alterações no metabolismo ou padrão de funcionamento da planta (resposta fisiológica) fundamentais para a coordenação e integração de atividades que permitem a manutenção da homeostase das variadas espécies botânicas.

A produção hormonal das plantas é influenciada, tanto pela transcrição de determinados genes relacionados às funções específicas, quanto por fatores ambientais, como intensidade luminosa, temperatura, umidade, concentração de gases e comprimento do dia, que indica a sucessão das estações sazonais do ano (primavera, verão, outono e inverno). Assim, um mesmo hormônio vegetal é capaz de produzir efeitos distintos de acordo com o local em que está atuando e a época de desenvolvimento dos tecidos da raiz, caule, folhas, flores, frutos e sementes.



Refleta

Além de essenciais à adaptação, sobrevivência e reprodução das plantas, os fitormônios também são importantes economicamente por aumentarem a produtividade na agricultura, minimizando custos e barateando preços ao consumidor final. Para tanto, o estudo da ação dos hormônios em conjunto com fatores ambientais permite a manipulação e alteração do ritmo biológico de espécies vegetais, garantindo um maior número de produtos consumíveis, como flores e frutos, utilizando cada vez menos recursos em menos tempo.

Atualmente, os hormônios vegetais são classificados em cinco grupos, de acordo com as características químicas e efeitos que exercem nas plantas: **auxina, giberelina, citocinina, ácido abscísico** e **etileno**.

• **Auxinas** são substâncias representadas pelo ácido indolacético (AIA) e responsáveis pelo **alongamento celular das raízes** e **caules** ao serem transportadas unidirecionalmente de seus locais de produção para os de ação (transporte polar). Elas são produzidas em diferentes tecidos vegetais, mas são abundantes nas gemas apicais caulinares das plantas adultas e nos coleótilos (locais da primeira porção da planta que aparece à superfície do solo) das mudas jovens, sendo seu **crescimento orientado pela luz**. Cabe destacar que as auxinas produzidas pelas gemas apicais, estruturas relacionadas ao crescimento longitudinal do caule, atuam na **dominância apical** ao inibirem o crescimento das gemas laterais. O AIA também está relacionado ao **geotropismo** (movimento orientado pela gravidade, que será abordado na próxima seção) positivo da raiz e negativo do caule, à **formação de raízes adventícias** e à **produção de frutos partenocárpicos** (frutos sem fecundação do óvulo).



#### Refleta

Você sabia que uma dose ótima de AIA para estimular o crescimento do caule pode inibir o crescimento da raiz? De fato, órgãos diferentes como o caule e a raiz reagem de forma distinta, já que a concentração ótima para o crescimento da raiz é inferior à do caule. Portanto, a raiz é mais sensível ao AIA, e a concentração ótima para o crescimento do caule é inibitória para o da raiz, impedindo igualmente o crescimento das gemas laterais.

• **Giberelinas**, nome derivado por serem produzidas pelo fungo *Gibberella fujikuroi*, são representadas pelo ácido giberélico (GA<sub>3</sub>) e estão amplamente distribuídas por toda a planta, sendo comuns em tecidos jovens do sistema caulinar e sementes ainda em desenvolvimento. Atuam regulando o **crescimento vegetal** pela estimulação do alongamento celular e na **quebra de dormência das sementes**, promovendo o crescimento do embrião e a emergência da plântula. Esses efeitos garantem as aplicações práticas desse fitormônio.



#### Exemplificando

Na prática agrícola, as giberelinas podem ser usadas para acelerar a germinação e uniformizar as plantações, antecipar a produção de sementes, estimular o florescimento de plantas de dia longo e bienais. Também permitem a formação de uvas sem sementes (frutos partenocárpicos).

- **Citocininas**, nomeadas assim por estimularem a divisão celular ou citocinese, são produzidas nos embriões, frutos e especialmente nas raízes e transportadas pelo xilema para todas as partes da planta. Culturas de células vegetais revelam a participação de uma relação ótima entre a concentração de citocininas e a de auxinas na **divisão e diferenciação dos tecidos vegetais** em diversos órgãos. Esses dois fitormônios também atuam no controle da dominância apical, sendo que as auxinas que descem pelo caule inibem o desenvolvimento das gemas laterais, e as citocininas que vêm das raízes o estimulam. Ainda, as citocininas **retardam o envelhecimento vegetal**, fato pelo qual elas são comumente pulverizadas em flores recém-colhidas nos comércios de plantas.

- **Ácido abscísico (ABA)** está relacionado ao fenômeno de **abscisão de frutos e folhas**, ou seja, queda dessas estruturas nas plantas decíduas, frequentemente em resposta a condições ambientais adversas como baixas temperaturas e/ou disponibilidade de água, gases e nutrientes. Nesse contexto, a síntese de auxina no limbo foliar diminui e promove o rompimento do pecíolo em uma região denominada **camada de abscisão**. O ABA contribui para essa ruptura ao promover a síntese de outro hormônio, o etileno, que produz enzimas responsáveis por dissolver parcial ou totalmente a parede celular e a lamela média.

- **Etileno** é um gás produzido praticamente em todas as células vegetais, mas abundantemente nas flores após a polinização, nos frutos mais maduros e em células danificadas em geral. A produção de etileno por um fruto maduro acelera o amadurecimento dos demais. Inversamente, os floricultores costumam armazenar frutos em câmaras onde o acúmulo desse gás é evitado como forma de retardar seu amadurecimento. Além de atuar no **amadurecimento de flores e frutos e na regulação do crescimento vegetativo**, o etileno tem uma importante participação no processo de **abscisão foliar**, como será discutido posteriormente nesta seção.

### Mecanismo de ação dos fitormônios

Como dito anteriormente, os fitormônios são mediadores químicos responsáveis pela transmissão de informações ao atuarem

nos mesmos tecidos e órgãos de sua síntese ou em locais distintos e distantes de sua origem, sendo transportados pelos vasos condutores xilema e floema. Seu mecanismo de ação ocorre em resposta a condições favoráveis internas e externas que estimulam sua síntese, liberação e ligação específica a determinados receptores presentes na membrana plasmática, citoplasma ou núcleo das células-alvo. Essas ligações provocam mudanças conformacionais que desencadeiam reações modificadoras do metabolismo dessas células-alvo. Cabe destacar que o número de receptores muda de acordo com o tipo da célula vegetal (epidérmica, fundamental ou vascular) e com seu estágio de desenvolvimento (embrionário, maduro ou senescente), contribuindo para variação do tipo, grau e localização da resposta celular. Conseqüentemente, os fitormônios exercem seus efeitos pela regulação e modificação da transcrição de determinados genes que codificam proteínas efetoras de funções específicas, seja por sua interação direta com receptores nucleares, seja pela sua ação na permeabilidade de membrana e na ativação de enzimas relacionadas a segundos mensageiros responsáveis por alterações metabólicas.



**Pesquise mais**

Para mais detalhes sobre o mecanismo de ação, assim como os efeitos fisiológicos dos principais fitormônios, acesse o seguinte material, disponível em: <<http://nead.uesc.br/arquivos/Biologia/mod4bloco4/eb7/eb7-os-hormonios-vegetais.pdf>>. Acesso em: 1 fev. 2017.

### **Principais efeitos dos fitormônios**

Os efeitos dos fitormônios nas plantas dependem da sua concentração **associada ao tipo de tecido ou órgão**, sendo que valores abaixo ou acima da concentração ideal crítica para a ação do hormônio não evocam resposta fisiológica; seu **estágio de desenvolvimento** visto as diferenças de necessidades nas distintas fases do ciclo de vida vegetal; sua **sensibilidade diferencial** pela compatibilidade com receptores das células-alvo, causando mudanças metabólicas que levarão à resposta fisiológica; e a **integração com outros hormônios**. É importante apontar que diferentemente da especificidade dos hormônios que atuam nos animais, os efeitos dos fitormônios nas plantas são de amplo espectro. Observe o Quadro 3.1, nele constam os principais efeitos, origem e alvo dos fitormônios mais representativos:

Quadro 3.1 | Efeitos, origem e alvo dos principais fitormônios

Hormônio	Efeitos	Origem	Alvo
<b>Auxinas (AIA)</b>	↑ Alongamento Celular; ↑ Desenvolvimento de Frutos; ↑ Dominância Apical; ↓ Abscisão Foliar; Fototropismo e Geotropismo.	Meristema caulinar Primórdios Foliares Folhas jovens Frutos Sementes	Raízes Caules Folhas
<b>Giberelinas</b>	↑ Alongamento Celular; ↑ Desenvolvimento de Frutos; ↑ Desenvolvimento de Brotos; ↑ Floração; ↑ Germinação de Sementes.	Meristemas Frutos Sementes	Caules
<b>Citocinas</b>	↑ Divisão Celular; ↑ Desenvolvimento de Gema; ↓ Abscisão Foliar; Diferenciação dos Tecidos.	Tecidos variados Extremidades radiculares	Meristemas - Raiz Meristemas - Caule Meristemas - Folhas
<b>Ácido Abscísico</b>	↓ Crescimento; ↑ Dormência; ↑ Envelhecimento dos Órgãos; ↑ Fechamentos de Estômatos.	Folhas Coifa Caules	Caules Gemas
<b>Etileno</b>	↑ Abscisão Foliar; ↑ Amadurecimento de Frutos; ↓ Crescimento.	Tecidos maduros - Raiz Tecidos maduros - Folhas	Frutos Flores

Fonte: elaborado pelo autor.

## Etileno

O etileno está relacionado com a **abscisão de folhas e frutos** de forma indireta, ao inibir o transporte de auxinas no pecíolo, contribuindo com a redução de AIA na folha, ou direta, ao estimular a ação de enzimas que atuam na parede celular (celulases) e na lamela média (pectinases), digerindo essas estruturas na região de abscisão do pecíolo. Esse local torna-se, portanto, enfraquecido e fatores mecânicos, como um vento moderado, podem causar a quebra do feixe vascular e completar a separação da folha do restante da planta. Após essa ruptura, o meristema de abscisão que surge durante esse processo possui células que organizam uma cicatriz, fechando a lacuna produzida com a queda da folha ou do fruto.

Figura 3.1 | Abscisão foliar induzida pelo etileno em regiões temperadas



Fonte: <<http://www.istockphoto.com/br/foto/fundo-do-outono-com-pranchas-de-madeira-gm507030607-45175548>>. Acesso em: 1 fev. 2017.

### Dormência e germinação de sementes

A **germinação**, ou seja, o retorno do crescimento do embrião localizado no interior da semente em amadurecimento pela saída do estado de repouso e volta à atividade metabólica necessária à formação de uma planta adulta depende de condições favoráveis intrínsecas (relacionadas à própria semente) ou extrínsecas (relativas ao ambiente). Conseqüentemente, fatores abióticos críticos ao crescimento (temperatura, umidade e disponibilidade de nutrientes e gases adequada) e bióticos (estimulados pela presença de giberelinas e ausência de inibidores do crescimento como o ABA) regulam o desenvolvimento do embrião até que ele alcance os tecidos nutritivos (endosperma) da semente. As **sementes germinadas** denominadas **quiescentes** podem permanecer em um estado de baixa atividade (apenas a necessária para mantê-las vivas), sobrevivendo em situações adversas até que condições ideais, como as supracitadas, permitam sua germinação, desenvolvimento e propagação.



#### Assimile

As sementes apresentam um papel fundamental à manutenção e propagação de espécies botânicas ao atuar como um banco de genes para melhoramento e conservação estocado em herbários e museus, além de participar da biodiversidade por facilitar a reprodução sexuada pela polinização.

Figura 3.2 | Representação da germinação de uma semente



Fonte: <[http://www.istockphoto.com/br/foto/sequ%C3%Aancia-de-ab%C3%B3bora-crescendo-isoladas-evolu%C3%A7%C3%A3o-conceito-gm147512291-19982811?st=\\_p\\_desenvolvimento%20vegetal](http://www.istockphoto.com/br/foto/sequ%C3%Aancia-de-ab%C3%B3bora-crescendo-isoladas-evolu%C3%A7%C3%A3o-conceito-gm147512291-19982811?st=_p_desenvolvimento%20vegetal)>. Acesso em: 1 fev. 2017.

Entretanto, algumas espécies vegetais não germinam mesmo quando expostas a condições ideais, sendo classificadas como **sementes dormentes**. Dessa forma, o fenômeno da **dormência** pode ser causado pelo bloqueio da germinação por inibições metabólicas ou estruturais que inviabilizam o desenvolvimento da semente (**dormência endógena**) ou por fatores físicos, químicos e mecânicos que inibem o crescimento e expansão do embrião (**dormência exógena**).



### Exemplificando

As **dormências endógenas** podem ser exemplificadas por dormências **morfológicas**, **fisiológicas** ou **morfofisiológicas** quando relacionadas a alterações estruturais, funcionais ou ambas, respectivamente, que culminam com a inviabilidade do crescimento do embrião.

Já as **dormências exógenas físicas** causam a impermeabilidade de tecidos, as **químicas** são relacionadas a inibidores de crescimento, como o ABA, e as **mecânicas** originam rigidez no endocarpo ou mesocarpo, que igualmente impedem a expansão do embrião.

As sementes apresentam **dormência primária** quando são liberadas da planta ou dormência **secundária** se são não dormentes quando inicialmente dispersas da planta-mãe, mas podem ser induzidas à dormência se as condições para a germinação forem desfavoráveis.



A dormência evoluiu como um mecanismo de sobrevivência das variadas espécies vegetais localizadas em ambientes adversos, com baixas temperaturas e pouca umidade e disponibilidade de nutrientes e gases, já que a germinação de organismos sob essas condições aumentaria o risco da falta de sucesso reprodutivo e as tornaria mais vulneráveis à extinção.

A quebra da dormência vegetal pode ser induzida por **agentes mecânicos**, como escurificações físicas feitas por materiais cortantes ou químicas pela adição de ácidos (sulfúrico, clorídrico, entre outros); **agentes químicos** pela estimulação mediada por fitormônios, como as giberelinas; **temperatura** por meio da exposição das sementes hidratadas a temperaturas altas ou baixas; **lixiviação** com a lavagem de inibidores de crescimento presentes na semente; e **luz** percebida pelo fitocromo, que promove a síntese de giberelinas que silenciam genes envolvidos na manutenção da dormência e promovem a síntese de enzimas envolvidas no enfraquecimento dos tegumentos.



Aprofunde seu conhecimento sobre os fenômenos de germinação e dormência de sementes acessando os seguintes materiais, disponíveis em: <<http://www.ipef.br/tecsementes/dormencia.asp>> e <[http://www.fisiologiavegetal.ufc.br/APOSTILA/DORMENCIA\\_GERMINACAO.pdf](http://www.fisiologiavegetal.ufc.br/APOSTILA/DORMENCIA_GERMINACAO.pdf)>. Acesso em: 1 fev. 2017.

## Sem medo de errar

A mudança da roseira para um formato copado (pouca altura e muitos galhos) após a poda apical, observada por Paulo, está relacionada à inibição da auxina presente na gema apical da planta, que atua na dormência de gemas laterais que originam ramos, galhos, folhas e flores. Portanto, a eliminação da gema apical pela poda bloqueia a ação da auxina no fenômeno de dominância apical pela dormência das gemas laterais, resultando em uma planta com menor altura e maior largura.

Também cabe destacar que o estudo da ação dos fitormônios permite identificar a estrutura e funcionamento dos elementos endógenos envolvidos no crescimento e desenvolvimento vegetal,

garantindo o conhecimento necessário para sua melhor conservação e propagação. Além disso, os fitormônios apresentam importância prática ao aumentar a produtividade de frutas e sementes pelo conhecimento de sua ação especialmente no amadurecimento vegetal, contribuindo para minimizar custos e baratear os preços ao consumidor.

## Avançando na prática

### Banana verde amarra a boca!

#### Descrição da situação-problema

Camila acompanhou sua mãe, Marilda, durante a feira. Ao chegarem à barraca das bananas, notaram que só havia bananas verdes, mas a feirante orientou que elas embrulhassem as frutas em um papel de jornal e as deixassem em um local aquecido, como dentro do forno desligado, pois assim elas amadureceriam rapidamente. A partir dessa situação, você seria capaz de usar seus conhecimentos em morfofisiologia para explicar o motivo da sugestão da feirante para o amadurecimento mais rápido das bananas?

#### Resolução da situação-problema

A sugestão da feirante à Camila e Marilda está baseada no fato de que ao embalar as bananas com uma folha de jornal, o fitormônio etileno presente desde a casca até o interior dos diferentes órgãos vegetativos se torna mais concentrado e sua ação no amadurecimento aumenta. Essa capacidade do etileno se deve porque sua síntese ocorre pela oxidação de lipídeos que promove um rompimento nas fibras do fruto, tornando-o macio e adocicado nas frutas maduras. Por isso ele está relacionado com a quebra das ligações de amido presentes nesse tecido. Além disso, o etileno quebra as moléculas de clorofila, que conferem a cor verde na casca de frutos imaturos, garantindo que eles adquiram cores geralmente avermelhadas ou amareladas, conforme seu tipo, que são próprias de órgãos vegetais maduros.



1. Auxina	a. Amadurecimento de frutos.
2. Giberelina	b. Alongamento celular (crescimento).
3. Etileno	c. Estimulo à germinação de sementes.

Associe os fitormônios com seu principal mecanismo de ação e assinale a alternativa correta:

- a) 1.a., 2.b., 3.c.
- b) 1.c., 2.b., 3.a.
- c) 1.b, 2,a, 3.c.
- d) 1.a., 2.c., 3.b.
- e) 1.b., 2.c., 3.a.

## Seção 3.2

### Movimentos vegetais

#### Diálogo aberto

Caro aluno, vamos estudar, a partir de agora, características gerais dos principais movimentos vegetais que ocorrem em resposta a estímulos promovidos por fatores ambientais (luz, temperatura, nutrientes, gases) ou endógenos (hormônios, entre outros). Para tanto, vamos retomar o contexto de aprendizagem destacado no “Convite ao estudo” sobre o crescimento diferencial entre caule e raiz de uma roseira após seu vaso ser deitado no chão por Paulo. Ao contar sobre seu experimento, um amigo, Dante, também ficou motivado a entender melhor o crescimento e desenvolvimento do vaso de feijão que estava nascendo no quintal de sua casa. Dessa forma, ele decidiu colocar o vaso dentro de uma caixa de papelão, recortar um buraco em sua lateral e observar. Você seria capaz de projetar o que teria acontecido, passado certo tempo, com o feijão colocado dentro da caixa? Ainda, quais seriam os fatores que direcionaram esse fenômeno?

Para que você organize e assimile conceitos que permitirão com que você chegue a uma conclusão, apresentaremos tópicos relacionados às características gerais dos movimentos vegetais, incluindo sua função, efeitos e fatores externos e internos relacionados.

#### Não pode faltar

É muito provável que você e a maioria dos seus conhecidos tenham a percepção de que os vegetais são organismos fixos e presos ao solo. Entretanto, também é de conhecimento comum o fato de que as plantas são seres vivos capazes de perceber, processar e responder a variações ambientais e endógenas. Assim, alguns estímulos ambientais ou endógenos são apreendidos pelos receptores sensoriais localizados nas células vegetais e essa ligação traduz esse sinal para a execução de uma resposta fisiológica que pode resultar em um **movimento vegetal**.



## Exemplificando

Por meio dos receptores sensoriais localizados em suas células, as plantas são capazes de identificar a luz, gravidade, teor de umidade, toques mecânicos, comprimento do dia e, conseqüentemente, a época do ano, entre outros fatores ambientais. Da mesma forma, hormônios e outros mensageiros intracelulares são fatores endógenos capazes de desencadear uma **resposta fisiológica** nos vegetais.

Igualmente a todo processo biológico, os movimentos vegetais são regulados por fatores externos, como temperatura, umidade, luz e concentração de gases; ou endógenos, como hormônios, enzimas e genoma, respondendo de forma genérica ou específica de acordo com o tipo, intensidade e duração do estímulo. Conseqüentemente, os diferentes tipos de estímulo estão relacionados à diversidade de movimentos que podem ser classificados em **movimentos vegetais de crescimento e curvatura** ou **movimentos vegetais de locomoção**.

### Movimentos vegetais de crescimento e curvatura

Os movimentos vegetais relativos ao crescimento e à curvatura podem ser do tipo **tropismo** ou **nastismo**, e representam respostas orientadas em direção à fonte de estímulo, como nos tropismos, ou contrárias à fonte de estímulo, como nos nastismos.

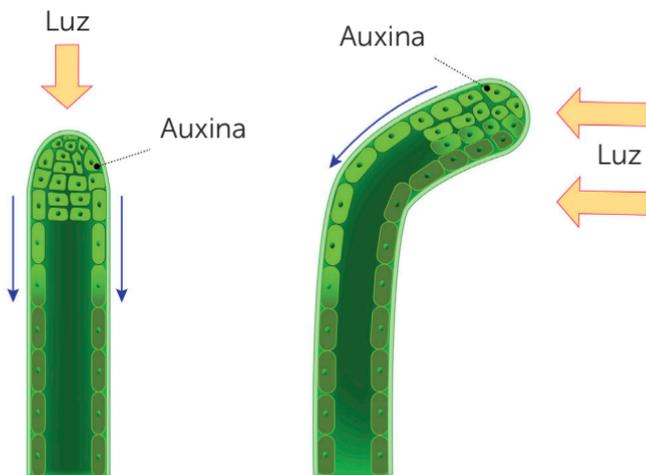
### Tipos de tropismo

Os **tropismos** (do grego *tropos*, volta, giro) são movimentos de crescimento irreversíveis, mediados por uma distribuição desigual da auxina entre um lado e outro da planta, resultando em um dos lados maior que o outro pelo seu crescimento mais rápido incitado pela maior concentração desse fitormônio. Quando o vegetal cresce em direção à fonte de estímulo, é denominado de tropismo positivo e quando o movimento ocorre em sentido contrário à fonte de estímulo, de tropismo negativo.

Os principais tipos de tropismo são o **fototropismo**, **gravitropismo** (ou **geotropismo**), **quimiotropismo** e **tigmotropismo**.

- **Fototropismo:** movimento orientado pela direção da luz por meio da ação das auxinas no alongamento celular, sendo que esses fitormônios migram para a face menos iluminada e promovem seu crescimento diferencial de forma mais rápida. Portanto, as plantas se curvam em direção à fonte de luz como consequência do maior alongamento da superfície menos iluminada.

Figura 3.3 | Fototropismo mediado pela distribuição diferencial das auxinas



Fonte: adaptada de: <[http://www.istockphoto.com/br/vetor/auxinas-gm502488194-81942769?st=\\_p\\_fototropismo](http://www.istockphoto.com/br/vetor/auxinas-gm502488194-81942769?st=_p_fototropismo)>. Acesso em: 2 fev. 2017.

- **Gravitropismo ou geotropismo:** movimento orientado pela força gravitacional da Terra e, assim como no fototropismo, mediado pela ação das auxinas no alongamento celular. As raízes crescem em direção ao solo, ou seja, favoráveis ao sentido da gravidade – **gravitropismo positivo** –, enquanto os caules crescem no sentido contrário ao solo e à força gravitacional – **gravitropismo negativo**. Dentre as diversas teorias para a explicação desse gravitropismo diferencial entre raízes e caules, como postula a hipótese estatólitos-amido ou hipótese da pressão hidrostática, podemos considerar a redistribuição de auxinas e as concentrações ótimas diferenciais desses órgãos vegetativos. Portanto, o acúmulo de auxinas na porção inferior do caule estimula a expansão das células de forma mais rápida que aquelas da porção superior, resultando em uma curvatura para cima. Já as raízes, que são órgãos mais sensíveis à ação das auxinas, têm o alongamento celular no seu lado inferior inibido pelo aumento

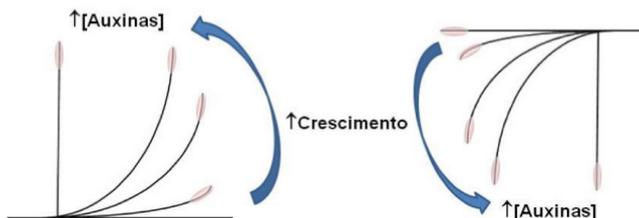
da concentração desse fitormônio, resultando na sua curvatura para baixo à medida que ocorre uma expansão mais rápida das células superiores que daquelas localizadas na porção inferior.



### Assimile

Como destacado na seção anterior, concentrações elevadas de auxinas, favorecem o crescimento de caules e inibem o crescimento de raízes.

Figura 3.4 | Crescimento diferencial pela maior concentração de auxinas no caule ou raiz



Fonte: elaborada pelo autor.



### Refleta

Se colocarmos uma planta deitada no chão, na horizontal, as auxinas produzidas na gema apical se deslocarão para a região voltada para o solo, estimulando as células desse lado a se alongarem mais do que as células do lado contrário. Logo, o caule se curvará para cima (**geotropismo negativo**), enquanto nas raízes o aumento na quantidade de fitormônio no lado voltado para baixo inibe seu alongamento celular, resultando na sua curvatura para baixo (**geotropismo positivo**).

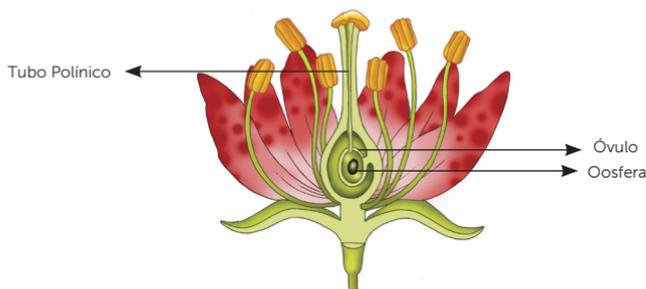


### Pesquise mais

Para compreender melhor a participação das auxinas nos movimentos de fototropismo e geotropismo, assista ao vídeo: **O KUADRO. Ação das auxinas no fototropismo e no geotropismo**: botânica biologia. 2014. Disponível em: <<https://www.youtube.com/watch?v=bbF1fxp4CC8>>. Acesso em: 3 fev. 2017.

- **Quimiotropismo**: movimento orientado por substâncias químicas como as produzidas pelo gineceu (aparelho reprodutor feminino), que direcionam o crescimento do tubo polínico em direção ao óvulo para sua fecundação.

Figura 3.5 | Quimiotactismo para encontro de gametas sexuais



Fonte: adaptada de: <<http://www.istockphoto.com/br/foto/se%C3%A7%C3%A3o-transversal-de-flor-gm480193817-36441870>>. Acesso em: 3 fev. 2017.

- **Tigmotropismo:** movimento orientado por um choque ou suporte mecânico, fazendo com que haja um crescimento e desenvolvimento ao redor dele, como representado pelas gavinhas de chuchu e maracujá, que se enrolam quando em contato com algum suporte sólido.

### Tipos de nastismo

Os nastismos são movimentos vegetais reversíveis, relacionados à curvatura das plantas e, diferentemente dos tropismos, não são orientados pela direção da fonte de estímulos e sim pela sua intensidade e estrutura (simetria) do órgão-alvo. Eles ocorrem em órgãos com simetria dorsiventral como folhas e pétalas de flores por alterações osmóticas em células de uma estrutura localizada na base dos folíolos, o **pulvino**. Quando estimuladas, essas células liberam íons de potássio, que diminuem a pressão osmótica, ocasionando a perda de água para outras células e, conseqüentemente, a diminuição de sua turgência (células murchas), que resultam no fechamento dos folíolos. Contrariamente, o aumento da pressão acarreta no ganho de água, tornando essas células túrgidas e promovendo a abertura dos folíolos. Esse mecanismo se assemelha à abertura e ao fechamento de estômatos que controlam as trocas gasosas, como abordado na Seção 2 da Unidade 2. Os principais tipos de nastismo são o **fotonastismo**, **quimionastismo** e **tigmonastismo**.

- **Fotonastismo:** movimento das pétalas para a base da corola relacionado à disponibilidade de luz, como realizado pela dama da

noite, que durante o dia apresenta as células foliares túrgidas e as do pecíolo murchas, permitindo que suas folhas permaneçam abertas; e durante a noite, as células foliares tornam-se murchas e as do pecíolo túrgidas, provocando o fechamento das folhas.

- **Quimionastismo:** movimento relativo à presença de substâncias químicas como as liberadas por insetos e percebidas por plantas carnívoras que, em conjunto com o tigonastismo, contribui para a captura do inseto como fonte de alimento.

- **Tigmonastismo ou sismonastia:** movimento relacionado à pressão mecânica exercida por algum organismo ou objeto, como o contato de um inseto com as folhas modificadas de plantas carnívoras causando uma rápida alteração osmótica que origina o fechamento dessas folhas e aprisionamento do inseto. Espécies de acácia dormideira (*Mimosa pudica*) também apresentam células sensoriais sensíveis a toques ou abalos mecânicos que desencadeiam reações para o rápido fechamento de suas folhas.

## Movimentos vegetais de locomoção ou deslocamento

Assim como os tropismos, os movimentos vegetais denominados **tactismos** são orientados em relação à fonte do estímulo excitante, podendo ser em sua direção (**tactismo positivo**) ou em direção oposta (**tactismo negativo**), e promovem o deslocamento do vegetal. Os movimentos vegetais de locomoção e deslocamento são o **fototactismo**, **quimiotactismo** e **aerotactismo**.

### Tipos de tactismo

- **Fototactismo:** movimento direcionado pela luz (como o realizado pelos cloroplastos no citoplasma da célula vegetal de algumas folhas, que migram paralelamente ao sentido da incidência de luz para evitar o risco de serem destruídos por energias luminosas altas).

- **Quimiotactismo:** movimento dirigido pela presença de substâncias químicas, como o deslocamento de gametas masculinos

(anterozoides) em direção ao gameta feminino (oosfera) durante a reprodução sexuada de briófitas e pteridófitos.

- **Aerotactismo:** movimento dirigido pela presença de oxigênio, como ocorre no deslocamento de algumas bactérias aeróbias para determinados tecidos vegetais.



### Assimile

Enquanto os tropismos e tactismos são movimentos vegetais orientados pela direção do estímulo, os nastismos são independentes da posição do estímulo externo, ou seja, são movimentos não orientados.

## Sem medo de errar

Relembrando o questionamento do "Diálogo aberto", você seria capaz de projetar o que teria acontecido com o feijão colocado dentro da caixa? Ainda, quais são os fatores que direcionaram esse fenômeno?

Ao colocar o vaso de feijão dentro de uma caixa de papelão com um furo em sua lateral, espera-se que seu crescimento caulinar seja direcionado pela luz até o ponto em que a planta consiga sair por ele. Isso ocorre pela ação do fototropismo, movimento vegetal de crescimento orientado pelo sentido da fonte de luz e relacionado com a distribuição diferencial de auxinas, que migram para a face menos iluminada da planta. Conseqüentemente, ela se curva em direção à fonte de luz pelo maior alongamento da superfície menos iluminada.

## Avançando na prática

### Carinho na plantinha

#### Descrição da situação-problema

Ao levar a filha Aninha ao parque, Tereza teve que acalmá-la pelo susto que a criança levou com o rápido fechamento das folhas de uma planta após ter feito carinho nela. A partir dessa situação e de seu conhecimento de morfofisiologia vegetal, você conseguiria explicar o que teria estimulado essa mudança de conformação

foliar? Qual é o nome do fenômeno envolvido?

### Resolução da situação-problema

O toque exercido por Aninha gerou uma pressão mecânica percebida por células sensoriais sensíveis a toques ou abalos mecânicos, que desencadeiam reações para o rápido fechamento de suas folhas por meio de alterações na turgência celular, fenômeno denominado de tigonastismo ou sismonastia. É o que ocorre com as células dos folíolos de espécies de acácia dormideira (*Mimosa pudica*) que, quando estimuladas, liberam íons potássio que diminuem a pressão osmótica, ocasionando a perda de água para outras células e, conseqüentemente, a diminuição de sua turgência (células murchas), o que resulta no fechamento dos folíolos. Contrariamente, o aumento da pressão que acarreta no ganho de água torna essas células túrgidas e promovem a abertura dos folíolos.

### Faça valer a pena

**1.** Plantas carnívoras são vegetais que atraem pequenos animais, como insetos, e os capturam por folhas modificadas, liberam enzimas capazes de digeri-los e utilizam esses nutrientes como fonte de alimento. Estão geralmente localizadas em solos pobres nutricionalmente, com excesso de água (encharcados) e ácidos.

A capacidade de as células sensoriais de plantas carnívoras fecharem suas folhas modificadas e aprisionarem insetos para sua nutrição está relacionada aos movimentos vegetais de:

- a) Quimionastismo e tigonastismo.
- b) Quimiotactismo e tigmatotismo.
- c) Quimiotropismo e tigmatotropismo.
- d) Tigonastismo e tigmatotropismo.
- e) Quimionastismo e quimiotropismo.

**2.** A reprodução sexuada das plantas, ou seja, o encontro entre o gameta feminino (oosfera) e o masculino (núcleo espermático) gerando um zigoto (embrião), proporciona uma recombinação gênica que garante uma alta variabilidade de seus descendentes, permitindo maior capacidade de sobrevivência frente a possíveis mudanças ambientais e a manutenção de novas características adaptadas ao meio. Analise cada afirmativa como



## Seção 3.3

### Ritmos circadianos

#### Diálogo aberto

Caro aluno, apresentaremos neste momento as características gerais do fenômeno denominado fotoperiodismo, incluindo sua função, efeitos e mediação por receptores específicos, os fitocromos. Também abordaremos a importância dessa resposta à propagação das espécies botânicas pela sua interferência na floração e germinação.

Para tanto, vamos retomar o contexto de aprendizagem destacado no “Convite ao estudo” sobre a observação de Paulo em relação à diferença entre o crescimento do caule e raiz de uma roseira após seu vaso ser deitado no chão. Posteriormente, sua prima Cláudia, que cursava Ciências Biológicas, foi levada com sua turma ao laboratório para uma aula prática da disciplina de Morfofisiologia Vegetal. Lá chegando, os alunos foram distribuídos em grupos e orientados a observarem e acompanharem por cinco dias o desenvolvimento da erva-touro (*Xanthium strumarium*), uma planta que precisa de menor quantidade de exposição à luz para florescer, em um vaso localizado dentro de uma caixa. Além da observação, a única indicação feita pela professora Rosa foi que os alunos não retirassem o vaso de erva-touro de dentro da caixa em nenhum momento. Ao final da semana, a maioria pôde constatar que suas plantas floresceram, com exceção da erva-touro, que permaneceu sem flor ou rastros de floração.

A partir da situação destacada acima, você conseguiria imaginar o que poderia ter acontecido com o vaso de erva-touro do grupo de Cláudia que, diferentemente dos demais, não floresceu? Ainda, qual seria o fator determinante para esse fenômeno?

Para que você organize e assimile conceitos que te permitirão chegar a uma conclusão, apresentaremos tópicos relacionados às características gerais do fotoperiodismo, incluindo sua função, efeitos e fatores externos e internos relacionados à mediação por

fotorreceptores específicos (fitocromos). Ainda, destacaremos a importância desse fenômeno no processo reprodutivo e de formação de frutos pelo seu envolvimento na floração e germinação das variadas espécies botânicas.

## Não pode faltar

Na seção anterior, destacamos que diferentemente de uma imagem inicial dos vegetais como organismos fixos, imutáveis e presos ao solo, eles são capazes de perceber, processar e responder a variações ambientais e endógenas que podem resultar nos movimentos vegetais. Da mesma forma, esses estímulos são captados por receptores sensoriais localizados nas células vegetais, e tal ligação traduz o sinal para a execução de respostas fisiológicas, como a percepção do comprimento do dia.



### Refleta

Na seção anterior, compreendemos que as plantas são capazes de identificar estímulos ambientais, como temperatura, umidade, concentração de gases, luz, comprimento do dia e, conseqüentemente, a época do ano, entre outros fatores, por meio dos receptores sensoriais localizados em suas células. Igualmente, hormônios e outros mensageiros intracelulares são fatores endógenos capazes de desencadear uma resposta fisiológica nos vegetais.

## Fotoperiodismo

Em botânica, o termo fotoperiodismo é a resposta biológica de algumas plantas ao comprimento de um dia, ou seja, ao ciclo diário de exposição à luz, representado pela relação entre a duração dos dias (período iluminado) e das noites (período escuro), que varia ao longo das estações do ano. Conseqüentemente, a quantidade de luz a que as plantas são expostas altera seus ritmos internos para determinar o período de atividades fundamentais ao longo do seu ciclo de vida, como a época da floração, germinação de sementes, quebra da dormência de gemas, abscisão foliar, especialmente no outono, formação de órgão de reserva.



## Refleta

É por meio do fotoperiodismo que diferentes espécies botânicas florescem e dão frutos em épocas determinadas do ano, sendo, por isso, comum ouvirmos “em março é época da banana” ou “morango começa a dar em junho”.



## Pesquise mais

Para mais detalhes sobre os alimentos de época classificados pelo mês, acesse: CEASA Campinas. **Produtos de época por mês**. Disponível em: <[http://www.ceasacampinas.com.br/novo/Serv\\_produtos\\_epoca.asp](http://www.ceasacampinas.com.br/novo/Serv_produtos_epoca.asp)>. Acesso em: 23 fev. 2017.

Cabe destacar que a partir da maneira como o fotoperiodismo afeta o processo de **floreação**, relativo ao desenvolvimento da flor, desde a abertura do botão floral até seu fenecimento, as plantas podem ser classificadas em três tipos principais: **plantas de dia curto**, **plantas de dia longo** e **plantas neutras ou indiferentes**.

- **Plantas de dia curto**: florescem quando o período escuro (duração da noite) é superior a um determinado número de horas, denominado de **fotoperíodo crítico**. Com isso, quando expostas a fotoperíodos maiores que seu fotoperíodo crítico, essas espécies crescem e não florescem. Esse é o caso do morangueiro, crisântemo, café e orquídea, que florescem no verão, outono ou inverno, estações que apresentam a duração dos dias menores e das noites maiores.

- **Plantas de dia longo**: florescem quando o período escuro (duração da noite) é inferior ao **fotoperíodo crítico**. Do mesmo modo que as plantas de dia curto, quando expostas a fotoperíodos menores que seu fotoperíodo crítico, essas espécies de dia longo crescem e não florescem. Esse é o caso da alface, espinafre, rabanete e aveia, que florescem no fim da primavera ou no verão, estações que apresentam a duração dos dias maior e das noites menor. Para algumas espécies uma única exposição ao fotoperíodo indutor é suficiente para seu florescimento, enquanto outras precisam de vários dias sucessivos de fotoperíodos adequados ou mesmo de outros estímulos, como temperatura e disponibilidade de luz.



## Exemplificando

O trigo de inverno é uma planta de dia curto que só responde ao fotoperíodo depois de submetido a temperaturas inferiores a 10°C por várias semanas. De fato, essa indução floral apenas a partir da exposição ao frio é comum a uma ampla variedade de plantas de clima temperado, fenômeno denominado de **vernalização**.

• **Plantas neutras ou indiferentes:** florescem independentemente do fotoperíodo, sendo a floração determinada por outros estímulos, como a temperatura, disponibilidade de água e nutrientes. É o caso do tomate, milho e feijão de corda.



## Refleta

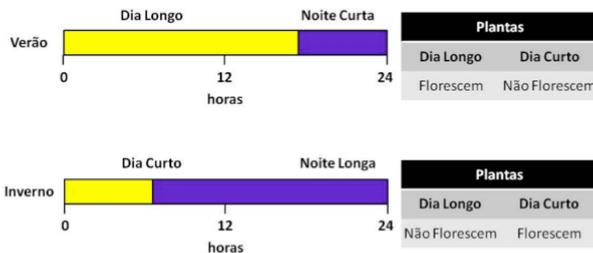
Apesar de a classificação das plantas ser realizada a partir do comprimento do dia, conforme a maneira como o fotoperiodismo afeta a floração – plantas de dia curto ou plantas dia longo –, estudos revelam que essa relação não é determinada pelo período iluminado, mas sim pela continuidade do período escuro. Isso é demonstrado pela inibição da floração de plantas de dia curto quando há a interrupção dos ciclos de ausência de luz, o que não afeta as plantas de dia longo (HAMNER; BONNER, 1938). Portanto, seria mais adequado classificar as plantas como de noite longa ou noite curta.



## Assimile

**Fotoperiodismo crítico** corresponde ao valor-limite que a planta pode ficar exposta à luz. Consequentemente, dias longos seguidos de noites curtas favorecem a floração de plantas de dia longo, enquanto dias curtos seguidos de noites longas favorecem a floração de plantas de dia curto.

Figura 3.6 | Floração das plantas classificadas em dia longo e dia curto pela época do ano



Fonte: elaborada pelo autor.

## Fitocromo e tipos de fitocromo

Além do conhecimento de que o período escuro é mais determinante que o claro na floração das plantas, também foi demonstrado que as variações de luminosidade (claro e escuro) do ambiente são percebidas por proteínas de cor azul-esverdeada presentes nas folhas, os **fitocromos**. Essas estruturas podem estar presentes de duas formas, que são interconversíveis, ou seja, podem se converter uma na outra:

- **Fitocromo R** (do inglês *red*, vermelho): forma inativa que é convertida em fitocromo F ao absorver radiação no comprimento de onda do vermelho ( $P_{660}$ ), inibindo a floração de plantas de dia curto.
- **Fitocromo F** (do inglês *far-red*, vermelho longo): forma ativa que é convertida em fitocromo R ao absorver radiação no comprimento de onda do vermelho longo ( $P_{730}$ ), beneficiando a floração de plantas de dia curto.

Figura 3.7 | Tipos de fitocromo



Fonte: elaborada pelo autor.

## Fitocromo e percepção da luz

Uma vez que a luz solar contém ambos os comprimentos de onda (vermelho – 630 nm e vermelho longo – 730 nm), durante o dia as plantas apresentam as duas formas de fitocromo (R e F), sendo que a rápida conversão do fitocromo R em F garante maior predominância desse último. Já à noite ocorre um decaimento do fitocromo F pela sua instabilidade, estimulando sua transformação em fitocromo R, que se torna mais predominante. Caso a duração do período escuro seja longa, pode ocorrer a conversão total do fitocromo F em R de forma que a planta apresente apenas esse último.

## Fitocromos e floração

Em épocas do ano que apresentam dias longos e noites curtas, como no verão, o acúmulo de fitocromo F favorece a floração de plantas de dia longo. Contrariamente, o excesso de fitocromo F inibe a floração de plantas de dia curto. No caso de dias curtos e noites longas, como no inverno, a conversão do fitocromo F em R, ou seja, a menor quantidade de fitocromo F, resulta na inibição da floração das plantas de dia longo e na estimulação da floração de plantas de dia curto. Entretanto, se houver a incidência de luz vermelha durante esse período escuro, os níveis do fitocromo F retornam ao normal e inibem as plantas de dia curto.



### Assimile

Enquanto o acúmulo de fitocromo F durante períodos de dias longos e noites curtas (como no verão) inibe a floração de plantas de dia curto, ele estimula a floração de plantas de dia longo. Inversamente, a menor quantidade de fitocromo F em dias curtos e noites longas (como no inverno) estimula a floração de plantas de dia curto e inibe a floração de plantas de dia longo.

## Fitocromos e germinação

Os fitocromos também estão envolvidos em outros processos fisiológicos das plantas, como na germinação das sementes. A influência da luz na germinação de sementes é denominada de **fotoblastismo** e pode classificar as plantas em **fotoblásticas positivas**, quando germinam por ação da luz branca e não germinam no escuro; ou **fotoblásticas negativas**, quando sua germinação é inibida pela exposição à luz branca. Esse fenômeno tem especial importância ecológica ao dificultar a germinação de espécies botânicas com sementes pequenas em locais sombreados que dificilmente sobreviveriam sob essas condições. Isso explica o fato de plantas de sombra serem, geralmente, neutras à disponibilidade de luz e ricas em reservas nutritivas.

Figura 3.8 | Germinação influenciada por fitocromos



Fonte: <[http://www.istockphoto.com/br/foto/agricultura-gm521544298-91399725?st=\\_p\\_Germination](http://www.istockphoto.com/br/foto/agricultura-gm521544298-91399725?st=_p_Germination)>. Acesso em: 23 fev. 2017.



Pesquise mais

Para compreender melhor a participação do fotoperiodismo mediada pelos fitocromos nas diferentes atividades vitais de espécies botânicas, leia o seguinte material: ASSIS, T. R. **Uso de lâmpadas de diodo emissor de luz 'led' no controle do florescimento em plantas de tango (*Solidago canadensis* L.) (*Hypericum inodorum*)**. 2012. 74 f. Dissertação (Pós-Graduação em Fitotecnia) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, Minas Gerais, 2015. Disponível em: <<http://locus.ufv.br/bitstream/handle/123456789/7502/texto%20completo.pdf?sequence=1&isAllowed=y>>. Acesso em: 23 fev. 2017.

## Sem medo de errar

A orientação da professora Rosa para que os alunos não retirassem o vaso de erva-touro de dentro da caixa e a informação de que essa espécie botânica necessita de uma menor quantidade de exposição à luz para florescer indicam que essa é uma planta de dia curto. Sendo assim, a continuidade do período escuro determina sua floração pelo decaimento do fitocromo F, que a inibiria em plantas de dia curto na ausência de luz. Entretanto, a interrupção dos ciclos de escuro pela incidência de luz vermelha pode estimular os níveis de fitocromo F a retornarem ao nível normal e inibirem a floração das plantas de dia curto.

Dessa forma, é possível que algum integrante do grupo da Cláudia tenha desobedecido a orientação da professora Rosa e retirado o

vaso de erva-touro de dentro da caixa, interrompendo a fase escura e beneficiando o retorno do fitocromo F a níveis normais, que inibem a floração de plantas de dia curto.

Esse experimento evidencia o papel da luz, que além de fonte de energia fundamental à produção de matéria orgânica pela fotossíntese, ainda estimula respostas fisiológicas que resultam em determinado período de floração, germinação de sementes, quebra da dormência de gemas, abscisão foliar especialmente no outono, formação de órgão de reserva, entre outros.

## Avançando na prática

### Uma flor para outra flor!

#### Descrição da situação-problema

Preocupado em aumentar sua produtividade e, conseqüentemente, seu lucro com a chegada do Dia das Mães, o floricultor Sr. Hiroshi consultou seu filho Akira sobre a possibilidade de um método barato e sem o uso de aditivos naturais ou sintéticos que aumentasse o florescimento de algumas espécies típicas de períodos com dias longos e noites curtas. Você seria capaz de sugerir algo ao Sr. Hiroshi?

#### Resolução da situação-problema

Uma vez que o Sr. Hiroshi estava interessado em um aumento de produtividade, ou seja, maior número de flores com menor dispêndio de tempo e energia para plantas que florescem em dias longos e noites curtas, poderíamos sugerir que ele abrigasse essas espécies botânicas em uma sala na qual pudesse controlar a disponibilidade de luz. Dessa forma, plantas de dia longo seriam beneficiadas por sua exposição a períodos maiores de luz.

## Faça valer a pena

**1.** Além de seu papel na reprodução das diferentes espécies botânicas, as flores também apresentam propriedades ornamentais e medicinais. Cabe destacar que as árvores de ipê-roxo (*Handroanthus impetiginosus*) florescem quase ao mesmo tempo no início do inverno, enquanto as de ipê-amarelo

(*Tabebuia alba*) florescem igualmente de forma simultânea próximas ao fim do inverno.

O fenômeno relacionado a essas diferentes épocas de floração do ipê-roxo e do ipê-amarelo é:

- a) Fotoperiodismo.
- b) Fototropismo.
- c) Fototactismo.
- d) Quimiotropismo.
- e) Quimionastismo.

**2.** Fotoperiodismo é a resposta biológica de algumas plantas ao comprimento de um dia, ou seja, ao ciclo diário de exposição à luz representado pela relação entre a duração dos dias (período iluminado) e das noites (período escuro), que varia ao longo das estações do ano. Consequentemente, a quantidade de luz à que as plantas são expostas alteram seus ritmos internos para determinar o período de atividades fundamentais ao longo do seu ciclo de vida.

Analise cada afirmativa como verdadeira (V) ou falsa (F):

( ) Plantas de dia curto florescem em um período escuro superior a 13 horas.

( ) Plantas de dia longo florescem em um período escuro inferior a 13 horas.

( ) A menor quantidade de fitocromo F durante o período escuro resulta na inibição da floração das plantas de dia longo e na estimulação da floração de plantas de dia curto.

A partir do estabelecimento de um fotoperíodo crítico de 13 horas, assinale a sequência correta.

- a) F, F, F.
- b) F, V, V.
- c) F, F, V.
- d) V, V, V.
- e) F, V, F.

**3.** A floração, ou seja, o desenvolvimento da flor desde a abertura do botão floral até seu fenecimento é uma resposta fisiológica determinada por diferenças na exposição de luz ao longo dos períodos do ano relacionadas ao comprimento do dia. Assim, algumas espécies florescem no início da primavera, como a azaleia, enquanto outras o fazem no início do inverno, como a flor-de-maio.

Correlacione as lacunas entre os tipos de movimentos vegetais e sua classificação quanto à reversibilidade e orientação pela fonte de estímulo e indique a associação correta:

1. Plantas de dia curto.	a. Florescem independente do fotoperíodo.
2. Plantas de dia longo.	b. Florescem quando o período escuro é inferior ao fotoperíodo crítico.
3. Plantas neutras.	c. Florescem quando o período escuro é superior ao fotoperíodo crítico.

- a) 1.a., 2.b., 3.c.
- b) 1.b., 2.a., 3.c.
- c) 1.b., 2.c., 3.a.
- d) 1.c., 2.b., 3.a.
- e) 1.c., 2.a., 3.b.

# Referências

- APPEZZATO-DA-GLÓRIA, B.; CARMELLO-GUERREIRO, S. M. **Anatomia vegetal**. 2. ed. Viçosa: UFV, 2006.
- BARROSO, G. M.; MORIM, M. P.; PEIXOTO, A. L.; ICHASO, C. L. F. **Frutos e sementes: morfologia aplicada à sistemática de dicotiledôneas**. Viçosa: UFV, 1999.
- CUTTER, E. G. **Anatomia vegetal: parte 1 - células e tecidos**. 2. ed. Roca: 2007.
- \_\_\_\_\_. **Anatomia vegetal: órgãos experimentos e interpretação**. São Paulo: Roca, 2002.
- FERRI, M. G. **Botânica: morfologia interna das plantas (anatomia)**. 9. ed. São Paulo: Nobel, 2005.
- GONÇALVES, G. E.; LORENZI, H. **Morfologia vegetal. organografia e dicionário ilustrado de morfologia de plantas vasculares**. 2. ed. Nova Odessa: Instituto Plantarum, 2008.
- HAMNER, K. C.; BONNER, J. Photoperiodism in relation to hormones as factors in floral initiation and development. **Botanical Gazette**, v. 100, n. 2, p. 388-431, 1938.
- RAVEN, P. H.; EVERT, R. F.; EICHHORN, S. E. **Biologia vegetal**. 7. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2007.
- SOUZA, L. A. **Morfologia e anatomia vegetal: célula, tecidos, órgãos e plântula**. Ponta Grossa: Editora UEPG, 2003.
- VIDAL, W. N.; VIDAL, M. R. R. **Botânica - organografia: quadros sinóticos ilustrados de fanerógamos**. 4. ed. Viçosa: UFV, 2007.

# Relação hídrica e nutrição vegetal

## Convite ao estudo

Caro aluno, na unidade anterior, apresentamos o envolvimento de fatores externos, como o fotoperiodismo, e internos, relacionados aos fitormônios, no crescimento e desenvolvimento das diferentes espécies botânicas. A sequência de eventos que garantem essa formação da planta também está intimamente relacionada e tem como fator limitante a disponibilidade e manutenção do equilíbrio entre entrada e saída e fotoassimilados, fenômenos que igualmente estão sujeitos a influências ambientais e endógenas. Portanto, esta unidade pretende apresentar os principais mecanismos fisiológicos de transporte de água (equilíbrio hídrico) e fotoassimilados (fotossíntese) ao longo do ciclo de vida das plantas, incluindo os variados fatores relacionados nesses processos.

Para auxiliar a construção desse conhecimento, será apresentada uma situação hipotética, **Contexto de aprendizagem**, que visa à aproximação dos conteúdos teóricos com a prática. Leia com atenção!

O professor de Ciências, Renato, iniciou a explicação do fenômeno de fotossíntese, essencial ao crescimento e desenvolvimento vegetal, propondo o seguinte experimento aos seus alunos: envolver as folhas de uma planta de feijão com papel celofane nas cores azul, amarelo, laranja, vermelho ou verde. Dessa forma, o papel celofane de diferentes cores atuaria como um filtro com distintos comprimentos de luz. Posteriormente, o professor orientou aos alunos que acompanhassem as plantas ao longo de duas semanas, período em que foi possível comprovar

variações em seu crescimento e desenvolvimento de acordo com as distintas cores de papel celofane que recobriram as folhas.

A partir dessa situação, você seria capaz de explicar o que poderia ter ocorrido com o crescimento e desenvolvimento diferencial das plantas de feijão, seguindo as diferentes cores de papel celofane que recobriram suas folhas? Ainda, quais outros fatores poderiam estar envolvidos nesse processo?

# Seção 4.1

## Movimento da água e transporte de solutos

### Diálogo aberto

Caríssimo aluno, vamos estudar a partir de agora características gerais dos principais mecanismos fisiológicos de transporte de água, incluindo o equilíbrio hídrico estabelecido entre sua entrada e saída por fenômenos como a transpiração foliar, os movimentos estomáticos e a translocação do floema, realizados a partir da osmose e do fluxo de massa. Para tanto, vamos lembrar o contexto de aprendizagem destacado no “Convite ao estudo” sobre a observação do crescimento e desenvolvimento diferencial de acordo com as distintas cores de papel celofane que recobriram as folhas de plantas de feijão. Incentivada por esse experimento, Júlia começou a estudar mais a fundo a fisiologia das plantas quando, coincidentemente, sua mãe, Denise, chegou com um buquê de rosas, mergulhou-as em um vaso e cortou suas pontas diagonalmente ainda dentro da água. A menina observou este processo atentamente e ficou se questionando sobre quais seriam os motivos que conduziram sua mãe a realizá-lo.

De acordo com a situação acima, você conseguiria imaginar por que Denise realizou o corte das pontas do caule das rosas de forma diagonal e dentro do vaso com água? Ainda, qual seria a importância da identificação dos mecanismos fisiológicos envolvidos no transporte de água e solutos?

Para que você organize e assimile conceitos que lhe permitirão chegar a uma conclusão, apresentaremos tópicos relacionados às características gerais dos principais mecanismos fisiológicos de transporte de água, incluindo equilíbrio hídrico estabelecido entre a entrada e saída de água por meio de fenômenos como transpiração foliar, movimentos estomáticos e translocação do floema, realizados a partir da osmose e fluxo de massa.

## Não pode faltar

A água é um elemento essencial a todos os processos vitais realizados ao longo do ciclo das plantas, representando de 80% a 95% da massa corpórea vegetal, seja pela sua participação na estrutura de proteínas, ácidos nucleicos e polissacarídeos, seja como o principal condutor de compostos orgânicos, inorgânicos e fotoassimilados. A organização e composição da molécula de água permite com que ela também represente um ambiente favorável às reações bioquímicas, além das propriedades de adesão e coesão que garantem a capilaridade fundamental ao transporte de diferentes substâncias. Ainda, a capacidade da água de não compressão permite o desenvolvimento da pressão de turgescência, como na abertura e fechamento de estômatos. Em conjunto, a importância do papel desse elemento no crescimento e desenvolvimento vegetal evoca a necessidade da manutenção de um equilíbrio hídrico estabelecido entre a entrada e saída de água desses organismos. Assim, apresentaremos a seguir os princípios do movimento da água relativos à osmose e fluxo de massa.

Figura 4.1 | Importância da água no ciclo vital das plantas



Fonte: <<http://www.istockphoto.com/br/foto/do-fazendeiro-m%C3%A3o-dar-%C3%A1gua-na-boca-uma-planta-jovem-gm539640564-96209989>>. Acesso em: 9 mar. 2017.

## Princípios do movimento da água: osmose e fluxo de massa

O movimento de água no estado líquido pode ser estimulado por diferenças de potencial hídrico ou de pressão referentes ao fenômeno de **osmose** ou **fluxo em massa**, respectivamente.

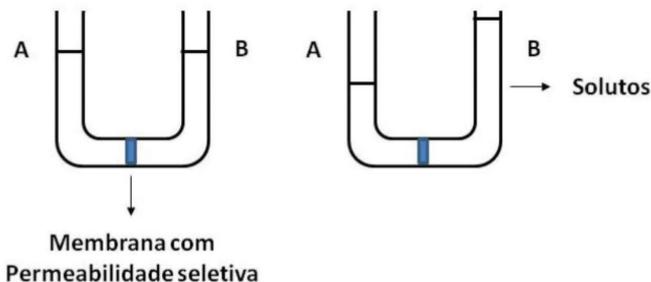
- **Osmose:** movimento da água por meio de uma membrana com permeabilidade seletiva seguindo um gradiente (diferença do maior para o menor) de potencial hídrico, ou seja, a tendência de movimento de locais com maior energia para aqueles com menor energia para atingir o equilíbrio. Esse processo é resultado das diferenças tanto de pressão quanto de concentração.



### Exemplificando

Um compartimento contendo água pura (A) em contato, por meio de uma membrana seletiva, com outro compartimento contendo uma solução (B) permite naturalmente a passagem de água pura no sentido A → B pelo seu maior potencial hídrico, elevando seu nível. Essa tendência é contrabalançada e o equilíbrio é estabelecido devido à pressão hidrostática desenvolvida pelo peso da coluna da solução, nomeada de **pressão osmótica**.

Figura 4.2 | Movimento da água por osmose



Fonte: elaborada pelo autor.

- **Fluxo de massa:** movimento da água por meio de uma membrana seguindo um gradiente (diferença do maior para o menor) de pressão. Com isso, um aumento no potencial de pressão é denominado de **pressão positiva** ou de **turgescência**, enquanto sua diminuição é nomeada de **pressão negativa**.

## Transpiração foliar e movimentos estomáticos

Apesar de toda importância para a realização das funções fisiológicas dos vegetais destacadas inicialmente, seja como água de constituição, de transporte, de turgescência ou reagente, aproximadamente 98% da água absorvida do solo pelas raízes é perdida especialmente pelo processo de **transpiração**. Portanto, a transpiração ocorre quando a água retirada pelas raízes e transportada pelo xilema atinge as folhas, que representam uma lâmina de superfície e disposição ideal para sua perda na forma de vapor, obedecendo a um gradiente potencial entre a pressão de vapor d'água na folha e aquela na atmosfera. Esse gradiente de pressão permite a evaporação da água das paredes celulares vegetais para os espaços intercelulares seguida pela sua difusão para a atmosfera. A absorção radicular de novas moléculas e sua subsequente perda garantem que a transpiração seja um fenômeno de **fluxo contínuo**.

A taxa de transpiração depende de fatores relacionados à própria planta, especialmente determinados por diferenças entre as espécies botânicas, e de fatores ambientais como a umidade relativa do ar, temperatura, disponibilidade de água no solo, vento e luz solar. Dentre esses fatores, é imprescindível indicar que existe uma relação inversa entre a umidade relativa do ar e a velocidade de difusão do vapor d'água, de modo que quando o ambiente está úmido, a taxa de transpiração é mais lenta, enquanto um aumento de temperatura tende a elevar a velocidade da taxa de transpiração. Em condições de solo quente, com ampla disponibilidade de água e umidade relativa elevada, a transpiração pode ocorrer sob a forma líquida pelos hidatódios em um processo denominado de **gutação**, como estudamos anteriormente. Da mesma forma, um vento leve ou uma brisa pode acelerar o processo de evaporação ao retirar o vapor d'água da superfície da folha.

Entretanto, o processo mais eficiente para perda de água ocorre pela forma de vapor (transpiração) diretamente a partir da superfície das folhas (**cutícula**) e preponderantemente por meio de estruturas foliares especiais denominadas de **estômatos**. Assim, cerca de 90% da perda de água pelas folhas ocorre pela **transpiração estomática**, que pode ser controlada pela própria planta a partir da abertura e fechamento dos estômatos, dependendo do ambiente em que ela se

encontra, sendo que sob alta pressão as células-guarda estomáticas ficam túrgidas e promovem a abertura do ostíolo, enquanto baixas pressões as tornam flácidas e beneficiam seu fechamento.

Cabe destacar que essa habilidade das células-guarda em controlar as trocas gasosas (vapor de água, oxigênio e gás carbônico) e a perda de água pela sua abertura e fechamento é garantida pelo acúmulo de íons  $K^+$  em seu interior, que causam um potencial osmótico mais negativo. Isso viabiliza a entrada de água nessas células, o aumento de sua turgescência e consequentemente o afastamento entre as células-guarda adjacentes que culminam na abertura do ostíolo. Em suma, o movimento estomático é uma resposta ao aumento ou diminuição do conteúdo osmótico das células-guarda. Em condições de suprimento adequado de água no solo, geralmente os estômatos se abrem ao amanhecer, podem fechar temporariamente nas proximidades de meio-dia (pelo aumento do potencial osmótico por um novo fluxo de íons para evitar a desidratação) e se abrem novamente à tarde. Porém, é certo que a maioria das plantas apresenta seus estômatos ao menos parcialmente fechados antes do pôr do sol.



### Pesquise mais

Para mais detalhes sobre as relações hídricas dos vegetais, acesse o endereço abaixo. <[http://www.fisiologiavegetal.ufc.br/APOSTILA/RELACOES\\_HIDRICAS.pdf](http://www.fisiologiavegetal.ufc.br/APOSTILA/RELACOES_HIDRICAS.pdf)>. Acesso em: 9 mar. 2017.

## Fatores que afetam a transpiração e movimentos estomáticos

A transpiração e os movimentos estomáticos são influenciados por diversos fatores ambientais, como a disponibilidade de luz e de gases, a temperatura, a umidade relativa do ar ou mesmo o vento, conforme destacado anteriormente. Dentre esses, a presença de luz garante a realização da fotossíntese pelos cloroplastos presentes nas células-guarda, desencadeando uma cascata de reações que resultam na entrada de íons  $K^+$ , que reduzem o potencial osmótico e promovem a entrada de água e, consequentemente, a abertura dos estômatos. Inversamente, a ausência de luz impede a realização de fotossíntese, favorecendo a saída de íons  $K^+$  que aumentam o potencial osmótico e promovem a saída de água, logo, o fechamento dos estômatos.



Como destacado anteriormente, o envolvimento da água em variados processos fundamentais ao longo do ciclo de vida das plantas evoca a importância da manutenção de um equilíbrio hídrico estabelecido entre sua entrada e saída dos organismos. Sendo assim, em regiões secas os estômatos se abrem e se fecham rapidamente como forma de evitar a perda excessiva de água. Já nas regiões úmidas, os estômatos permanecem abertos durante um período de tempo maior.

Além da perda de vapor de água pela transpiração, o fechamento dos estômatos também impede a entrada de dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), quando a concentração desse gás se encontra elevada, como ocorre no período escuro, em que a respiração é predominante e há a produção deste gás. Acompanhe o Quadro 4.1 com os principais fatores ambientais que estão relacionados à transpiração e aos movimentos estomáticos.

Quadro 4.1 | Fatores ambientais relacionados à transpiração e aos movimentos estomáticos

Fator ambiental	Transpiração e movimentos estomáticos
Concentração de $\text{K}^+$	Alta concentração - $\uparrow$ Transpiração e abertura do estômato Baixa concentração - $\downarrow$ Transpiração e fechamento do estômato
Intensidade luminosa	Alta intensidade - $\uparrow$ Transpiração e abertura do estômato Baixa intensidade - $\downarrow$ Transpiração e fechamento do estômato
Concentração de $\text{CO}_2$	Alta concentração - $\downarrow$ Transpiração e fechamento do estômato Baixa concentração - $\uparrow$ Transpiração e abertura do estômato

Suprimento de água	Alto teor - ↑ Transpiração e abertura do estômato Baixo teor - ↓ Transpiração Fechamento do estômato
--------------------	---

Fonte: elaborado pelo autor (2017).

Entre os fatores internos, podemos citar os anexos epidérmicos como pelos ou acúleos que diminuem a superfície de perda de água, protegendo especialmente folhas localizadas em áreas quentes contra o excesso de transpiração, e o fitormônio ABA, que atua impedindo a entrada de  $K^+$ , que aumenta o potencial osmótico, promove a saída de água e, por conseguinte, o fechamento dos estômatos.

### Transporte de água e solutos

A estrutura e complexidade do transporte de água e solutos nos seres vivos depende de seu tamanho e sua atividade, sendo que organismos pluricelulares, como os vegetais, possuem o desenvolvimento do sistema de transporte inversamente proporcional à razão entre sua área e volume. Dessa forma, plantas que não possuem sistemas vasculares especializados, como as briófitas, realizam o movimento de água e solutos a partir dos fenômenos de osmose e difusão, determinados pelo gradiente de concentração. Já os demais vegetais traqueófitos possuem um sistema vascular especializado capaz de garantir a comunicação e interligação – **translocação** – de água e nutrientes minerais absorvidos pelas raízes e dos solutos orgânicos procedentes das folhas pela fotossíntese.

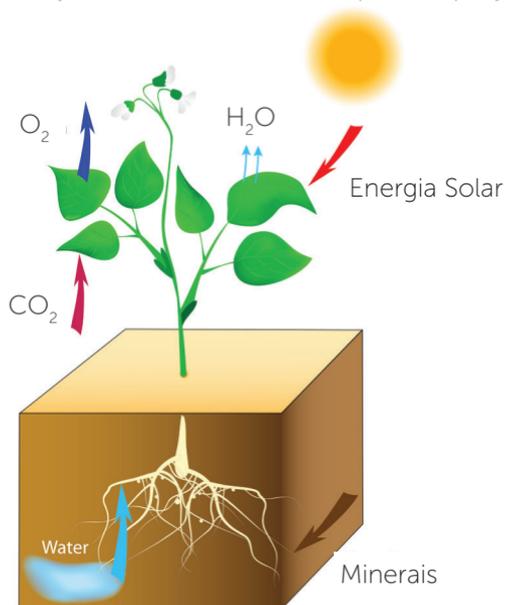
Grande parte da água e sais minerais essenciais à vida das plantas é absorvida do solo pelas raízes, principalmente pelo auxílio de pelos radiculares, que aumentam a área de contato entre a célula vegetal e esse substrato. Essa solução – seiva bruta – é transportada a curtas distâncias, célula a célula, seja por meio dos plasmodesmos existentes entre elas (**via simplasto**), seja pela matriz das paredes celulares e espaços entre as células (**via apoplasto**), seguindo o sentido de zonas com maior potencial hídrico (menor concentração de solutos) para aquelas com menor potencial hídrico (maior concentração de solutos). Assim, como as células radiculares apresentam menor

potencial hídrico pela presença de solutos em seu interior, ocorre o deslocamento passivo por osmose ou difusão de água, que acaba carregando solutos mais concentrados do solo para as células do córtex radicular. Entretanto, embora a solução do solo seja menos concentrada em relação àquelas das células da raiz, pode haver o transporte ativo de solutos no sentido contrário do gradiente, o que torna a solução celular ainda mais concentrada e favorece novamente o transporte passivo de água com solutos carregados.

Cabe destacar que esse transporte ativo, além de causar a diminuição do potencial hídrico das células radiculares, também promove um aumento do potencial de pressão – **pressão radicular** – pelo aporte de água e solutos, impulsionando o sentido do fluxo da seiva bruta para o interior do vaso condutor denominado xilema. Além desta teoria da ascensão da seiva bruta pela pressão radicular, também podemos considerar que esse movimento seja impelido pela deficiência de água nas folhas após a transpiração, que resulta em uma diminuição do potencial hídrico e consequente aumento da concentração de solutos, originando uma tensão. Como resultado, ocorre a passagem de água do xilema para as células do mesófilo foliar e destas para a atmosfera.

É igualmente importante indicar que a tensão gerada nesse fluxo só é viabilizada pela estrutura molecular da água, que estabelece ligações atômicas fortes o suficiente pelas ligações de hidrogênio, que formam uma coluna relativamente contínua de água no interior dos vasos do xilema, fenômeno denominado de coesão. Além da força de coesão que mantém as moléculas de água unidas, a estrutura polar desse elemento também garante a atração entre as moléculas de água e outras polares presentes no xilema, evento nomeado de adesão. Logo, a transpiração cria um déficit de água no xilema radicular, causando a passagem de água do solo para o córtex e deste para o cilindro central, o que resulta em um fluxo ascendente da seiva bruta, que depende da coesão e adesão e pode ser quebrado pela interposição de bolhas de ar na coluna de água.

Figura 4.3 | Translocação ascendente da seiva bruta pela transpiração



Fonte: adaptada de: <<http://www.istockphoto.com/br/vetor/esquema-de-fotoss%C3%ADntese-de-plantas-gm500326739-42838412>>. Acesso em: 9 mar. 2017.



**Pesquise mais**

Para mais detalhes sobre o transporte de água e solutos, acesse o endereço abaixo: <<http://www.fisiologiavegetal.ufc.br/Aulas%20em%20PDF%20PG/Unidade%20V.pdf>>. Acesso em: 9 mar. 2017.



**Assimile**

O sentido ascendente da translocação de água e solutos é promovido principalmente pela transpiração e diferença de gradientes de concentração e mantido pelas propriedades moleculares da água de coesão e adesão.

## Translocação do floema

Enquanto o transporte da seiva bruta pelo xilema ocorre de forma ascendente das raízes para as folhas, o floema, que carrega a seiva

elaborada composta por água e solutos orgânicos, como a sacarose, hormônios e aminoácidos, segue a demanda metabólica da planta, gerada por um gradiente de concentração de sacarose entre um órgão produtor e outro consumidor de açúcar. Assim, essa **Teoria do fluxo de massa** ou de **Münch** foi fundamentada na passagem de água que carrega consigo outros solutos de um meio com maior concentração de glicose para um de menor até atingirem o equilíbrio. Esse fenômeno depende do transporte ativo de glicose dos órgãos produtores para aqueles com menor concentração desse soluto ao longo dos tubos crivados do floema.



### Pesquise mais

Para mais detalhes sobre a translocação da seiva elaborada no floema, consulte: TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Translocação pelo floema**. Fisiologia vegetal. 5. ed. Porto Alegre: Artmed, 2013.

## Sem medo de errar

O corte da ponta do caule de rosas e demais flores é uma prática comum como forma de retirar o tecido mais exposto à oxidação e beneficiar a duração da planta, sendo que a incisão diagonal aumenta a superfície de contato entre o vegetal e a água do recipiente em que foi colocado. Já, manter a ponta do caule dentro da água durante esse processo evita que bolhas de ar entrem no vaso condutor xilema e quebrem a coesão entre as moléculas de água que garante a manutenção de uma coluna desse elemento e, conseqüentemente, a manutenção do fluxo ascendente da seiva bruta.

Portanto, a compreensão das relações hídricas estabelecidas pela entrada e saída de água que permitem o transporte desse elemento e de outros solutos é essencial para medidas que permitam a maior duração das plantas, incluindo as ornamentais.

## Avançando na prática

### Tronco barrigudo!

#### Descrição da situação-problema

Rodolfo ficou surpreso quando viu o intumescimento acima de um anel retirado do tronco de uma árvore enquanto fazia uma trilha. A partir dessa situação, você seria capaz de usar seus conhecimentos em morfofisiologia, incluindo a disposição dos feixes vasculares e o tipo de seiva que transportam, para explicar o motivo dessa tumescência? Ainda, quais seriam as possíveis consequências desse corte no tronco para essa árvore?

#### Resolução da situação-problema

Como já destacado em unidades anteriores, a região da casca do tronco de uma árvore é composta basicamente de periderme e floema, vaso condutor responsável pelo transporte de seiva elaborada rica em substâncias orgânicas. Dessa forma, ao retirar esse anel da casca, o floema também é retirado e há um acúmulo acima da incisão pela impossibilidade da translocação descendente dos produtos conduzidos por esse vaso. Posteriormente, o resultado dessa interrupção no transporte descendente de nutrientes provavelmente resultará na morte das raízes que deixaram de recebê-lo.

## Faça valer a pena

**1.** A importância do papel da água no crescimento e desenvolvimento vegetal evoca a necessidade da manutenção de um equilíbrio hídrico estabelecido entre sua entrada e saída nesses organismos. Esse movimento da água é influenciado por diversos fatores ambientais, como a disponibilidade de luz e de gases, a temperatura, a umidade relativa do ar ou mesmo o vento.

Além dos fatores mencionados acima, indique qual fitormônio participa do equilíbrio hídrico pela abertura ou fechamento dos estômatos presentes nas plantas:

- a) Auxina.
- b) Ácido abscísico.
- c) Giberelina.

- d) Etileno.
- e) Citocina.

**2.** A estrutura e complexidade do transporte de água e solutos nos seres vivos dependem de seu tamanho e sua atividade, sendo que as plantas que não possuem sistemas vasculares especializados, como as briófitas, realizam o movimento de água e solutos a partir dos fenômenos de osmose e difusão determinados pelo gradiente de concentração. Já os demais vegetais traqueófitos possuem um sistema vascular especializado capaz de garantir a comunicação e interligação – translocação – de água e nutrientes minerais absorvidos pelas raízes e dos solutos orgânicos procedentes das folhas pela fotossíntese.

A teoria da ascensão da seiva bruta baseada na pressão radicular é fundamentada no menor potencial hídrico das células da raiz pela maior concentração de solutos que origina uma \_\_\_\_\_. Da mesma forma, a estrutura molecular da água formada pelas ligações de hidrogênio resultando em uma coluna contínua no interior do xilema, fenômeno nomeado de \_\_\_\_\_, e a atração entre moléculas de água e outras polares presentes neste vaso pela \_\_\_\_\_ garantem um fluxo de movimento da água de baixo para cima no corpo vegetal.

Indique a sequência que preenche corretamente as lacunas acima:

- a) Adesão, coesão, tensão.
- b) Tensão, adesão, coesão.
- c) Tensão, coesão, adesão.
- d) Adesão, tensão, coesão.
- e) Coesão, tensão, adesão.

**3.** Apesar de toda importância para a realização das funções fisiológicas dos vegetais, aproximadamente 98% da água absorvida do solo pelas raízes é perdida especialmente na forma de gases pelo processo de transpiração por meio dos estômatos.

Correlacione os efeitos na transpiração e movimentos estomáticos com os respectivos fatores ambientais e indique a sequência correta:

1. ↑ Transpiração e Abertura do estômato.	( ) Baixa luminosidade.
2. ↓ Transpiração e Fechamento do estômato.	( ) Alta concentração de K <sup>+</sup> .
	( ) Alta concentração de CO <sub>2</sub> .

- a) 1, 2, 1.
- b) 1, 2, 2.
- c) 2, 2, 1.
- d) 2, 1, 2.
- e) 2, 1, 1.

## Seção 4.2

### Fotossíntese

#### Diálogo aberto

Caro aluno, iniciaremos agora o estudo das características gerais do fenômeno da fotossíntese, processo pelo qual as plantas obtêm matéria orgânica essencial à sua nutrição, incluindo suas etapas – fotoquímica e química, os fatores correlacionados e sua importância à manutenção e propagação dessas diferentes espécies botânicas. Para isso, vamos retomar o contexto de aprendizagem destacado no “Convite ao estudo” sobre o crescimento e desenvolvimento diferencial pelas distintas cores de papel celofane que recobriram as folhas de plantas de feijão observado pelos alunos do professor de Ciências Renato. Após essa aula, Isabela começou a notar que a planta com lindas flores de açucena que tinha no quintal de sua casa começou a apresentar mudanças de cor, especialmente das folhas, que ficaram pálidas e amareladas, e um aspecto geral mais murcho, menos vistoso. Ao relatar essas alterações para seu pai, Reinaldo, ele indicou que a menina mudasse a planta para um local de maior exposição à luz e qual não foi a surpresa da menina ao notar que após algumas semanas a açucena voltou a expor cores vividas, com suas folhas bem verdes e aparência robusta.

De acordo com a situação acima, você conseguiria imaginar por que a mudança de local da planta açucena foi capaz de restabelecer seus aspectos morfológicos? Ainda, qual seria a importância da identificação dos mecanismos envolvidos na fotossíntese para a manutenção e propagação das diferentes espécies botânicas?

Para que você organize e assimile conceitos que lhe permitirão chegar a uma conclusão, apresentaremos tópicos relacionados às características gerais da fotossíntese, incluindo as etapas fotoquímica e química, os fatores correlacionados e sua importância à manutenção e propagação das diferentes espécies botânicas.

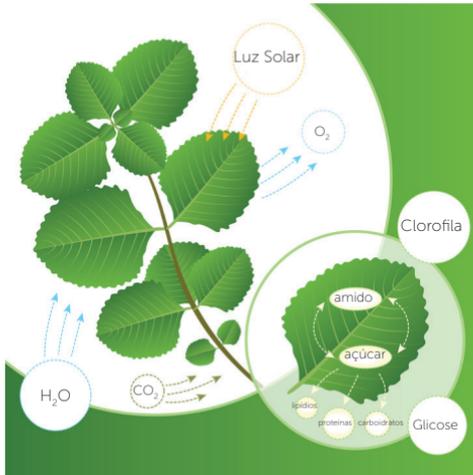
## Não pode faltar

### Princípios gerais e estruturas da fotossíntese

A **fotossíntese**, fenômeno biológico que significa síntese a partir da luz, é o processo pelo qual organismos clorofilados, como as plantas, realizam a produção de matéria orgânica, essencial à sua nutrição, a partir de substratos inorgânicos. Assim, água ( $H_2O$ ) e gás carbônico ( $CO_2$ ) são convertidos em carboidratos, especialmente glicose ( $C_6H_{12}O_6$ ), na presença de luz solar e **clorofila**, pigmento fotossintetizante capaz de absorver a energia eletromagnética da luz do Sol e a converter em energia química. Durante essa reação, há a liberação de gás oxigênio ( $O_2$ ) e água ( $H_2O$ ), conforme indicado abaixo:



Figura 4.4 | Fotossíntese



Fonte: adaptado de: <<http://www.istockphoto.com/br/vetor/photosynthesis-process-in-plant-biology-scheme-of-photosynthesis-for-education-gm605983546-103897301>>. Acesso em: 21 mar. 2017.

Além de sua participação na fotossíntese, a clorofila também é responsável pela cor verde da maioria dos vegetais ao absorver a luz nas faixas entre o vermelho e o violeta, estimulando seus elétrons, que ao retornarem para o estado de repouso refletem luz verde e

transformam a energia luminosa captada em energia química. Isso permite que a clorofila assumam formas distintas de acordo com a faixa do espectro da luz visível em que cada uma delas captura luz com mais eficiência, sendo classificadas como clorofila "a", presente em todas as células fotossintéticas e relacionada à primeira etapa de absorção de luz; ou clorofila "b", que é um pigmento acessório ao restante do processo, presente em algas verdes e vegetais superiores.



Refleta

A clorofila é encontrada em abundância especialmente no parênquima clorofiliano das folhas e não é o único pigmento que determina sua cor. De fato, substâncias coloridas como os **carotenoides** e **ficobilinas** também podem dar características arroxeadas, avermelhadas, alaranjadas ou amareladas a esses órgãos vegetais. Isso é visível pela mudança de cor dessas estruturas durante o outono, época em que a quantidade de clorofila diminui sem que haja alterações desses outros pigmentos.

As clorofilas estão localizadas no interior dos **cloroplastos**, organelas especializadas que apresentam formato discoide com dupla membrana, que sofre invaginações e forma sacos (tilacoides). Quando dispostos uns sobre os outros, os tilacoides formam um *granum* que está mergulhado em uma matriz interna semifluida (estroma) em conjunto com enzimas, carboidratos, lipídeos, água, minerais, material genético e ribossomos. É igualmente importante lembrar que a presença de ribossomos e seu próprio genoma nos cloroplastos, assim como nas mitocôndrias, permite a autoduplicação de seu DNA e, conseqüentemente, um aspecto de relativa independência dessas estruturas em relação ao resto da célula, incluindo o núcleo, como postulado pela Teoria Endossimbiótica (rever Seção 2.1).

Além das clorofilas "a" e "b" e dos carotenoides, os cloroplastos apresentam agrupamentos proteicos denominados de **fotossistemas** que possuem o **complexo antena**, constituído por moléculas que captam a energia luminosa e as direcionam para o **centro de reação**, um local rico em proteínas e clorofila. Durante a fotossíntese, esses agrupamentos são ligados por uma cadeia transportadora de elétrons, capaz de extrair elétrons da água e liberar o gás O<sub>2</sub> como subproduto.

De acordo com sua localização, comprimento de luz ao qual é mais reativo e receptor final de elétrons, os fotossistemas são nomeados como **fotossistema I** ou **II**. Dessa forma, o fotossistema I está localizado na região da membrana voltada para o estroma, é reativo ao comprimento de luz de 700 nm e tem a ferredoxina como receptor final de elétrons; enquanto o fotossistema II, presente nas tilacoides é reativo a 680 nm e movimenta elétrons de uma quinona.



### Assimile

A fotossíntese é um processo que absorve energia (endotérmico) por meio da transferência de elétrons, sendo a clorofila a molécula doadora, o NADP o receptor intermediário, e o receptor final a ferredoxina ou a quinona.

## Fase clara ou fotoquímica: quebra da água e liberação de oxigênio

Uma sucessão de descobertas relacionadas à incorporação da água pelas plantas e ao isolamento e extração dos cloroplastos e da clorofila permitiu a identificação da sequência de eventos relacionada à fotossíntese, classificando-os em duas fases: a **fase clara** ou **fotoquímica** e a **fase escura** ou **química**.

A fase clara corresponde à primeira etapa da fotossíntese e está fundamentada na fotofosforilação, ou seja, participação da luz na adição de fosfato inorgânico (Pi) à molécula de ADP para formação de ATP, molécula que então armazena sob a forma de energia química a energia luminosa. Essa fase ocorre na membrana dos tilacoides pela presença de proteínas denominadas de citocromos, que atuam no transporte de elétrons durante a respiração celular. Dessa forma, inicialmente, o fotossistema II absorve energia solar e a conduz sequencialmente até o centro de reação das moléculas de clorofila pelo transporte de elétrons ao longo de uma cadeia de citocromos que resulta na formação de ATP. Essa sequência de transporte ocorre até um receptor final de elétrons que possui nível energético suficientemente baixo para retornar à clorofila 'a', resultando em uma **fotofosforilação cíclica**.

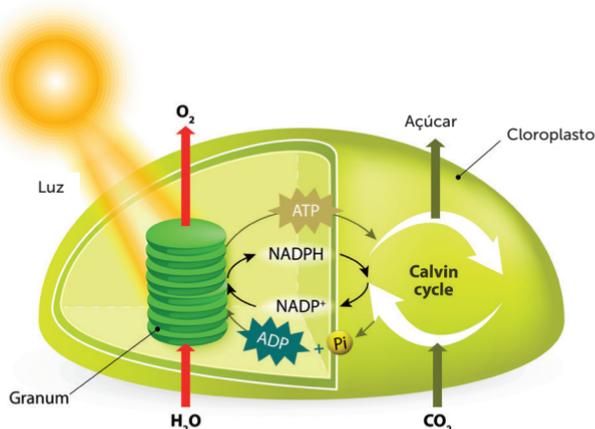
Já a absorção de energia solar captada por moléculas do complexo antena do fotossistema I excita seus elétrons e a transfere aos demais, resultando igualmente em uma cadeia transportadora que media a fosforilação de algumas moléculas e a consequente produção de ATP. A energia absorvida nesse fotossistema é então transferida sequencialmente até o centro de reação das moléculas de clorofila P700 e os elétrons energizados, ao invés de retornarem à clorofila, são capturados pela molécula da coenzima NADP<sup>+</sup>. Portanto, a energia formada nessas reações é armazenada em moléculas de ATP e NADPH que fornecerão, respectivamente, energia e elétrons para a fase escura, na qual a glicose é formada.

### Fase escura ou química: produção de glicose

A fase escura ou química é então a etapa em que há a produção de glicose por meio da energia e elétrons contidos nas moléculas de ATP e NADPH, respectivamente, em um ciclo de reações bioquímicas denominado de **ciclo de Calvin-Benson**. Durante esse ciclo, as moléculas de CO<sub>2</sub> são reduzidas pelos hidrogênios fornecidos pelo NADPH e formam cadeias carbônicas que consomem energia proveniente do ATP e resultam na produção de glicose.

As fases clara e escura da fotossíntese estão representadas na Figura 4.5.

Figura 4.5 | Fase clara e fase escura da fotossíntese



Fonte: adaptado de: <<http://www.istockphoto.com/br/vetor/fotoss%C3%ADntese-gm479806796-68059181>>. Acesso em: 21 mar. 2017.



## Pesquise mais

Para detalhes sobre os componentes, mecanismos e fases da fotossíntese, acesse o endereço abaixo.

<[http://joaootavio.com.br/bioterra/workspace/uploads/artigos/artigo\\_bioterra\\_v11\\_n2\\_2011\\_02-5155d6fdc63e2.pdf](http://joaootavio.com.br/bioterra/workspace/uploads/artigos/artigo_bioterra_v11_n2_2011_02-5155d6fdc63e2.pdf)>. Acesso em: 24 mar. 2017.

## Fatores que influenciam a fotossíntese

A intensidade que uma célula vegetal realiza fotossíntese é influenciada por fatores relacionados à própria planta ou ao ambiente, denominados de **fatores limitantes intrínsecos** e **extrínsecos**, respectivamente.



## Exemplificando

**Fatores intrínsecos** correspondem à presença de elementos orgânicos fundamentais à realização da fotossíntese, como citocromos, aceptores de elétrons e a rubisco (enzima envolvida no ciclo de Calvin-Benson relacionada à produção de glicose). Além disso, pigmentos fotossintetizantes, como a clorofila, são fundamentais à ocorrência do processo fotossintético.

Já os **fatores extrínsecos** estão relacionados à concentração de  $\text{CO}_2$ , fonte de carbono para a síntese de matéria orgânica (glicose); temperatura, visto que elevações podem causar desnaturação enzimática que afeta as reações químicas fotossintéticas; comprimento de onda, sendo a melhor atividade fotossintética atingida as faixas de luz violeta/azul à vermelha e pouco eficaz ao verde; e intensidade luminosa, que é limitada pela quantidade de elétrons excitáveis, podendo alcançar o ponto de saturação luminosa ou mesmo o ponto de inibição fotossintética pelo excesso de luz.

## Importância da fotossíntese

A capacidade das plantas de produzir seu próprio alimento (seres autotróficos) durante a fotossíntese garante que elas constituam a base da cadeia alimentar, responsável pela nutrição de todos os outros organismos, fornecendo a energia necessária para realização

de suas funções vitais. Ainda, esse processo libera o gás  $O_2$  essencial à respiração de muitos seres vivos, e consome  $CO_2$ , viabilizando o ambiente habitável na Terra que temos atualmente. Além disso, a energia contida em combustíveis como o petróleo e gás natural ou mesmo carvão e lenha é resultado do processo fotossintético. Portanto, o conhecimento da fotossíntese permite o controle e a regulação desse processo para aumentar a produtividade de alimentos, fibras, madeira e combustível, além do melhor aproveitamento de áreas cultiváveis.

## Sem medo de errar

A clorofila, pigmento fotossintetizante capaz de estimular seus elétrons, que ao retornarem para o estado de repouso refletem luz verde e transformam a energia luminosa captada em energia química essencial ao fenômeno da fotossíntese, também é responsável pela cor verde na maioria dos vegetais ao absorver a luz nas faixas entre o vermelho e o violeta, refletindo o verde. Dessa forma, plantas que precisam de luz intensa e direta, como a açucena, são favorecidas quando expostas a essas condições, estimulando a captação de luz por suas clorofilas, que refletem a luz verde, característica de grande parte, especialmente das folhas de plantas, e favorecendo o processo fotossintético, que permite a síntese de matéria orgânica e seu crescimento e desenvolvimento.

## Avançando na prática

### Outono atípico

#### Descrição da situação-problema

Sabendo que as folhas de várias plantas mudam de cor durante o outono, Thiago ficou extremamente decepcionado ao notar que já era metade dessa estação e as diferentes espécies botânicas não apresentavam tais alterações. A partir dessa situação, você seria capaz de identificar o que pode ter ocorrido?

#### Resolução da situação-problema

O outono é demarcado por uma diminuição da incidência de luz,

típica da inclinação da Terra. Conseqüentemente, há uma redução da clorofila, pigmento fotossintetizante responsável pela coloração verde, sem que haja alterações em outras substâncias coloridas, como os carotenoides e ficobilinas, que também podem dar características arroxeadas, avermelhadas, alaranjadas ou amareladas às folhas. Portanto, uma possível causa para ausência dessas mudanças seria um outono atípico em que houve um atraso de fase e maior incidência de luz que o habitual, contribuindo para que a coloração verde das folhas pela clorofila permanecesse por mais tempo.

## Faça valer a pena

**1.** Uma sucessão de descobertas relacionadas à incorporação da água pelas plantas e ao isolamento e extração dos cloroplastos e da clorofila permitiu a identificação da sequência de eventos relacionada à fotossíntese, classificando-os em duas fases: a **fase clara** ou **fotoquímica** e a **fase escura** ou **química**.

Podemos considerar como os principais produtos da fase clara ou fotoquímica da fotossíntese:

- a)  $H_2O$  e  $O_2$ .
- b) ATP e NADPH.
- c) ATP e glicose.
- d) ATP e  $O_2$ .
- e) ADP e glicose.

**2.** A fotossíntese é o processo pelo qual organismos clorofilados, como as plantas, realizam a produção de matéria orgânica, essencial à sua nutrição, a partir de substratos inorgânicos. Assim, água ( $H_2O$ ) e gás carbônico ( $CO_2$ ) são convertidos em carboidratos, especialmente glicose ( $C_6H_{12}O_6$ ).

Com relação à fotossíntese, é correto afirmar que:

- I. Depende da presença de luz solar e de clorofilas.
- II. Ocorre em organelas especializadas denominadas de cloroplastos.
- III. Está relacionada a fotossistemas que apresentam complexos antena e centros de reação.

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

**3.** A capacidade das plantas de produzir seu próprio alimento (seres autotróficos) durante a fotossíntese garante que elas constituam a base da cadeia alimentar, responsável pela nutrição de todos os outros organismos, fornecendo a energia necessária para realização de suas funções vitais.

Correlacione os elementos que influenciam a taxa de fotossíntese como fatores intrínsecos (1) ou extrínsecos (2) e indique a sequência correta:

1. Fatores intrínsecos.	( ) Citocromos.
2. Fatores extrínsecos.	( ) Concentração de $\text{CO}_2$ .
	( ) Temperatura.

- a) 1, 2, 1.
- b) 1, 2, 2.
- c) 2, 2, 1.
- d) 2, 1, 2.
- e) 2, 1, 1.

## Seção 4.3

### Nutrição vegetal

#### Diálogo aberto

Caro aluno, vamos dar sequência ao estudo das características gerais do fenômeno da fotossíntese, processo pelo qual as plantas obtêm matéria orgânica essencial à sua nutrição, incluindo suas etapas – fotoquímica e química –, os fatores correlacionados e sua importância à manutenção e propagação dessas diferentes espécies botânicas. Para isso, vamos retomar o contexto de aprendizagem destacado no “Convite ao estudo” sobre o crescimento e desenvolvimento diferencial pelas distintas cores de papel celofane que recobriram as folhas de plantas de feijão observado pelos alunos do professor de Ciências Renato. Entendendo a importância da luz para a realização na fotossíntese e a nutrição orgânica das plantas, Maria decidiu realizar um experimento depositando alguns feijões em dois recipientes de vidro contendo algodão úmido, sendo que um deles foi exposto a um ambiente bem iluminado e o outro colocado dentro de uma caixa de sapatos. Maria regou ambos os recipientes regularmente e igualmente. Ela observou o crescimento e desenvolvimento das plântulas de feijão por duas semanas. Após esse período, ela percebeu que enquanto os feijões expostos à luz cresceram de forma mais robusta e com uma coloração verde, aqueles confinados ao escuro apresentaram um aspecto frágil de cor amarelada, entretanto, não morreram. Intrigada, Maria refletiu que embora a luz seja fundamental ao crescimento e desenvolvimento vegetal, ela não é limitante em um período de duas semanas para sua sobrevivência, ou seja, as plântulas de feijão conseguiram a obtenção de alimento também por outra fonte.

De acordo com a situação acima, você conseguiria imaginar qual seria a outra fonte de alimento das plântulas de feijão que não a conversão de matéria orgânica na presença de luz? Ainda, qual seria a importância da identificação da nutrição dos vegetais no equilíbrio

do nosso ecossistema?

Para que você organize e assimile conceitos que lhe permitirão chegar a uma conclusão, apresentaremos tópicos relacionados à importância da identificação da nutrição orgânica e inorgânica realizada pelas plantas na manutenção do equilíbrio do nosso ecossistema, incluindo o conhecimento dos elementos essenciais, classificados em macro ou micronutrientes e os efeitos causados por deficiências nutricionais no crescimento e desenvolvimento vegetal.

## Não pode faltar

Como destacado na seção anterior, as plantas são seres autotróficos, ou seja, realizam sua **nutrição orgânica** a partir da capacidade de produzir seu próprio alimento durante o fenômeno biológico da **fotossíntese**. Isso permite que elas constituam a base da cadeia alimentar, responsável pela nutrição de todos os outros organismos, fornecendo a energia necessária para realização de suas funções vitais. No entanto, os vegetais realizam também uma **nutrição inorgânica** pela absorção de nutrientes minerais, principalmente do solo, por meio de suas raízes, sendo que esses elementos são posteriormente translocados pelo xilema até atingirem todas as partes da planta e serem usados nas mais variadas funções biológicas.

### Nutrição orgânica



#### Assimile

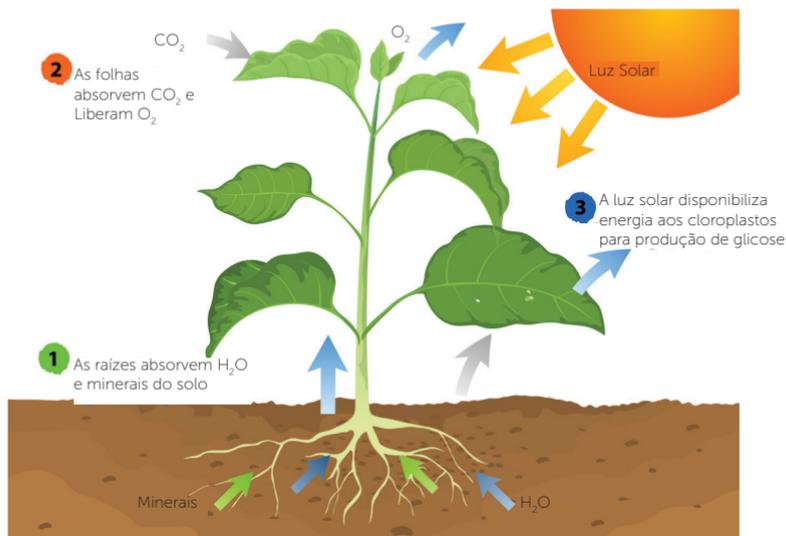
A obtenção de alimento por meio de substâncias orgânicas ocorre a partir da **fase clara da fotossíntese** pela absorção de energia luminosa e transferência de elétrons em citocromos capazes de extrair elétrons da  $H_2O$ , liberar o gás  $O_2$  e resultar na formação de ATP nos fotossistemas.

A cadeia sequencial de elétrons dos fotossistemas é orientada pelo complexo antena até o centro de reação das moléculas de clorofila, sendo que os elétrons energizados nesses centros podem retornar à clorofila – **fosforilação cíclica** ou serem capturados pela molécula da coenzima  $NADP^+$  – **fosforilação acíclica**. Portanto, os subprodutos

da fase clara – ATP e NADP+ – fornecerão, respectivamente, energia e elétrons para a **fase escura da fotossíntese**, em que há a redução de CO<sub>2</sub> por hidrogênios fornecidos pelo NADPH e formação de cadeias carbônicas que consomem energia do ATP durante o **ciclo de Calvin-Benson**, resultando na produção de glicose.



Figura 4.6| Nutrição Orgânica pela Fotossíntese



Fonte: adaptado de: <<http://www.istockphoto.com/br/vetor/fotoss%C3%ADntese-gm525742693-52679346>>. Acesso em: 4 abr. 2017.

## Nutrição inorgânica

A nutrição inorgânica, fundamental ao crescimento e desenvolvimento adequados das plantas, acontece por meio da assimilação de nutrientes minerais de substratos pela zona pilífera da raiz, local que apresenta superfície aumentada por pelos absorventes. Assim, o crescimento e desenvolvimento vegetal dependem das condições físico-químicas relacionadas à estrutura e composição da matéria de substratos como o solo.



## Exemplificando

Condições físico-químicas interferem no crescimento e desenvolvimento vegetal por alterarem a capacidade de retenção de água, a solubilidade dos elementos minerais, as transformações minerais e bioquímicas, a lixiviação dos nutrientes e o pH.



## Refleta

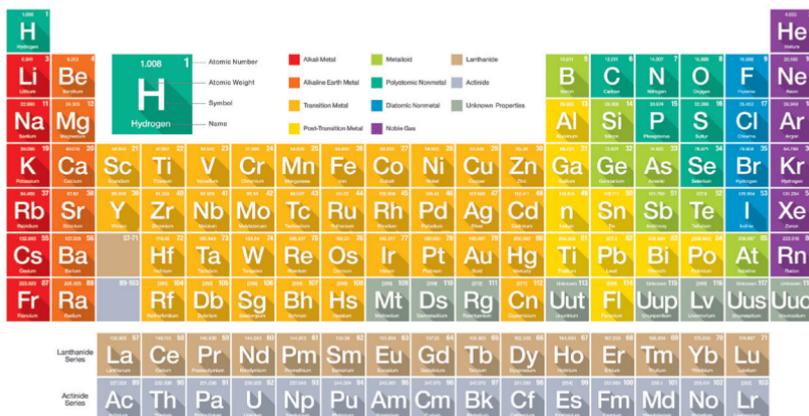
A capacidade do solo em ceder nutrientes às plantas e favorecer a nutrição inorgânica é denominada de fertilidade do solo. Assim, solos ricos em húmus, matéria orgânica de restos animais ou vegetais decomposta por fungos, bactérias, insetos ou anelídeos, apresentam-se mais férteis ao disponibilizar íons minerais como produto dessa decomposição.

## Macro e micronutrientes

Quase todos os elementos da tabela periódica estão disponíveis à absorção das plantas na natureza, sendo que de acordo com a quantidade que os nutrientes são usados, eles são classificados como macronutrientes ou micronutrientes:

- **Macronutrientes:** elementos básicos necessários em maior volume aos vegetais que possuem 1000mg/kg de peso seco e são representados por carbono, oxigênio e hidrogênio provenientes do ar e da água; e nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio, magnésio e enxofre retirados do solo em condições naturais.
- **Micronutrientes:** substâncias requeridas em menor volume pelas plantas que apresentam menos de 100mg/kg de peso seco e são compostos pelo boro, cloro, cobre, ferro, manganês,

Figura 4.7 | Elementos inorgânicos presentes na tabela periódica



Fonte: adaptado de: <<http://www.istockphoto.com/br/vetor/modern-styled-periodic-table-of-elements-gm604346724-103767649>>. Acesso em: 4 abr. 2017.

## Funções dos elementos essenciais

Em botânica, elementos essenciais são aqueles vitais ao metabolismo vegetal, sem os quais a planta não completa seu ciclo de vida, e que não podem ser substituídos. Ainda, eles devem agir diretamente no organismo vegetal participando de variadas funções biológicas. Acompanhe no Quadro 4.2 as principais funções que contam com a participação de macronutrientes e micronutrientes.

Quadro 4.2 | Principais funções relacionadas aos elementos essenciais

Macronutrientes	Características gerais
Carbono	Componente de biomoléculas, como amido e celulose, além de fonte de energia por fazer parte desses carboidratos. Obtido pela fixação durante a fotossíntese.
Hidrogênio	Também essencial a carboidratos e outras biomoléculas. Obtido da água.

Oxigênio	Necessário à respiração celular que produz ATP (molécula que armazena energia) por meio do consumo de matéria orgânica sintetizada na fotossíntese.
Nitrogênio	Fundamental à composição de proteínas (enzimas) e ácidos nucleicos.
Fósforo	Importante para a fosforilação e origem da ATP, que armazena energia luminosa e química, e de outras moléculas relacionadas à sinalização vegetal. Também atua no crescimento vegetal, floração e formação de sementes.
Potássio	Relacionado à alteração de potencial iônico que promove a abertura ou fechamento de estômatos, sendo igualmente fundamental ao equilíbrio hídrico.
Cálcio	Associado ao transporte e ativação de moléculas e ao crescimento em extensão.
Magnésio	Composto essencial da molécula de clorofila e envolvido na síntese de ATP.
Enxofre	Componente de aminoácidos, vitaminas e cloroplastos.
Micronutrientes	Características gerais
Boro	Envolvido no transporte de substâncias, síntese de enzimas e divisão celular.
Cobre	Fundamental à fotossíntese e a componentes da parede celular.
Ferro	Essencial à fotossíntese e atuante como cofator enzimático.
Molibdênio	Relacionado à síntese de aminoácidos e como cofator enzimático.
Manganês	Envolvido na síntese de cloroplastos.
Zinco	Associado à transcrição de DNA e necessário a diversas enzimas.
Níquel	Essencial à ativação de enzimas, metabolismo do nitrogênio e cofator de enzimas.

Cobalto	Fundamental a microrganismos fixadores de nitrogênio, na composição da vitamina B12 e como cofator enzimático.
Cloro	Necessário à osmose, equilíbrio iônico e fotossíntese.

Fonte: elaborado pelo autor, 2017.

## Sintomas de deficiência nutricional

Embora a identificação de deficiências nutricionais por características visuais da planta não seja simples, a observação de seu crescimento, desenvolvimento, funcionamento e morfologia permite a identificação de alterações especialmente foliares como:

- manchas;
- abscisão (queda);
- necrose tecidual branca ou preta;
- necrose dos meristemas apicais;
- enrugamento das margens foliares;
- enfraquecimento foliar;
- amarelamento (clorose) de estruturas vegetais, como o caule;
- padrões anormais de crescimento;
- outras características e comportamentos anormais do vegetal.

Cabe destacar que a falta de cada nutriente específico origina uma modificação na estrutura, cor e arranjo especialmente das folhas, sendo que em larga escala essa deficiência nutricional compromete a produtividade da agricultura e, conseqüentemente, interfere na produção de alimentos.



## Pesquise mais

Para entender quais nutrientes são responsáveis por essas modificações, acesso os endereços abaixo.

<[https://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Tomate/TomateIndustrial\\_2ed/deficiencias.htm](https://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Tomate/TomateIndustrial_2ed/deficiencias.htm)> e <<https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/64450/1/CircTec-06-1999.pdf>>. Acesso em: 10 maio 2017.

## Sem medo de errar

Na presença de luz, as plantas realizam a nutrição orgânica por meio da síntese de matéria orgânica, a partir de inorgânica, na presença de luz e clorofilas no fenômeno biológico denominado de fotossíntese. Entretanto, na sua ausência, plântulas de feijão possuem duas estruturas denominadas de cotilédones, que servem como reserva de amido que poderá ser uma das fontes de energia. Além disso, mesmo em ambiente escuro, essa plântula esteve submetida à disponibilidade de nutrientes essenciais provenientes da água ( $H_2O$ ) e dos gases hidrogênio ( $H_2$ ), oxigênio ( $O_2$ ) ou nitrogênio ( $N_2$ ). Esses nutrientes são essenciais para a nutrição **inorgânica**, que é igualmente fundamental ao desenvolvimento e crescimento da planta, e são absorvidos pela zona pilifera das raízes. Além disso, visto que as plantas podem se alimentar de fotoassimilados a partir de minerais, elas constituem a base da cadeia alimentar, responsável pela nutrição de todos os outros organismos, fornecendo a energia necessária para a realização de suas funções vitais.

## Avançando na prática

### Fertilizante NPK

#### Descrição da situação-problema

Em uma grande loja de paisagismo, jardinagem e flores, Marcelinho deparou-se com uma seção de fertilizantes que indicava em seus rótulos: NPK 10-10-10, NPK 04-14-08 ou NPK 15-15-20. Como estudante de morfofisiologia vegetal, o menino soube identificar

e interpretar as diferenças nos rótulos de fertilizantes, também compreendendo a importância na seleção de sua aplicação. A partir da situação descrita acima, você seria capaz de chegar às mesmas conclusões que Marcelinho?

### Resolução da situação-problema

Fertilizantes ou adubos NPK estão relacionados aos principais elementos minerais utilizados pelas plantas, os macronutrientes Nitrogênio (N), Fósforo (P) e Potássio (K), nas proporções 10-10-10 (ou 1:1:1), 04-14-08 (1:3,5:2), ou o 15-15-20 (ou 1,5:1,5:2,0). Cabe destacar que as diferenças de concentração entre os minerais estão relacionadas às demandas distintas de cada tipo de solo, bem como das espécies botânicas ali plantadas. Ainda, a adubação ou fertilização de substratos (como o solo) beneficia condições físico-químicas. Alguns exemplos dessas condições são: a capacidade de retenção de água, a solubilidade dos elementos minerais, as transformações minerais e bioquímicas, a lixiviação dos nutrientes e o pH, que originam um aumento na fertilidade do solo.

### Faça valer a pena

**1.** Ao produzirem seu próprio alimento (seres autotróficos), as plantas constituem a base da cadeia alimentar e são responsáveis pela nutrição de todos os outros organismos, fornecendo a energia necessária para a realização de suas funções vitais.

A nutrição orgânica ocorre especialmente pelo consumo do produto sintetizado durante a:

- a) Fase clara da fotossíntese.
- b) Fase escura da fotossíntese.
- c) Absorção de minerais pela zona pilífera de raízes.
- d) Translocação do xilema.
- e) Transpiração foliar.

**2.** Quase todos os elementos presentes na tabela periódica estão disponíveis à absorção das plantas na natureza, sendo que de acordo com a quantidade que eles são usados podemos classificá-los como **macronutrientes**, quando

necessários em maior quantidade, ou **micronutrientes**, quando em menor. Analise as afirmativas:

- I. Ocorre pela assimilação de nutrientes minerais de substratos pela zona pilífera da raiz.
- II. Depende de fatores físico-químicos como a capacidade de retenção de água.
- III. É favorecida por solos mais férteis.

Com relação à nutrição inorgânica, podemos afirmar que estão corretas:

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

**3.** A observação do crescimento, desenvolvimento, funcionamento e morfologia da planta permite a identificação de alterações causadas por deficiências nutricionais, sendo que a falta de cada nutriente específico origina uma modificação na estrutura, cor e arranjo, especialmente das folhas. Em larga escala, essa deficiência nutricional compromete a produtividade da agricultura e, conseqüentemente, interfere na produção de alimentos.

Correlacione as deficiências de alguns nutrientes com os prejuízos causados às respectivas plantas:

1. Nitrogênio	a. Deficiência na síntese de cloroplastos.
2. Manganês	b. Deficiência na síntese de ATP.
3. Fósforo	c. Deficiência na síntese de ácidos nucleicos.

- a) 1.a., 2.b., 3.c.
- b) 1.b., 2.a., 3.c.
- c) 1.c., 2.a., 3.b.
- d) 1.b., 2.c., 3.a.
- e) 1.c., 2.b., 3.a.

# Referências

- APPEZZATO-DA-GLÓRIA, B.; CARMELLO-GUERREIRO, S. M. **Anatomia vegetal**. 2. ed. Viçosa: UFV, 2006.
- BARROSO, G. M.; MORIM, M. P.; PEIXOTO, A. L.; ICHASO, C. L. F. **Frutos e sementes: morfologia aplicada à sistemática de dicotiledôneas**. Viçosa: UFV, 1999.
- CUTTER, E. G. **Anatomia vegetal**. parte 1 - células e tecidos. 2. ed. São Paulo: Roca, 2007.
- \_\_\_\_\_. **Anatomia vegetal: órgãos experimentos e interpretação**. São Paulo: Roca, 2002.
- FERRI, M. G. **Botânica: morfologia interna das plantas (anatomia)**. 9. ed. São Paulo: Nobel, 2005.
- GONÇALVES, G. E.; LORENZI, H. **Morfologia vegetal: organografia e dicionário ilustrado de morfologia de plantas vasculares**. 2. ed. Nova Odessa: Instituto Plantarum, 2008.
- HAMNER, K. C.; BONNER, J. Photoperiodism in relation to hormones as factors in floral initiation and development. **Botanical Gazette**, v. 100, n. 2, p. 388-431, 1938.
- RAVEN, P. H.; EVERT, R. F.; EICHHORN, S. E. **Biologia vegetal**. 7. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2007.
- SOUZA, L.A. **Morfologia e anatomia vegetal: células, tecidos, órgãos e plântula**. Ponta Grossa: Editora UEPG, 2003.
- TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Translocação pelo floema**. Fisiologia vegetal. 5. ed. Porto Alegre: Artmed, 2013.
- VIDAL, W. N.; VIDAL, M. R. R. **Botânica - organografia: quadros sinóticos ilustrados de fanerógamos**. 4. ed. Viçosa: UFV, 2007.







ISBN 978-85-8482-894-4



9 788584 828944 >